

# TÁVKÖZLÉS



HÁZMAN ISTVÁN



LSI OKTATÓKÖZPONT



**Dr. Házman István**

# **TÁVKÖZLÉS**

## **informatikusoknak**

Nyitott rendszerű képzés – távoktatás –  
oktatási segédlet  
Felsőoktatási Tankönyv

**LSI Informatikai Oktatóközpont**  
**A Mikroelektronika Alkalmazásának**  
**Kultúrájáért Alapítvány**  
**Budapest, 2005**



*Péternek, Levinek,  
Lilinek és Grétinek,  
akik szintén a betűvetéssel küszködnek*

**Lektorálta: Dr. Lajtha György**  
a műszaki tudomány doktora  
**Ribényi András**

**A könyv megrendelhető illetve megvásárolható az  
LSI Informatikai Oktatóközpontban  
1037 Budapest, Bécsi út 324.  
Telefon: 436-6520  
Fax: 436-6521**

**ISBN 978 963 86826 1 1**

**Kiadó: INOK Kft.**  
**Felelős vezető: INOK Kft. ügyvezetője**  
**Témafelelős: Flier István**

A címlapkép fotómontázs, felső része a Budapest, Szerecsen-utca-i kapcsolóhivatal nagy kapcsoló termét mutatja, 1904-ből, (a fotó a Postamúzeum fotótárából származik, közölve szíves engedelmükkel), alsó része a jelennel kapcsolt jövő információs szupersztrádáját ábrázolja a Wind River Systems futurisztikus feldolgozásában (forrás: buses and boards Europe, Nov/Dec 2000, közölve szíves engedelmükkel).



## ELŐSZÓ

Az elektromosságot, az elektromágneses hullámokat, lényegükből adódóan, mindig is igyekeztek információ továbbítására felhasználni. Ha még ehhez hozzávesszük az információt hordozó adatok processzálásának és konzerválásának a kérdését, előttünk áll a jelen társadalom emberének az alapvető létfunkciók kielégítésén túlmutató talán legkifejezőbb törekvése: *kapcsolatban lenni a világgal*.

A kapcsolat megteremtésének több változata ismeretes. A személy és személy közötti információcserét *távközlésnek* nevezzük, míg a széles rétegek azonos tartalmú, közérdekű információval való ellátása a *műsorszórás*. Az előbb már használt *konzerválás* kifejezés mögött mindenféle információnak hordozón történő rögzítése, tárolása és újrafelhasználása rejtőzik. A *processzálást* a számítástechnika valósítja meg.

A személyes kapcsolatok megteremtésének az igénye hozta létre a távközlést. A kapcsolatok *magasabb szintű* megteremtése igényelte a számítógépnek a kapcsolatteremtés folyamatába való belépését. Ez olyan jól sikerült, hogy ma már sem a számítástechnika nem tud megenni a távközlő hálózatok felhasználása nélkül, sem a távközlés nem létezhet a számítástechnikától függetlenül. Ez utóbbi kettős kötést jelent, jelenti egyrészt a távközlési megoldásoknak a legkorszerűbb számítástechnikai módszerek nélküli élehetlenségét, de jelenti egyúttal azt is, hogy a távközlés fogalomköre bővült – és egyre jelentősebben bővül – a számítástechnika kiszolgálásával.

A távközlés és a számítástechnika tehát *konvergál*. Jelen könyv kísérlet arra, hogyan lehet, illetve hogyan kell ezt a közös szemléletet és tudásanyagot a terület szakemberei számára bemutatni. Tehát tartalmazza mindazt, amit a számítástechnikusnak ismernie kell a távközlő hálózatok felépítéséről, üzeméről, és nem tartalmazza teljességgel mindazt, amit a távközlési szakembernek tudnia kell a számítástechnikáról. Persze valahogy így kell megközelítenie a saját szakmáját, ha eleget kíván tenni a távközlést önmagát is jelentősen átformáló informatikai kihívásoknak. (És ha már kísérlet, a szerző megköszöni mindenki szíves észrevételeit!)

Az anyag kialakításában sokan segítségemre voltak. A szemléletet dr. J. E. Flood előadásai alapozták meg. Utána meg kell említenem dr. Lilik Ferencet, aki ösztönző lehetőséget adott több, e szemléletet tovább alakító főiskolai tantárgy kidolgozására. A részletek formálásában segítségemre levő kedves kollégáim nevének felsorolásától eltekintenek, mert Ők olyan sokan vannak, hogy teljességre nem törekedhetek, bizonyosan megfelelkeznek közülük néhányról, ezáltal bennük a megbántottság jogos érzetét keltve. Köszönöm dr. Kovács Magdának, hogy az anyag könyv formájában való megjelenésének az útját erőteljesen egyengette. És köszönöm dr. Lajtha Györgynek, aki hazai távközlőst formált belőlem, szemléletemet sokban befolyásolta és elvégezte az anyag szakmai lektorálását, ami nem is volt olyan könnyű feladat.

Budapest, 2000 őszén,

a Szerző



---

***Az LSI Informatikai Oktatóközpont által kiadott  
távoktatási tankönyvekben használt jelek magyarázata:***



Fontos kérdésekre hívja fel a figyelmet.



Ellenőrző kérdések.



Súlyponti rész, figyelmesen kell olvasni.



Aprólékos, figyelmes áttanulmányozást, önálló munkát igénylő ismeretanyag, fontos összefüggéseket tartalmazó logikai vázlat.



Magyarázat, ötlet.



Megoldandó, írásos feladat.



Kiegészítő ismeretek.



# TARTALOMJEGYZÉK

	oldal
ELŐSZÓ .....	1
TARTALOMJEGYZÉK .....	3
RÖVIDÍTÉSEK .....	9
<b>1. BEVEZETÉS</b> .....	<b>23</b>
1.1. Történeti áttekintés.....	23
1.1.1. A táviratozás .....	23
1.1.2. A távbeszélés kezdetei .....	24
1.1.3. A távbeszélő készülék.....	25
1.1.4. Távbeszélő hálózatok.....	29
1.1.5. A számítógép, mint végberendezés.....	33
1.1.6. Számítógép hálózatok .....	35
1.1.7. Általános adatátviteli hálózatok .....	35
1.2. A törvényi szabályozás kérdései .....	36
1.2.1. Jog a távközlésre .....	36
1.2.2. A műszaki jellemzők meghatározása .....	36
1.3. Szolgáltatások, szolgáltatások, protokollok.....	38
1.3.1. Szolgálat és szolgáltatás.....	38
1.3.2. Nyílt rendszerek összekapcsolása .....	39
1.3.3. Adatátviteli rendszerek felépítése .....	41
<b>2. JELEK</b> .....	<b>45</b>
2.1. Adatjelek.....	45
2.1.1. Impulzus-sorozat adása és vétele .....	45
2.1.2. A csatorna hatása az impulzusátvitelre .....	47
2.1.3. Kiegyenlítők alkalmazása .....	53
2.1.4. Szkremblerezés (bitkeverés) .....	58
2.1.5. Vonali kódok jellemzői.....	60
2.1.6. Alapsávi vonali kódok .....	61
2.1.7. Digitális moduláció.....	64
2.1.8. A zaj hatásának a figyelembevétele .....	67
2.1.9. Hibadetektálás és -korrekció.....	70
2.1.10. Kódolandó híryananyagok.....	76
2.2. Beszédjelek .....	78
2.2.1. Információátviteli jellemzők .....	78
2.2.2. Akusztikai jellemzők .....	79
2.2.3. Hangosságvizsgálat.....	84
2.2.4. Analóg beszédátvitel .....	87
2.2.5. Digitális beszédjel-átvitel.....	87
2.2.6. Zene digitalizálása .....	100
2.3. Videojelek.....	102
2.3.1. A látás jellemzői .....	102
2.3.2. A videojel kialakítása.....	104
2.3.3. Tömörítési eljárások.....	107



<b>3.</b>	<b>JELÁTVITELI KÖZEGEK</b> .....	115
3.1.	Átvitel elektromos vezetéken .....	115
3.1.1.	Az elektromos vezeték jellemzői .....	115
3.1.2.	Átvitel elektromos kábelen .....	119
3.1.3.	Alapsávi átvitel szimmetrikus érpáron .....	121
3.1.4.	Az erősített kábel .....	124
3.1.5.	Szélessávú analóg átvitel .....	131
3.1.6.	A digitális előfizetői vonal .....	132
3.2.	Rádiós átvitel .....	136
3.2.1.	Alapfogalmak .....	136
3.2.2.	Hullámterjedési tulajdonságok .....	137
3.2.3.	Energiaátviteli jellemzők .....	139
3.2.4.	Frekvenciagazdálkodás .....	141
3.3.	Optikai átvitel .....	142
3.3.1.	Lehetőségek áttekintése .....	142
3.3.2.	Átvitel optikai szálon .....	143
<b>4.</b>	<b>ÁTVITELI RENDSZEREK</b> .....	149
4.1.	Alapfogalmak .....	149
4.1.1.	Jelek és jelzések .....	149
4.1.2.	A jelátviteli csatorna .....	150
4.2.	Áramkörkapcsolt átviteli csatornák .....	150
4.2.1.	Kizárólagos felhasználású csatorna .....	150
4.2.2.	Csatornák multiplexálása .....	151
4.2.3.	Rádiós rendszerek .....	152
4.2.4.	Frekvenciaosztásos analóg rendszerek .....	153
4.2.5.	Időosztásos digitális rendszerek .....	155
4.3.	Áramkörkapcsolt átviteli rendszerek .....	157
4.3.1.	Hierarchikus multiplikáció .....	157
4.3.2.	Az SDH átviteli rendszer .....	160
4.3.3.	Az áramkörkapcsolt hálózat felépítése .....	162
4.4.	Aszinkron átviteli rendszerek .....	164
4.4.1.	Általános megfontolások .....	164
4.4.2.	Csomagkapcsolt átviteli és kerettovábbítás (frame relay) .....	167
4.4.3.	Cellás szervezésű aszinkron átvitel .....	168
4.5.	Számítógép hálózatok .....	168
4.5.1.	Alapfogalmak .....	168
4.5.2.	Busz-struktúrájú hálózatok .....	169
4.5.3.	Gyűrűs hálózatok .....	171
<b>5.</b>	<b>KAPCSOLÓK</b> .....	173
5.1.	A kapcsolástechnika alapjai .....	173
5.1.1.	Az összeköttetés felépítése .....	173
5.1.2.	Mátrix az áramkörök összekapcsolásához .....	173
5.1.3.	A kézi kapcsolású központ .....	175
5.1.4.	Kapcsolási funkciók .....	179
5.2.	Automatizált kapcsolás .....	180
5.2.1.	Többfokozatú kapcsolás .....	180



5.2.2.	Kapcsolók vezérlése.....	180
5.2.3.	Többfokozatú szukcesszív kapcsolás, kapcsolás forgógéppel .....	182
5.2.4.	Többfokozatú link kapcsolás, mátrixkapcsolók .....	186
5.3.	Időosztású (digitális) kapcsolók .....	190
5.3.1.	PCM jelekre alapozott kapcsolás .....	190
5.3.2.	Az időrés-áttevő kapcsoló.....	191
5.3.3.	A térkapcsoló mátrix.....	193
5.3.4.	A T-S-T kapcsoló felépítése és vezérlése .....	193
5.4.	Aszinkron kapcsolók.....	195
5.4.1.	Statisztikai multiplexálás .....	195
5.4.2.	Késleltetési átviteli rendszer felépítése.....	199
5.4.3.	Kapcsolók aszinkron jelfolyamban.....	199
5.4.4.	Kapcsolók szinkron jelfolyamban.....	200
<b>6.</b>	<b>FORGALMAZÁS</b> .....	<b>203</b>
6.1.	Alapfogalmak.....	203
6.1.1.	A forgalom egysége .....	203
6.2.	A forrás/nyelő forgalma .....	204
6.3.	Közös átviteli utak forgalma .....	204
6.3.1.	A forgalom időfüggése .....	204
6.3.2.	Veszteséges forgalombonyolítás.....	206
6.3.3.	Várakozásos forgalombonyolítás .....	210
6.3.4.	Egy kiszolgálós rendszerek.....	213
<b>7.</b>	<b>NYILVÁNOS KAPCSOLT TÁVBESZÉLŐ HÁLÓZAT</b> .....	<b>215</b>
7.1.	Felépítése .....	215
7.1.1.	Az előfizetői hálózat .....	215
7.1.2.	A központok rendszere .....	216
7.1.3.	Több központos helyi hálózatok .....	217
7.1.4.	Az országos távhívó hálózat .....	219
7.1.5.	Az országos hálózat kiviteli kérdései.....	220
7.1.6.	A nemzetközi forgalom bonyolítása .....	221
7.1.7.	A nemzetközi távhívó hálózat.....	221
7.2.	Jelzések és jelzésrendszerek.....	221
7.2.1.	Bevezetés .....	221
7.2.2.	Előfizetői jelzésrendszerek .....	223
7.2.3.	Jelzések alapsávi trónkőkön.....	225
7.2.4.	FDM átviteli rendszerek .....	225
7.2.5.	PCM átviteli rendszerek.....	225
7.2.6.	Regiszterközi jelzések.....	226
7.2.7.	Közös csatornás jelzésrendszer .....	227
7.3.	Számozási terv .....	232
7.3.1.	A hívószám szerepe .....	232
7.3.2.	A hívószám felépítése .....	234
7.4.	Tarifálás .....	235
7.4.1.	A díjszabási terv feladata.....	235
7.4.2.	A díj meghatározásának a szempontjai .....	236
7.4.3.	A díjszabások jellemzői .....	237



7.5.	Forgalmazás, szolgáltatások.....	238
7.5.1.	A távbeszélő szolgáltatás protokollja.....	238
7.5.2.	Alközpontok.....	239
7.5.3.	Adatátvitel.....	240
7.5.4.	Távmásoló szolgáltatás .....	241
7.5.5.	Bérelt vonalak, bérelt összeköttetések .....	241
<b>8.</b>	<b>INTEGRÁLT SZOLGÁLTATÁSÚ DIGITÁLIS HÁLÓZAT .....</b>	<b>243</b>
8.1.	A hálózat felépítése.....	243
8.1.1.	Történeti áttekintés.....	243
8.1.2.	Az n-ISDN fogalma .....	244
8.1.3.	Az alapsebességű hozzáférés kiépítése .....	245
8.1.4.	A primer sebességű hozzáférés kiépítése .....	249
8.1.4.	A digitális szakasz kialakítása.....	249
8.2.	A hálózat szolgálatai .....	250
8.3.	Az összeköttetések felépítése.....	251
8.3.1.	Végberendezések csatlakoztatása.....	251
8.3.2.	Az adatkapcsolat kialakítása .....	253
8.3.3.	Üzenetek az összeköttetés felépítéséhez .....	255
8.4.	A hálózat szolgáltatásai.....	256
8.4.1.	A referenciamodell.....	256
8.4.2.	ISDN szolgáltatások.....	258
8.4.3.	ISDN hívószámok.....	259
8.4.4.	A távbeszélő szolgáltatások bővítése .....	260
8.4.5.	Intelligens hálózatok .....	261
<b>9.</b>	<b>CSOMAGKAPCSOLT ADATHÁLÓZATOK.....</b>	<b>265</b>
9.1.	A csomagkapcsolt nyilvános adathálózat.....	266
9.1.1.	Az X.25 ajánlás.....	266
9.1.2.	Virtuális áramkör felépítése és bontása.....	266
9.1.3.	A csomagszintű adatátvitel .....	267
9.1.4.	Az adatkapcsolati réteg .....	269
9.1.5.	A hívószámok rendszere .....	270
9.1.6.	A nyilvános csomagkapcsolt hálózat felépítése .....	270
9.2.	A kerettovábbítás (frame relay) .....	273
9.2.1.	Általános jellemzés .....	273
9.2.2.	Az adatkapcsolat kialakítása .....	274
9.2.3.	A hálózat kialakítása .....	275
<b>10.</b>	<b>SZÁMÍTÓGÉP HÁLÓZATOK.....</b>	<b>277</b>
10.1.	Média-átalakítók .....	277
10.1.1.	A számítógép, mint végberendezés.....	277
10.1.2.	Multimédiás terminál .....	278
10.2.	Hozzáférési hálózatok .....	278
10.2.1.	Egy kiszolgálós hálózat-szegmensek .....	278
10.2.2.	Terminálok címezése .....	280
10.2.3.	Távoli terminálok csatlakoztatása .....	280
10.2.4.	Hálózat-kialakítási technikák.....	281
10.2.5.	Többszegmensű hálózatok .....	283



10.2.6.	Kapcsolt hálózatok.....	285
10.3.	Együttműködő hálózatok .....	287
10.3.1.	Helyi hálózatok közvetett összekapcsolása.....	287
10.3.2.	Az átviteli hálózat üzeme .....	288
10.3.3.	Többsíkú átviteli hálózatok.....	289
10.4.	Az Internet.....	290
10.4.1.	Igény az internetre.....	290
10.4.2.	A TCP/IP Internet .....	290
10.4.3.	Címzés az Interneten.....	291
10.4.4.	A hálózat kialakítása .....	293
10.4.5.	Alkalmazások.....	294
<b>11.</b>	<b>MOBIL TÁVKÖZLŐ HÁLÓZATOK .....</b>	<b>297</b>
11.1.	A földi hálózat kialakítása.....	298
11.1.1.	Rendszertechnikai felépítés.....	298
11.1.2.	A lefedettség biztosítása .....	299
11.2.	Forgalmazás .....	302
11.2.1.	Átviteli csatornák kialakítása.....	302
11.2.2.	Bejelentkezés .....	303
11.2.3.	Átadás (handover).....	304
11.3.	Mobil szolgálatok.....	304
11.3.1.	Beszédüzemű szolgálat .....	304
11.3.2.	Adatvívíteli lehetőségek.....	305
11.4.	Szolgáltatások .....	305
11.4.1.	Földi mobil szolgáltatás .....	305
11.4.2.	Stabil kiépítésű előfizetői egység.....	305
11.5.	Egyéb rádiós rendszerek .....	306
11.5.1.	Műholdas távközlési rendszerek .....	306
11.5.2.	Személyhívók.....	307
11.5.3.	Rádiós helyi számítógép-hálózatok.....	308
<b>12.</b>	<b>AZ ASZINKRON TRANSZFER MÓD .....</b>	<b>309</b>
12.1.	Átviteli módok összehasonlítása .....	309
12.1.1.	Az áramkörkapcsolt átvitel .....	309
12.1.2.	Az üzenetkapcsolt átvitel .....	309
12.1.3.	Az ATM.....	310
12.2.	Az ATM felépítése.....	310
12.2.1.	Az ATM üzenet formátuma .....	310
12.2.2.	Az ATM kapcsoló.....	311
12.2.3.	Az ATM hálózat .....	313
12.2.4.	Referencia modell és protokollok .....	314
12.2.5.	Szolgálatok.....	315
12.3.	Az üzemeltetés jellemzői .....	317
12.3.1.	Forgalomszabályozás .....	317
12.3.2.	Jelzésrendszerek.....	318
12.4.	Alkalmazások.....	319
12.4.1.	Általános megfontolások.....	319
12.4.2.	Számítógép hálózatok .....	320



12.4.3. Intenet az ATM-en.....	320
<b>FÜGGELÉK</b> .....	323
<b>F.I. TRANSZFORMÁCIÓK</b> .....	323
F.I.1. Alapfogalmak.....	323
F.I.2. Folytonos jelek.....	323
F.I.2.1. Periodikus függvények.....	323
F.I.2.2. Véges hosszúságú jelek.....	325
F.I.2.4. Impulzus (sorozat) spektruma.....	326
F.I.3. Diszkrét jelek .....	328
F.I.3.1. A diszkrét Fourier-transzformáció .....	328
F.I.3.2. A diszkrét koszinusz transzformáció .....	331
F.I.3.3. A wavelet transzformáció .....	332
<b>F.II. A VALÓSZÍNŰÉGSZÁMÍTÁS ALAPJAI</b> .....	335
F.II.1. Definíciók .....	335
F.II.1.1. Valószínűség .....	335
F.II.1.2. Feltételes valószínűség.....	335
F.II.1.3. Kapcsolt valószínűség.....	335
F.II.1.4. Egymást kölcsönösen kizáró események .....	336
F.II.1.5. Egymást kiegészítő (komplementer) események .....	336
F.II.2. Diszkrét valószínűségi eloszlások.....	336
F.II.2.1. Átlag és variancia.....	336
F.II.2.2. Független valószínűségi változók átlagértéke és varianciája .....	337
F.II.2.3. Bernouilli-féle vagy binomiális eloszlás.....	338
F.II.2.4. Poisson-eloszlás .....	338
F.II.3. Folytonos valószínűségi eloszlások .....	340
F.II.3.1. Alapfogalmak.....	340
F.II.3.2. Negatív exponenciális eloszlás .....	341
F.II.3.3. Gauss- vagy normál eloszlás.....	342
<b>F.III. A FORGALOMELMÉLET ALAPJAI</b> .....	345
F.III.1. Matematikai modell .....	346
F.III.1.1. Feltételek.....	346
F.III.1.2. Következtetések .....	346
F.III.1.3. A forgalom jellemzése .....	347
F.III.2. Veszteséges rendszerek .....	349
F.III.2.1. Elmélet.....	349
F.III.2.2. Erlang első képlete .....	350
F.III.3. Várakozásos rendszerek .....	351
F.III.3.1. Erlang második egyenlete .....	351
F.III.3.2. A várakozás valószínűsége .....	352
F.III.3.3. Néhány további használható eredmény.....	353
<b>FELHASZNÁLT IRODALOM</b> .....	355
<b>TÁRGYMUTATÓ</b> .....	361



## RÖVIDÍTÉSEK

2B1Q	két bináris, egy kvaternáris (szimbólum)
3PTY	three party service három résztvevős hívás
AAL	ATM adaptation layer ATM adaptációs réteg
ADC	administration center könyvelő központ
ADPCM	adaptive differential pulse code modulation adaptív DPCM
ADSL	asymmetrical digital subscriber line aszimmetrikus digitális előfizetői vonal
AFNOR	Association Francais Normal Francia Szabványügyi Egyesülés
ÁFOH	átlagos forgalmas órai hívás
AMI	alternating mark inversion logikai 1 előjelváltó kódolása
ANSI	American National Standardisation Institute Amerikai Szabványügyi Hivatal
AOC	advice of charge díjazási információk közlése
ARAEN	Appareil de Référence pour la Détermination de l'Affaiblissement Équivalent pour la Netteté Referenciaberendezés a hangosság meghatározásához
ARP	address resolution protocol címkereső protokoll
ARPA	Advanced Research Projects Agency
ARQ	acknowledgement request visszajelentés kérés
ASCII	american standard code for the information interchange ASCII-kód



---

ATM	asynchronous transfer mode aszinkron átviteli mód
AUC	authentication location register
AWG	american wire gauge
BE	excess burst size többlet adatmennyiség
BECN	backward ECN visszirányú torlódásjelző bit
BER	bit error rate bit-tévesztés gyakorisága
B-ISDN	broad-ISDN szélessávú ISDN
BRA	basic rate access alapsebességű hozzáférés
BS	base station bázisállomás
BSC	base station controller bázis kapcsoló központ
BSI	British Standards Institution Brit Szabványügyi Intézet
BTS	base transmission station adó-vevő
CAC	connection admission control összeköttetés felépítési vezérlés
CAP	carrierless amplitude-phase (modulation) vivőnélküli amplitúdó-fázis moduláció
CB	citizen band CB-sáv
CB	common battery közös telep(es)
CBR	constant bit rate állandó bitsebesség
CCBS	completion of calls to busy subscriber hívásteljesítés foglaltság esetén



CCIR	Consultative Committee International for Radio Nemzetközi Tanácsadó Bizottság, Rádió
CCITT	Consultative Committee International for Telegraphy and Telephony Nemzetközi Tanácsadó Bizottság, Távíró és Telefon
CCNR	completion of calls on no reply hívásteljesítés nem válaszol esetén
CCS	hundred of call seconds száz hívásmásodperc
CCS	common-channel signalling közöscsatornás jelzésrendszer
CCSS7	common channel signalling system 7 7-es közös csatornás jelzésrendszer
CD	compact disc CD
CD	call deflection híváseltérítés
CDMA	code division multiple access kód osztású többszörös hozzáférés
CDV	cell delay variation cella-késleltetés ingadozás
CEPT	Conférence Européenne des Administrations des Postes et Telecommunications Európai Postai és Távközlési Hivatal
CFB	call forwarding busy hívásátirányítás foglaltság esetén
CFNR	call forwarding, no reply hívásátirányítás nem felel esetén
CFU	call forwarding unconditional feltétel nélküli hívásátirányítás
CIC	circuit identity code áramkör azonosító kód
CIR	committed information rate garantált adatsebesség
CLIP	calling line identification presentation hívó vonal azonosítása



---

CLIR	calling line identification restriction hívó vonal azonosítás letiltása
CLM	connectionless mode összeköttetés nélküli (átviteli) mód
CLP	cell loss priority cellavesztés prioritása
CMOS	complementer MOS komplementer MOS
COLP	connected line identification presentation kapcsolt vonal azonosítása
COLR	connected line identification restriction kapcsolt vonal azonosítás tiltása
CoM	connection oriented mode összeköttetéses (átviteli) mód
CONF	conference calling, add-on konferenciahívás
CoS	class of service szolgáltatási osztályozás
CPCS	common part convergence sublayer közös alréteg
CRC	cyclic redundancy check ciklikus redundancia ellenőrzés+C116
CRED	credit card call hitelkártyás hívás
CSMA/CD	carrier-sense multiple access with collision detection adásfigyelő többszörös hozzáférés ütközésetekcióval
CT	call transfer hívásátadás
CUG	closed user group zárt felhasználói csoport
CW	call waiting hívásvárakoztatás
DCC	data country code körzetszám



---

DCE	data circuit terminating equipment központi csatlakozó berendezés
DCT	direct cosine transformation
DDI	direct dialling-in közvetlen betárcsázás
DE	discard eligible eldobás engedélyezve
DFT	discrete Fourier transformation diszkrét Fourier-transzformáció
DIN	Deutsches Institute für Normung Német Szabványügyi Hivatal
DLCI	data link connection identifier áramkör azonosító
DMT	digital multi tone digitális többfrekvenciás
DNIC	data network identification code adathálózat azonosító kód
DPCM	differential pulse code modulation differenciális PCM
DPSK	differential phase shift keying differenciális PSK
DSL	digital subscriber line digitális előfizetői vonal
DSV	digital sum variation digitális összeg változása
DTE	data terminating equipment előfizetői végberendezés
DTMF	dual-tone multifrequency két hangos többfrekvenciás
DUP	data-user part adatátviteli rész
DVD	digital videodisc DVD
DWDM	dense wavelength division multiplex nagysűrűségű hullámhossz-osztású multiplex



DXC	digital cross connect digitális rendező
EC	echo canceller visszhang elnyomó
ECN	explicit congestion notification torlódásjelző bit
ECT	explicit call transfer közvetlen hívásátadás
EIR	equipment identification register mobil terminál azonosító lista
ET	exchange terminal központ (oldali) végződés
ETSI	European Telecommunications Standardisation Institute Európai Távközlési Szabványosítási Intézet
FDM	frequency division multiplex frekvencia osztású multiplex
FDMA	frequency division multiple access frekvencia osztású többszörös hozzáférés
FECN	forward ECN előre-irányú torlódásjelző bit
FEXT	far-end crosstalk közelvégi áthallás
FFT	fast Fourier-transformation
FM	frequency modulation frekvencia moduláció
FPH	freephone zöld szám
FR	frame relay kerettovábbítás
FSK	frequency shift keying frekvenciabillentyűzés
ftp	file transfer protocol fájltviteli protokoll
GFC	generic flow control általános folyamatvezérlő



---

GI	graded index folyamatosan változó indexű
GoS	grade of service szolgáltatás minősége
GSM	global system for mobile communications GSM
HDB3	high density bipolar nagy sűrűségű bipoláris
HDLC	high-level data link control magas szintű adatkapcsolat vezérlő
HDSL	high (speed) DSL nagysebességű DSL
HEC	header error control fejrész (átviteli) hiba ellenőrző
HLR	home location register honos előfizető azonosító
HOLD	call hold hívástartás
IDSL	ISDN digital subscriber line ISDN digitális előfizetői vonal
IEC	International Electrotechnical Committee Nemzetközi Elektrotechnika Bizottság
IEEE	Institution of Electrical and Electronics Engineers Elektromos és Elektronikai Mérnökök Egyesülete
IM	intensity modulation intenzitás moduláció
IM	incall modification hívás közbeni módosítás
IP	intelligent peripheral intelligens periféria
Ipv4	IP version 4 4-es változatú IP
IPv6	IP version 6 6-os változatú IP
IRS	intermediate reference system
ISDN	Integrated Services Digital Network

---

ISDN-UP	ISDN-user part ISDN-felhasználói rész
ISI	intersymbol interference szimbólumok közötti áthatás
ISO	International Standardisation Organisation Nemzetközi Szabványosítási Szervezet
ISP	intermediate service part közbenső szolgáltatói rész
ITU-R	International Telecommunications Union – Radio Nemzetközi Távközlési Unió – Rádió
ITU-T	International Telecommunications Union- Telecom's Nemzetközi Távközlési Unió – Távközlés
JPEG	Joint Picture Experts Group Szakértői Csoport képek kódolására
KTV	kábeles televízió hálózat
LAN	local area network helyi hálózat
LAP-B	line access protocol, balanced kiegyenlített csatorna-hozzáférési protokoll
LAP-D	line access protocol, data D-csatorna hozzáférési protokoll
LAP-F	line access protocol, frame relay kerettovábbításos csatorna-hozzáférési protokoll
LB	local battery helyi telep(es)
LCI	logical channel identifier logikai csatorna azonosító
LD	laser diode lézer dióda
LED	light emitting diode fényemittáló dióda
LH	line hunting vonalkeresés
LT	line terminal vonal-lezáró végződés



---

MAC	media access control közeg-hozzáférés vezérlő
MAN	metropolitan area network nagyvárosi hálózat
MAU	multistation access unit többállomásos csatlakozó egység
MCID	malicious call identification rosszakaratú hívás azonosítása
MF	multifrequency többfrekvenciás
MM	multimode többmódusú
MMC	meet me conference lekötött konferencia
MOS	metal oxid semiconductor fém-oxid-félvezető
MPEG	Moving Picture Experts Group Mozgóképes Szakértői Csoport
MS	mobile station mobil állomás
MSC	mobile switching center mobil kapcsoló központ
MSN	multiple subscriber number többszörös előfizetői hívószám
MSzSz	Magyar Szabványügyi Szervezet
MT	mobile terminal mobil terminál
MTP	message-transfer part üzenet-továbbító rész
nBmT	n bináris, m ternáris (szimbólum)
NEXT	near-end crosstalk távolvégi áthallás
n-ISDN	narrow-ISDN keskenysávú ISDN

---

NMC	network management center üzemeltető központ
NNI	network-network interface hálózatok közötti interfész
NT	network terminal hálózat-végződés
NTN	network terminal number végberendezés hívószám
OC	optical carrier optikai átviteli modul
OCB	outgoing call barring kimenő hívások korlátozása
OLR	overall loudness rating teljes hangossági mérték
OMC	operations and maintenance center fenntartó központ
OSI	open systems interconnection nyílt rendszerek összekapcsolása
PABX	private access branch exchange alközpont
PAD	packet assembler-disassembler csomag sorbarendező-lebontó
PAL	phase alternating lines váltott fázisú sorok
PAM	pulse amplitude modulation impulzus amplitúdó moduláció
PBX	private branch exchange alközpont
PCM	pulse code modulation impulzus kódmoduláció
PCR	peak cell rate maximális cellagyakoriság
PDH	plesiocron digital hierarchy pleziokron digitális hierarchia



---

PH	packet handler csomagkezelő
PM	physical medium fizikai hordozó
PNP	private numbering plan magán számozási terv
PRA	primary rarte access primer sebességű hozzáférés
PRI	priority service prioritáskezelés
PSK	phase shift keying fázisbillentyűzés
PSPDN	packet switched public data network csomagkapcsolt nyilvános adathálózat
PSTN	Public Switched Telephone Network nyilvános kapcsolt távbeszélő hálózat, PSTN
PT	payload type információs rész típusa
PVC	permanent VC permanens virtuális áramkör
QAM	quadrature amplitude modulation kvadratúra amplitúdó moduláció
qdu	quantisation distortion unit kvantálási-torzítás egység
QoS	quality of service szolgáltatás minősége
RADSL	rate adaptive digital subscriber line sebességet megválasztó digitális előfizetői vonal
RAS	remote access server távoli hozzáférés kiszolgáló
RDS	running digital sum pillanatnyi digitális összeg
REV	reverse charging hívott fizet

RLL	radio local loop rádiós előfizetői csatlakozás
RLR	receiving loudness rating vételi hangossági mérték
RSxxx	recommended standard xxx ajánlott szabvány xxx
RVL	reference vocal level referencia beszéd szint
SCCP	signalling-connection control part jelzéshez csatlakozó vezérlő rész
SCE	service creation environment szolgáltatás kidolgozó rendszer
SCT	single-step call transfer egylépéses hívásátadás
SDH	synchronous digital hierarchy szinkron digitális hierarchia
SDMA	space division multiple access térosztású többszörös hozzáférés
SDSL	symmetrical digital subscriber line szimmetrikus digitális előfizetői vonal
SI	step index élesen változó indexű
SLR	sending loudness rating adásirányú hangossági mérték
SM	single mode egymódusú
Sonet	synchronous optical network szinkron optikai hálózat
SPL	sound pressure level hangnyomás szint
SSCS	service specific convergence sublayer felhasználás-specifikus alréteg
STM	synchronous transport module szinkron-átviteli modul



---

STP	shielded twisted pair árnyékolt sodrott érpár
STP	signal transfer point jelzésátviteli pont
SU	signal unit jelzés-egység
SUB	sub-addressing alácímzés
SVC	switched Vc kapcsolt virtuális áramkör
TA	terminal adapter végberendezés-adapter
TC	transmission control átviteli összehangoló
TCAP	transaction-capabilities application part átviteli alkalmazások
TCM	trellis coded modulation trellis kódolt moduláció
TCP/IP	transmission control protocol/internet protocol átvitelvezérlő/hálózatkialakító protokoll
TDM	time division multiplex idő-osztású multiplex
TDMA	time division multiple access idő-osztású többszörös hozzáférés
telnet	telnet protocol protokoll távoli végberendezés elérésére
TP	terminal portability végberendezés hordozhatóság
TUP	telephone-user part távbeszélő-felhasználói rész
UDP	user datagram protocol felhasználói datagram protokoll
UHF	ultra high frequency UHF

UNI	user-network interface használó-hálózati interfész
UP	user part felhasználói rész
UPC	usage parameter control használói paraméterek ellenőrzése
UTP	unshielded twisted pair árnyékolatlan sodrott érpár
UUS	user-to-user signalling használók közötti jelzéstovábbítás
VBR	variable bit rate változó bitsebesség
VC	virtual circuit virtuális áramkör
VCI	virtual circuit identifier virtuális áramkör azonosító
VDSL	very high DSL nagysebességű digitális előfizetői vonal
VHF	very high frequency VHF
VLR	visitor location register vendég előfizető azonosító
VPI	virtual path identifier virtuális út azonosító
WAN	wide area network nagykiterjedésű hálózat
WDM	wavelength division multiplex hullámhossz-osztású multiplex
WLL	wireless local loop drótnélküli előfizetői csatlakozás



## 1. BEVEZETÉS

### 1.1. Történeti áttekintés

Az elektromos áram egyik első alkalmazásaként hamar felfigyeltek arra, hogy az alkalmas *információ* átvitelére.[1] Ennek igénye az élet számos területén felmerül, ide értve eleinte az emberi beszéd, írásos dokumentumok, a későbbiekben álló és mozgó képek, majd számítógépes adatok egyik helyről a másikra történő *továbbítását*. A szorosán vett továbbítás, azaz maga az *átvitel* először elektromos áramot szállító vezetéken történt. Az átvitelre felhasznált közeg sok esetben ma is a vezeték, de a kör bővült és előszeretettel alkalmazzák az egyéb elektromágneses jeleket, mint a szabad térben terjedő rádiófrekvenciás és zömmel üvegszálaban továbbított fényjeleket is. Ezen átviteli közegek a távolsági átvitelt valósítják meg. Alkalmazásuk esetén a végberendezésekkel való csatlakozási pontokon továbbra is meg kell oldani a különböző módon továbbított jeleknek elektromos jellé való – oda és vissza – alakítását, és főleg e jeleknek a processzálását, tárolását. Együttesen ezek képezik a *távközlés* témakörét és e feladatok ellátására építették ki a *távközlő hálózatokat*.



#### 1.1.1. A táviratozás

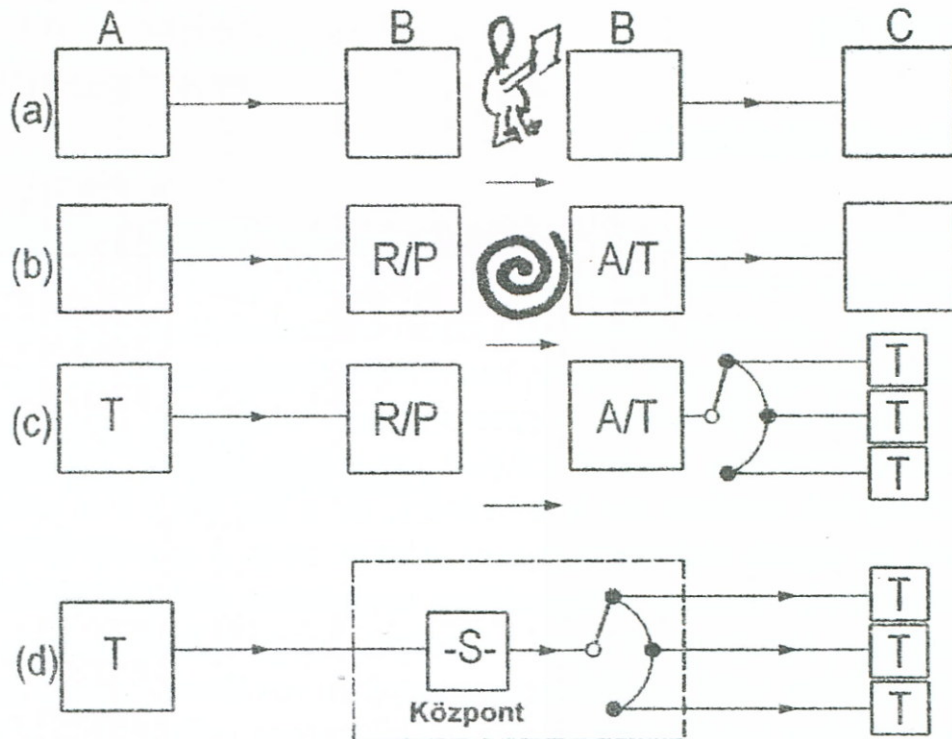


Az elektromos távközlés a *távíró* feltalálásával kezdődött. A széles körben elterjedt változatot – több próbálkozástól eltekintve – Wheatstone és Morse eredményének tekintjük. Ez 1837-ben történt. A távíró rendszerek kezdetben két-két pontot kötöttek össze elektromos *vezetékkel*, amelyen két irányban felváltva továbbítottak információt.[2]

A pont-pont közötti összeköttetések mellett hamarosan kialakult olyan hálózat, amely már *központot* is tartalmazott. Ezekben több irányból érkező vonalakat gyűjtöttek össze, amelyek mindkét végükön adó/vevő végberendezést tartalmaztak (1.1. ábra). Ha például a **C** központ operátora az **A**-ból érkező üzenetről megállapította, hogy az nem neki, hanem például **B**-nek szól, az üzenetet vette, majd továbbította **B** felé.

A **C** központban az **A**, illetve a **B** központba menő vonalak végberendezései között az üzenet *átvitele* eleinte nem elektromos úton történt, de hamar kialakult a közös központi adóberendezést tartalmazó *kapcsoló* gép fogalma. Az itt alkalmazott jelátviteli megoldást *üzenetkapcsolásnak* nevezzük. Később, a távbeszélés térhódításával ennek az alkalmazása kissé háttérbe szorult, de ma egyre inkább visszatér és tért hódít a legkorszerűbb hálózati technológiákban.





1.1. ábra. Az üzenetkapcsolás kifejlődése:

- (a) A leírt szöveg manuális továbbítása (b) A papírszalag manuális továbbítása  
 (c) Manuális továbbítás automatikus útválasztással bővítve  
 (d) Automatizált üzenetkapcsoló rendszer  
 (T=távközlő, R/P=szalagnyomtató, A/T=automatikus továbbítás, S=tároló)



### 1.1.2. A távbeszélés kezdetei

Közben azonban sok minden történt. 1876-ban Bell feltalálta a *távbeszélőt*, ami a társalgásban résztvevő felek között *egyidejűleg* rendelkezésre álló kétirányú összeköttetés fennállását igényelte, ami az **A**-ból és **B**-ből érkező vezetékeknek az összeköttetés fennállásának az idejére érvényes közvetlen összeköttetéssel valósítható meg. Így alakult ki az *áramkörkapcsolás*. A távközlő világhálózat ennek jegyében épült fel, és ez a technika jellemezte meghatározó módon a távbeszélő feltalálását követő több mint 100 évet.

A társalgás feltételeit biztosító valós idejű, két irányú összeköttetést megvalósító *távbeszélő* hálózat többirányú kihasználása eredményeként az napjainkban fokozatosan távközlő hálózattá alakul át. A beszéd mellett egyre nagyobb igény jelentkezik írásos dokumentumok, adatok átvitelére és fokozatosan fejlődik a mozgókép, a videó átvitele iránti igény is. Mindezek sokkal inkább üzenet jellegűek és egyre kevésbé igénylik az egyidejűleg rendelkezésre álló, mindkét irányban azonos átviteli kapacitású, valós idejű átvitel



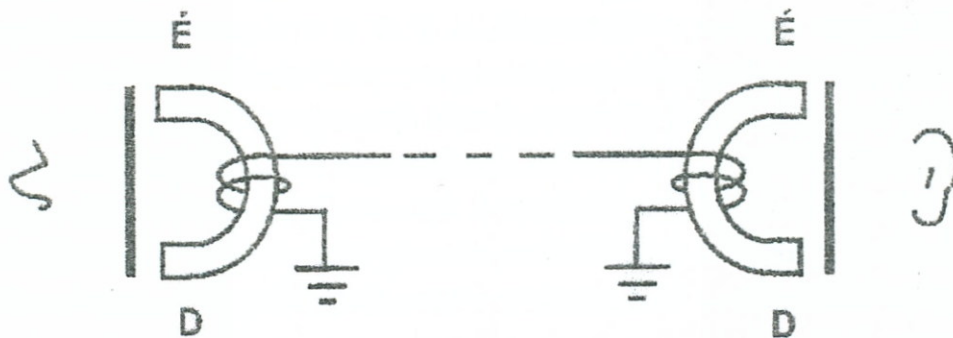
lehetőségének a fenntartását, így az áramkörkapcsolt hálózat fokozatosan üzenetkapcsolt jelleggel üzemelő hálózattá alakul át.

Az igények növekedésével megjelennek a multiplex berendezések, majd a mikroelektronika fejlődése eredményeként egyeduralkodóvá válik a digitális technika alkalmazása. A hálózat valamennyi átviteli, kapcsolási, vezérlési és bizonylatolási funkcióját elektronikai berendezések látják el. A szolgáltatások fajlagos költsége erőteljesen csökken. Mindez együttvéve előrevetíti a távközlésnek mindennapi életünkbe való mind szélesebb körű behatolását.

### 1.1.3. A távbeszélő készülék



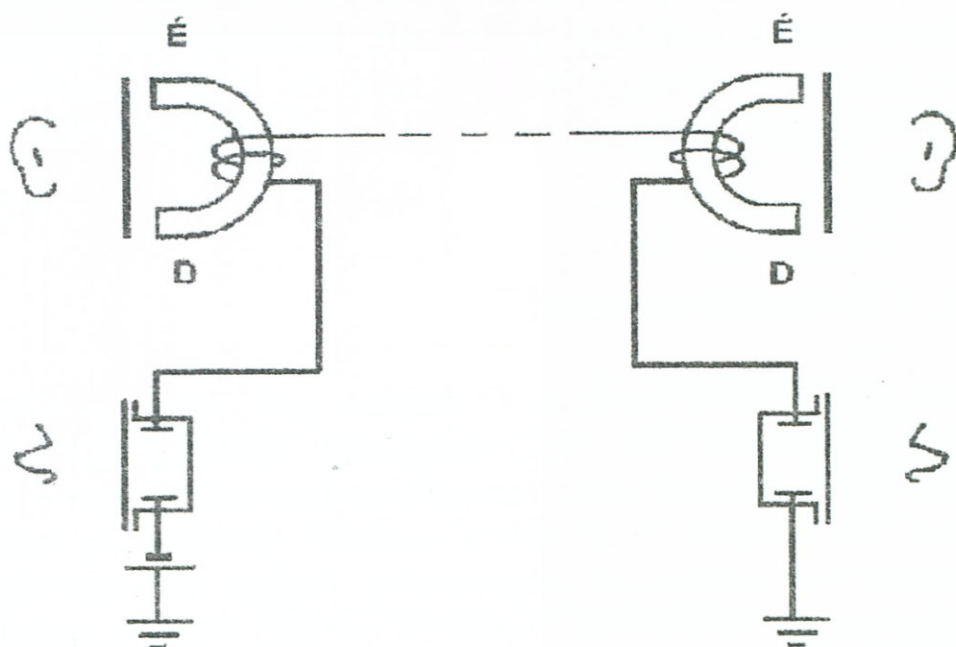
A Bell által javasolt távbeszélő áramkör igen egyszerű felépítésű volt (1.2. ábra), mindössze két elektromágneses akusztó-elektromos, illetve elektro-akusztikai átalakítót és az azokat összekapcsoló elektromos vezeték tartalmazott. Az áramkör földeléseken keresztül záródott. Az átalakítók felépítése azonos volt: permanens mágnesrúdra készített tekercselésből állottak, a mágneskörben az indukció az U-alakúra hajlított mágnes sarkai előtt rögzített acél membrán rezgésével változott és így akusztikai rezgés hatására a tekercsben feszültség indukálódott. Az ennek hatására folyó áram a másik átalakító membránját rezgésbe hozta és hangot keltett. A berendezés igen érzéketlen volt. Meg lehet kockáztatni a kijelentést: ezzel a berendezéssel nem indult volna világhódító útjára a telefon!



1.2. ábra. Bell telefonja

Az áttörést Edison 1877 évi felfedezése jelentette: Ő ugyanis megszerkesztette a *szénmikrofont*. Ez volt az elektromosságban alkalmazott első analóg *erősítő*: a membrán rezgése a beiktatott telep hatására folyó egyenáramot *vezérelte* és az így keltett váltakozó áramú teljesítmény nagyobb lehetett a membránt rezgető akusztikaihoz képest.

Az Edison szénmikrofonjával kibővített távbeszélő áramkör (1.3. ábra) tehát mindkét beszélő fél rendelkezésére egy-egy mikrofont, változatlan formában egy-egy elektromágneses hallgatót, sorosan beiktatott telepet és természetesen összekötő vezetéket tartalmazott.



1.3. ábra. Bell és Edison kombinált telefonja

Ez az elrendezés így alkalmas volt pont-pont közötti összeköttetés létesítésére.[3] Tetszőleges számú felhasználót magában foglaló távbeszélő hálózat üzemeltetése elképzelhetetlen a távírónál akkoriban már alkalmazott kapcsoló központ felhasználása nélkül. Ezt a világon elsőként az akkortájt Edison laboratóriumában dolgozó magyar származású Puskás Tivadar javasolta, amint ezt Edison később, a család kérésére, dedikált fényképén tanúsította.[4] Mindenesetre, 1878-ban Bell már képzeletben látta a központokból induló és igaz, hogy szerinte csak az országot, de mondhatjuk, hogy az egész világot behálózó vezetéseket, amelyeken bárki társaloghat bárkivel. Hogy végeredményben a telefonközpont „feltalálása” kinek az érdeme, ma már nehezen dönthető el.

A hálózat fejlődésének ismertetését megelőzően, kissé előre futva, foglalkozzunk a távbeszélő készülékkel! Az 1.3. ábra szerinti szerkezet gyorsan átalakult, tovább fejlődött és közel 100 éven keresztül lényegében változatlan felépítésben, mindaddig, amíg a hálózati csatlakozás analóg és két vezetékes maradt, jól szolgálta a felhasználókat.

A fejlődés egyes lépéseit az 1.4. ábra kapcsán vizsgáljuk meg. Mindezelőtt a mikrofonnak egyenárammal való ellátása módosult. Természetesen az 1.3. ábra szerinti aszimmetrikus megoldás nem használható, a való-



ságban minden készülékhez sorosan csatlakoztattak tápforrást és, hogy ezek egymást ne zavarják, az összekötő vezetékbe iktatott kapcsoló központban gondoskodtak az egyes áramkörök egyenáramú szétválasztásáról. Ezt a kezdeti, ún. *helyi telepes* (local battery, LB) megoldást később felváltotta a készülék egyenáramának *központi telepről* (central battery, CB) történő szolgáltatása (és ezzel egyidejűleg az előfizetői hurokban folyó egyenáramnak *jelzéseként* való felhasználása). Manapság egyre természetesebb lesz, hogy a felhasználói készülék elektromos teljesítmény igényét helyi tápforrás látja el, ugyanakkor fenntartják a központi táplálást egyrészt jelzésátvitelre, másrészt a helyi táplálás megszakadása esetén egy minimális szolgáltatás fenntarthatósága érdekében. A szemlélet az, hogy a távbeszélő *alapszolgáltatás*, amelynek az üzemét minden egyéb központi szolgáltatás megszűnése esetén is biztosítani kell.

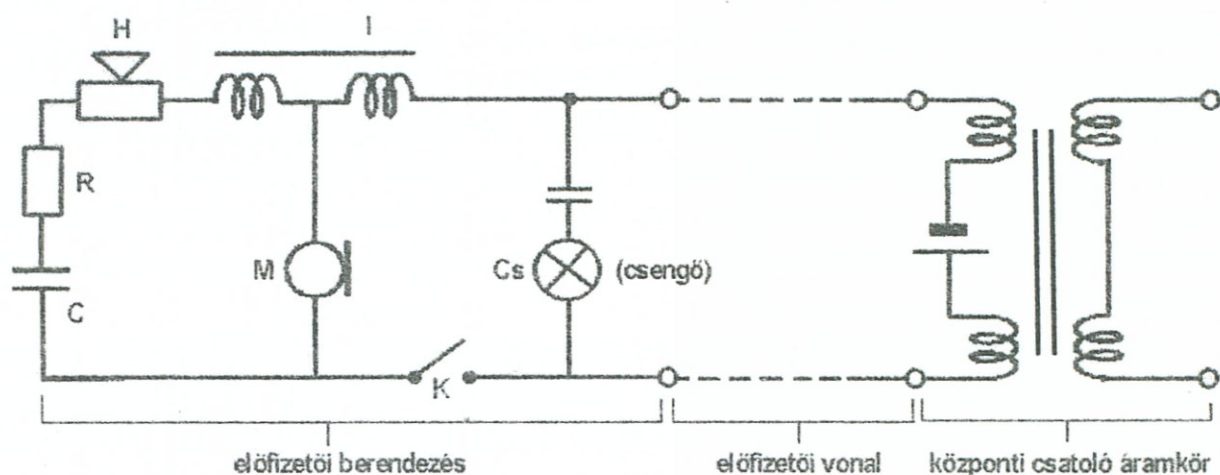
Az összekötő vezeték a föld-visszavezetési rendszerből hamar kétvezetékesé alakult. Zavaró forrásként jelentkeztek ugyanis a telefonkészülékekhez csatlakozó jelvezetékek, amelyek beszédárama a nem nulla földelési ellenállás miatt becsatlakozott a további készülékek áramkörébe. Ez *áthallást* eredményezett az egyes beszélgetések között. Amikor megjelentek a légkörben az elektromágneses zavaró jeleket keltő források, mint amilyen az energiaszétosztó elektromos hálózat és a rácsatlakozó energiaátviteli berendezések, ezek *külső zavarokat* okoztak. Biztosítani kellett az áramkörök zavartatásának és egymásra hatásának a csökkentését.

Nem tökéletes, de hatékony zavarcsökkenést eredményezett a *szimmetrikus jelvezetés* bevezetése, ami azt jelenti, hogy a beszédáramoknak mind az oda-, mind a visszavezetését a földeléstől független vezetéken végezzük és amilyen mértékben biztosítani tudjuk azt, hogy a zavaró terek mindkét vezetékekben ugyanakkora feszültséget indukáljanak, olyan mértékben lecsökken a két indukált jel különbségként értelmezhető eredő zavaró jel hatása. E célból a vezetékek két ágát egymáshoz minél közelebb kell elhelyezni és nem elég, hogy a két vezeték csak a szükségszerűen alkalmazott elektromos szigetelőanyag vékony rétege válassza el egymástól, a vezetékeket össze is kell sodorni, mégpedig olyan menetemelkedéssel, ami sokkal kisebb a zavaró terek térbeni változásához képest. Az így kialakított *szimmetrikus érpár* alkalmazása manapság kizárólagos.

A központi telepet célszerűen közös telepként alakítják ki és hogy ezt megtehessék, a kimenő vezeték a telep kapcsaihoz egy-egy induktivitás soros beiktatásával csatlakoznak, amely elegendően nagy ahhoz, hogy sőtölő hatása a beszédcsőben elhanyagolható legyen. Minden egyes távbeszélő készülék azonos jellegű tápáram ellátást kap, a beszélgetésre alkalmas összekapcsolt állapotokról az egyenáramot leválasztó, de a beszédfrekvencián elhanyagolhatóan kis impedanciát mutató soros kondenzátorok gondos-



kodnak. A központi telepet, az elválasztó induktivitásokat és a csatoló kondenzátorokat tartalmazó szerelvény együttes neve *táphíd*, amely az 1.4. ábra jobb oldali részletében látható. Megjegyzésre érdemes, hogy az itt ismertetett kondenzátoros megoldás mellett létezik transzformátoros változat is, ami hazánkban kevésbé terjedt el.



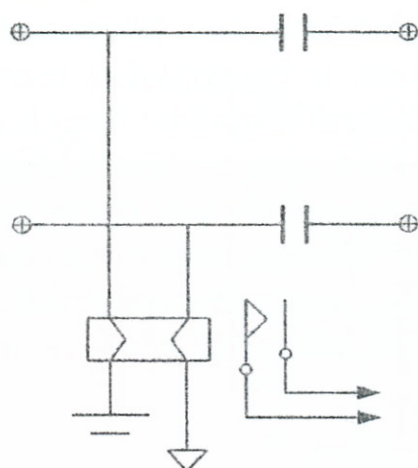
1.4. ábra. Előfizetői áramkör, amely összetevődik az előfizetői berendezésből, az előfizetői vonalból és a központi csatoló áramkörből

Az 1.4. ábra baloldali részén az 1.3. ábrán bemutatotthoz képest módosult (továbbfejlődött) távbeszélő készülék vázlatos kapcsolási rajza látható. Látható, hogy a **H** hallgató és az **M** mikrofon itt is lényegében sorba kötve kapcsolódik rá a vonalra. A **K** kapcsoló zárásakor a mikrofonon működtető egyenáram folyik, míg a hallgató mágnescörét zavaró egyenáram az **I** indukciós tekercsen folyik el, legalább is jelentős hányadában. A mikrofon váltakozó árama részben a vonal, részben pedig az **R** ellenállás felé folyik, az indukciós tekercs tehát két ellentétes gerjesztést kap. A hallgatónak az indukciós tekercs megfelelő megcsapolására való kötésével elérhető, hogy a saját készülék mikrofonjának váltakozó árama kevésbé gerjeszti a hallgatót, tehát az *önhang* lecsökken. Pontosabban, a leágazás megfelelő megválasztásával, a kívánt mértékre beállítható. Erre szükség van, mert megfigyelték, hogy a beszéd hangosságát befolyásolja az, hogy a beszélő milyen hangerővel hallja vissza a saját hangját. Ha az önhang csillapítása kicsi, a beszélő akaratlanul is csökkenti a saját hangerejét, ami ugyanakkor a túlvégen is csökkenti a közbenső csillapítások miatt amúgy is kisebb hangossági szintet. Nagy önhang-csillapítás viszont a süket vonal érzetét kelti és ez kiabálásra, indokolatlan visszakerdezésre készíti a beszélőt. Hogy a vonali egyenáram teljes egészében átfolyék a mikrofonon, beiktatják a soros **C** kondenzátort.

Az eddig vizsgált elemek a (váltakozó áramú) *jel* alakítására vannak hatással. A készülékben található még *jelzésadó* és *-vevő* alkatrészek. A



már említett kapcsoló nem áramtakarékosági célt szolgál: hogy nyugalmi állapotban ne fogyasszuk a telep áramát. Zárása jelzi egyrészt a hívó hívási szándékát, másrészt a beérkező hívás fogadásának a készségét. A központ felé folyó egyenáram tehát hívó-központ irányú jelzéseként szolgál. Mivel a kapcsoló működtetése kapcsolatban van a hallgató, illetve — kézben tartható mikrofon alkalmazása esetén — a mikrofont és a hallgatót együttesen tartalmazó kézibeszélő 'letett' (on-hook) vagy 'felvett' (off-hook) állapotával, összefoglalva mondható, hogy mindaddig folyik egyenáram, amíg a kézibeszélő felvett állapotban van. Az egyenáram jelenléte rögzíthető a központban, például a táphíd induktivitásainak jelfogókénti kialakításával, ahogy azt az 1.5. ábrán fel is rajzoltuk.



1.5. ábra. Kapacitív csatolású táphíd

E mellett az 'előre irányú' jelzés mellett szükség van 'visszirányú' jelzés adására is. Ha az állomás felé irányuló hívás érkezik, a központból értesíteni kell a hívott felet. Ez legegyszerűbben villamos csengővel (Cs) történhet, amit nagy impedanciájúra készítenek, hogy a beszédáramot elhanyagolható mértékben söntölje és egyenáramúlag leválasztják, hogy jelenléte hamis hívási szándékot ne jelezzen. Működtetése kis frekvenciás (általában 25 Hz-es, kb. 100 V amplitúdójú) váltakozó feszültséggel történik, amit a központban a táphíd egyenfeszültségével sorba kötve alkalmaznak.

#### 1.1.4. Távbeszélő hálózatok

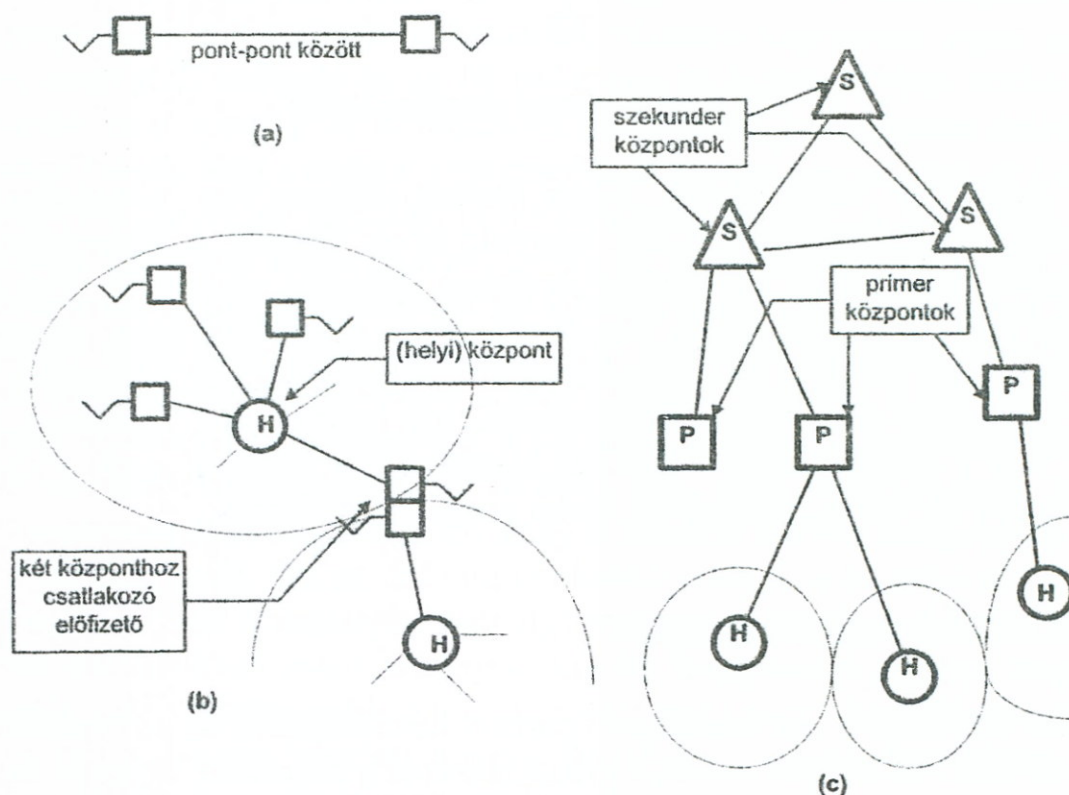
Bell telefonja a két beszélgető partner készülékéből és az összekötő vezetékből állt. *Távbeszélő hálózat* kialakulásáról a kapcsoló központ megjelenésétől kezdve beszélhetünk (1.6. ábra). A központ telepítése után jelentek a távbeszélő csatlakozást igénylők, ezek mindegyikéhez elvezettek egy-egy vezeték, felszerelték a távbeszélő készüléket, majd üzembe helye-





zés után előfizetési díjat szedtek. Így alakult ki a szóhasználat: a távbeszélő felhasználója az *előfizető*. Az elnevezés ma is él, legalábbis a távbeszélő fogalomkörében. Az egyéb távközlési szolgáltatások résztvevőit nevezik angol szóval *usernek*, amit magyarra használónak, de inkább *felhasználónak* fordítunk.

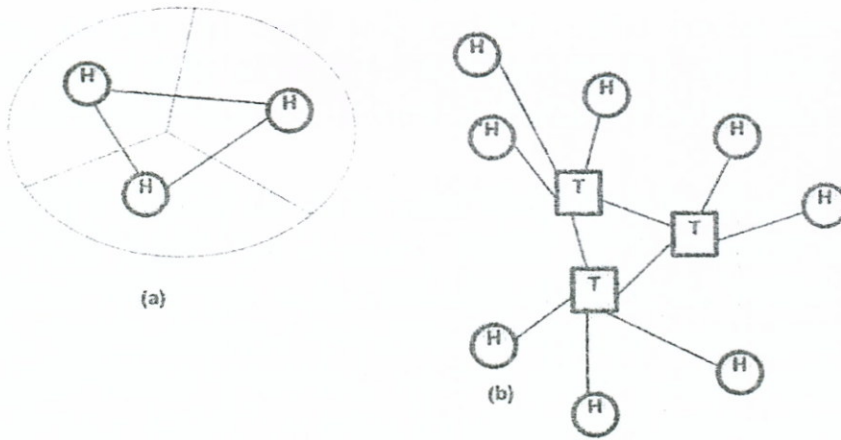
Kezdetben csak magukban álló, önállóan forgalmazó telefonközpontok léteztek, a hozzájuk csatlakozó előfizetőkkel. Ha valaki kapcsolatot akart teremteni a saját központba be nem kötött előfizetővel, belépett a másik központ előfizetői táborába is, telephelyén telepített egy további készüléket és a probléma meg volt oldva, legalábbis pillanatnyilag. Miután az előfizetői érparat csak az előfizető használja, az az idő jelentős részében amúgy is kihasználatlan. Célszerűnek látszott tehát minden előfizetőt egyetlen vezeték-párral a központhoz csatlakoztatni, és a központok közötti ún. kimenő forgalom lebonyolítására olyan, a központokat összekötő vezetékeket alkalmazni, amelyekben több előfizető forgalmát lehet koncentráltan lebonyolítani. Mivel ezeket egy-egy előfizető csak az összeköttetés fennállásának az idejére veszi igénybe, egyébként pedig további összeköttetések létesítésére állnak a rendelkezésre, a kiépítés költsége megoszlik, és mód nyílik drágább, viszonylag kisebb csillapítású – nagyobb átmérőjű – vezeték felhasználására. Így nagyobb távolságra lévő előfizetők között is jobb minőségű összeköttetést lehet létesíteni.



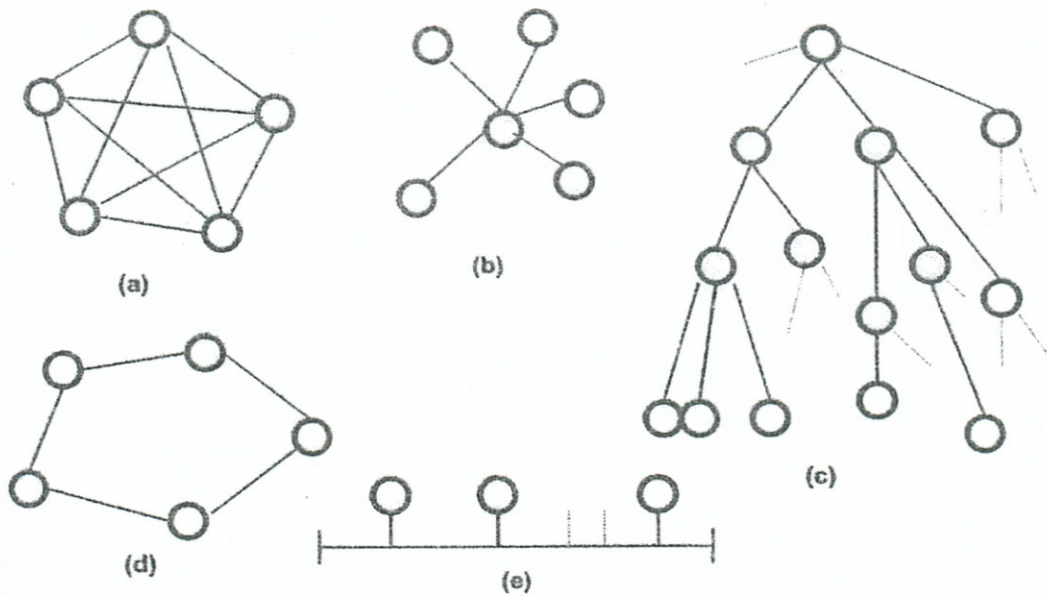
1.6. ábra. A távbeszélő hálózat kialakulása: (a) Pont-pont közötti összeköttetés. (b) Egy-központos hálózatok. (c) Több központos hálózat tranzit (P, S) és helyi (H) központokkal



A központokat összekötő és koncentrált forgalmat lebonyolító vezetéseket *trönknek* (angolul: trunk) nevezték és felhasználásukkal épültek ki a nagy városok központjai közötti összekötő hálózatok, majd igen röviddel a távbeszélő felfedezése után a városok közötti (interurbán) összeköttetések (1882-ben épült az első az Egyesült Királyságban, 1889-ben Magyarországon). A nemzetközi összeköttetésekhez kiépített nagy átmérőjű vezetékek olyan távolságok áthidalására, mint például Budapest és Bécs megfelelően kis csillapítást biztosítottak, de a földrészeket is magukban foglaló összeköttetésekhez létesített – jórészt tenger, óceán alatti – vezetékek, pontosabban kábelek már szükségszerűen elektronikai erősítőket tartalmaztak. A hálózat ilyen méretű fejlődése nem is volt lehetséges az erősítők megjelenése előtt.



1.7. ábra. Többközpontú hálózatok fejlődése:  
(a) Egy síkú hálózat. (b) Két hierarchia síkú hálózat



1.8. ábra. Hálózat-típusok:  
(a) Szövevényes (teljes). (b) Csillag. (c) Fa. (d) Gyűrűs. (e) Busz (sín)



A központokat összekötő trónkok hálózata, akárcsak az előfizetői vezetéké, először *egysíkú* volt: minden központot vezeték kötötte össze valamennyi továbbival (1.7.a. ábra). A hálózat fejlődésével kialakultak olyan központok, amelyekhez előfizetők közvetlenül nem csatlakoztak, hanem csak több központ más központokba irányuló és azoktól trónkokon érkező koncentrált forgalmát kapcsolták. Ezeket *tranzit* központnak (T) nevezték el (1.7.b. ábra), megkülönböztetésül az előfizetőkhez közvetlenül csatlakozó *helyi* központoktól (H). Több, területileg közel lévő helyi központ kimenő forgalmát gyűjtötték össze egy *primer* tranzit központban, több primer központét egy-egy szekunder központban és így tovább... Az így létrejött, *több hierarchia síkú* hálózat az ún. *fa* (más elnevezés szerint *többszörös csillag*) struktúrát mutatta (1.8.c. ábra). Egy-egy ország hálózatának felső hierarchia síkját képező tranzit központok mindegyikét mindegyikkel összekötve pedig *szövevényes* (más néven *teljes*) hálózat jött létre. Így elérték azt, hogy egy ország legtávolabbi két helyi központja egymással nem több, mint  $(2s - 1)$  trónkkal összekapcsolható, ahol  $s$  a tranzit hálózat hierarchia síkjainak a száma.

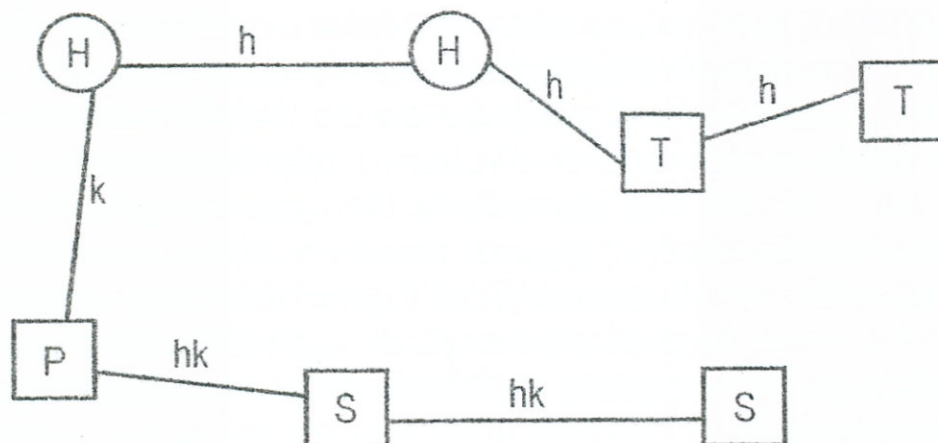
Az országos távhívó hálózattól kissé eltérően alakult a nagyobb helységek távbeszélő hálózata (1.7. ábra). Amennyiben több helyi központhoz csatlakozó előfizetői csoportokat szándékoznak egy helyi hálózatba összefogni, úgy a központok között szövevényes trónkhálózatot alakítanak ki. Ezeken a trónkokon bonyolódik a helyi hálózaton belüli forgalom, míg a körzetet elhagyó távolsági (úgynevezett *helyközi*, illetve *nemzetközi*) forgalmat továbbra is a helyi központokat a tranzit központtal összekötő trónkok felé irányítják.

A többközpontos helyi hálózat központokat összekötő szövevényes hálózata  $n(n-1)/2$  irányt tartalmaz, (ahol  $n$  a központok száma) és ez a négyzetes jellegű összefüggés igen bonyolult hálózatot eredményez, ha a központok száma nő. A trónkok számának a csökkentésére itt is alkalmazhatnak előfizetőkhez közvetlenül nem csatlakozó, de több központnak a kimenő (de a helyi hálózaton belül maradó) forgalmának az összefogására tranzitáló jellegű központokat, amelyet itt *tandem* központnak neveznek. Egy-egy nagyobb helyi hálózatban, ha egyáltalán van, egynél több tandem központ található, amelyek egymás között szövevényes hálózattal vannak összekötve. A helyi központok mindegyike legalább egy (néha több) tandem központhoz csatlakozik, amelyek közvetítésével a körzet belső, ún. helyi forgalma bonyolódik. A tandem központok ritkán (általában nem) bonyolítanak a körzetből kimenő távolsági vagy nemzetközi forgalmat.

A szóhasználatot illetően (1.9. ábra): az általunk eddig trónknek nevezett átviteli út törvényes elnevezése: *áramkör*. Ezen belül azokat, amelyek a helyi hálózatokban foglalnak helyet, *helyi* (h) áramköröknek, a tranzit köz-



pontokat összekötőket *körzeti* (k) áramköröknek nevezzük. A helyi központokat a helyközi hálózattal pedig a *helyközi* (hk) áramkörök kötik össze.[5]



1.9. ábra. A különböző típusú távbeszélő központokat összekötő áramkörök elnevezései:  
h=helyi áramkör, k=körzeti áramkör, hk=helyközi áramkör

A nemzetközi összeköttetések általában a belföldi forgalomtól elválasztott áramkörökön épülnek fel. Az országok általában egy-egy nemzetközi *kilépő ponttal* rendelkeznek, ami helyileg a legfelső tranzit sík valamely központjával azonos hierarchia-szintű központ. Az országokat összekötő hálózatot, a belföldihez hasonlóan, szintén több hierarchia síkkal tervezték, de tényadat, hogy a legtöbb ország távközlési igazgatása igyekszik minden továbbival (legalábbis amelyek felé nem elhanyagolható a forgalom) közvetlen összeköttetést kiépíteni.

Az eddigiekben megismert szövevényes, csillag és fa felépítésű hálózatokon kívül (1.8. ábra) használatosak még a *gyűrű* és a *busz* struktúrájú hálózatok, amelyek először a számítógép hálózatokban jelentek meg, de fokozatosan általános alkalmazásra kerültek és tulajdonságaikkal majd a későbbiekben ismerkedünk meg.

### 1.1.5. A számítógép, mint végberendezés

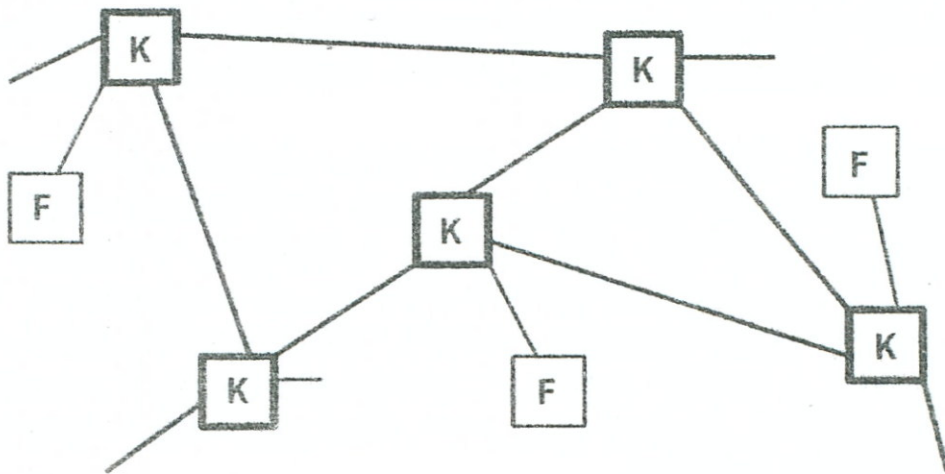
A hálózatra csatlakoztatott távbeszélő készülék nem alkalmas a társalgáson kívül egyéb szolgáltatások kialakítására.

A szóbani kapcsolat megvalósításán túlmenően jelentkező igény az *írásos dokumentumok*, majd általánosságban *képek* és *videó anyag* átvitelének megvalósítása. Amikorra ez az igény felmerült, már nagyjából kialakult a jelek *digitalizálásának* a technológiája, ami a hálózat felé a feladatot úgy vetette fel, hogy meg kell valósítani – a beszéd eddig kizárólagosan analóg jelként való átvitele mellett – az *adatátvitelt*. Az analóg átviteli hálózatot



adatátvitelre a digitális modulációt és demodulációt megvalósító, összefoglaló néven *modem*nek nevezett csatoló berendezésekkel lehet felhasználni. Ezek felhasználói oldalára tetszőleges adatforrás csatlakozhat, egyszerű mérésadatgyűjtő és monitorozó rendszertől kezdve – például az idővel széles körben elterjedt iratmásoló szolgáltatást megvalósító *faxig*.

A személyi számítógép megjelenése azután forradalmasította a helyzetet. Nagyon hamar nyilvánvalóvá vált, hogy a gép önmagában – bár széles, de mégis csak – zárt körben használható. Az igazi szolgáltatás-bővülést a *hálózatba kötött számítógép* tudja megvalósítani. Ilyen szemlélettel a számítógép univerzális vizuális terminálként fogható fel, amely alapkiépítésben egyszerű írók-olvasók kapcsolatot teremt, de egyszerűen alkalmassá tehető kép, mozgókép és természetesen beszéd átvitelére akár csak egyirányban, akár kétirányban is.



1.10. ábra. Egy hierarchiasikú, tetszőleges méretű hálózat

A számítógépek összekötésére szolgáló hálózat-típusok már részben az 1.8. ábrán is szerepelnek. Kiszámú gép összekapcsolására a gyűrű és a sín használható. Nagyobb, esetleg világméretű hálózat kialakításához ezek önmagukban nem elegendők. Ha nem szándékoznak hierarchikus központrendszert kiépíteni, esetleg központokat egyáltalán nem is alkalmaznának, a gyűrűre vagy sínre fűzött számítógép csoportba egy-egy *router*nek, útválasztónak kialakított további gépet beiktatva, az azokat összekötő áramkörökön oldható meg az egymás közötti forgalmazás. Az így létrejött (1.10. ábra) hálózat *teljesnek* tekinthető bár nem szövevényes, inkább *hálós*. (Az ábrán vastag keretű négyzet a kapcsolókat, a vékony a felhasználókat jelöli.) Jellemzője, hogy megfelelő irányítási szabályok betartásával bármely eleme, általában több lehetséges útvonalon is, összekapcsolható.





### 1.1.6. Számítógép hálózatok

Számítógépek egymás közötti forgalma során *adatok* átvitelére kerül sor. Ez sem időben folyamatosan fennálló, sem egyidejűleg kétirányú forgalmazást biztosító összeköttetést nem igényel hívó és hívott – az itt szokásos szóhasználatnál inkább információ forrás és nyelő – között. A gépek jellegzetesen *üzeneteket* váltanak, amihez a táviratozáshoz kifejlesztetthez hasonló, üzenetkapcsolt összekötő hálózatra van szükség.

A gépek közötti kapcsolat sem társalgás jellegű. Inkább adatok meghatározott mennyiségét tartalmazó csomagok kerülnek átvitelre. Ezeket – a telegram szó mintájára képzett – *datagram*nak nevezik.

A számítógépeket összekötő hálózat közönségesen kapcsoló központot nem tartalmaz, sokkal inkább egy olyan egyszerű vezetékre hasonlít, amelyre a gépek sorban egymás után fel vannak fűzve. Vagyis, függetlenül attól, hogy melyikük az éppen aktuális forrás vagy nyelő, üzeneteik a csoport valamennyi gépén áthaladnak. Az egyértelmű címezhetőség érdekében tehát minden üzenet két teljes címet: mind a forrásét, mind a nyelőjét tartalmazza. Valamennyi gép veszi a hálózaton terjedő valamennyi üzenetet, de csak azokat dolgozza fel, amelyek neki szólnak. Módjában áll a feldolgozott üzenetek megválaszolására is, hiszen az a forrás címét is tartalmazta.

Mivel egyetlen összekötő áramkör szolgál a gépcsoport teljes forgalmi igényének a kiszolgálására, az időegység alatt átvihető adatmennyiség általában nagyobb, mint aminek feldolgozására bármelyik gép is alkalmas lenne. Így az egy-egy gépnek szóló üzenetek általában rövidek. Nagy adatsomagok átvitelénél viszont még így is előfordulhatna, hogy valamely datagram olyan hosszú időre veszi igénybe a teljes átviteli kapacitást, hogy a többinek halaszthatatlan üzenetei késlekedést szenvednek. Célszerűnek látszott tehát az egy egységben továbbítható üzenetek hosszát maximálni. Egy ilyen rész-üzenetet *csomagnak* neveztek el és az átviteli kapacitást jól kihasználó továbbításukra kidolgozták a *csomagkapcsolt* átvitelt, majd – általános adatátviteli alkalmazási profil kialakítása után – a csomagkapcsolt adatátviteli hálózatot, amely az akkor még alapvetően analóg felépítésű távbeszélő hálózat mellett, abból kinőve – bár alapáramköreinek a felhasználásával – az itt megkívánt nagyobb megbízhatóság mellett valósított meg nyilvános adatátviteli szolgáltatást.

### 1.1.7. Általános adatátviteli hálózatok

A nyilvános távközlő hálózatok iránti átviteli igény egyre inkább a számítógép hálózatok felé tolódik el, akár az adatátvitel mennyiségi felfejlődését tekintjük, akár az eddigiekben analóg átviteli utakon továbbított hang-



és képanyagok ma már egyre inkább digitalizált formában való megjelenését is tekintjük. Az áramkörkapcsolás jellegű, kétirányú, mindkét irányban azonos kapacitású csatorna egyidejű fenntartását az információt lekérő jellegű új előfizetői alkalmazások amúgy sem igénylik. Természetes folyamat, hogy a számítástechnikai és a távközlési szolgáltatások konvergálnak és ezt követik a hálózatok is. A jövő – esetleg egységes – hálózata olyan adatátviteli hálózatként jelenik meg, amely rugalmasan tudja a felhasználók mindenkori átviteli igényét kielégíteni, jó hatáskokkal szolgálja ki az egymástól eltérő jellegű követelményeket, olcsó és megbízható szolgáltatást nyújt, széleskörű társadalmi elvárások mellett.



## 1.2. A törvényi szabályozás kérdései

### 1.2.1. Jog a távközlésre

A törvényi szabályozás kérdése – jogi értelmezésben – már a kezdetekkor felmerült. A táviratozás joga, a műszaki lehetőség feltalálását, majd a szolgáltatás bevezetését követően rövid idő alatt állami monopólium lett, ami nem azt jelenti, hogy csak állami szervek táviratozhattak, hanem inkább, hogy a kizárólagos jogot kiválasztott koncessziós társaságnak adták át, amely azután a tevékenységet megszervezte.

Érdekesen alakult a helyzet a távbeszélő feltalálását követően. A távíró vonalai műszakilag megfeleltek volna a távbeszélő követelményeknek, de 'ilyen haszontalan célra' a felhasználást nem engedélyezték. Néhány év leforgása alatt a távbeszélő persze ugyanolyan jogi helyzetbe került, mint a távíró.

Az elmúlt évtizedekben elkezdődött a távközlési jog liberalizálása, a különböző országokban eltérő időpontban és mértékben és a mai irányzat a mind szélesebb körű szolgáltatói piac kialakítása, az új alkalmazások minél gyorsabb és általánosabb elterjesztése érdekében.

### 1.2.2. A műszaki jellemzők meghatározása

A szolgáltatás műszaki jellemzőit illetően, abba a felhasználón és a szolgáltatón kívül, elvileg, másnak beleszólása nem lehet. Mindaddig, amíg hálózatuk önmagában üzemel, nem kerül kapcsolatba továbbiakkal. A távközlési szolgáltatások esetén azonban nem ez a jellemző: itt mindig az a cél, hogy a kölcsönös elérhetőség minél szélesebb körben meglegyen. Éppen ez az, ami a hálózat értékét alapvetően meghatározza.



A távközlő rendszerek műszaki jellemzőinek nemzetközi összehangolására már a fejlődés korai fázisában létrehoztak szervezetet. A távközlésre (kezdetben a távírásra, majd a távbeszélőre és az egyéb szolgáltatásokra) kiterjedő hatáskörrel szabványok és ajánlások meghatározására már 1865-ben megalakult az ITU (a rövidítés eredete az International Telegraph Union elnevezésre vezethető vissza, a T betű jelentése később Telecommunications-ra módosult). Tevékenységi protokollja értelmében – elsősorban műszaki – ajánlásokat dolgoz ki, amelyek a nemzetközi összeköttetések milyenségére, illetve minőségére vonatkozó előírásokat tartalmaznak. Ezek úgy válnak nemzeti érvényességi körű szabványokká, hogy azokat a nemzeti Igazgatóságok vezetői elfogadják és területükön kötelező érvénnyel bevezetik. Részből elválasztott tevékenységi körrel az ITU-T (1995-ig CCITT) a távközlési, az ITU-R (CCIR) pedig a rádiós kérdésekkel foglalkozik. Képviselői és szakemberei a nemzeti Igazgatóságokból kerülnek ki.

Az utóbbi évtizedekben egyes új alkalmazások gyorsabb szabványosítási kérdéseinek kidolgozására – részben öntevékeny alapon szerveződő – Fórumok jönnek létre, amelyekben erőteljesen az elterjesztésben és az alkalmazásbavételben érdekelt képviselői vesznek részt. Ilyen szervezésben fejlesztik többek között a számítógépes hálózatokat, a digitalizált kép és videó adattömörítési módszereit, vagy a nagysebességű adatátviteli módszerre fejlődő cellakapcsolású átviteli rendszert.

A távközlést érintő szabványokat készít többek között az ISO (International Standardisation Union), az IEC (International Electrotechnical Committee). A szabványosításban területileg érdekelték közül megemlíthetjük az ETSI-t (European Telecommunications Institute), Amerikára kiterjedő hatáskörrel az ANSI-t (American National Standards Institute) és az IEEE-t (Institute of Electrical and Electronic Engineers), továbbá a francia (AFNOR), a brit (BSI) és a német (DIN), valamint az MSzSz-t (Magyar Szabványügyi Szervezet) szabványosítási szervezetet.

Amióta a szolgáltatás műszaki-szervezési kérdéseinek a kidolgozása nemcsak a távközlési Igazgatóságok tevékenységeként történik, hanem öntevékeny szerveződés is a fejlesztés forrásává válik, megoldások bekerülhetnek a gyakorlatba anélkül, hogy azok *de jure* szabvánnyá válnának. A *de facto* alkalmazási szabványok ideiglenesen funkcionálhatnak, sikerrel fejlődhetnek és esetleg elhalhatnak. Sikeres továbbélés esetén viszont előbb-utóbb *de jure* is elismerést nyerhetnek.



## 1.3. Szolgálatok, szolgáltatások, protokollok



### 1.3.1. Szolgálat és szolgáltatás

Az elektromos távközlés megjelenésével először a távírásra alkalmas szolgálat alakult ki: a távoli pontokat összekötő vezeték, továbbá az áramforrás, a szaggató és a jelfogó felhasználásával a betűknek megfelelő jeleket át lehetett vinni. A pont-pont közötti összeköttetés továbbfejlesztésével pedig kialakult a távíró felhasználói végpont és az üzenetek irányítását végző központ fogalma, vagyis a távíró *szolgálat*. Ennek felhasználásával pedig széles körben hozzáférhetővé vált az írásos üzenetek továbbítását végző távíró *szolgáltatás*. A táviratozás *protokollja* igen egyszerűen épült fel: a továbbítandó üzenettel rendelkező feladó ezt eljuttatta a szolgálati végpontra és megjelölte a címzettet. A szolgálat kezelője ezután gondoskodott arról, hogy a hálózati lehetőségek keretén belül a lehető legrövidebb időn belül az üzenet a címzethez legközelebbi végponthoz eljusson, ahonnan azután közvetítő személy révén a címzett az üzenet birtokába jutott.

A távírószolgálat a következőkben továbbfejlődött. Egyrészt létrejött a kapcsolt távbeszélő hálózat, amelynél elég nehéz a szolgálat és szolgáltatás fogalmakat szétválasztani. Valójában a távbeszélő az szolgálat és a beszélgető személyek teszik szolgáltatássá a létrehozott összeköttetésen folytatott társalgást tartalommal feltöltve. Másrészt kialakult a távgépíró (telex, *teleprinter exchange*) hálózat, a távírótól persze szintén eltérő szolgáltatási jelleggel. És ezzel párhuzamosan, fokozatosan elsorvadt a távíró, legalábbis, mint szolgálat. De szolgáltatásként él, bár az üzenetek hálózati továbbítása telex, majd távbeszélő összeköttetések felhasználásával történik, olyan mértékben, ahogy ezek rendelkezésre állnak.

Míg a távíró esetében a szolgáltatás-szintű protokoll a meghatározó, a távbeszélőnél a szolgálat protokollja válik számunkra az elkövetkezőkben fontossá. Az a folyamat, ahogy a távbeszélő összeköttetés felépül, felügyelik, bontódik és bizonylatolódik, a távközlő hálózatok vizsgálatánál központi rendező elvként jelenik meg. Valójában ez így is van: az áramköri kapcsolat teljességének (felépülésének, felügyeletének, bontásának és bizonylatolásának) a kérdése a hálózati fogalomkörbe tartozik, míg az annak felhasználásával, igénybevételével kialakított alkalmazás ezen túlvezet. A hálózatok szolgálat jellegű protokolláris kérdéseivel részleteiben foglalkozni kell, míg a szolgáltatások széles és egyre szélesedő körével a felhasználói szakterületek foglalkoznak, és erre csak oly mértékben fogunk kitérni, amennyire azok magában a hálózatban alkalmazásra kerülnek.



### 1.3.2. Nyílt rendszerek összekapcsolása

A távíró, majd a már említett telex, továbbá a távbeszélő hálózat többé-kevésbé világszerte egységesen fejlődött ki és összekapcsolásuk – legalábbis önmagukon belül – nem jelentett nehézséget. Nem így van ez az adathálózatokkal. Ezek számítógépek csoportjai között épültek fel és alapvetően eltérő belső szerveződést mutathatnak. Ugyanakkor felmerül a *nyílt hálózatok összekapcsolásának* (open systems interconnection, OSI) az igénye, ami nehézkessé válik, ha azok protokolljai egymástól eltérőek. Pontosabban: az összekapcsolás kizárólag azon a *szinten* történhetik, ahol egyezés van.

Az egységes hálózatok kialakíthatóságát és az eltérőek összekapcsolását elősegítendő az ISO létrehozott [6] egy hétszintű modellt, amely egyrészt *szintekre* vagy *rétegekre* (levels or layers) tagolva megadja egy tetszőleges, de alapvetően adatátvitelre alapozott alkalmazás kialakításának a lépéseit és – amennyiben ezeket betartva alakítják ki az alkalmazást – megteremti a különböző szinteken történő összekapcsolhatóság feltételeit, az alkalmazott, esetleg eltérő felépítésű berendezésektől függetlenül.

A modell elve (1.10. ábra) nagyon egyszerű. A hét réteg egymásra épül: valamennyi réteg felhasználja az alatta elhelyezkedők szolgálatait, illetve azokat nyújtja a felette lévő számára. Minden réteg specifikációja független, de kapcsolódást ('interfészt') biztosít az alatta és felette lévő között. Így tehát összeköttetés jön létre minden szinten a résztvevők között (amit az 1.11. ábrán a szaggatott vonalak ábrázolnak), de tényleges adatátvitel csak a legalsó rétegben történik, tényleges összeköttetés csak itt van. Bármely rétegek közötti kapcsolatfelvétel esetén tehát valamennyi alsóbb réteg, beleértve a fizikai összeköttetés képességei felhasználásra kerülnek.



1.11. ábra. Nyílt rendszerek összekapcsolásának a modellje

Az OSI felépítése a következő:

1. *A fizikai réteg* Definiálja a (meglévő) fizikai összeköttetésen átvihető jelek fizikai paramétereit: a *vonali kódot*, az *átviteli sebességet*, jelek



(feszültség) *szintjét* és egyéb paramétereket, amelyek biztosítják a bitfolyam átvitelét. Ezen a szinten nem fordítanak figyelmet a bitek egyedi jelentésére, kizárólagos feladat a bitfolyam megfelelő átvitele a rendelkezésre álló fizikai közegen.

2. *Az adatkapcsolati réteg* Gondoskodik az adatjelek megbízható átviteléről, az eredeti és az átvitt bitek azonosságának a biztosításáról. Tehát lehetőséget ad az átviteli *hibák észlelésére*, esetleg *javítására*. A bit/bit megfeleltethetőség megkívánja a bitfolyam *szinkronizálását*, de alapvető követelmény az *átláthatóság* (transparency) fenntartása, azaz a magasabb szintekről érkező bitfolyam torzítatlan átvitele.

3. *A hálózati réteg* Gondoskodik a kívánt pontok közötti *összeköttetés* hibátlan meglétéről. Mivel az összeköttetés nem mindig fizikai, gyakran csak logikai, vagyis nem szükségszerű, hogy az üzenet részei ugyanazon a fizikai úton továbbítódjanak, szükség van *címekre* az üzenet továbbíthatóságát biztosítandó. *Vezérlő* és *nyugtázó* üzenetek pedig azt biztosítják, hogy az adatátvitel a hálózati végződések között megfelelő.

4. *Szállítási réteg* Figyelembe veszi a *végberendezések* milyenségét és az ezekhez illeszkedő átviteli szolgálatot alakít ki. Megfelelő *adatátviteli sebességű* és végződéstől-végződésig terjedő *hibaellenőrzést* biztosító összeköttetést alakít ki közöttük, hogy mentesítse a felhasználót ezen részletek felügyeletétől. Nagyon leegyszerűsítve a szállítási réteg úgy működik, hogy az átviteli minőséget jelző paramétereknek megfelelően kiértékeli a hálózati réteg általi összeköttetést. Ha ez nem megfelelő minőségű, hibás vagy megszakad, akkor új utat létesít és az adatkapcsolatot ezen bonyolítja, hogy a magasabb rétegek ezt ne is észleljék.

5. *Viszonyréteg* Magyar elnevezésétől kissé eltérően (az angol session megfelelője inkább az *összejövétel* lenne) foglalkozik a hálózattól független kapcsolat felépítéséről, fenntartásáról és bontásáról a végberendezések között. Hatóköre feladatorientált. Alapvetően *'jelzést ad'* (signs on) a számítógépnek a kívánt művelet elvégzésére és *'kiléptet'* (signs off) a feladat befejeztével. Lényeges szolgáltatása, továbbá, a két felhasználó közötti *párbeszéd* (dialóg) szervezése, létrehozva az adatáramlást. Ellenőrzi még, többek között, azt, hogy a két oldal ne kezdeményezze egy időben ugyanazt a műveletet, gondoskodik nagy adatfájlok továbbításánál közbenső megszakadás esetén az újra indítás pontjának a megtalálásáról és *menedzseli a tevékenységet*, hogy összetartozó műveletek mindegyike végrehajtsódjék.

6. *Megjelenítési réteg* Elvégzi az adatformátumok közötti kódolást, hogy a különböző ábrázolást alkalmazó gépek kommunikálni tudjanak egy-



mással. Tehát megoldja, hogy a vonalon továbbított bitfolyamtól függetlenül ugyanaz a tartalom jelenjék meg az összeköttetés mindkét végén. Feladata még az *adattömörítés* és a titkosítást lehetővé tevő *kriptográfia*.

7. *Alkalmazási réteg* Definiálja az elvégzendő feladat természetét, mibenlétét. A felhasználót ellátja az alkalmazáshoz szükséges programokkal.

Az utóbbi három ún. felsőbb szint vagy réteg elsődlegesen a végberendezés szoftver szervezéséhez csatlakozik, ami alapvetően *nem* a távközlési mérnök feladata. A szállítási réteg az, amely összekapcsolja a távközlési *tevékenységet* az alkalmazást meghatározó protokollokkal. Ez persze nem azt jelenti, hogy a távközlés kiépítése során ne lenne szükségünk olyan feladatok elvégzésére, hálózati struktúrák kialakítására, amelyeket az alkalmazás határoz meg és ne kellene a magasabb réteg tevékenységeket is ellátni. Ilyen például a távbeszélés, amikor csak az első három, ún. alsóbb réteg megszervezésével épül fel az összeköttetés és a felsőbb rétegek protokollja a társalgás során *ad hoc* jelleggel alakul ki.

Ha a távbeszélőhöz kapcsolódóan, nagyon leegyszerűsítve érzékeltetni akarjuk az alkalmazás-specifikus felsőbb szintek funkcióit, induljunk ki egy egyszerű alkalmazási példából.[7] Tegyük fel, hogy a főnök moziba akar menni (7. réteg). Ehhez mozijegyre van szükség, aminek a beszerzésére megkéri a titkárnőjét (6. réteg), aki ezt telefonon intézi el: a pénztárossal megbeszéli a részleteket (5. réteg). A beszélgetés létrejöttéhez meg kell keresni a telefonkönyvben a számot, és le kell bonyolítani a hívást (4. réteg). A többi már a hálózati szolgáltató feladata, aki a három alsó réteg funkcióit nyújtja a távbeszélő hálózat formájában.

### 1.3.3. Adatátviteli rendszerek felépítése

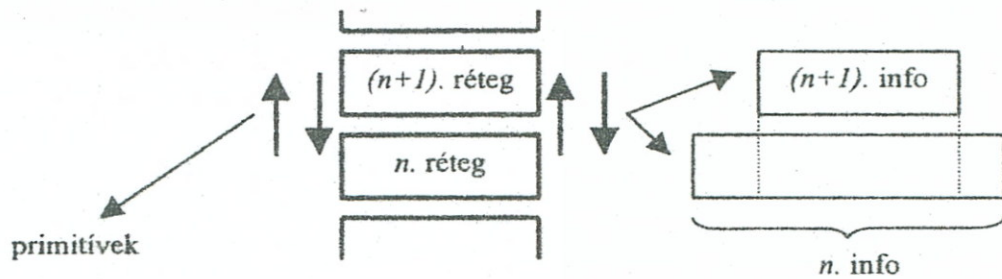
Az előző pontban ismertetett rétegszerkezeti elrendezés képezi valamennyi adatátviteli alkalmazás gerincét. A konkrét alkalmazástól függetlenül, általánosságban onnan lehet kiindulni, hogy a rendszer végpontjait képező felhasználók, az alkalmazástól függő tartalommal és jelentéssel, de egyértelműen *üzeneteket* váltanak egymással. Egy-egy üzenetet mindig egy bizonyos átvendő adatmennyiség prezentál. (Bár nem szabatos, de gyakran átvendő *információt* mondunk adat helyett.)

Az alkalmazási szinten létrejött adatmennyiség formai átalakítása legfeljebb a megjelenítési réteg szintjén képzelhető el, a többi réteg feladata egyértelműen az informatív adatmennyiség – változatlan formában történő – átvitele.



Az átviteli hálózat 'alulról' építkezik. Mindenekelőtt átviteli közeget kell választani, kiépíteni. Az ezen történő, fizikai értelemben vett, jelátvitel, a jelátvitel megfelelő minőségének a biztosítása, valamint a megcélzott felhasználó irányába történő 'terelése', átkapcsolása képezi az első három réteg feladatát. A további rétegek, mint már említettük, alkalmazás-specifikusak. Ezen belül a szállítási- és a viszonyréteg – magasabb szinten – mintegy megismétli a 2. és a 3. réteg funkcióját. A szállítási réteg feladata az informatív adatsomagoknak a célba juttatása. Nem konkrét, sokkal inkább általános értelemben. Vagyis átviteli mód, átviteli rendszer választást végez. A viszonyréteg pedig 'beszélgetést' alakít ki a felhasználók között.

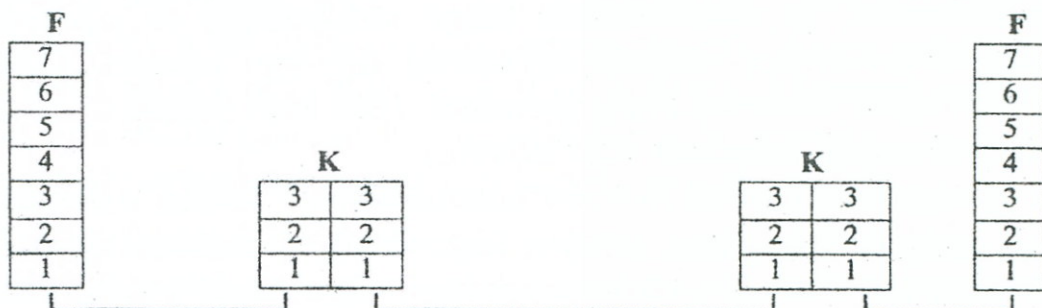
Ha olyan hálózatot alakítanak ki, amelyik sok, szolgáltatásaiban közös vonást képviselő alkalmazáshoz előnyösen alkalmazható, érdemesnek látszik a szállítási funkciókat is egységesen megvalósítani. Ilyen a későbbiekben részletesen tárgyalt 'világháló', az Internet.



1.12. ábra. Kapcsolat az OSI-rétegek között

Általában minden réteg szolgáltatást nyújt a következő magasabb réteg számára. Az onnan érkező informatív adatsomagot átveszi és további adatokkal kiegészítve átadja az alatta lévő réteg felé (1.12. ábra). Ezek a kiegészítő információk megjelenhetnek egy kibővített fejrész formájában, de lehet, hogy az azonos szintek között átvitt üzenetek mintegy 'magukban foglalják' a felsőbb szintről érkező információt.

A rétegek között az átadott informatív adatok mellett az átvitt vezérlő (engedélyező, nyugtázó stb.) állapotjelzők, az ún. *primitívek* létesítenek kapcsolatot. Ezek átadása/átvétele az informatív jelfolyamtól függetlenül történik.



1.13. ábra. Kapcsolt átviteli hálózat rétegdiagramja



A tényleges átvitelt biztosító hálózat, általánosságban, átviteli utakból és kapcsolást végző berendezésekből épül fel (1.13. ábra). Az alkalmazás-szintű kapcsolat a végpontokat képező felhasználók között jön létre. Az átvitelt az alsó rétegek valósítják meg és ezek az átkapcsolás során átértelmezhetők, illetve átértelmezendők. A kapcsolási pontokon azonban a 'lebontás' a hálózati réteg szintjéig történik meg, a magasabb szintek tartalma változatlan formában átvitelre kerül.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] lásd dr. Bartolits István: A hírközlés története c. sorozatát a MODEM IDŐK II. évfolyam 2-3. számtól kezdődően, ezen belül különösen: A villamos távíró megjelenése. MODEM IDŐK II. 5. 9. (1996 május), valamint: A morzetávíró megjelenése. MODEM IDŐK II. 6. 10. (1996 június)
- [2] Flood, J. E.: Telecommunications Switching, Traffic and Networks. Prentice Hall. London. 1995
- [3] Richards, D. L.: Telecommunication by speech. The Transmission Performance of Telephone Networks. Butterworths. London. 1973.
- [4] T. A. Edison által dedikált fénykép a Postamúzeum gyűjteményében.
- [5] A közlekedési, hírközlési és vízügyi miniszter 26/1993. (IX. 9.) KHVM rendelete a közcélú távbeszélő-hálózat struktúratervéről. Magyar Közlöny. 1992/127. szám.
- [6] Information Processing Systems: Open systems interconnection basic reference model. Specification ISO 7498 (1984).
- [7] Dr. Lajtha György személyes közlése.

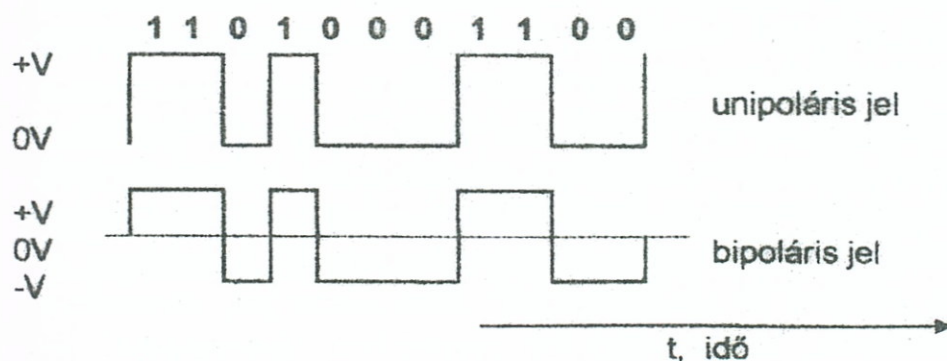
## 2. JELEK

### 2.1. Adatjelek

#### 2.1.1. Impulzus-sorozat adása és vétele

Amint a történeti áttekintés során láttuk, az elektromos távközlés olyan (távíró) jelek továbbításával kezdődött, amelyek elektromos áram *megléte* vagy *hiánya* segítségével voltak kifejezhetők. Az információt ezen jelek időbeni hossza és egymásutánisága tartalmazta. Az adás ütemét, sebességét az szabta meg, hogy az adó személy milyen gyakorlottsággal végezte az áramkör zárását, illetve megszakítását. Több különböző időtartamú jel variálásával kódolták az információs szimbólum-, például betű-készletet. A legismertebb ezek közül Morse abc-je, amely egy rövid és egy hosszú áramjelet és több, különböző hosszúságú szünetjelet tartalmaz az áramjelek közötti *megszakítás*, a *betűközök*, illetve a *szóközök* megkülönböztetésére.

Az elektromos jel *jelenlétével* vagy *hiányával* jellemzett bináris szimbólumrendszer szinkron változata sokkal szélesebb körben, mára egyeduralkodóan elterjedt. Ez a rendszer az időtengelyt egyenlő szakaszokra osztja, amelyeken belül a jel értéke nem változik. Az információt ezen szakaszokban a jel megléte vagy hiánya hordozza. Az adatszimbólum készlet tehát mindössze kettő, a jelsorozat *bináris*. A két állapot logikai 1-et és 0-át szimbolizál. Ilyen jelsorozatot mutat a 2.1. ábra. Amennyiben a jel értéke a szimbólum időtartama alatt vagy nulla vagy egyirányú értéket vesz fel, a jel *unipoláris*, míg *bipoláris*-nak nevezzük, ha a pillanatnyi érték váltakozóan pozitív vagy negatív. Amint az ábrából látható, a kétfajta kifejezőmód mindössze egyenáramú összetevőben különbözik egymástól. [1]

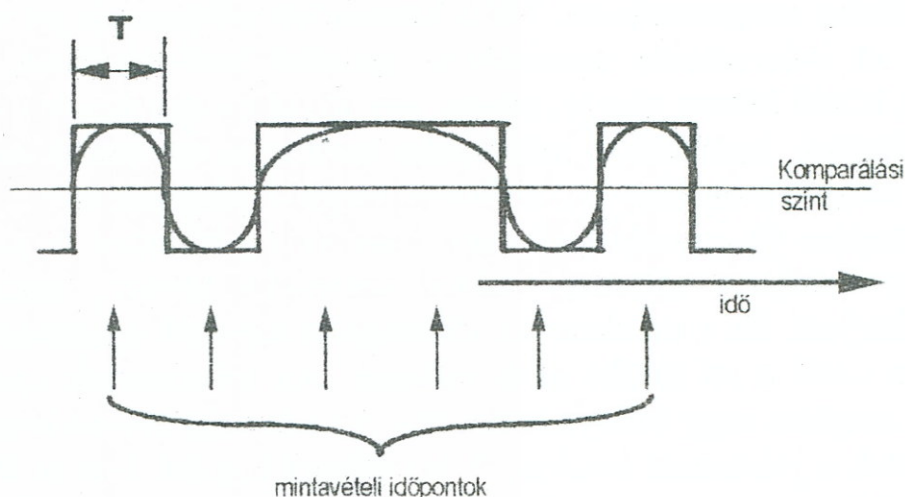


2.1. ábra. Bináris adatjel sorozat

Bináris jelek felhasználásával az információ a 2.1. ábra szerinti jelsorozat generálása az *adás*. A *vétel* során a jel megléte vagy hiánya – illetve po-



laritása – függvényében a logikai **0** vagy **1** tartalmat visszanyerve kapjuk meg az információt. Ha az átvitel közben a jel nem szenved torzulást, közböns, hogy a szimbólum időtartamán belül mikor nézzük meg a jel jelenlétét – illetve polaritását, – ugyanazt az eredményt kapjuk. Az átvitel során sérült jelek vételekor úgy járunk el a leghelyesebben, ha a "legvédettebb" pontot rögzítve, ahhoz hasonlítva (komparálva) határozzuk meg a jel tartalmát.[1] Ezt a pontot, a 2.2. ábra szerint, a szimbólum időtartama közepén találjuk. Viszonyítási alapnak a jel középvértékét tekintjük: ez bipoláris jel esetén nulla, unipoláris jelre pedig a maximális félértéke. Komparálással döntve: a szimbólum értékét **1**-nek vesszük, ha a komparálási időpontban a jel a középvérték felett van, **0**-nak, ha alatta.

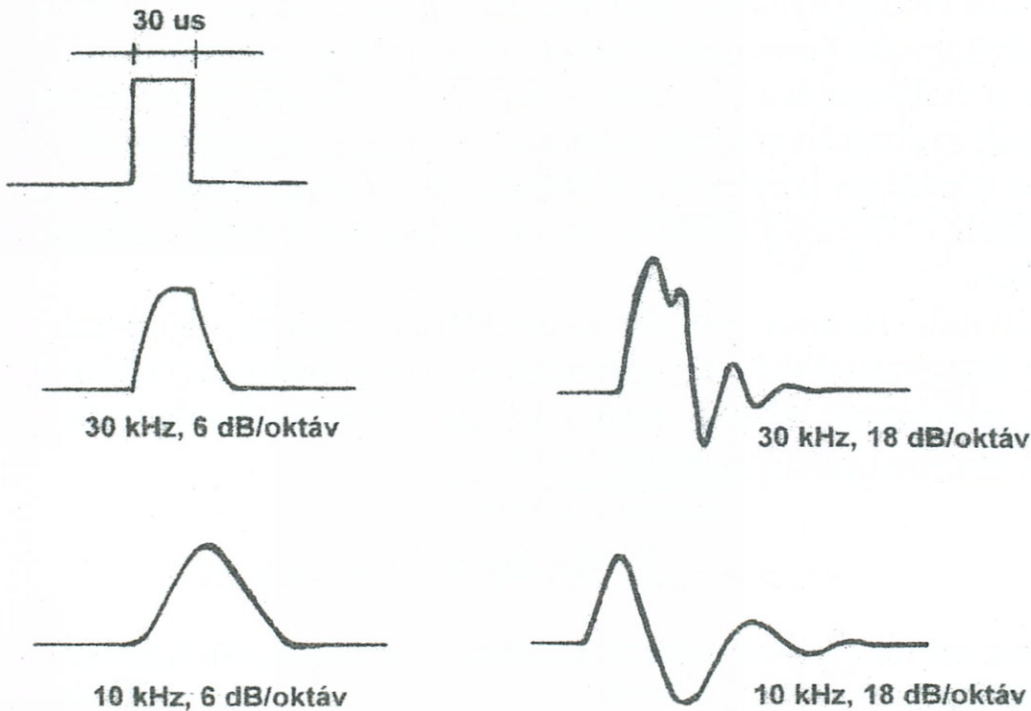


2.2. ábra. Jelsorozat vétele komparálással az impulzus időtartam közepénél

Bármely elektromos jel felbontható 'frekvencia-összetevőkre' a *Fourier-analízis*nek nevezett matematikai processzus felhasználásával (I. F.I. függelék). Valamennyi összetevő periodikus, szinuszos jel, a felbontandó jelre egyetlen jellemző amplitúdó és fázis tartalommal. Összességük adja a jel spektrális tartalmát, röviden a *spektrumát*.

A valóságos átviteli csatornákon áthaladva a jel spektruma módosul. A használt átviteli közegeink általában *aluláteresztő* jellegű átvitelt adnak, de igény szerint *sáváteresztő* és *felüláteresztő* jellegű átviteli karakterisztikát is kialakíthatunk. Az át nem vitt spektrum-összetevők hiányának a hatására a jel módosul: például az aluláteresztőn át bocsátott jel, elvesztve nagyfrekvenciás összetevőit, kisebb-nagyobb mértékben 'lekerekített' jelleget vesz fel. Ha az áteresztő- és a zárósáv közötti átmenet túl meredek, akkor az impulzus széleinél kisebb-nagyobb mértékű tranziens oszcilláció jelenik meg. Az impulzus ilyen torzulását a 2.3. ábrán mutatjuk be. A felül- és a sáváteresztő jellegű átvitel okozta jel-módosulással és ennek hatásaival a későbbiekben foglalkozunk.





2.3. ábra. Impulzus jelalakok aluláteresztő szűrők kimenetén

Ha nem egyetlen impulzust, hanem, amint ez a 2.1. ábra kapcsán nyilvánvaló, impulzus *sorozat*ot viszünk át és a csatorna elektromos átvitel szempontjából lineáris, az egyes impulzusok hatása a csatorna kimenetén összeadódik. Mivel egyetlen impulzus az átvitel során az időtengely mentén kiterjed, a jelsorozat elemei kisebb-nagyobb mértékben egymást átfedik, a szimbólumok között kapcsolat, *egymásrahatás* (intersymbol interference, ISI) jelentkezik, ami az impulzussorozat tévesen értelmezett vételét eredményezheti.

Az időtengely mentén kiterjedt, oszcilláló jellegű jel az átviteli csatorna átviteli karakterisztikája által meghatározott időfüggéssel rendelkezik. Megfelelő átviteli karakterisztikát kialakítva elképzelhető, hogy a 2.2. ábra kapcsán értelmezett mintavételi időpontokban az interferencia eltűnik. Nyquist 1928-ban kimutatta, [2] hogy ilyen karakterisztika megvalósítható. Ha a tényleges átviteli csatorna karakterisztikája ettől az ideálistól eltérne, az átvitelt gyakran járulékos elemekkel: csatorna-formáló szűrőkkel igyekeznek korrigálni, ennek a részletezésével a következő pont foglalkozik.

### 2.1.2. A csatorna hatása az impulzusátvitelre

A távközlési csatornán átvitt jel, amint láttuk, nyilvánvalóan torzult a csatorna limitált sávszélessége és egyéb átviteli jellemzőinek az ideálistól

!

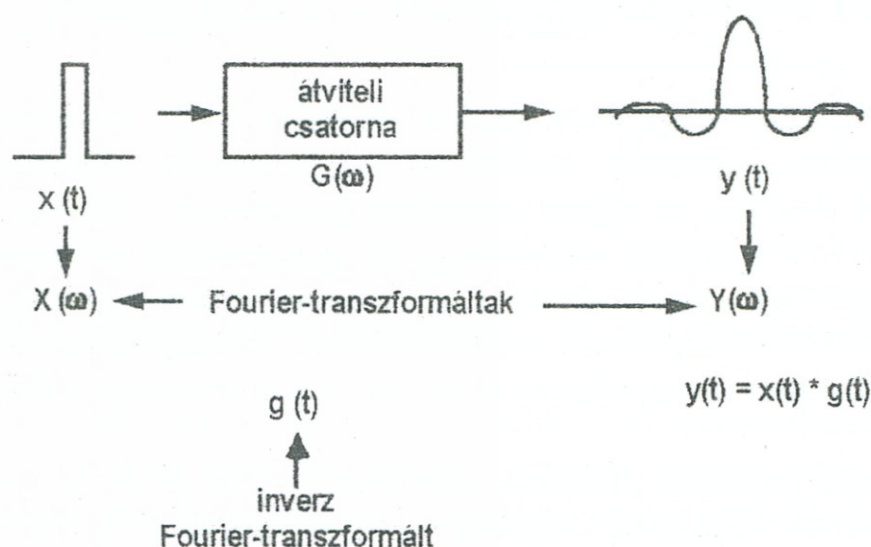


való eltérése eredményeként. Matematikailag mind az adott, mind a vett impulzus időfüggvény formájában adható meg, míg a csatorna átviteli karakterisztikája a frekvenciának – adott – függvénye. Hogy meghatározhassuk a csatornának az impulzusra való hatását, a *Fourier-transzformációt* alkalmazzuk, mint lehetséges módszert a kimeneti jel időfüggésének a meghatározására a bemeneti jel és az átviteli csatorna jellemzők frekvenciafüggésének az ismeretében.

Az átviteli csatorna frekvencia-karakterisztikájának,  $G(\omega)$ -nak az ismeretében a legegyszerűbben úgy járhatunk el, hogy meghatározzuk a bemeneti impulzus spektrumát,  $X(\omega)$ -t, majd a két mennyiséget összeszorozva kapjuk  $Y(\omega)$ -t, a kimeneti jel spektrumát:

$$Y(\omega) = G(\omega) * X(\omega).$$

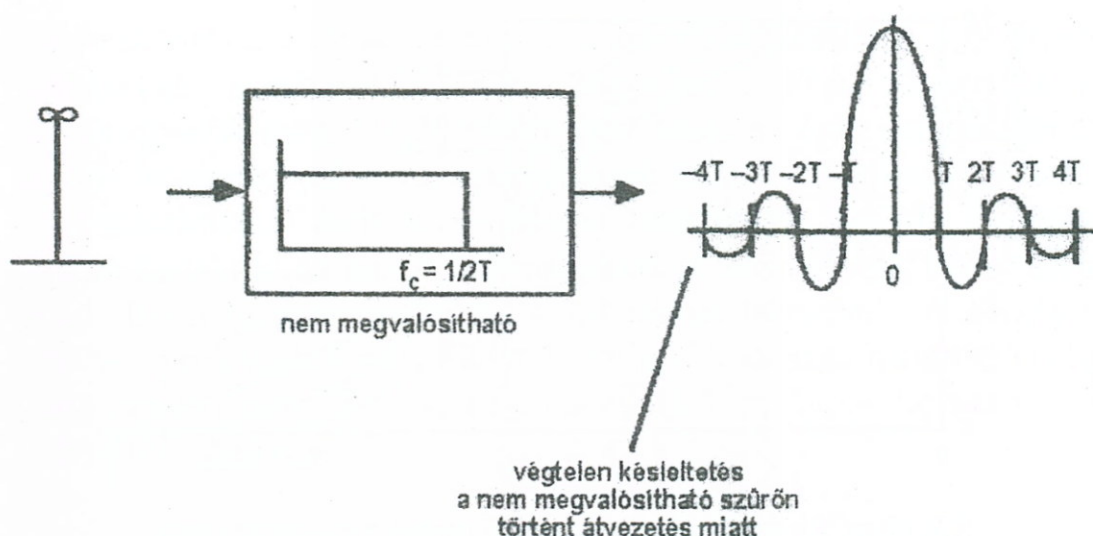
Ennek inverz Fourier-transzformáltja,  $y(t)$  a keresett kimeneti időfüggvény (2.4. ábra).



2.4. ábra. Fourier-transzformáció alkalmazása az átviteli időfüggvény meghatározására

Ha bemeneti jelnek az  $X(\omega)$ -t állandóval jellemezhető *impulzus* függvényt [a nulla időbeni hosszúságú, végtelen nagy amplitúdójú, tehát véges 'energiával' rendelkező *Dirac-deltát*, ( $\delta$ )] választjuk,  $y(t)=g(t)$  adja a csatorna impulzus-átviteli függvényét.

Ha a csatorna olyan ideális aluláteresztő jellegű átviteli karakterisztikával rendelkezik, hogy átvitele a levágási frekvenciáig állandó, míg az ennél nagyobb frekvenciájú jel-összetevőket teljességgel elnyomja (2.5. ábra), a Dirac-impulzusra adott válasz a jól ismert  $\sin x/x$  alakot ölti.

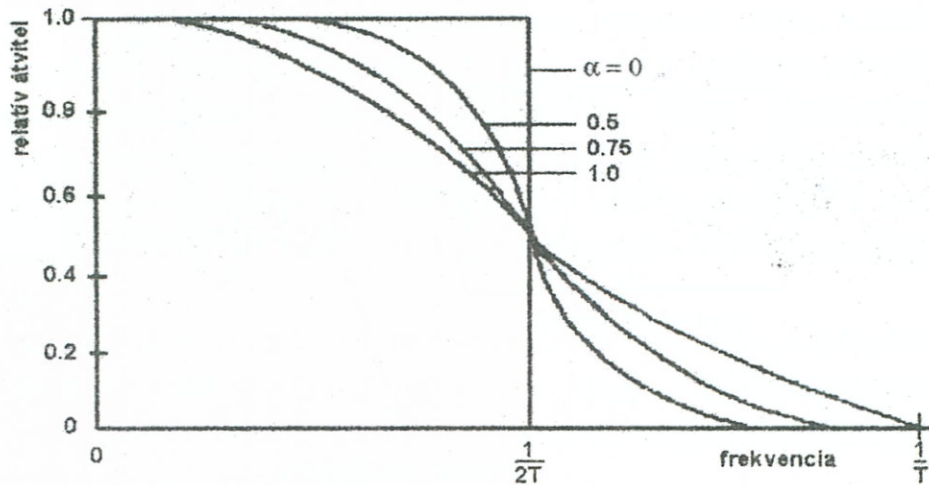


2.5. ábra. Ideális aluláteresztő impulzus-átvitele

Vagyis, ha a bemeneti jel elegendően rövid, azaz Dirac-impulzusnak tekinthető és a csatorna átvitele a fenti módon idealizált, a válasz az egész időtengely mentén elkenődik. Mivel a válaszjel a negatív végtelen időpontban kezdődik, a nulla környezetében látható 'kiemelkedés' csak végtelen késleltetés után jelenne meg. Ettől eltekintve, az ilyen átvitel lehetővé tenné a szimbólumok közötti áthatás eltüntetését, feltéve, hogy a Dirac-deltával jellemezhető bemeneti impulzusok éppen  $T$  időközönként követik egymást, ahol  $T = 1/2f_c$ , a határfrekvencia reciprokának a felével egyenlő. Amennyiben az impulzusok  $T$  időközönként követik egymást, minden impulzus 'helyén' csak egy jelből adódik válasz, mivel az összes többi itt éppen nulla értéket ad. Tökéletesen időzített komparálással így az egyes impulzusok jelenléte zavarás nélkül eldönthető.

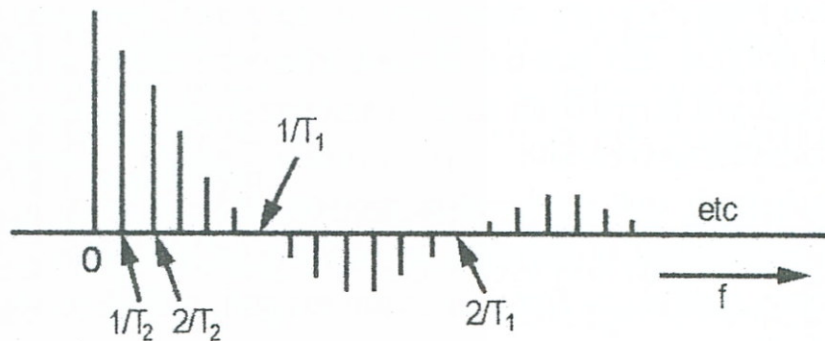
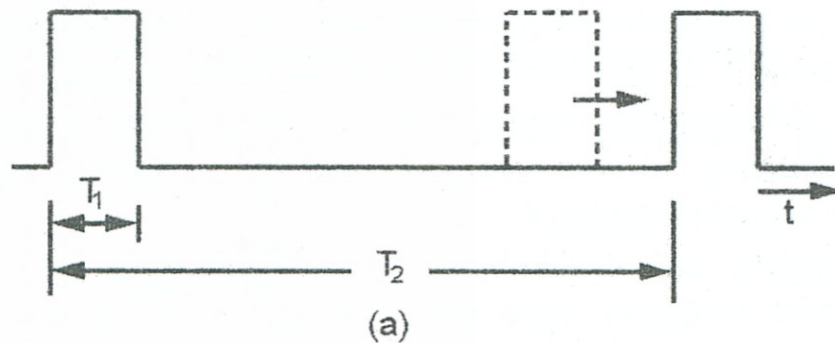
A gyakorlatban tökéletes időzítés nem valósítható meg – akárcsak tökéletesen meredek levágású szűrő sem. A megoldás a 2.6. ábra szerint úgy képzelhető el, hogy a végtelen meredekségű levágás helyett például koszinusz függvény szerinti átmenetet választunk az áteresztő és a zárótartomány között. Az átviteli függvény így szimmetrikus lesz az  $f_c$  levágási frekvencián mért 0,5 relatív átvitelt adó pontra. Ennek környezetében minél szélesebb frekvencia tartományra terjesztjük ki a koszinusz-görbe szerinti átvitelt, annál inkább 'elcsökevényesedik' az átviteli görbe farokrésze – a nullátmenetek helyének változatlansága mellett. Így, ha nem is szűnik meg az interferencia lehetősége, a mértéke jelentősen csökkenthető. Ennek 'ára' is van: az átvitelhez szükséges frekvenciasáv megnő, szélső esetben a kétszeresére,  $2f_c=1/T$  értékre.





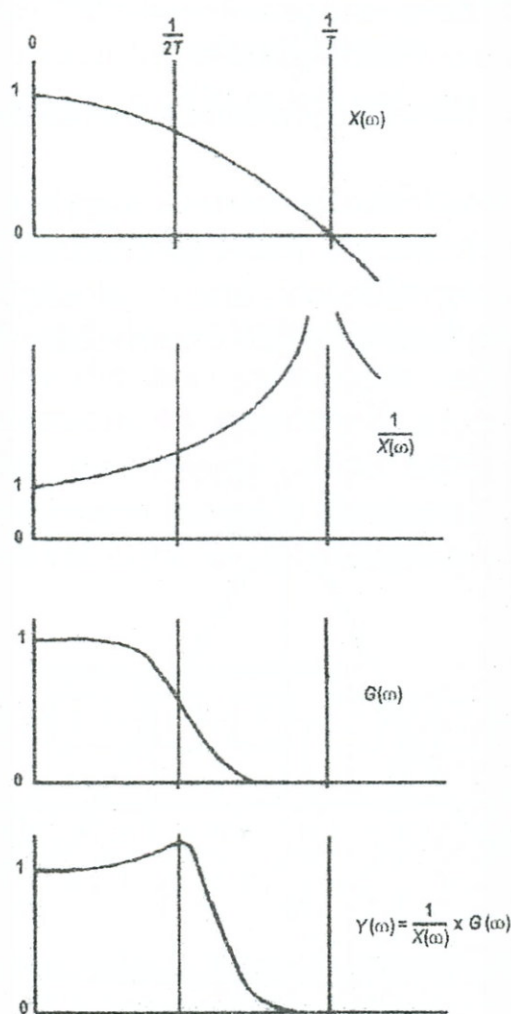
2.6. ábra. Az emelt-koszinusz szűrő átviteli karakterisztikája

A gyakorlatban a 2.6. ábrán látható átviteli karakterisztikát még módosítani kell, hiszen a valóságban nem Dirac-delta alakú, hanem véges szélességű impulzusokat adunk az átviteli csatorna bemenetére. A szokásos bemeneti jel a 2.7. ábrán látható:  $T_2$  gyakorisággal továbbított  $T_1$  szélességű impulzusokból áll. Az ábrán, összhangban az F.I. függelékkel, a jel spektrumát is feltüntettük, amely  $1/T_2$  frekvencia távolságokban megjelenő vonalokból áll. Relatív amplitúdójuk a  $\sin x/x$  függvény szerint változik, a nullahelyek  $1/T_1$  frekvencia többszöröseinél találhatók.



2.7. ábra. Impulzus-sorozat (a) és spektruma (b)

Ezt a spektrumot a Dirac-delta spektrumává alakíthatjuk egy olyan szűrő beiktatásával, amelynek átviteli függvénye,  $F(\omega)$  éppen a  $\sin x/x$  reciprokával egyezik meg. Végeredményben tehát a véges szélességű impulzusokból álló bemeneti jel és az optimálisnak tekinthető kimenet közé olyan átviteli karakterisztikát kell közbeiktatni, amelynek átviteli függvénye a  $\sin x/x$  reciprokának és az emelt koszinusznak a szorzatával,  $F(\omega) \cdot G(\omega)$ -val adható meg. Ilyen karakterisztikákat a 2.8. ábrán láthatunk. A  $\sin x/x$  végtelemben tartó reciprokának a megvalósítására a valóságban nincs szükség, mivel  $T_2$  soha nem kisebb  $2T_1$ -nél, az eredő átviteli görbe pedig soha nem terjed túl a  $2f_c = 1/T_2$  frekvencián.

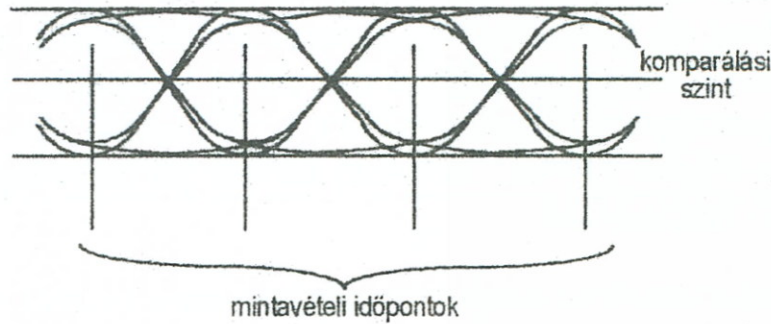


2.8. ábra. Véges szélességű impulzusok átviteléhez optimalizált szűrő karakterisztikájának a meghatározásához

A szemábra vizsgálatával igen egyszerűen meggyőződhetünk a teljes átviteli láncra jellemző szimbólumközi interferencia tényleges mértékéről. A bemenetre véletlen jellegű impulzus sorozatot adunk, amellyel egyúttal szinkronizálunk egy oszcilloszkópot. A csatorna kimenetén megjelenő jelet az oszcilloszkóp függőleges bemenetére adjuk. A megjelenő jelalak igen ha-

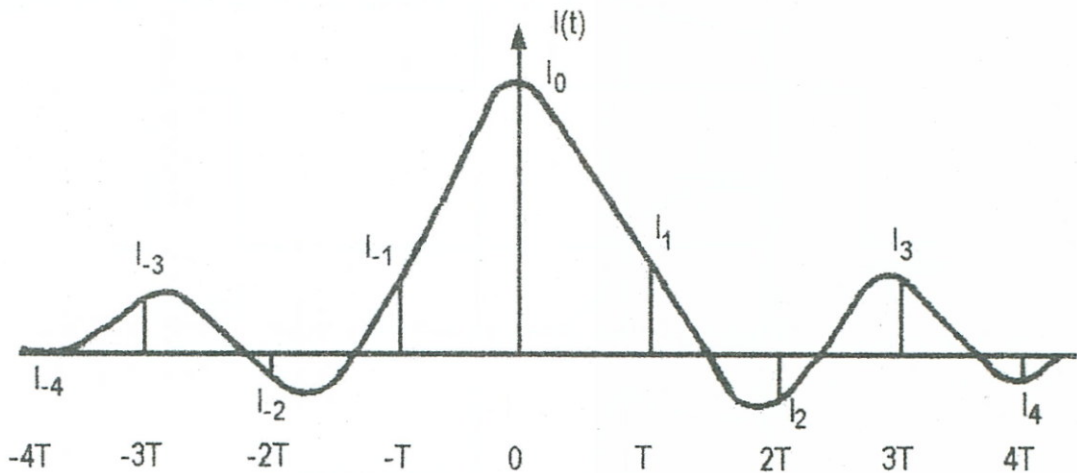


sonlít a szem pupillájához, amely ha 'kinyílik', a szimbólumközi interferencia kicsi. Ellenkező esetben a szemábra kisebb-nagyobb mértékben bezárul. Mivel a komparálási pont a szemábra nyílásának a közepe, vizuálisan könnyen meggyőződhetünk a visszaállítás várható minőségéről (2.9. ábra).



2.9. ábra. Bináris jelsorozat szemábrája

A szimbólumközi interferencia mértéke nagyban függ a tényleges átvitelnek az ideálistól való eltérésétől. Ezért igyekszünk az ideálist megközelítő átviteli karakterisztikát megvalósítani, ami a valóságban csak többé-kevésbé sikerül. Egy valóságos esetben az eredő impulzusátvitel például a 2.10. ábra szerint alakul.



2.10. ábra. Szimbólumközi interferenciát eredményező rendszeren átvitt impulzus időfüggvénye

Unipoláris bináris jel egy impulzusának az átvitelét mutatja a fenti ábra. Látható, hogy az ezt megelőző és a követő többi impulzus komparálási időpontjaiban e szóban forgó impulzus hatására legfeljebb az

$$ISI_{\max} = \sum_{n=-j, n \neq 0}^k I_n$$

zavaró érték jön létre. Az összegzést  $-j$ -től  $k$ -ig valamennyi  $n$  ( $n \neq 0$ ) értékre ki kell terjeszteni, ahol még mérhető jel adódik az egyetlen impulzusra adott válaszfüggvényben.

A fenti értéket a komparálási időpontban mérhető  $I_0$ -ra normálva kapjuk a szimbólumközi interferenciára jellemző *torzítás*,  $D$  értékét:

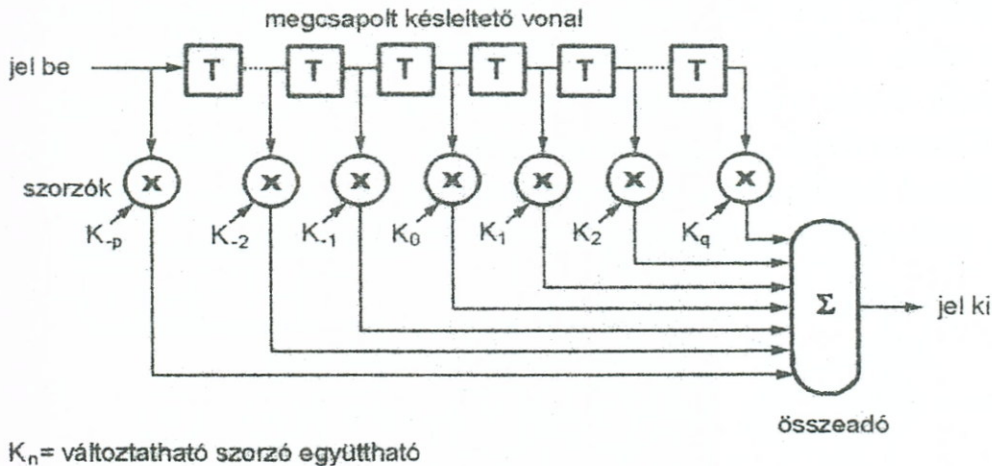
$$D = \frac{ISI_{\max}}{I_0},$$

amelynek növekedtével a 2.9. ábrán látható szemábra fokozatosan bezárul (szaggatott vonal). Minél zártabb a szemábra, annál érzékenyebb lesz a jel a járulékos zajokra, ami azután hibás komparálást eredményezhet. Ha a torzítás eléri az egységet, a jel helyreállítása teljességgel lehetetlenné válik.

### 2.1.3. Kiegyenlítő alkalmazása



A *transzverzális kiegyenlítő* alkalmazásával az átviteli csatornára jellemző szimbólumközi interferencia utólagosan csökkenthető. Egy ilyen kiegyenlítő  $T$  időintervallumonként megcsapolt késleltető vonalból épül fel, amelyről a terjedő jeleket, megcsapolásonként különböző súlyozási tényezővel véve figyelembe, összeadva kapjuk a kimenetet (2.11. ábra). A tényezők megfelelő megválasztásával érjük el az interferencia mértékének a csökkentését.



2.11. ábra. Egyszerű transzverzális kiegyenlítő

Ha a súlyozási tényezők értékét  $K_n$ -nel jelöljük, míg a csatorna impulzusválasza  $I_n$ , a kiegyenlítő kimenetén megjelenő jel

$$y_n = \sum_{x=-p}^q I_{(n-x)} * K_x$$



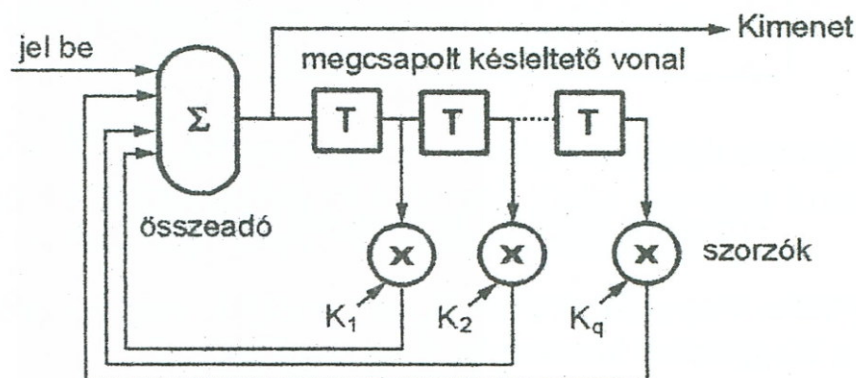
formában írható fel. (Ez a matematikai művelet a *diszkrét konvolúció* és szokásos jelölése):

$$y_n = \mathbf{I}_n * \mathbf{K}_n).$$

Válasszuk gyakorlati példának a  $j=k=p=q=2$  esetet. Ekkor írható:

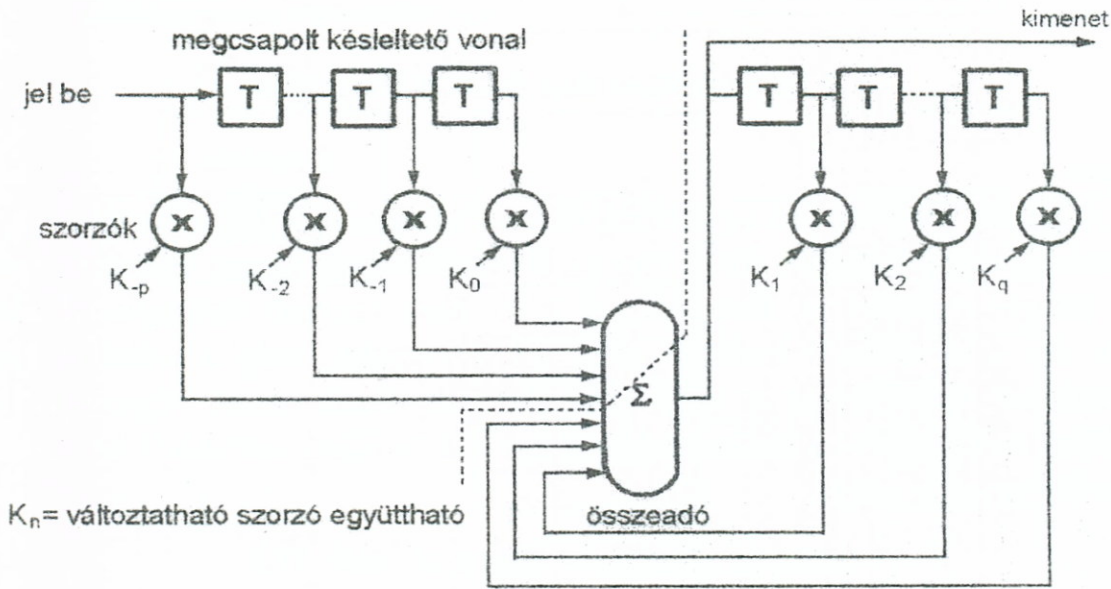
$$\begin{aligned} y_{-4} &= \mathbf{I}_{-2} * \mathbf{K}_{-2} \\ y_{-3} &= \mathbf{I}_{-1} * \mathbf{K}_{-2} + \mathbf{I}_{-2} * \mathbf{K}_{-1} \\ y_{-2} &= \mathbf{I}_0 * \mathbf{K}_{-2} + \mathbf{I}_{-1} * \mathbf{K}_{-1} + \mathbf{I}_{-2} * \mathbf{K}_0 = 0 \\ y_{-1} &= \mathbf{I}_1 * \mathbf{K}_{-2} + \mathbf{I}_0 * \mathbf{K}_{-1} + \mathbf{I}_{-1} * \mathbf{K}_0 + \mathbf{I}_{-2} * \mathbf{K}_1 = 0 \\ y_0 &= \mathbf{I}_2 * \mathbf{K}_{-2} + \mathbf{I}_1 * \mathbf{K}_{-1} + \mathbf{I}_0 * \mathbf{K}_0 + \mathbf{I}_{-1} * \mathbf{K}_1 + \mathbf{I}_{-2} * \mathbf{K}_2 = 1 \\ y_1 &= \mathbf{I}_2 * \mathbf{K}_{-1} + \mathbf{I}_1 * \mathbf{K}_0 + \mathbf{I}_0 * \mathbf{K}_1 + \mathbf{I}_{-1} * \mathbf{K}_2 = 0 \\ y_2 &= \mathbf{I}_2 * \mathbf{K}_0 + \mathbf{I}_1 * \mathbf{K}_1 + \mathbf{I}_0 * \mathbf{K}_2 = 0 \\ y_3 &= \mathbf{I}_2 * \mathbf{K}_1 + \mathbf{I}_1 * \mathbf{K}_2 \\ y_4 &= \mathbf{I}_2 * \mathbf{K}_2 \end{aligned}$$

Vegyük észre, hogy  $y_n$  0-tól eltérő értéket a  $-(j+p)$ -tól a  $(k+q)$  tartományban vesz fel, azaz a 'kiegyenlített' kimenőjel szélesebb időtartományban foglal helyet, mint az eredeti. Ugyanakkor az együtthatók megfelelő megválasztásával lehetőség nyílik  $p+q+1$  mintának előre meghatározott értéket adni. Lehetséges választás, amint azt már a fenti egyenletek felírásakor az egyenletek jobb oldalán jeleztük,  $y_n=0$ , ha  $-p \leq n \leq q$ ,  $n \neq 0$ , és  $y_0=1$ . Az ilyen értékválasztást *zéró-kényszerítésnek* (zero forcing) nevezik. Feltéve, hogy  $\mathbf{I}_0$  jelentősen nagyobb valamennyi többi  $\mathbf{I}_n$  értéknél, a fenti egyenletsorok vizsgálata azt mutatja, hogy elsősorban a  $\mathbf{K}_n$  együttható határozza meg az  $\mathbf{I}_n$  nem-nulla értékhez társítható szimbólumközi interferenciát. Ugyanakkor a maradó távoli mennyiségek viszonylag kicsik, tehát a kiegyenlítés hatékony. Kimutatható, hogy amennyiben  $\mathbf{D}_0 < 1$ , akkor a fenti zéró-kényszerítéssel hatékonyan csökkenthető az  $\mathbf{I}_0$ -t követő összetevők hatása. Ha  $\mathbf{D}_0 \geq 1$ , más optimalizálási kritériumot kell használni.

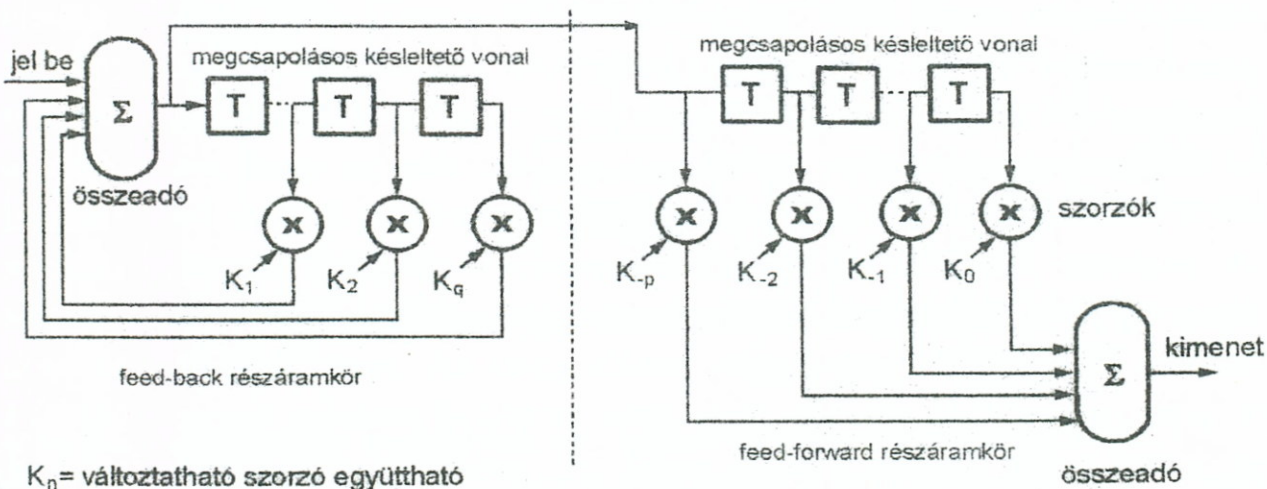


2.12. ábra. Rekurzív kiegyenlítő

Gyakorlatilag tökéletesen eltüntethetők az  $I_0$ -t követő jelek *rekurzív* módon kapcsolt kiegyenlítővel, amelyet a 2.12. ábra mutat. Az azt *megelőzők* csökkentésére továbbra is normál szűrőt kell használni és így alakul ki a 2.13. ábrán látható *transzverzális* kiegyenlítő. Mivel ez valójában két külön szűrő, a két rész sorrendje felcserélhető, ahogy ezt a 2.14. ábra mutatja. És miután láthatóan a két késleltetőn ugyanaz a jel található, az elrendezés egyszerűsíthető és a 2.15. ábrán látható 'kanonikus' formában valósítható meg. Ez az elrendezés optimális, feltéve, hogy üzem közben nem kell az együttműködőket módosítani, ami szükségessé válhat, ha az átviteli csatornában – például valamely szakasz átkapcsolásával – változás áll be.

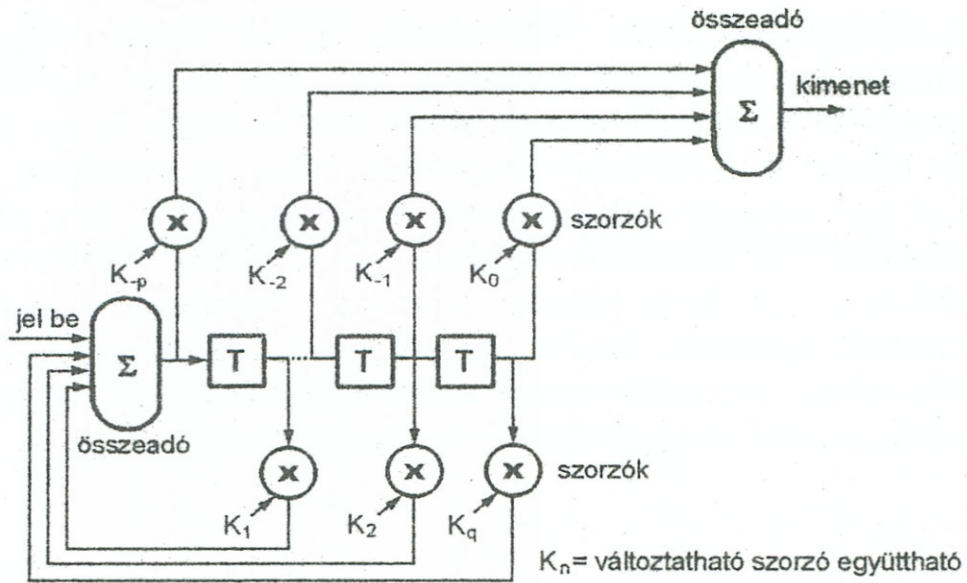


2.13. ábra. Rekurzív kiegyenlítő visszacsatolással



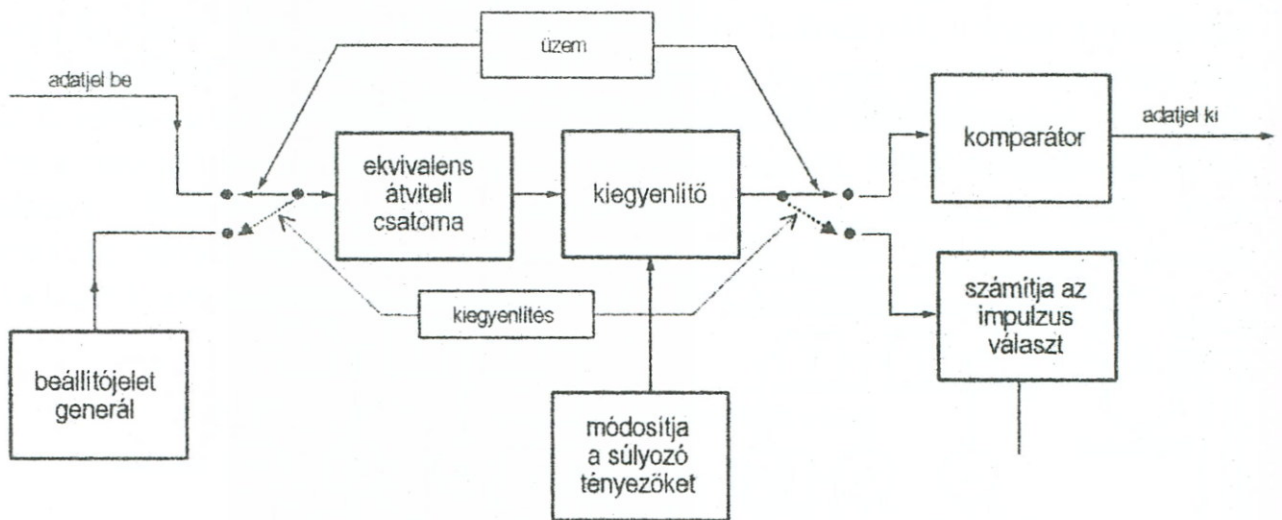
2.14. ábra. Átrendezett rekurzív kiegyenlítő





2.15. ábra. Kanonikus rekurzív kiegyenlítő

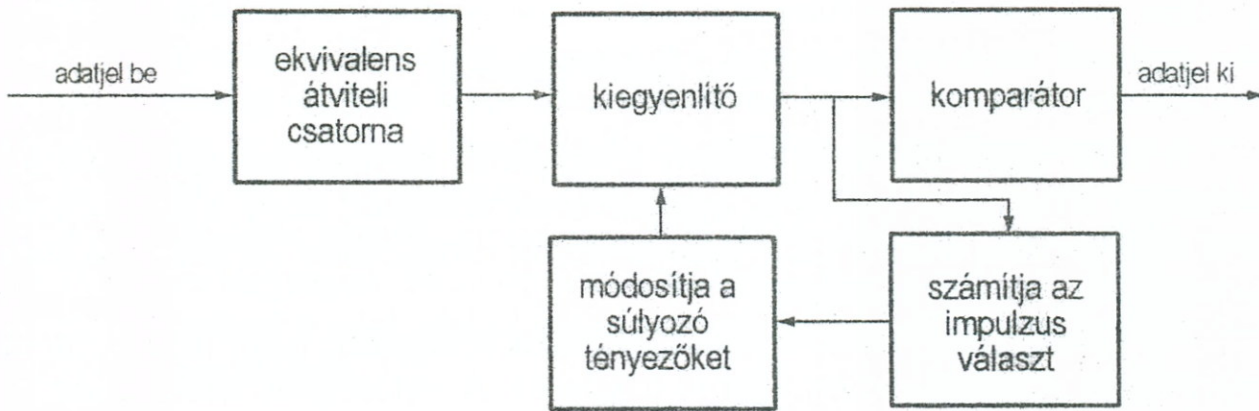
Az ilyen kiegyenlítő együtthatóinak a beállítása azután kezdődhet, hogy az összeköttetés felépült. Mód van az átvitelben jelentkező változás *automatikus* kiegyenlítésére is, mégpedig a 2.16. ábra szerinti stratégia alkalmazásával. Az adó először beállító jelet ad a vonalra, míg a vétel helyén az együtthatók kiszámítása és beállítása történik. Csak ennek végeztével tér át az adó az információ adására, míg a vevő – a beállító hurokból kilépve – veszi az informatív jelet.



2.16. ábra. Az automatikus kiegyenlítés folyamata

Néha azonban az átviteli út elemei oly mértékben változtatják paramétereiket, hogy üzem közben is szükségessé válhat a kiegyenlítő átállítása. Ez a fenti elrendezésben csak úgy oldható meg, hogy bizonyos időközönként át

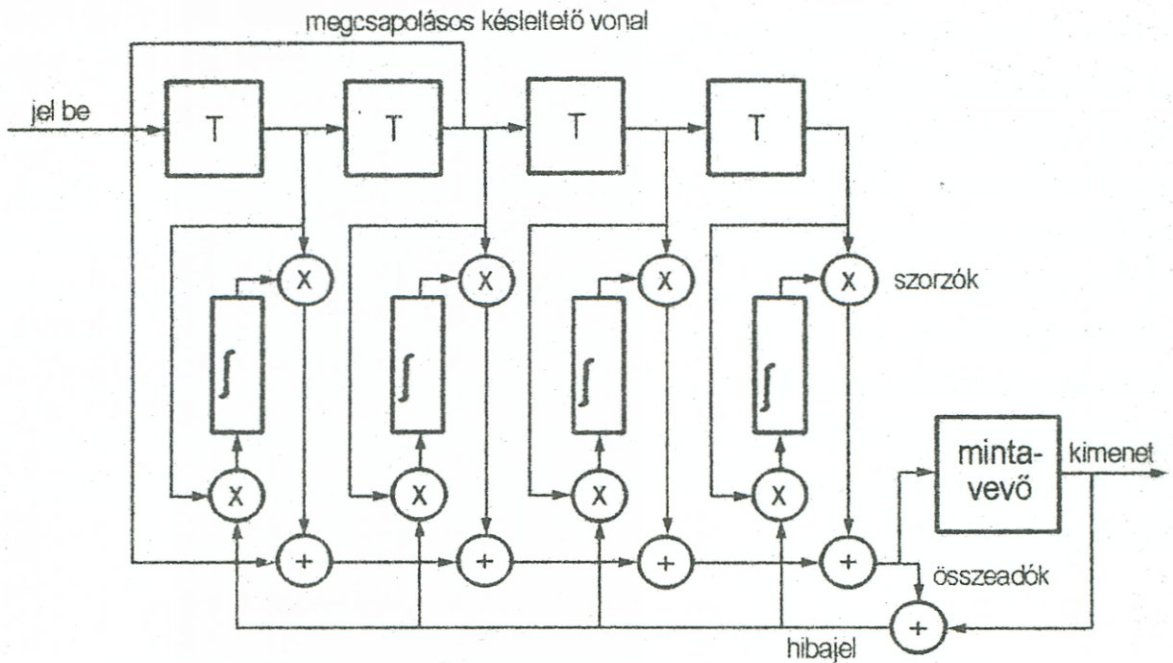
kell térni a beállító jel adására, de így a beállítás idejére az információtovábbítás megszakad. Felmerült az a gondolat, hogy nem lehetne-e a 2.17. ábra szerinti elrendezésben ezt az együttható-optimalizálást folyamatosan, üzem közben elvégezni. Ez az *adaptív* kiegyenlítés nem használ beállító jelet, hanem észlelni igyekszik az adott és a vett jel közötti *eltérést*, azaz az átviteli hibát és folyamatosan módosítja az együtthatókat annak csökkentése irányába. Ez megoldható, ha a hiba nem túl nagy. Jelentősen torzuló jel esetén az adaptív kiegyenlítés nem bizonyosan konvergens. Ilyen körülmények között szükségessé válhat induláskor a preset mód használata, ami beállító jel adásával jár, majd akkor térni át az adaptív üzemre, amikor már a beállítás közelítően megvalósult.



2.17. ábra. Az adaptív kiegyenlítés folyamata

Joggal merül fel az olvasóban a kérdés, hogyan észleli az adaptív kiegyenlítő az átvitel során keletkezett hibákat, ha semmilyen információja nincs a hibátlan jelről. Természetesen sehogyan. Tehát olyan *tulajdonsággal kell felruházni* az átvitelre bocsátott jelet, ami az átviteli hibák hatására megváltozik. Erre a célra a jel *statisztikai átlagértékét* használják. Ha gondosan ügyelnek arra, hogy az adót elhagyó jel valóban *véletlenszerűen* vegyen fel logikai 0 és 1 értéket, amit azután csak az átviteli hibák borítanak fel, a vett jel átlagértékének a figyelésével megoldható az átviteli hiba észlelése. Az adaptív kiegyenlítőben tehát a súlyzó tényezőket a késleltetett jelek integrálásával kell meghatározni. Az integrálással végrehajtott átlagképzés eredményeként a preset módban beállított érték nem változik mindaddig, amíg az átvitel jellemzői nem változnak. Az üzem közben fellépő változásokat viszont az ilyen rendszer képes követni.





2.18. ábra. Adaptív kiegyenlítő

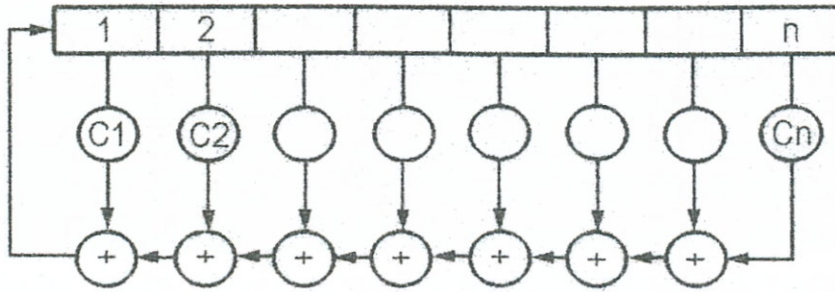
A 2.18. ábrán egy ilyen adaptív kiegyenlítő vázlatos felépítése látható. Részletes vizsgálatát mellőzve, megemlítsére érdemes, hogy a szimbólumközi interferencia okozta hibás komparálások csökkentése mellett csökkenti az additív zaj okozta hibákat is.

Az adaptív kiegyenlítő helyes működése feltételezi, hogy az adatforrás teljességgel véletlenszerűen adja ki a jeleket. A valóságban hosszú adatfolyamok generálódhatnak, amelyek nem teljesítik ezt a feltételt: hosszabb-rövidebb sorozata állhat elő logikai 1-eknek vagy 0-áknak. Szükség van tehát egy olyan eszközre, amellyel úgy módosíthatjuk az információt tartalmazó jelfolyamot, hogy szimbólum-tartalma véletlenszerű legyen – vagy legalábbis 'rövid távon' annak tűnjön – a tartalom torzulása nélkül. Ez az eszköz a *szkremblerezés* (scrambling), amit a következő pontban ismertetünk.

#### 2.1.4. Szkremblerezés (bitkeverés)

Ismeretesek olyan generátorok, amelyek alkalmasak *álvéletlen* bináris jelsorozat előállítására. Az alapvető elrendezés a 2.19. ábrán látható. Ez egy  $N$  fokozatú tolóregiszterből és egy visszacsatoló láncból áll, amelyet kizáró-VAGY kapuk alkotnak. A tolóregiszter egyes fokozatai  $C_k$  'együtthetők' figyelembevételével csatlakoznak a kapukra. A  $C_k$  együtthetők értéke 1 vagy 0, azaz a csatlakozás vagy létezik, vagy nem. Nem létező csatlakozáshoz persze kapu sem tartozik. A csatlakozások helyének és számának a megválasztásával befolyásolható az álvéletlen sorozat hossza.

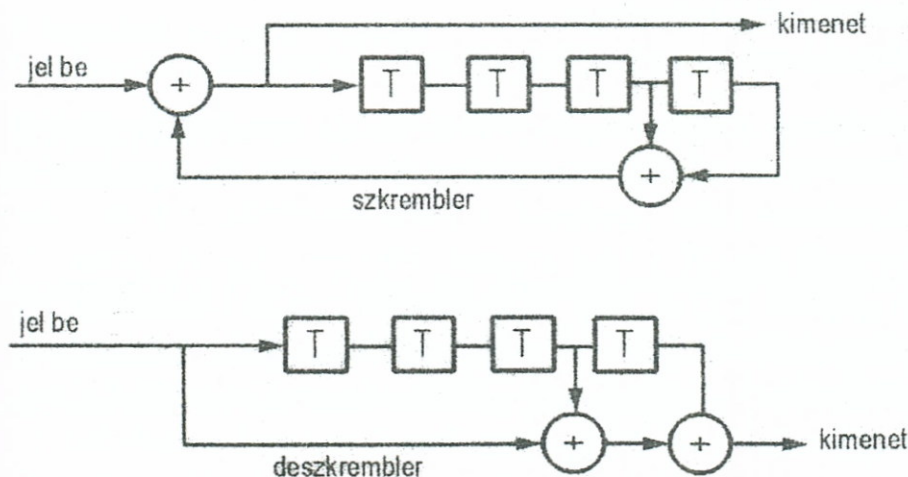




2.19. ábra. N-fokozatú visszacsatolt tolóregiszter

Az adaptív kiegyenlítő alkalmazásához szükséges álvéletlen jelsorozat előállításához abban az esetben használható fel a fenti álvéletlen jelgenerátor, ha felhasználásával végre lehet hajtani a jel véletlenszerűsítése, szkremblerezése mellett a visszaállítást, *deszkremblerezését* is.

Ennek egyik módja, ha modulo-2 összeadják az adatjelet és egy álvéletlen generátor kimeneti jelét. Ekkor a deszkremblerezéshez szükség van egy ugyanilyen felépítésű generátorra, amely ugyanolyan fázisban működik. A feladat így nem megoldható. Ehelyett *önszinkronizáló* szkrembler-deszkrembler kombinációt használnak. A felépítés lényegében azonos a fent megismerttel, azzal az eltéréssel, hogy az átalakítandó jelet közvetlenül a visszacsatoló ágba vezetik, amint az a 2.20. ábrán látható. A működést részleteiben nem tárgyaljuk. Nem túl hosszú tolóregiszter esetére az olvasó maga is végigkövetheti a jelek alakulását elemi módszerekkel; részleteket illetően az irodalomra utalunk. [1]



2.20. ábra. Önszinkronizáló szkrembler (a) és deszkrembler (b)

Egyszerűen belátható, hogy folyamatosan 0-értékű bemenet mellett a szkrembler álvéletlen generátorként működik és mint olyan, nem zárható ki, hogy el sem indul, azaz végtelen 0-sorozatot ad ki. Ennek valószínűsége a tolóregiszter hosszának a növelésével – a tipikusan használt  $N=22$  esetén elhanyagolhatóra – csökken.



Ha az átvitelben hiba keletkezik, és ez áthalad a deszkrembleren, befolyásolja nemcsak a kimeneti jelet, hanem a leágazásokon keresztül a visszacsatoló jelet is. Ezért fontos a minimális számú leágazással dolgozni. Még így is, kimutathatóan, minden átviteli hiba legrosszabb esetben, három hibát okozhat a deszkremblerezett jelben. Ez a *hiba-kiterjeszkedés* az ára a szkremblerezésnek. Ugyanakkor gyakorlatilag valamennyi nagysebességű adatátviteli rendszer alkalmazza, mert, azon kívül, hogy lehetővé teszi az adaptív kiegyenlítő használataát, megnöveli a jel nulla-átmeneteinek a számát, ez pedig könnyíti a szinkronizáció megvalósítását.



### 2.1.5. Vonali kódok jellemzői

A 2.1. ábrán bemutatott *bináris* jelsorozatot ritkán használják eredeti formájában az átviteli csatornán történő jeltovábbításra. Ma ez alól talán az egyetlen jelentős kivétel az optikai távközlésben alkalmazott *intenzitás moduláció* (IM), amikor a fény be- és kikapcsolása a bináris 1 és 0 ütemében történhet, minden módosítás közbeiktatása nélkül.

Elektromos átvitel esetén célszerűen *kódoznak* a bináris jelsorozatot, ami spektrális tulajdonságainak az átviteli csatorna sáv szélességéhez való illesztését jelenti. Az egyszerű bináris jelsorozat, amikor a logikai 1 pozitív impulzussal, a 0 pedig a jel hiányával van ábrázolva, nem előnyös vonali átvitelre, mert kisfrekvenciás összetevője jelentős és a vett jel szinkronizálása nehézkes a vonali jel esetleges elmosódása miatt, ami a hosszú 1 és 0 sorozatok jelenlétének az eredménye.

Az alkalmazható vonali kódok előnyös jellemzői a következők:

(a) *Átlátszóság* (transparency). A kódolás nem tehet semmi megkötést az átviendő üzenet tartalmára vonatkozóan, azaz a bit-szekvenciától függetlennek kell lennie.

(b) *Egyértelmű dekódolhatóság*. Magától értetődő követelmény.

(c) *Hatékonyság*. A kód minden szimbólumának hozzá kell járulnia az információ átviteléhez. Legyen minimális a kódolás következtében keletkező redundancia.

(d) *Az energia-spektrum kedvező eloszlása*. Az elektronikai áramkörök általában nem viszik át a jel egyenáramú összetevőjét és előnytelen a jelentős energiájú kisfrekvenciás jelösszetevő is. Az elektromos kábelek áthallásból adódó zavar szintje nagyobb frekvencián nő, az interferáló teljesítmény csökkenthető a jel nagyfrekvenciás tartalmának a csökkentésével. Zajra való érzékenység szempontjából legelőnyösebb az átviteli sávban közel egyenletesen 'elkent' spektrum.



(e) *Az időzítő információ tartalom.* Előnyös, ha a jel energiája jelentős az adatjel órafrekvenciájának a környezetében. Ez elérhető, ha nagy valószínűséggel található jelátmenet az órafrekvencia ütemében.

(f) *A digitális összeg lassú változása.* Definiálva a változó digitális összeget (running digital sum, RDS) az

$$\text{RDS}(k) = \text{RDS}(0) + \sum_{n=1}^k C_n$$

formában, ahol  $C_n = 1, 0$  vagy  $-1$  a ternáris, illetve  $1$  vagy  $-1$  a bináris jelekre,  $\text{RDS}(0)$  pedig célszerűen megválasztott állandó, a *digitális összeg változása* (digital sum variation, DSV) a következő formában adható meg:

$$\text{DSV} = \text{RDS}(\text{max}) - \text{RDS}(\text{min}).$$

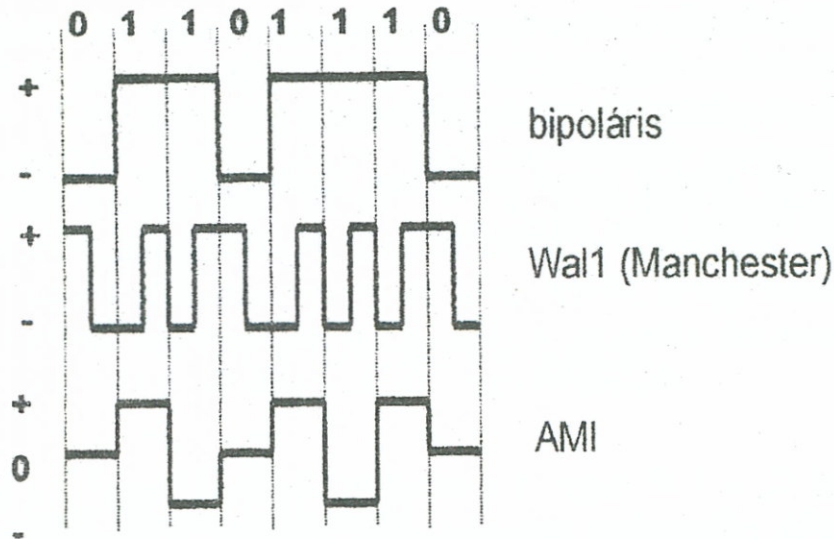
Minél nagyobb a digitális összeg változása, annál nagyobb a jel energiataralma a spektrum kisfrekvenciás végén. Előnyös, ha értéke minél kisebb. A digitális összeg változása helyett gyakran használják e fogalomra a *kód egyenlőtlenység* (code disparity) kifejezést is.

Valamennyi kód ismertetésére, amely ismert és tulajdonságait analizálták, itt nem térünk ki, csak a legelterjedtebbeket mutatjuk be.

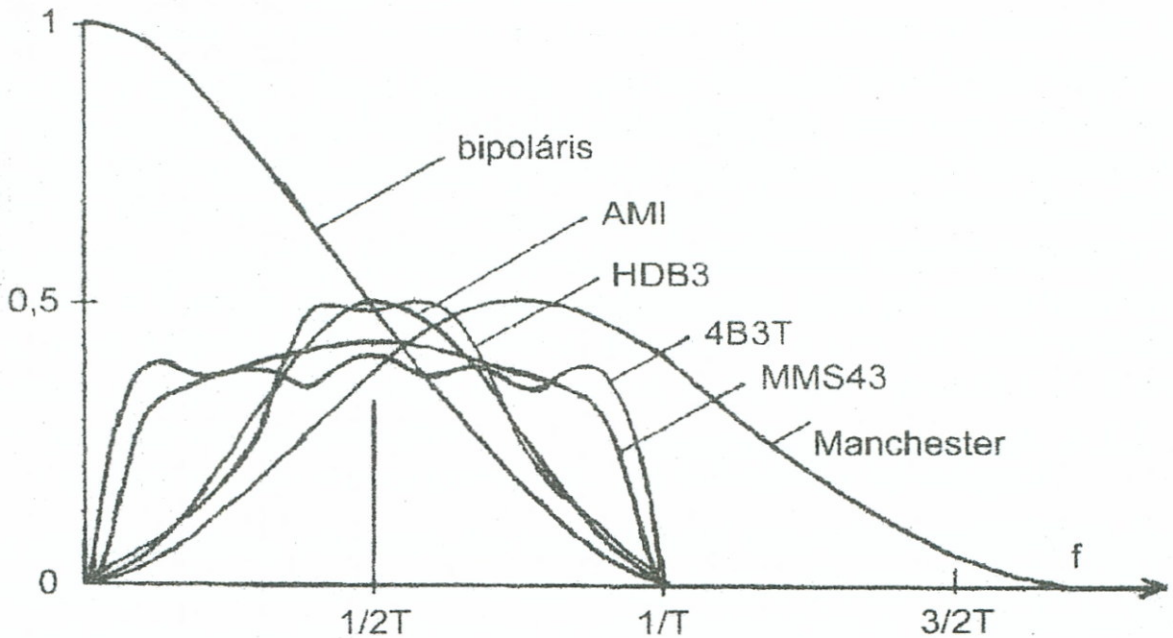
### 2.1.6. Alapsávi vonali kódok

A szimbólumonként egy bit átvitelére alkalmas ún. *lineáris* vonali kódok lehetnek binárisak és ternárisak, illetve pszeudó-ternárisak (két, illetve háromszintűek). A megkülönböztetés a használt jelszintek száma szerint történik (2.21. ábra). A legismertebb bináris kód a Walsh függvényt kifejező *Wal 1* vagy közismert nevén *Manchester kód*, míg a háromszintű kódok közül az egymás után következő logikai 1-ek előjelét váltogató (alternate mark inversion) *AMI kód* emelendő ki. (Ez utóbbinak létezik módosított változata is, amelyben a logikai 1-nek nulla jelszint felel meg, míg a logikai 0 van váltogatott előjelű jellel kifejezve.) Relatív energia spektrumaikat a 2.22. ábra mutatja. A bináris kóddal szemben, egyikük sem rendelkezik egyenáramú összetevővel, ugyanakkor a Manchester kód spektruma jobban kiterjeszkedik a nagyobb frekvenciák irányában. (Az ábrán nem a teljes spektrum, annak csupán a 2.7. ábra szerinti első nulla helyig terjedő része látható, amelynek átvitele alapvetően szükséges az információ tartalom visszanyeréséhez.)





2.21. ábra. A legelterjedtebb bináris és ternáris kódok



2.22. ábra. A fontosabb alapsávi kódok energia-spektruma

A 2.21. ábrán bemutatott kódok *lineárisak* olyan értelemben, hogy az egyes bitek tartalma a hozzá kapcsolódó  $T$  idő alatt kerül átvitelre. Amennyiben ez nem teljesül, a kód *nemlineáris*. Ez utóbbinak *alfabetikus* és *nem-alfabetikus* változatát ismerjük.

Alfabetikus ternáris kódok közül kettőt mutatunk be. Ezek az úgynevezett  $nBmT$  kódok. A legegyszerűbb esetben, ha például  $n=m=2$ , a kódot párosítottnak nevezhetnénk (pair selected ternary, PST). Az üzenetet két bites csomagokra bontják, amelyeket azután ternáris jelpárral kódolnak a 2.1. Táblázat szerint.



2.1. táblázat

bináris szó	(két szimbólum hosszúságú) ternáris szó		
	A-mód	B-mód	digitális összeg
00	-+	-+	0
01	0+	0-	1
10	+0	-0	1
11	+-	+-	0

PST kódok

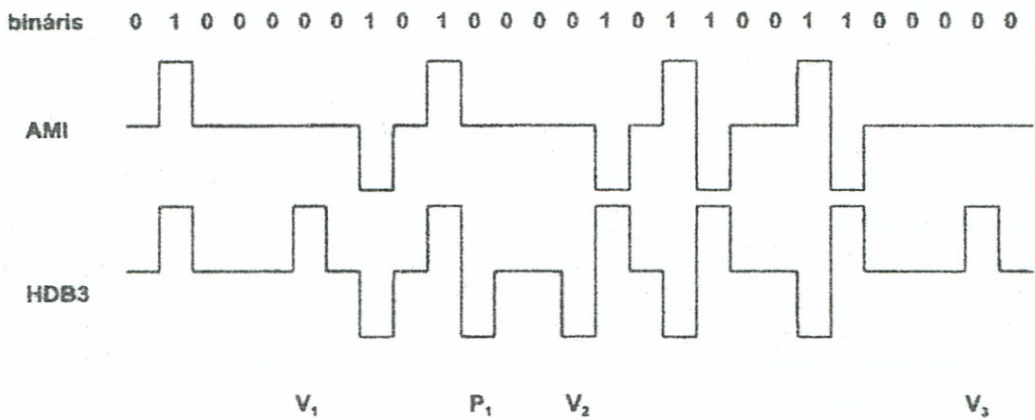
A PST kódot használva nem változik az átviteli sebesség, 2 bit átviteléhez változatlanul 2T idő szükséges. Minden ternáris szó átvitele után változik az RDS értéke. Hogy ez ne nőjön, változtatva választanak az A-mód, illetve a B-mód között, mindig úgy, hogy RDS csökkenjen vagy legalábbis ne nőjön. Így elérhető, hogy RDS a +1 és -1 intervallumban maradjon, a PST kód egyenlőtlensége 2. A módok változtatásával az egyenáramú összetevő is eltűnik. A jel jól szinkronizálható és a módok változtatása nyújt némi hibajelzési lehetőséget. Előnytelen, hogy kisfrekvenciás összetevője viszonylag nagy és átlagos teljesítménye mintegy 1,5-szeres az AMI kódhoz viszonyítva.

A PST kód, akárcsak az AMI, valójában pszeudo-ternáris, mivel a ternáris szimbólumok csak bináris tartalommal bírnak. Egy valódi ternáris kód szimbólumonként  $\log_2 3$  bit információ átvitelére alkalmas. A pszeudo-ternáris kód átviteli hatékonysága így csak 63%, az ezzel járó redundancia, mint említettük, némi lehetőséget ad az átviteli hibák jelzésére.

A háromszintű kódok átviteli hatékonysága  $m < n$  választással növelhető. Széles körben alkalmazott kód a **4B3T**, amelynél 4 bit információt 3 szimbólummal fejeznek ki. Kódtáblázatát nem közöljük, az több változatban használatos. Például az ISDN U-interfészen alkalmazott ilyen kódolást **MMS-43**-nak nevezik. A 4 bittel megkülönböztethető 16 állapot megfeleltetéséhez nincs szükség a 3 ternáris szimbólummal rendelkezésre álló 27 különböző kombináció felhasználására. Kizárólagos megfeleltetéssel használják a 6 nulla digitális összeget adó sorozatot, párosával az egységnyi digitális összegű 12-t, míg az egynél nagyobb digitális összegűeket lehetőleg mellőzik, pontosabban azok közül 4 párat választanak ki, amelyek digitális összege ugyanakkora (2 vagy 3), de páronként ellentett előjelű. Figyelve a digitális összeg futó értékét és a párokból mindig az azt csökkentőt választva, DSV értéke 6 alatt tartható. A kód teljesítmény spektruma (2.22. ábra) jó közelítéssel egyenletesen oszlik el. A 4B3T alapváltozata előnytelenül nagy kisfrekvenciás összetevőt mutat, részben ezt csökkentendő alakították ki az MMS-43 ettől eltérő kódolását, amelynek spektrumát az ábra szintén tartalmazza.



Nem-alfabetikus háromszintű kódot az AMI kód előnytelen tulajdonsága – t.i., hogy az egymást követő nullák sorozata nem ad szinkronizálható jelet – megszüntetésére alakítanak ki. Elterjedt a **HDB3** kód (high density bipolar), ami legfeljebb 3 egymást követő nulla átvitelét engedi meg és ennek érdekében időnként *megsérti* az AMI váltakozó polaritású impulzus beiktatási szabályát. A kód a 2.23. ábra alapján viszonylag egyszerűen megismerhető. Ha háromnál több nulla követné egymást, a negyediket jellel adják meg. Az így beiktatott jelek polaritása az előzőétől mindig eltérő. Ha ez a korrekciós jel sérti az AMI polaritás-váltogató törvényét (az ábrán V1), nincs más tennivaló, mint ezt a jelet vételnél nulla értékűnek tekinteni. Ha a következő (V1-gyel ellentétes polaritású) korrekciós jel nem sérti az AMI szabályt, a korrigált 0-sorozat első elemének a helyére is jel kerül, mégpedig a sértő jellel azonos polaritással, hogy a korrekciós jel bizonyosan azonosítható legyen a sértés indikációja révén. Ilyenkor a vételnél mindkét módosított jelet 0-ként kell értelmezni. Ezt az esetet az ábrán V2 beiktatása kapcsán mutattuk be. A módosított polaritású második bit neve: paritás bit. Mint a 2.22. ábrán látható, a HDB3 kód spektruma igen közel van az AMI kódéhoz.



2.23. ábra. A HDB3 kód

Alkalmazásra kerülhetnek még háromnál több szintű kódok, ahol a szintek száma célszerűen 2 egész kitevőjű hatványa és így egy-egy szimbólum a hatványkitevőnek megfelelő számú bitet kódol. Használatos a **2BIQ** kód, ahol 2 bittel adott 4 állapotot kódolnak -3, -1, +1 és +3 amplitúdókkal. A szintek számának a növelése ugyan csökkenti az adott adatmennyiség átviteléhez szükséges *szimbólumok* számát, de zavarérzékenyebbé teszi az átvitelt.



### 2.1.7. Digitális moduláció

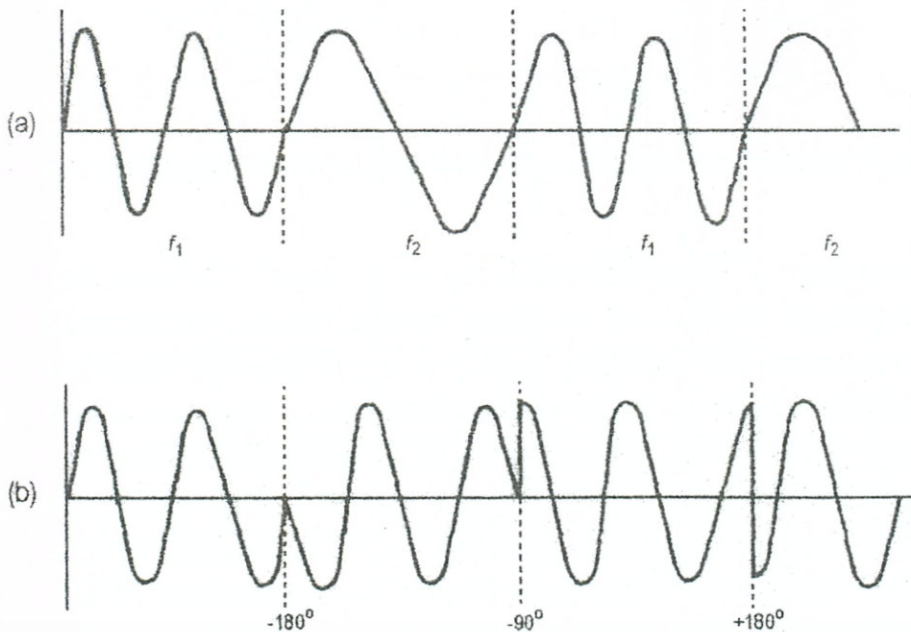
Amennyiben az átvitelre nem áll rendelkezésre aluláteresztő jellegű csatorna, vivőfrekvenciás jelre kell ültetni, *modulálni* a bináris jel formájá-



ban adott digitális jelfolyamot. A művelet elnevezése digitális moduláció, szemben az analóg moduláló jelet továbbító analóg modulációval. Egyszerű, kétállapotú digitális amplitúdó modulációt ritkán használnak, hacsak nem tekintjük annak az optikai átvitelnél alkalmazott és már említett intenzitás modulációt.

A rádiós műsorszórásban elterjedt frekvenciamoduláció is csak elvétve fordul elő az adatátviteli hálózatokban. Adatjelek analóg távbeszélő vonalon való átvitelére használt egyik első megoldás volt az ITU-T V.21. ajánlásában szereplő *frekvencia-billentyűzés* (frequency shift keying, FSK), amivel kétirányú adatösszeköttetést létesítettek kapcsolt távbeszélő vonalon, irányonként 200 b/s sebességgel. A hívó 1080 Hz, a hívott 1750 Hz vivőfrekvenciát alkalmazott, amit 100 Hz-cel csökkentettek a logikai 1, 100 Hz-cel növeltek a logikai 0 adásakor. A modulációt és a demodulációt megvalósító berendezés, amit a bináris adatforrás/felhasználó és a vonal közé iktattak, a *modem* elnevezést kapta, ami azután tovább él a mai fejlettebb modulációs megoldást alkalmazó, az analóg beszédcsatornát felhasználó jelátviteli megoldásokban.

Az FSK aszimmetrikus változata az egyik irányban 600/1200 b/s, a másik irányban 75 b/s adatátviteli sebességet tesz lehetővé (ITU-T V.23. modem), 1500/1700 Hz, illetve 420 Hz vivőfrekvenciák felhasználásával, a frekvencialöket 200 Hz, illetve 30 Hz.

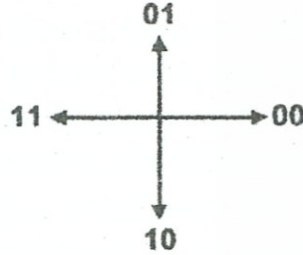


2.24. ábra. Adatátvitel frekvencia- (a) és fázismoduláció (b) felhasználásával

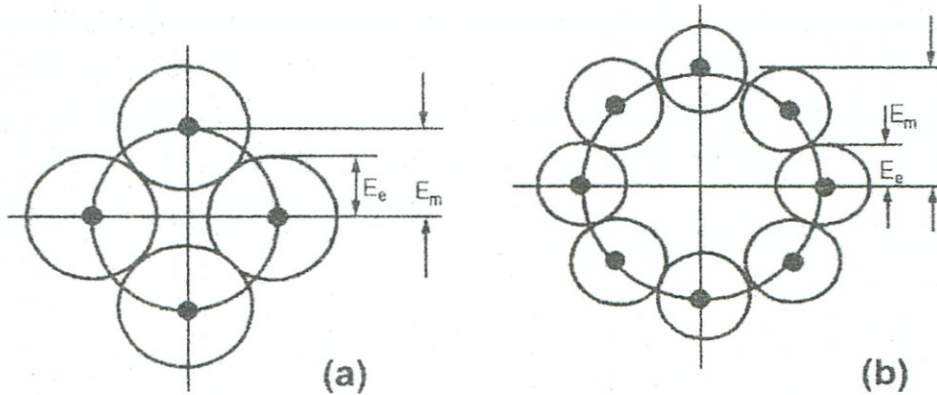
A frekvenciamodulációból kifejlődött másik modulációs mód a *fázis-billentyűzés* (phase shift keying, PSK). Ekkor  $n$  bitet az adatfolyamból kiemelve, a  $2^n$  állapotot egyfrekvenciás hordozó  $2^n$  fázishelyzetébe kódolják



(2.24. ábra). Például  $n=2$  esetére a 2.25. ábrán látható a fázis-vektor diagram. A vivő 4 fázishelyzetének a 2 bit különböző értékpárjai felelnek meg. Hasonlóan, 8 fázisú jellel 3 bit kódolható (2.26. ábra). A biztonsággal megkülönböztethető fázishelyzetek száma, mint az utóbbi ábrából látható, nem növelhető tetszőlegesen, mert az elektromos átvittel együttjáró zavarok hatása egyre könnyebben eredményez hibás detekciót.



2.25. ábra. Fázisvektor diagram 4-fázisú PSK esetére



2.26. ábra. A jel és a zavar elválasztása 4-fázisú (a) és 8-fázisú PSK esetén (b)

A gyakorlatban a fázisbilleentyűzés azért sem alkalmazható ebben az egyszerű formájában, mert a jel fázishelyzetének a meghatározásához a vétel során *referencia* jelre van szükség, amihez a pillanatnyi fázishelyzet hasonlítható. A rendszer azonban könnyen átalakítható, ugyanis a különböző bit-konstellációknak különböző fázis-ugrás is megfeleltethető. Az így létrejött *differenciális fázisbilleentyűzés* (differential phase shift keying, DPSK) a fent ismertetett PSK továbbfejlesztése. Az ITU-T V.26. számú ajánlása 1800 Hz vivőfrekvencia 4 fázisú differenciális fázisbilleentyűzésével 2400 b/s, a V.27. szerinti, 8 fázisú megoldás 4800 b/s átviteli sebességet tesz távbeszélő vonalakon lehetővé. A szimbólumváltások gyakorisága másodpercenként 600, azaz a moduláció sebessége 600 Baud.

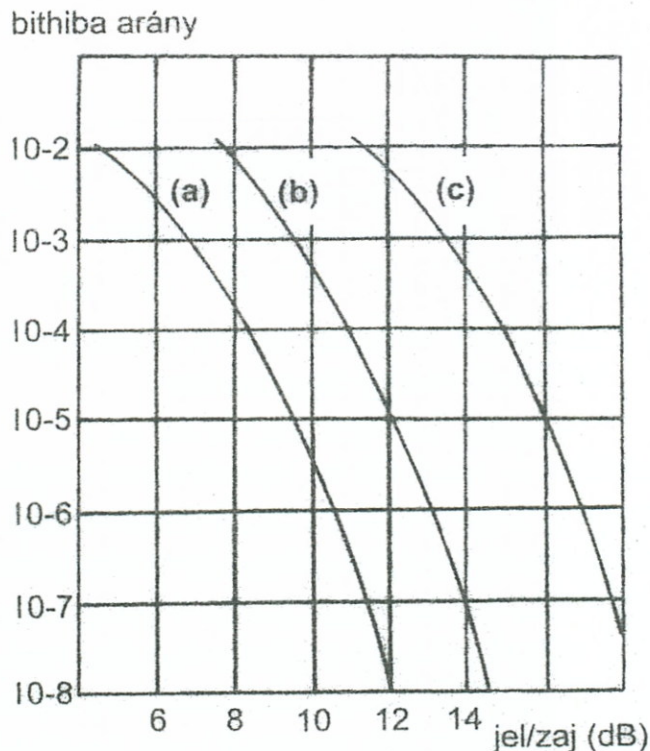
Modulált rendszert alkalmazva a szimbólumközi interferencia ugyanúgy zavaró lehet, mint alapsávi rendszereknél. Itt a vivőfrekvencia környezetében kell az átviteli karakterisztikát pontosan kialakítani. Ha ez nem sike-

rül, kiegyenlítőt kell alkalmazni. Ez a V.27. modembe például általában már be van építve, manuális vagy automatikus, adaptív változatban.

### 2.1.8. A zaj hatásának a figyelembevétele



A nem ideális frekvencia karakterisztikájú átvitel eredményeként az egymást követő logikai állapotoknak megfelelő jelek egymást zavarják, ami hibás vételt, logikai tévesztést eredményezhet. Hasonló a hasznos jelhez adott bármilyen más zavaró jel hatása. Ugyanúgy téves lehet a 2.2. ábrán bemutatott komparálás eredménye, ha a tényleges jel nem átviteli fogyatékoságok miatt tér el az ideálistól, hanem additív zavaró jel jelentkezik. Kiszámították [3], hogy mekkora a tévesztés valószínűsége ideális jelhez adott Gauss-eloszlású fehérzaj esetén. A jel-zaj viszony, pontosabban a jel egy impulzusának az energiája és a zavaró fehérzaj spektrum-sűrűsége hányadosának a függvényében a 2.27. ábrán látható a *hibaarány* várható, valószínű értéke.

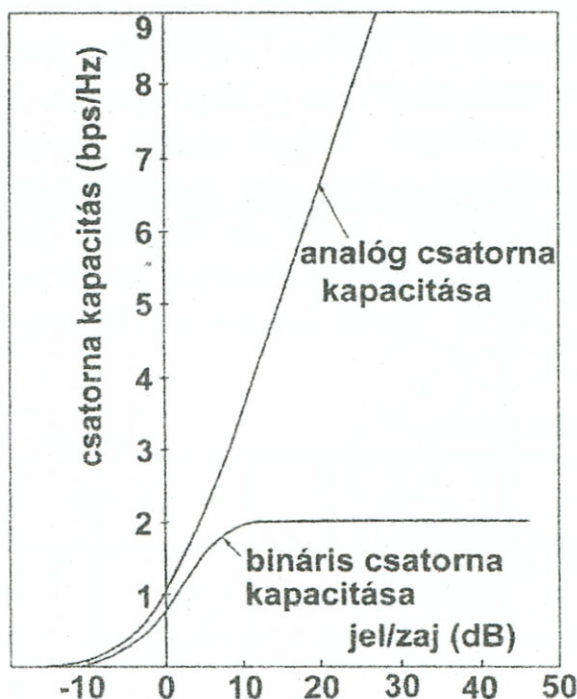


**2.27. ábra.** A hibaarány függése a jel-zaj viszonytól, Gauss-eloszlású zajra: (a) két- vagy négyállapotú PSK, koherens vétel, (b) négyállapotú DPSK, (c) kétállapotú AM esetre

Ugyanakkor Shannon kimutatta [4] [5], hogy zaj jelenlétében is lehetséges információt hiba mentesen továbbítani. Az így értelmezett *csatorna kapacitás* eltérően alakul a kétállapotú jelekkel üzemelő ún. bináris csatornára és az ún. folytonos csatornára. (Míg az előbbi a digitális, az utóbbi az



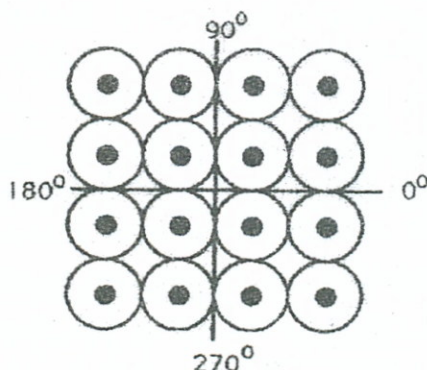
analóg üzemnek felel meg.) A bináris csatornán (2.28. ábra) 1 Hz sávszélesség mellett az átvihető információ a jel-zaj viszony növekedésével 0 és 2 b/s között változik, a folytonos csatorna kapacitása a jel-zaj viszony javulásával pedig a  $\log_2(1+J/Z)$  összefüggés szerint folyamatosan nő. Vagyis, ha elegendően nagy jel-zaj viszony *biztosítható*, érdemes kihasználni az amplitúdó (és a fázis) variálásával elérhető többlet átviteli kapacitást, különösen a vivőfrekvenciás átviteli technikában, ahol a sávszélesség határolt, illetve az csak a szomszédos átviteli csatornák rovására bővíthető.



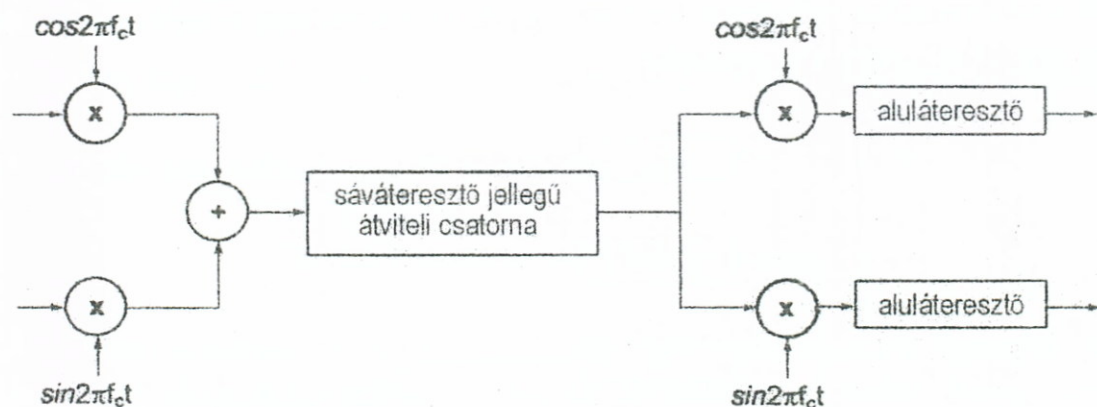
2.28. ábra. A bináris és a folytonos csatorna átviteli kapacitása a jel-zaj viszony függvényében

! A kvadratúra amplitúdó moduláció (quadrature amplitude modulation, QAM) a PSK általánosan értelmezett továbbfejlesztésének tekinthető, bár a jel előállítása és detektálása alapvetően attól eltérően történik. A 2.26. ábrán  $E_z$  sugarú körökkel jelöltük azt a megengedhető zaj amplitúdót, ami még nem okozza a jel hibás vételét. Ahogy a fázisok száma nő, a zajhatár csökken és ezért 8-nál több fázisú DPSK nem fejlődött ki. Azonban a jelváltozatok más elrendezésével – lényegében ugyanakkora maximális jel amplitúdó mellett, nem rosszabb zajvédelemmel – több állapot különböztethető meg, ha a fázis-változatokon kívül amplitúdó változatokat is megengedünk. A 2.29. ábrán 16 állapotú QAM jelkonstellációt mutatunk be. Az elnevezés a jelek előállítására utal, a különböző állapotokat két, egymással 90 fok fázistolásban (kvadratúrában) lévő és megfelelően megválasztott amplitúdójú vivőfrekvenciás jel összeadásával állítják elő. A vétel során a demodulálás is az előállításhoz hasonlóan történik: a két jel függetlenül nyerhető vissza, fel-

használva a vétel helyén rendelkezésre álló kvadratúrában lévő referencia-vivőket (2.30. ábra). Ha a vevőben a demodulátor nem tudja rekonstruálni a vivő abszolút fázisát, akkor mindig marad egy  $\pi/2$  többszörösével egyenlő fázis-bizonytalanság a vett és az adott jel között, ami csak a síknegyedek differenciális kódolásával oldható fel.



2.29. ábra. 16 állapotú QAM jelelrendezése



2.30. ábra. QAM adó-vevő rendszer

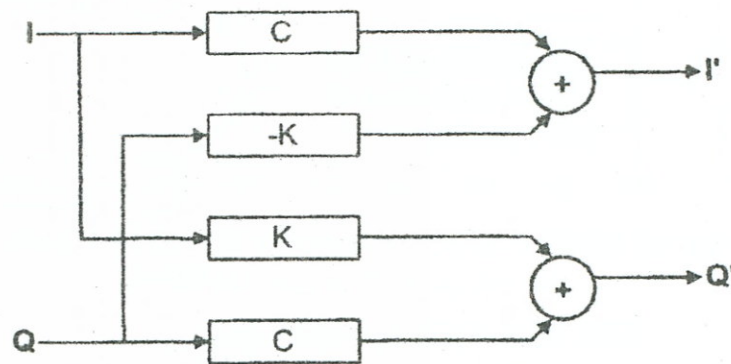
A 16 állapotú QAM jellel szimbólumonként 4 bit információ kódolható, ami a szokásos 2400 Baud szimbólumváltási sebesség mellett  $4 \cdot 2400 = 9600$  b/s adatátviteli sebességet eredményez. Az állapotok számát 32-re, 64-re... szaporítva, a sebesség 5-ször, 6-szor... 2400 b/s-re növelhető. Az állapotok számának a növelésével növekszik a zajérzékenység. Általában úgy tekintik, hogy ugyanolyan tévedési valószínűség biztosításához az állapotszám kétszerezésével mintegy 3 dB-lel nagyobb jel-zaj viszony szükséges.

A redundancia mentes QAM kódolás érzékeny az átviteli zavartatásra, ezért nagyobb állapotszám mellett nem használatos. Helyette terjed a *trellis kódolás* (trellis code modulation, TCM) (a trellis angol szó a növényzet feltuttatására alkalmazott rácsozatot jelenti), amely egy további redundáns bit felhasználásával (azaz a minimálisan szükséges állapotok számának a meg-



kétszerezésével) és egy késleltetett döntési algoritmus segítségével jelentősen jobb hibaarány elérését teszi lehetővé. [6] A kézirat készítésének az időpontjában ilyen elven beszédsávban működő modemek készülnek 28.800 b/s, illetve – a szimbólum váltási sebesség 2800 Baudra való növelésével – 33.600 b/s átviteli sebességre. (Mivel a beszédsáv átvitelére nagyon gyakran 64 kb/s sebességgel digitalizált rendszert használnak, nem emelhető a modulációs rendszerek átviteli sebessége sem ezen érték fölé. Az 56 kb/s sebességre készült modem nem az itt bemutatott modulációs elven működik.)

Akár QAM, akár TCM kódolást használunk, az eredmény olyan alapsávi (300-3400 Hz tartományban elhelyezkedő) elrendezéssel egyenértékű, amely képes egyidejűleg két független jelet kezelni. A demodulált jelek fázishibája keresztmodulációt eredményez, ami csatornák közötti szimbólumközi interferenciával egyenértékű. A csatornán belüli interferencia csökkentésére használt kiegyenlítő ezért szokásosan kombinálják a csatornák közöttivel és a 2.31. ábra szerinti elrendezésben építik fel. Mivel a két jel egyazon csatornán terjed, a két vivőn jelentkező interferencia mértéke egyező, ezért a két ágban az együtthatók is egyezők, csupán a megfelelően súlyozott és késleltetett csatornáközi hibajelet kell az egyik csatornában pozitív, a másikban negatív előjellel venni figyelembe.



$$(I + jQ)(C + jK) = (CI - KQ) + j(CQ + KI)$$

$$= I' + jQ'$$

2.31. ábra. QAM kiegyenlítő



### 2.1.9. Hibadetektálás és -korrekció

Bármilyen körülményben is választottuk meg a vonali kódot vagy az alkalmazott modulációt, hiába alkalmaztunk kiegyenlítőt az interferencia és a zavarok hatásának a csökkentésére, nem tudjuk biztosítani a vett jel tökéletes hibamentességét. Az átviteli bithibák hatása alapvetően eltérő lehet a digitálisan kódolt információs anyag természetétől függően. Viszonylag ke-



véssé zavaró, talán teljességgel észrevehetetlen a beszéd- vagy a videojelek esetében, ezek ugyanis akkora redundanciával rendelkeznek, hogy egy-egy elemük hibája nem vagy alig érzékelhető. Merőben más a helyzet például egy banki tranzakció esetén, ahol egyetlen bit hibás vétele esetleg nagyságrendi tévesztést eredményezhet.

Az átvitelre kerülő bitek egy részét *redundáns* bitként felhasználva lehetőség nyílik az átviteli hibák kisebb-nagyobb hányadának a *detektálására*, illetve *korrigálására*. Hangsúlyozzuk: nem lehet valamennyi hibát eltüntetni, ez mindig csak részben sikerül, mégpedig annál nagyobb hatékonysággal és mértékben, ha viszonylagosan minél több bitet használunk fel erre a célra, azaz minél inkább megnöveljük az átvitelre bocsátott jelfolyam redundanciáját.

A hibajelzésre és -korrekcióra felhasznált bitek információt nem visznek át, ilyen értelemben redundáns bitek. Mindazonáltal megvan az információátviteli funkciójuk. Szokásos definiálni az alkalmazott kód hatékonyságát, mint az időegység alatt átvitt információhordozó adatmennyiség és a vonali átviteli sebesség hányadosát:

Hatékonyság = Információátviteli sebesség / Vonali átviteli sebesség,

amiből azután számolható a kód redundanciája:

$$\text{Redundancia} = 1 - \text{Hatékonyság.}$$

Általában a hibakorrigálás jóval nagyobb redundanciát igényel, mint a hiba jelenlétének a detektálása. Gyakran elegendő azt tudni, hogy *van* hiba az átvitelben. Az üzenetet ekkor érvénytelenítik és annak újbóli átvitelét kérik. A detektálással és újraadással elvégzett hibakorrekció műveletét angol eredetű betűszóval ARQ-nak nevezik. De mielőtt erre szükség lenne, érdemes esetleg hibajavító kódok alkalmazásával megmenteni és felhasználni a már átvitt üzenetet.

A legegyszerűbb módszer egy bitsorozat (szokásosan 1-1 bájt) párosságának, paritásának az átvitele egy további, úgynevezett paritásbit felhasználásával (a 8 bit paritásának a jelzésére tehát egy kilencedik bit szolgál). Ezzel detektálható a sorozaton belül fellépő egyszeres (pontosabban páratlan számú) hiba, nem érzékelhető viszont a kettős (pontosabban páros számú) hiba. Az informatív bitsorozat hosszának a csökkentésével egyre kisebb az egynél több hiba fellépésének a valószínűsége, de a paritásbit használatával nő a redundancia mértéke.

A bithiba valószínűségének ( $p_h$ ) az ismeretében (ami nem más, mint az átviteli hibaarány) összefüggés adható meg [1] a paritásjelzés alá vont bitsorozat  $n$  hosszúsága és az eredő hibaarány,  $p_e$  között. Ennek meghatározását



arra az esetre végezzük el, hogy feltesszük, a jelzés nélkül maradt hibák száma közel egyenlő a kettős hibákéval. Közelítésként tehát elhanyagoljuk a három- és többszörös hibákat, ami kis bithiba arány esetén jogos.

Az egyszeres hiba valószínűsége  $n \cdot p_h$ , míg a sorozaton belül két hiba

$$n \cdot (n-1) \cdot p_h^2 \cdot (1-p_h)^{n-2} / 2$$

valószínűséggel fordul elő. Mivel  $p_h$  kicsi, az  $(1-p_h)^{n-2}$  tényező közelítően 1-nek vehető. Kétszeres hiba esetén  $n$  bitből 2 a hibás, a paritásbittel nem jelzett hiba valószínűsége, az eredő hibaarány a fenti kifejezés közelítő értékéből tehát  $2/n$ -nel történő szorzással nyerhető:

$$p_e \cong (n-1) \cdot p_h^2. \quad (2.1)$$

A fenti összefüggés,  $p_h$  ismeretében, akár  $n$ , akár az eredően nem jelzett hiba valószínűségének a meghatározására használható fel. A bitsorozat egész számú bitet tartalmaz, amelyek közül 1 a paritásbit. Így, hogy egyáltalán információ átvitelről beszélhessünk,  $n$  legkisebb értéke 2. Erre az esetre:  $p_e \cong p_h^2$ . Vagyis például  $p_h=10^{-4}$  átviteli bithiba arány legfeljebb  $p \cong 10^{-8}$ -ra csökkenthető a paritás jelzőbit alkalmazásával.

a	b	c	d	p <sub>1</sub>
e	f	g	h	p <sub>2</sub>
i	j	k	l	p <sub>3</sub>
p <sub>7</sub>	p <sub>6</sub>	p <sub>5</sub>	p <sub>4</sub>	

2.32. ábra. Tömb-paritás felhasználása egyszeres hibák korrekciójára

Bitsorozatokban lévő egyszeres hibák *korrigálására* is kiterjeszhető a paritásbitek alkalmazása. A sorozatból a 2.32. ábrán látható módon tömböt képeznek, és paritásbitekkel megadják valamennyi sor és oszlop párosságát. A tömb bármely bitjének a hibás vételét így két paritásbit jelzi. A hiba helye tehát egyértelműen lokalizálható és a hiba korrigálható is, egyszerűen a hibásan vett bit értelmezésének a megfordításával: 1 helyett 0-át, 0 helyett 1-et kell írni.

Többszörös hibák vagy jelzetlenül maradnak, vagy hibás értelmezést eredményeznek. A redundancia növelése ennek a valószínűségét is csökkenti: minél kisebb tömböt 'veszünk körül' paritásbitekkel, annál kisebb lesz a fennmaradó korrigálatlan és jelzetlen hibák száma.

A tömb-paritás értelmezésének a kiterjesztésével, általánosságban feltehető, hogy  $N$  bitet tartalmazó kódszavakból ( $N-h$ ) az információt hordozó



bit,  $h$  pedig redundáns. Az  $N$  hosszúságú kódszóval így  $2(N-h)$  különböző állapot fejezhető ki. Az ezekhez tartozó kódszavak egymástól  $h$  bitben térnek el. Ezt úgy mondjuk, hogy a kódszavak *Hamming-távolsága*  $h$ . [7] Például az alábbi két 8 bites kódszó Hamming-távolsága 3:

```

0 0 1 0 1 1 0 1
      x       x  x
1 0 1 0 0 1 1 1

```

vagy az alábbi esetben 4:

```

0 0 0 0 1 1 1 1
  x x       x x
0 0 1 1 0 0 1 1

```

A Hamming-távolság fogalmának a felhasználásával a következő szabályok adhatók meg:

(a) Ha két kódszó között a távolság 1, akkor egyetlen hiba átfordítja a kód értelmét egy másikba, a hibadetekció lehetetlen.

(b) Ha a kódszavak között a minimális távolság 2, valamennyi egyszeres hiba detektálható, legalább 2 hiba kell a kódszó hibás értelmezéséhez.

(c) Ha a minimális távolság 3, valamennyi egyszeres hiba korrigálható, hiszen egy bit hibás vétele nem okozza a kódszó hibás értelmezését, ehhez legalább két bitben kellene hibának lennie. Vagyis az egyszeres hibával vett kódszavakban a hibát nem kell figyelembe venni, a kódszó eredeti tartalommal vehető számításba. E fenti szabályt alkalmazva, 2 hiba megváltoztatja a szó értelmét, 3 hiba pedig detektálatlanul marad. Eredőben ha a minimális távolság 3, jelezhető minden kettős hiba, vagy javítható az egyszeres bithiba.

(d) Ha minimális távolság 4, egyszeres hiba javítható és kettős hiba jelezhető egyidejűleg. Hogy mindkettőt javítani tudjuk, ahhoz a minimálisan szükséges távolság a kódszavak között 5.

(e) Általánosságban kimutatható, hogy kódszavanként  $k$  hiba javításához a szükséges minimális Hamming-távolság  $(2k+1)$ .

A Hamming-távolság növelésével megnő a redundáns bitek száma. 8 bites kódszavak esetén, ha 3-as távolságot választunk, a maradó 5 bittel ki-fejezhető kombinációk száma 32, 4-es távolságnál az 16-ra csökken, s.í.t. A hibajelző bitek kódszavon belüli helyének és az értelmének (párosságot vagy páratlanságot fejeznek-e ki) a megválasztásával felépített Hamming-kódok, amelyek részletezésével nem foglalkozunk, hatékonyan alkalmazhatók és lényegében a (2.1) formula kapcsán értelmezett mértékű hibaarány javulást eredményeznek.

Hosszabb bitsorozatok átviteli hibáinak a jelzésére használják a *ciklikus redundancia ellenőrző* (cyclic redundancy check, CRC) kódokat. Előnyös





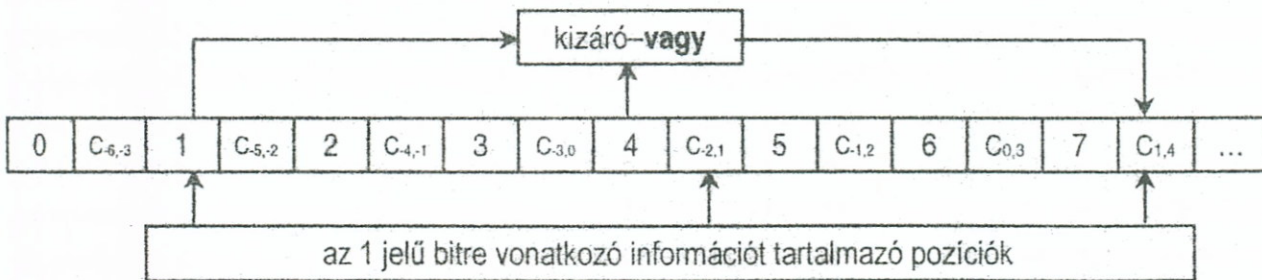


A CRC kód előállítására és felhasználására példát a 2.33. ábrán mutatunk be, amikor is az  $m=8$  információs bithez 3 bites ellenőrző kódot ragasztunk hozzá a fenti szabályok figyelembevételével. A módszer alkalmazása lehetővé teszi az átviteli hibák jelzését, amit azután az ARQ művelet kapcsán használnak fel.

Ennek ismertetését megelőzően még röviden szólni kell a *konvolúciós kódokról*, mint hatékony hibajavító eszközről. Az eddig ismertetett módszerek viszonylag jól használhatók azoknak az átviteli hibáknak a jelzésére és korrekciójára, amelyek véletlenszerűen, additív fehérzaj hatására lépnek fel. A konvolúciós kód előnyösen használható a csoportosan fellépő hibák esetében, amit például nagy zavaró elektromos terek okozhatnak.

A konvolúciós kódban az adatfolyam nincs blokkokra osztva, hanem paritásbiteket képeznek két, egymástól bizonyos távolságra elhelyezkedő információs bithez, amelyeket azután a jelfolyamba valahová beiktatnak.

Az egyik legelterjedtebb konvolúciós kód a *Hagelbarger kód*, [8] amelyben minden második bit ellenőrző bit, képezve az öt megelőző  $j$ -edik és  $k$ -adik információs bit modulo-2 összegeként. Így valamely információs bitre vonatkozó átvitel időben 'elkenődik' és a hiba jelezhető akkor is, ha egymás mellett több átvitt bit hibás. A Hagelbarger kód használatára példát a 2.34. ábrán láthatunk, ahol  $j=7$ ,  $k=14$ . Ebben az esetben egymást követő 6 hiba még javítható, feltéve, hogy azt legalább 19 hibátlanul átvitt bit előzte meg. Ha valamely bitre vonatkozó információt még nagyobb mértékben elkenünk, még hosszabb hibás csoportok javíthatók, de ehhez egyre hosszabb megelőző szakasz hibátlan átvitelére van szükség. A redundancia mértéke ilyen kódra 50%.



2.34. ábra. A Hagelbarger kód

Az eddig megismert módszerek, amellett, hogy korlátozott mértékű hibajavításra alkalmasak, elsődlegesen csak jelzik azokat. Általában a leghatékonyabb módja az átvitel során az üzenetbe beépülő hibák hatása semlegesítésének az, ha jelenlétük észlelése után az üzenet *megisméttlését* kérjük. Pontosabban, fontos üzenetek továbbításakor az adóoldal kezdeményezi a vétel megtörténtének a *nyugtázását* (acknowledgement request, ARQ). Ehhez természetesen szükség van vissz irányú átviteli csatornára és az adó oldalon tárolni kell a már továbbított üzenetet mindaddig, amíg meg nem érke-



zik a hibátlan vétel igazolása. Hogy melyik módszer kerül végül is alkalmazásra, abban még a fentiekén kívül szerepet kap az ismételt adás további időigénye, valamint a hibák tényleges gyakorisága és annak elviselhetősége is.



### 2.1.10. Kódolandó híryananyagok

A 2.1.5. alfejezetben használt értelmezés bővítéseként itt kódolás alatt egy adott időpontban véges számú diszkrét mennyiség közüli választással megadható mennyiségnek a bitsorozattal történő kifejezését értjük. A híryananyag fizikai tartalmától függetlenül, az egyértelmű kódolhatóság feltételezi, hogy a figyelembe veendő időpillanatok száma véges, azok egyébként követhetik egymást akár egyenlő időközönként, periodikusan, akár tetszőleges mértékben aperiodikusan.

A kódolás tényleges kivitelezése során a mennyiséget először mindig egyszerű bináris kód formájában adjuk meg (szűkebb értelemben most ezt tekintjük kódolásnak), majd következő lépésben alakítjuk azt vonali kóddá és ez utóbbi nem is része az itt értelmezett műveletnek.

A kódolandó mennyiségnek mindenképpen véges választható értékkel kell rendelkeznie. Ez vagy már eleve teljesül, vagy a kódolást megelőzően kell megvalósítani. Ez utóbbi az analóg mennyiségeknél fordul elő, amelyeknek a pillanatnyi értékét a digitalizálás során kvantálni kell, ami két lehetséges, még éppen megkülönböztethető érték különbségeként adott kvantumokban való számjegyese kifejezéssel egyenértékű.

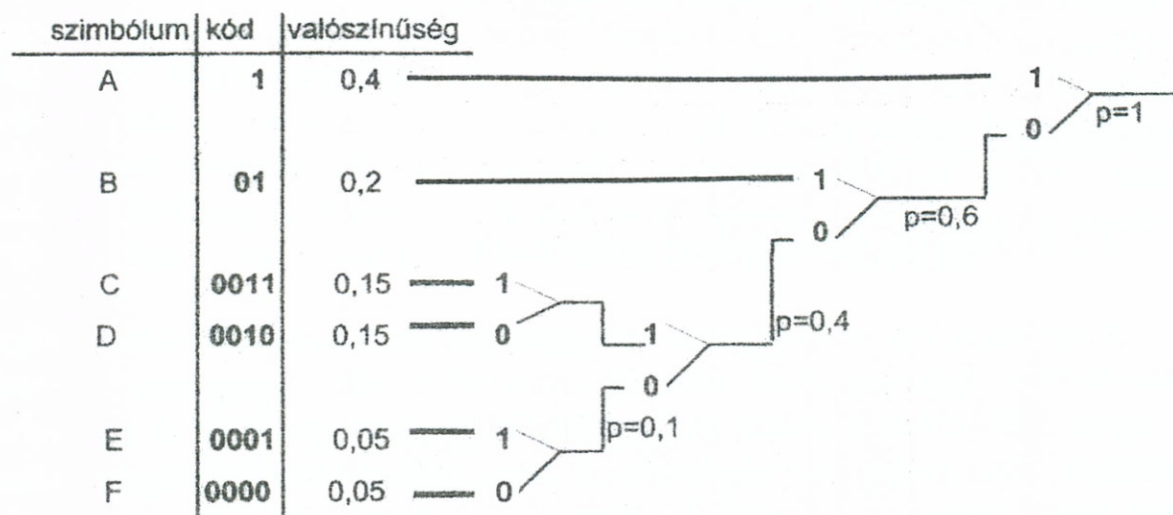
A véges számú változatot tartalmazó mennyiség digitális megadásakor alkalmazhatunk állandó vagy változó számú bitet, azaz szóhosszúságot. (Egy-egy ilyen szó neve valaha a bájt volt, amit ma soha nem használnak ebben az értelemben, ma a bájt egyszerűen 8 bitet, azaz egy oktetet jelöl.) Az állandó szóhosszúság egyszerű dekódolhatóságot eredményez és ha lehetséges, ezt alkalmazzák. Változó szóhosszúsággal akkor érdemes digitalizálni, ha erre kifejezett igény jelentkezik és a kódolandó mennyiség jellege ezt indokoltá teszi.

Ha az értéktartományon belül egyes értékek előfordulási valószínűsége jelentősen eltérő, érdemes lehet ezeket rövidebb, míg a kisebb valószínűséggel előfordulókat hosszabb kódszóval kifejezni, ami eredőben, több szóra átlagolva, kevesebb számú bit felhasználását jelentheti, azaz az átlagos átviteli sebesség igény kisebb lehet.

Változó szóhosszúsággal történő kódolásra példa a távíró technikában régebben használt Morse-kód, amelyben, figyelembe véve az angol nyelv statisztikai tulajdonságait, a leggyakrabban előforduló 'e' betű jelölésére szolgál a lehető legrövidebb jel, míg olyan ritkán előforduló betűt, mint a 'z' hosszú, bonyolult kóddal adnak meg.



Tetszőleges felépítésű és hosszúságú kódokat lehet használni táviratozásnál, amikor az egyes kódokat szünet választja el egymástól. Folytonos és egyenlő szimbólum-idejű bitfolyam esetén csak olyan változó szóhosszúságú kódok jöhetnek számításba, amelyek egyértelműen dekódolhatók ez esetben is, feltéve, hogy az átvitel során bithiba nem történt. A változó szóhosszúságú kódok viszonylag érzékenyebbek az átviteli hibákra. Egyetlen bit kiesése vagy hibás vétele is több szimbólumra kiterjedő hibás vételt eredményezhet és ez előnytelené teszi az ilyen kódok használatát.



2.35. ábra. A Huffman kód értelmezéséhez

A változó szóhosszúságú kódokra szolgáljon példaként a *Huffman kód* [9] bemutatása. Álljon a digitalizálendő mennyiség lehetséges értékészlete 6 elemből (2.35. ábra), ismert előfordulási valószínűségekkel! Rendezzük ezeket sorrendbe csökkenő előfordulási valószínűség szerint! A leggyakoribb érték lesz a legrövidebb kóddal megadva és a kódszó egyre hosszabb lesz, ahogy az érték előfordulási valószínűsége csökken. A két legkisebb valószínűséggel előforduló érték kódja csak az utolsó bitben különbözik. Növekvő valószínűséghez mindig egy további bit lesz felhasználva páronként, mindaddig, amíg az egyhez el nem érünk. Mindig **0** jelöli a nagyobb, **1** a kisebb valószínűségű utat. Részleteiben a kód felépítése a 2.35. ábrán követhető. A szünetek közbeiktatása nélkül, folyamatosan adásra kerülő bitsorozat egyértelműen dekódolható, amiről az olvasó egyszerű példák analizálásával maga is meggyőződhet. Hasonlóképpen utána számolhat annak is, hogy mintegy 20% a nyereség ahhoz képest, ha az ábra szerinti példa esetében 6 elemről lévén szó, azokat egyenlő szóhosszúsággal, 3-3 bittel adtuk volna meg. A Huffman kódban átvitt bitsorozat azonban nem szinkronizálható és egyetlen bithiba több egymásra következő érték helyes vételét teheti lehetetlenné.

A fenti tárgyalás során nem voltunk tekintettel az átviendő bitsorozat tartalmára. A következőkben áttérünk a kódolandó híryanagyokra. Mindenek



előtt a megkülönböztetett egyedekből álló mennyiségek információ hordozó csoportjait, szimbólum-készleteit kell megemlíteni. Ilyenek az írógépen használt írásjelek, amelyeket a szokásosan használt ASCII-kódban (American Standard Code for Information Interchange) egységesen 7, illetve további nem egyértelműen használt 1 bittel adnak meg. Ez a méret a betűkön túl több jel megkülönböztetését teszi lehetővé, amit ki is használnak, de ennek részletezésével itt nem foglalkozunk. A fejezet további része a két legfontosabb információhordozónak: a füllel érzékelhető beszéd (és röviden a zene) jeleknek, valamint a szemmel felfogható információnak, a kép, illetve a video-anyag átviteli kérdéseivel foglalkozik.

## 2.2. BESZÉDJELEK



### 2.2.1. Információátviteli jellemzők

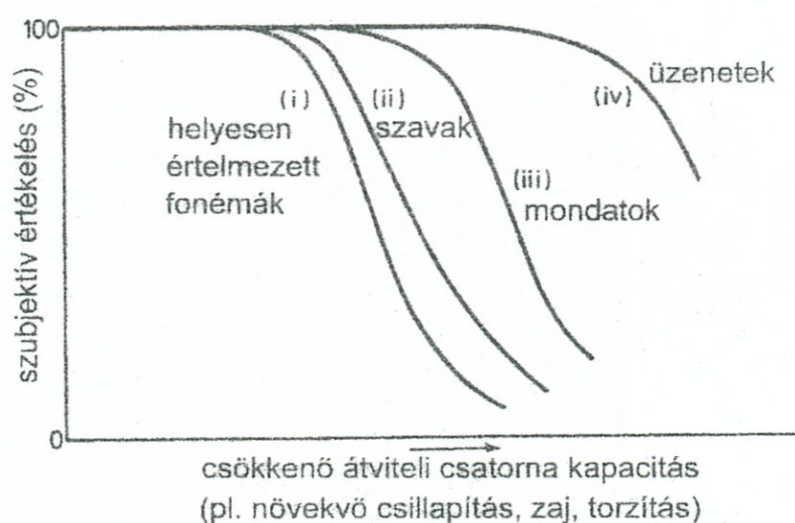
A távbeszélőn lebonyolított társalgáshoz kétirányú valós idejű szimmetrikus átviteli csatornára van szükség, amelyet az idő – átlagosan – 50%-ában az egyik, 50%-ában a másik oldali beszélő fél vesz igénybe. A *beszéd* mondatokból, azok pedig szavakból állnak, ezek időbeni kitöltöttségére jellemző, hogy annak mintegy további 50–70%-ában történik ténylegesen energia átvitel, a többit jelszűnet tölti ki. A folytonosan kiejtett szavak szótagokból, míg ezek *fonémákból* állnak össze, amelyek a nyelvnek írásban egy vagy több betűvel jelzett önálló hangtani egységei. Adott nyelvre a jellemző fonémák száma mintegy 40, egy-egy fonéma információtartalma tehát  $\log_2 40 \approx 5,3$  bit. Mivel az ember átlagosan másodpercenként 3 szótagot ejt ki, szótagonként 2-3 fonémával, így a beszélgetéshez szükséges információátviteli sebesség nem nagyobb 50 b/s-nél. Erre is csak a beszéd aktív szakaszában, az idő átlagosan 25–30%-ában van szükség. Mivel az emberi nyelv nem használja ki a fonémák közötti összes lehetséges kombinációt, továbbá a mondatokon és a szavakon belüli redundancia mértéke jelentős, úgy tekintik, hogy a beszéd tényleges információ tartalma nem több mintegy 12 b/s-nél. [3]

A beszédjel vételére kialakult *hallási* mechanizmus ennél sokkal több információ feldolgozására, igen finom különbségek felfogására képes: talán 5000 hang között tud különbséget tenni. Egy-egy ilyen hang felfogásához átlagosan 100 ms idő szükséges, vagyis a hallás egyenértékű csatornakapacitása mintegy 50000 b/s. Ez nem azt jelenti, hogy nem történhet meg az 50 b/s-nél nem nagyobb információ tartalmú beszéd félreértése, nem-felfogása, amennyiben a hallgató figyelmét valami a beszélőtől elvonja, illetve, ha a beszéd átvitele során az arra rakódott zavaró jelek a megfelelő hangok felfo-



gását megnehezítik. Másrészt viszont a beszéd nem mindössze másodpercenként 50 bit információból áll. A beszélő ténylegesen sokkal többet kifejez sajátos hanghordozásával, hangsúlyaival, nem beszélve az egyén azonosításának a természetes adottságáról.

A távbeszélő átviteli csatornák minőségét, a társalgás lebonyolítására való alkalmasságát végeredményben kizárólag a hallgató fél *megelégedettségét* kifejező szubjektív vizsgálattal lehet meghatározni. Ilyen vizsgálat eredménye látható a 2.36. ábrán, ahol a csatorna átviteli kapacitását csökkentő zavaró mennyiség, mint amilyen a csillapítás, a torzítás vagy a zaj, függvényében van ábrázolva a beszéd összetevőire vonatkozóan a szubjektív vizsgálattal nyert megelégedettségi mérték, százalékban mérve. Leginkább sérülékenyek a fonémák, ezek korrekt megkülönböztetése a legnehezebb, mivel nincs redundanciájuk. Nagyobb zavarszintnél kezd a szó-, majd a mondatérthetőség csökkenni és legkevesébé romlik a teljes üzenetek átviteli hatékonysága a csatorna-kapacitás csökkenése következtében.



2.36. ábra. Hallgatói megelégedettség az átvitelt zavaró tényezők szintje függvényében

### 2.2.2. Akusztikai jellemzők



A beszéd akusztikai jelenség. A beszélő által kibocsátott rezgés közvetítő közegben, általában levegőben terjedve érkezik a hallgatóhoz. [10] Az akusztikai teljesítmény, a hangintenzitás,  $I$  és a hangnyomás,  $p$  között összefüggés van:

$$I = p^2 / \rho c \text{ (W/m}^2\text{)},$$

ahol  $\rho$  a közeg sűrűsége  $\text{kg/m}^3$ -ben mérve,  $c$  pedig a közegben mérhető terjedési sebesség  $\text{m/s}$ -ban. Ha a közvetítő közeg levegő, a  $\rho c$  szorzat értéke



400 kg/m<sup>2</sup>sec. Elektromos analógiával, a Watt=Volt<sup>2</sup>/Ohm formula mintájára, a  $\rho c$  szorzatot gyakran a közeg *karakterisztikus impedanciájának* nevezik, mégpedig 'akusztikai ohmok'-ban mérve.

A tényleges hangnyomást és -intenzitást logaritmikus léptékben adják meg. A vonatkoztatási alaphoz választott szint megegyezik az emberi hallásküszöb átlagos értékével, mégpedig 1000 Hz frekvencián mérve:

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2,$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2.$$

A hangnyomás szint (sound pressure level, SPL) nem más, mint a vonatkoztatási alaphoz viszonyított érték logaritmus:  $\text{SPL} = 20 \cdot \lg(p/p_0)$  dB, míg a hangintenzitás  $10 \cdot \lg(I/I_0)$  dB formában számolható. A kétféle módon számolt érték persze megegyezik, ha  $p_0$  és  $I_0$  között a fenti összefüggés érvényes.

A hangforrás által kibocsátott teljes teljesítmény a hangintenzitásnak a forrást körülvevő felületre számított integráljával egyenlő. Ezt beszélő esetén nehézkes meghatározni, és helyette a hangtér valamely pontjában a beszélő által keltett intenzitást adják meg. A hang intenzitása természetesen a beszéd ütemében ingadozik. A beszélő ajka előtt, attól 337 mm távolságban mérve definiálták a *referencia hangosság szintet* (reference vocal level, RVL), amit 100 ms integrálási idővel mérve +74 dB (0,1 N/m<sup>2</sup>) hangosságban határoztak meg, feltéve, hogy a beszélő *logatomokat* (önálló értelemmel nem bíró szóttagokat) ejt ki. Ugyanilyen hangosan *folyamatosan* beszélő személy, például szöveget könyvből felolvasva, +68,5 dB relatív hangosságot (0,053 N/m<sup>2</sup>) hoz létre, ami közelítően 7,6  $\mu\text{W}$  integrális hangteljesítménynek felel meg. (Megjegyzésre érdemes, hogy színészek körében végzett mérések szerint a férfiak átlagosan RVL+7 dB, a nők RVL-1 dB szintet produkálnak, az egyének közötti eloszlás közelítőleg normális, kb. 2,8 dB szórásnégyzettel.)

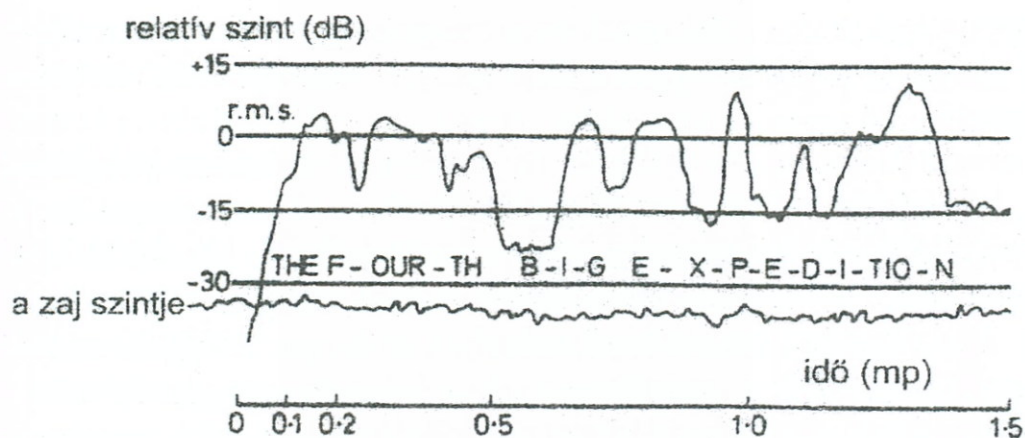
Beszéd közben a hangnyomás folyamatosan változik. Az ingadozás műszerrel mért értéke nagyban függ a mérőberendezés integrálási időállandójától. Ha a rezgések pillanatnyi amplitúdóját detektáljuk (például oszcilloszkóppal), látható, hogy a hangteljesítmény jelentős része a magánhangzókban koncentrálódik, a mássalhangzók -15...-30 dB hangosságot adnak ehhez viszonyítva. A beszéd teljesítmény-idő szerkezetéhez (2.37. ábra) még hozzátartozik az egyes hangok időbeni hossza, ami persze nemcsak egyének szerinti ingadozást mutat, hanem függ a beszélő pillanatnyi lelkiállapotától, a mondandó tartalmától is. Gondosan tagolt beszéd esetén az átlagértékek:

Kezdő mássalhangzó: 120 ms,

Magánhangzó: 250 ms,

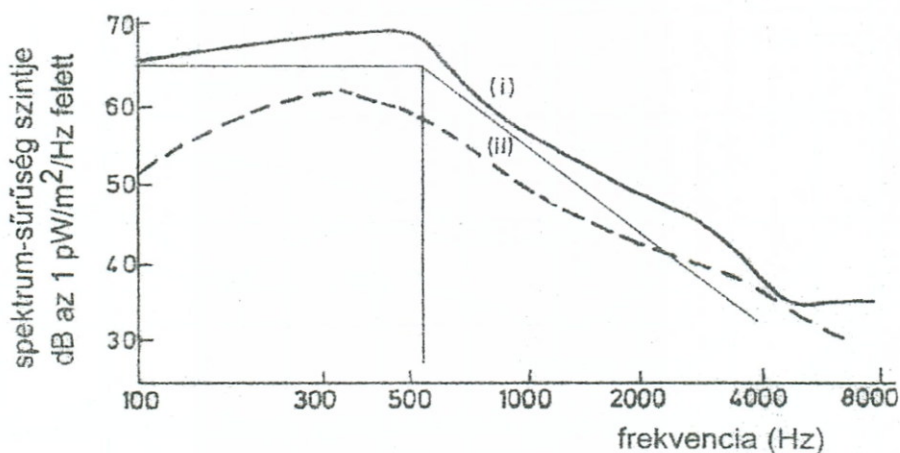
Záró magánhangzó: 190 ms.





2.37. ábra. Beszédteljesítmény időbeni ingadozása

A beszéd spektruma jellemzően frekvenciafüggő. A 2.38. ábrán [10] referencia szinten beszélő férfiak (a görbe) és nők (b görbe) jellemző átlagos spektrumát mutatjuk be. Látható, hogy kb. 100 Hz alatt jelentős teljesítmény nem mérhető. A spektrum mintegy 600 Hz-ig közel állandó, míg felette kb. -12 dB/oktáv meredekséggel csökken.



2.38. ábra. Beszéd átlagos teljesítményének frekvencia szerinti eloszlása  
(i) férfiaknál és (ii) nőknél

Megjegyzésre érdemes, hogy a teljes spektrum átvitele a beszéd megértéséhez nem szükséges. Kimutatták, hogy az átvitel a 0,3–3,4 kHz közötti tartományra korlátozható az érthetőség észrevehető csökkenése nélkül.

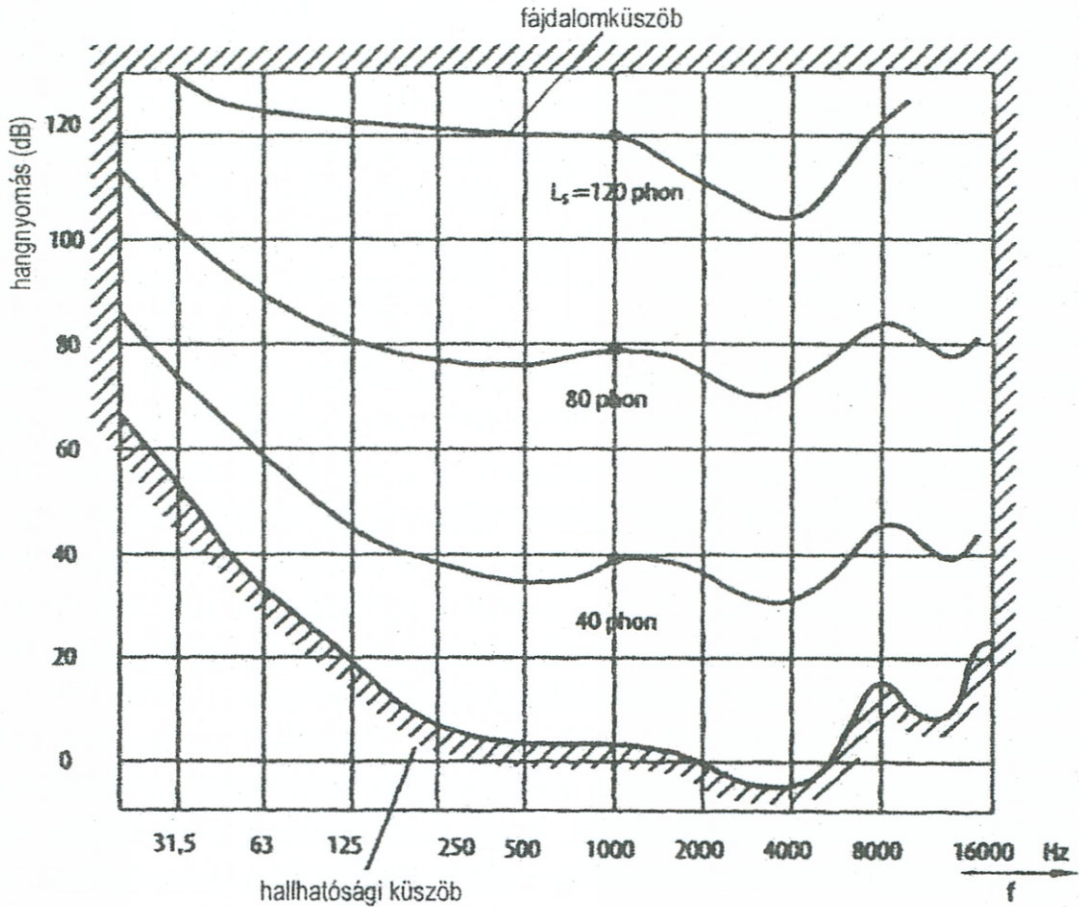
A beszédátvitel frekvenciasávjának a korlátozása már átvisz a beszéd 'vételésé' a kérdéskörébe. A hallás mechanizmusának és fiziológiájának a vizsgálata mutatja meg ugyanis, hogy az átvitel során milyen módosítások, korlátozások engedhetők meg, ami nem megy az érthetőség rovására.

Mindenekelőtt tisztázandó az egy és a két füllel történő hallás közötti összefüggés. Két füllel hallgatva ugyanazt a beszédet hangosabbnak halljuk, mint egy füllel. Hangnyomásban mérve, a különbség mintegy 8 dB. Ennek



oka részben a kétszeres vétel, részben a hangosságérzet további növekedése, ami a fej alakja és a fülek helyzete által keltett 'torlónyomás' keletkezésével magyarázható.

Az akusztikai csatolás a légtér és a dobhártya között tökéletesnek tekinthető, legalábbis a frekvenciafüggést illetően. A dobhártya és az inger előállító belső fül közötti csatolás aluláteresztő jellegű, kb. 5000 Hz-ig frekvencia független, felette kb. -12 dB/oktáv meredekséggel csökken. A hallásban a kb. 500 Hz alatt érzékelhető erőteljes frekvenciafüggést mutató érzékenység-csökkenés teljes mértékben idegi alapon magyarázható: agyunk nem hoz létre hangosságérzetet olyan mélyhangok esetében, amelyek szintje összemérhető a szervezet működése során a test belsejében keletkező zajokkal. Ha ez nem így lenne, folyamatosan hallanánk a szívünk, a beleink stb. működését. Mivel ezen zavaró belső hangok szintje meghatározott, az érzékenység kismagyasági csökkenése nagyobb külső hangnyomás esetén el is tűnik.



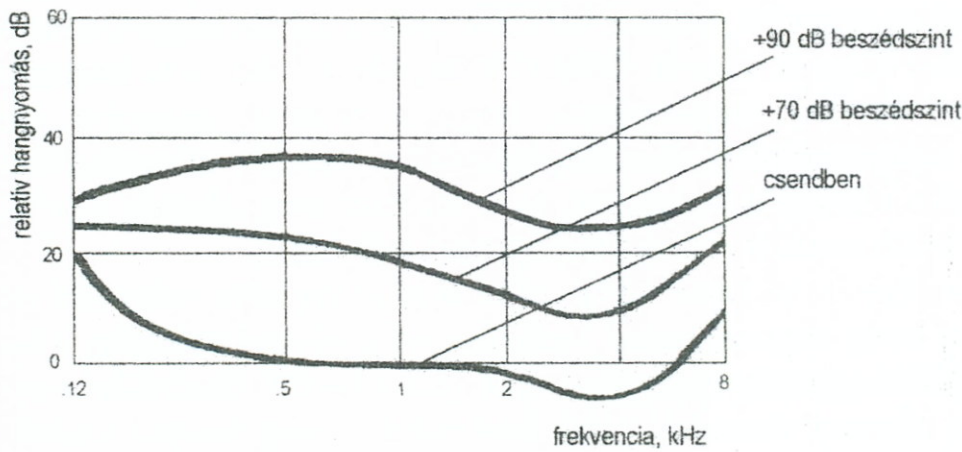
2.39. ábra. A relatív hangosságérzet frekvencia- és szintfüggése

A relatív hangosságérzetnek a hangnyomástól és a frekvenciától való függését kifejező közismert *Fletcher-Munson görbék* (2.39. ábra) alakja a fentiekkel lényegében meg is van határozva: ha a külső hangnyomást a hallhatósági küszöb és a fájdalmat okozó szint között változtatjuk, különböző

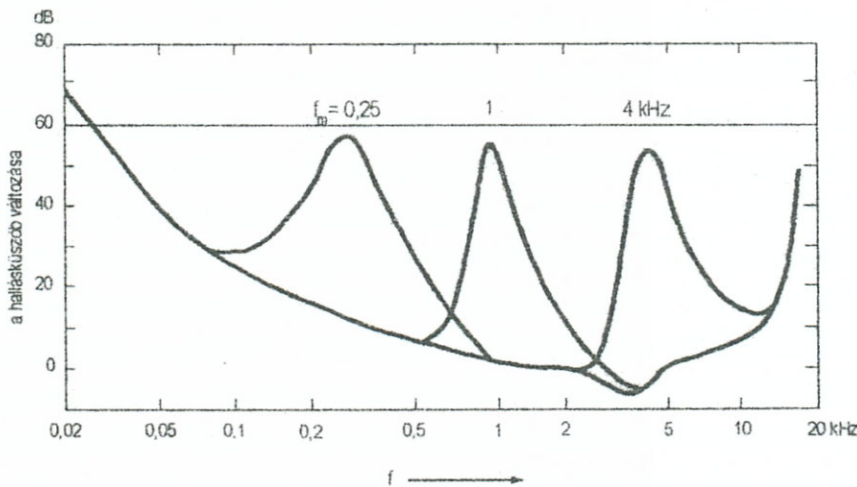


frekvenciákon különböző intenzitás esetén kapunk azonos hangosságérzetet. Az intenzitás növekedéséhez tartozó hangosságérzet növekedés az összetett spektrummal rendelkező beszéd esetén tehát nem lineáris és az érthetőség is függ az átlagos jelszinttől.

A hallórendszer azon tulajdonsága, hogy az egyik hang *elfedi* (maszkolja) a másik jelenlétét, külső hangok esetén is érvényesül. Folyamatos beszéd esetén [11] az átlagos szint alatt mintegy 35-45 dB-lel kisebb energiával rendelkező zajok érzékelhetetlenné válnak (2.40. ábra). Egyfrekvenciás jelek (keskenysávú zajok) maszkoló hatása [10] csak a frekvenciasáv egy részére terjed ki. Három különböző közepes frekvenciájú (250, 1000 és 4000 Hz) és különböző sávszélességű (100, 160 és 700 Hz), 60 dB szintű fehérzajjal történő gerjesztés esetére az elfedés által módosított hallási küszöb a 2.41. ábrán látható. A zavaró hang frekvenciáján a 3-6 dB-lel kisebb szintű jel már alig érzékelhető. Az elfedés mértéke a zavaró hangtól (frekvenciában) távolodva csökken, csökkenő frekvencia irányában rohamosabban.

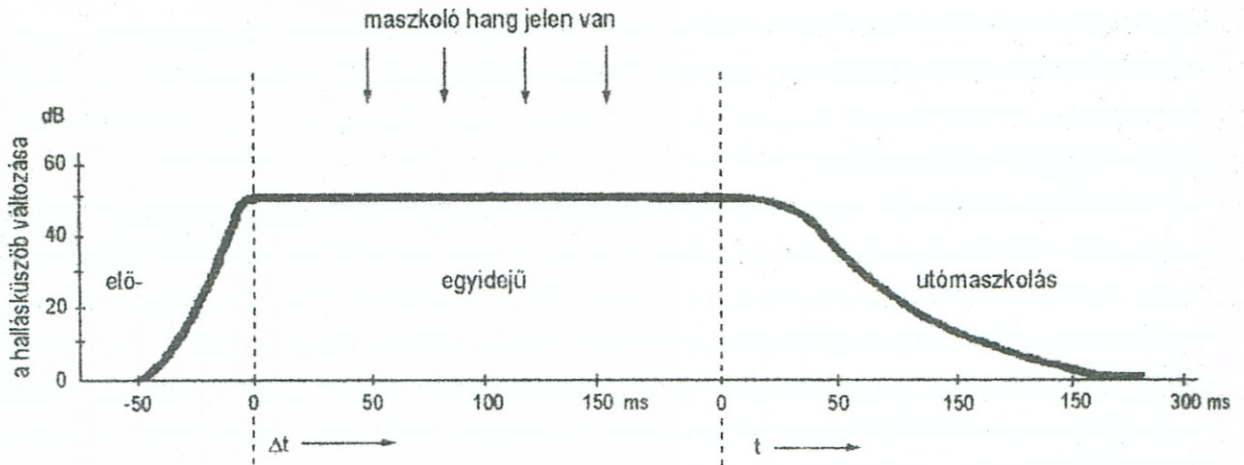


2.40. ábra. Folyamatos beszéd hatása a hallásküszöbre



2.41. ábra. 60 dB hangosságú, keskenysávú zaj jelenlétében mérhető hallásküszöb





2.42. ábra. Az elfedés időbeni alakulása

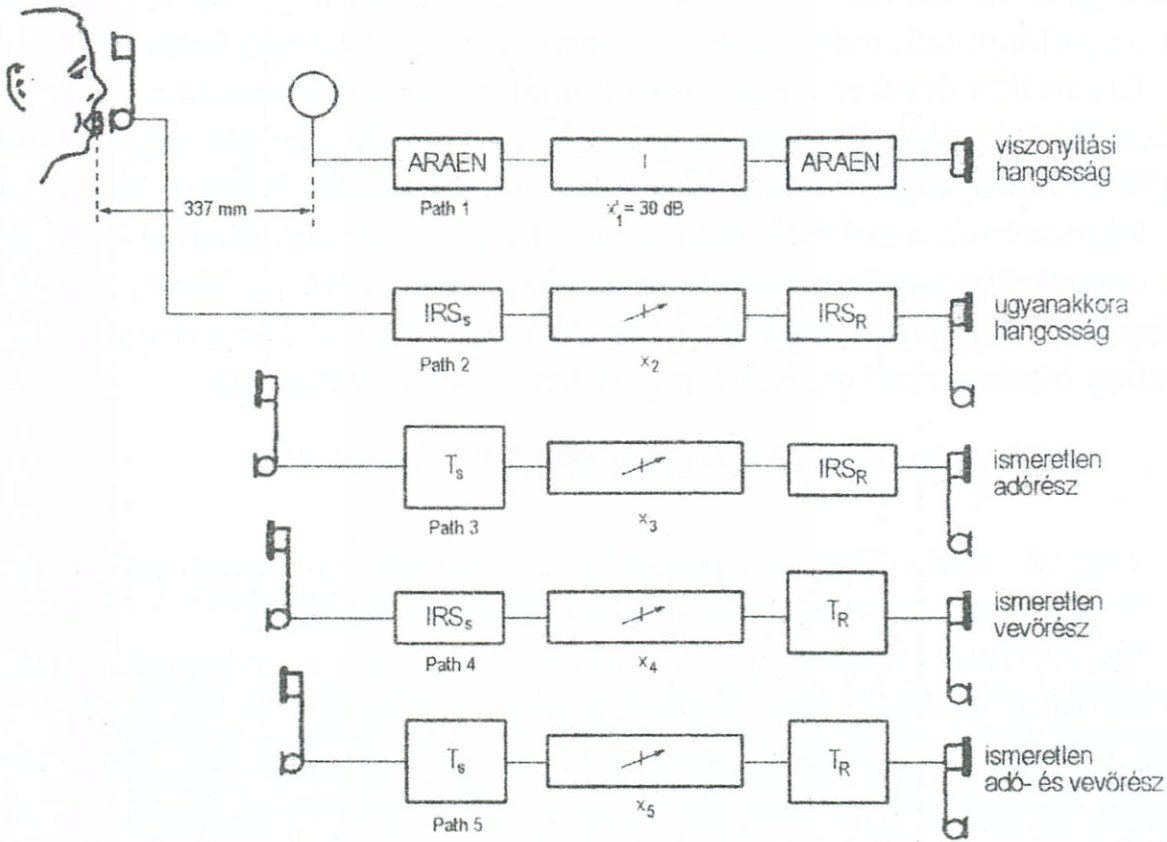
Az elfedési jelenség időben követi a maszkoló hang megjelenését (2.42. ábra). *Utómaszkolás* jelentkezik, amelynek mértéke 100–150 ms. Ennyi idő kell ahhoz, hogy a hallórendszer 'feléledjen'. Érdekes jelenség az *előmaszkolás*: nagyobb gerjesztési szint alkalmazását megelőzően már csökken a hallási küszöb. Ennek időbeni kiterjedése soha nem hosszabb 50 ms-nél és nyilvánvaló magyarázata, hogy a relatíve nagyobb amplitúdójú maszkoló hang észleléséhez szükséges idő rövidebb, mint ami kell a gyengébb maszkolt hangéhoz, aminek az észlelését megelőzően már kialakul az elfedés, a halló rendszer bizonyos mértékű telítődése.



### 2.2.3. Hangosságvizsgálat

Távbeszélő összeköttetések átviteli minőségének a vizsgálatát az 1 méteres szabad úthosszúságú – visszaverődés mentes környezetben felépített – rendszerhez szubjektív módon viszonyítva végzik (2.43. ábra). Ezt először elektronikusan leutánozták és felépítették az ún. *ARAEN berendezést* (Appareil de Référence pour la détermination de l'Affaiblissement Equivalent pour la Netteté, referencia rendszer a csillapítás szabatos meghatározására). Ez, a 2.43.b. ábrán láthatóan, a beszélő ajkától 337 mm távolságban elhelyezett mikrofonból, erősítőből, csillapítóból, végerősítőből és távbeszélő hallgatóból áll. Az érzékenység úgy van beállítva, hogy amennyiben a beszélő az RVL szinten beszél, a csillapító bemenetén kb. 1 V feszültség legyen mérhető. Ha a beiktatott csillapítás 30 dB, a fülre helyezett hallgató éppen olyan hangosságérzetet biztosít, mint az 1 méteres szabad úthosszúságú rendszer. A referencia rendszer kellően szélesávú és torzításmentes, így az összehasonlítás alapját kizárólag a hangerő érzetek egyenlősége képezi.





2.43. ábra. Összeköttetések hangosságának a meghatározásához

A fenti mikrofon-elhelyezés biztosítja, hogy mind az 1 méteres szabad térben, mind a mikrofon helyén a beszélő által keltett hangtér gömbszimmetrikusnak legyen tekinthető. Mivel a száj által keltett hang az ajkak síkja mögött 6 mm távolságra képzelt pontra tekinthető gömbszimmetrikusnak, a fül és a mikrofon helye közötti hangnyomás különbség  $20 \cdot \lg(1006/343) \approx 9,4$  dB.

A távbeszélő berendezés mikrofonját a száj közelében célszerű elhelyezni, hogy a zavaró hangokat nagyobb mértékben távol tarthassuk. Szabványos helyzetűnek tekintjük a gyűrű előtt 25 mm távolságban elhelyezett mikrofont, ekkor a szabad tér csillapítása az 1 méterre lévő fül és ezen helyzet között  $20 \cdot \lg(1006/31) \approx 30,2$  dB.

Az ARAENből a távbeszélő összeköttetések minősítéséhez alakított, ún. *közbenső referencia rendszer* (intermediate reference system, IRS) szabványos beszélő helyzetben elhelyezett mikrofonból és – az ARAENhez hasonlóan – erősítőkből és csillapítóból épül fel. A beiktatott csillapítás alap helyzetben  $x_2 = 30$  dB. Az IRS ekkor egyenértékű az ARAEN-nel, a vevőrész felépítése is azonos, az adórész érzékenysége pedig úgy van beállítva, hogy azonos hangosságú beszélők esetén a két rendszer hangossága azonos legyen. (Ebből nem szabad azt a következtetést levonni, hogy  $x_2 = 0$  dB esetén az IRS érzékenysége 1 pascal/1 pascal lenne, ez a valóságban 8 dB-lel na-



gyobb, ami figyelembe veszi a két füllel való hallás nagyobb érzékenységét és a fej torlónyomásának a szintén az érzékenységet növelő hatását!)

Ismeretlen érzékenységű mikrofonnal és csatoló elemekkel rendelkező távbeszélő készülék (és esetleg a hozzá csatlakozó vezeték együttes) adás irányú érzékenységét az IRS birtokában úgy határozzuk meg, hogy azt az IRS adórészének a helyébe iktatva, a csillapító szabályozásával a hallgatóban azonos hangosságérzetet hozunk létre. Leolvasva az ehhez tartozó  $x_3$  csillapítás értéket, az ismeretlen készülék *adásirányú hangossági mértékét* (sending loudness rating, SLR) a következő formában kapjuk:

$$SLR=x_2-x_3.$$

Vegyük észre, hogy a hangossági egyenérték *csillapítás* jellegű fogalom: értéke annál nagyobb, minél érzékletlenebb a készülék.

Az előbbihez hasonló módon határozható meg a távbeszélő készülék vevőrészének az ismeretlen érzékenysége is. Ezt az IRS vevőrészének a helyébe iktatjuk, a csillapító állításával az IRS-ből alakított rendszerével egyenlő hangosságot hozunk létre. Ha az ehhez tartozó csillapítás érték  $x_4$ , akkor az ismeretlen vevőoldali érzékenység (receiving loudness rating, RLR):

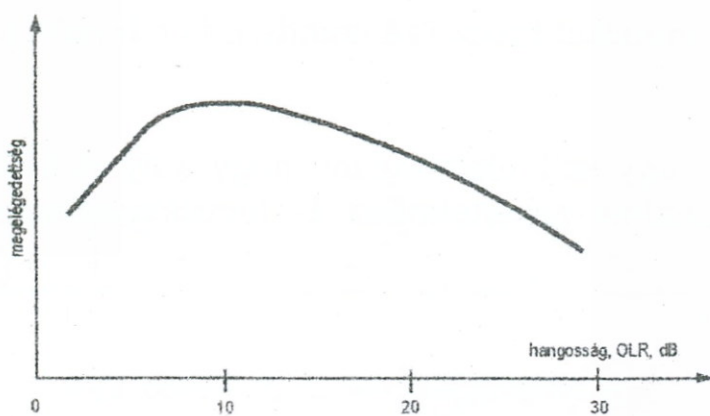
$$RLR=x_2-x_4.$$

Teljes összeköttetésnek az IRS-hez, illetve az 1 méteres szabad úthosszhoz viszonyított hangossági egyenértékét úgy kapjuk, hogy mind az adó-, mind a vevőrészt az ismeretlennel helyettesítjük és a közbenső csillapítóval az IRS-sel megegyező hangosságot álltunk be. Ekkor kapjuk a teljes rendszer hangossági mértékét (overall loudness rating, OLR):

$$OLR=x_2-x_5.$$

A teljes rendszer hangossági mértéke tehát egy dB-ben megadott mennyiség, ami megadja, hogy a távbeszélő összeköttetés mennyivel *halkabb* a visszhangmentes térben egymástól 1 méterre álló társalgó felek között érzékelhetőhöz képest. Széleskörű vizsgálatok azt mutatták (2.44. ábra), hogy a preferált érték 10-12 dB körül van. Ennek valamennyi előfizetőre kiterjedő biztosítása analóg környezetben üzemelő távbeszélő hálózatok esetében nehézséget jelentett és az alapvető áttörés csak a digitális átviteli utak kiépítésével következett be.





2.44. ábra. Összeköttetések preferált hangossága

### 2.2.4. Analóg beszédátvitel



A társalgás lebonyolítására előnyös átviteli csatorna nem feltétlenül a zenei értelemben tökéletes átvittel rendelkezik. Általában természetesen jó, ha a nemlineáris torzítás kicsi, mert a felharmonikusok jelenléte elfedi a hasznos információt hordozó hangösszetevőket. (Érdekes módon ugyanakkor kedvelték a szénmikrofont, amely négyzetes jellegű karakterisztikával rendelkezett és az általa keltett 'lágú' felharmonikusok a valóságosnál nagyobbak érzékeltették a hangosságot.) Nem mindig előnyös a nagy sávszélességben egyenletes átvitel, a kis lineáris torzítás sem. A szükségesnél nagyobb sávszélesség nagyobb zajszintet eredményez, ami viszont elfedheti a beszéd megértéséhez szükséges összetevőket, vagyis ronthatja az érthetőséget. Mivel a már említett, a 300 Hz és 3400 Hz közötti átvitel esetén a beszéd érthetősége nem romlik a szélessávú átvitelhez képest, előnyös sávhatárolt átvitelt kialakítani. Ha ebben a sávban a lineáris torzítás nem nagyobb 3-6 dB-nél, valamint a nemlineáris és zajkomponensek szintje legalább 35-40 dB-lel a hasznos jel átlagértéke alatt van, a megfelelő hangossággal átvitt beszéd tökéletesen érthető.

### 2.2.5. Digitális beszédjel-átvitel



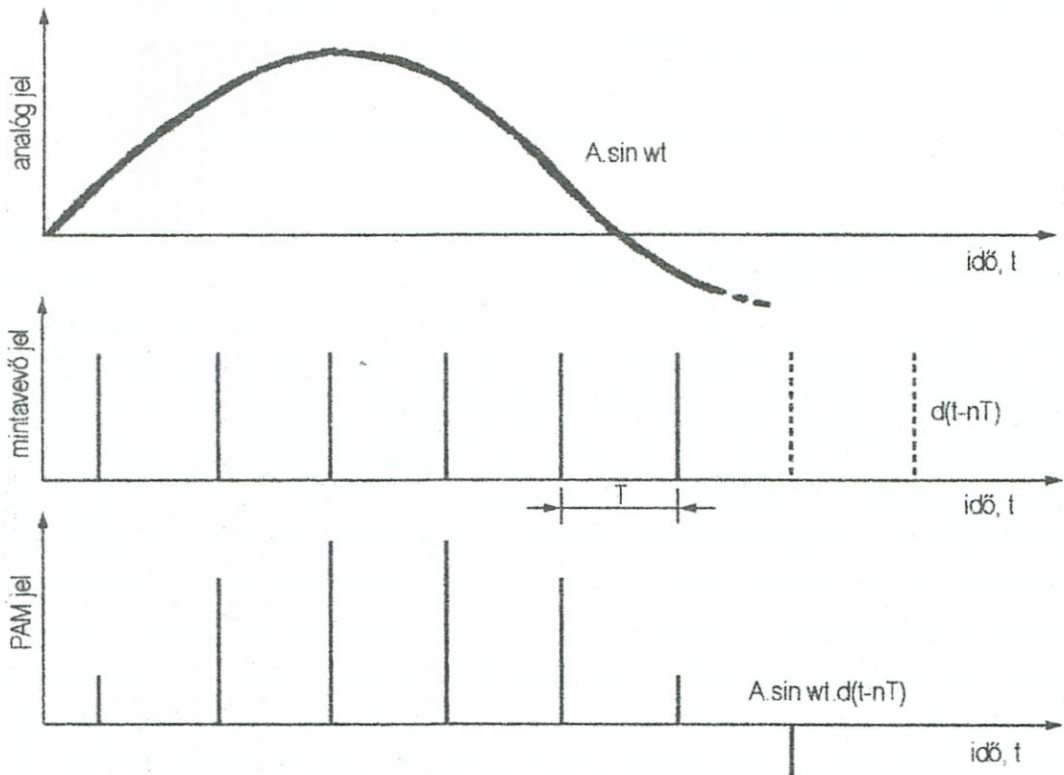
Digitális adatátviteli csatornán történő továbbítás lehetőségét megte-remtendő a beszédjelet digitális formában kell előállítani. (l. pl. [12]) Ez *impulzus kód modulációval* (pulse code modulation, PCM) történik, amelynek során

- az analóg sávhatárolt jelet mintavételezik,
- a mintavételezett jel amplitúdóját kvantálják, majd



- a kvantált mintákat kettes számrendszerben fejezik ki, azaz binárisan kódolják.

A modulációt úgy kell végrehajtani, hogy a nyert kódsorozatból a beszéd információtartalma egyértelműen és torzításmentesen visszanyerhető legyen.



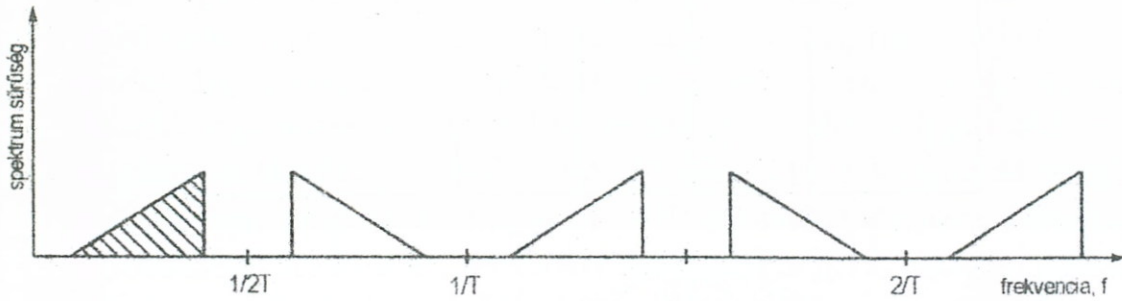
2.45. ábra. Analóg jel mintavételezése

Analóg jel **mintavételezése** alatt, a 2.45. ábrán látható módon, annak Dirac-delta sorozattal való szorzását értjük. Egyszerűség kedvéért feltesszük, hogy a mintavételezendő jel  $A$  amplitúdójú szinuszjel, ekkor a mintavételezett jel

$$A \cdot \sin \omega t \cdot \delta(t-nT)$$

formában írható fel. Ez a jel egy impulzus-sorozat, amelyek a  $t_n = n \cdot T$  időpontokban lépnek fel ( $n$  tetszőleges egész szám) és *területük*, vagy más szóval *energiájuk* az analóg jel  $t_n$  időpontban mérhető  $A \cdot \sin \omega t_n$  amplitúdójával egyenlő. (Az ábrán a valóságos Dirac-delták helyett keskeny, de véges szélességű impulzusokat rajzoltunk fel, oly módon választott amplitúdókkal, hogy a téglalapok *területe* adja a delta-függvények amplitúdóját.)





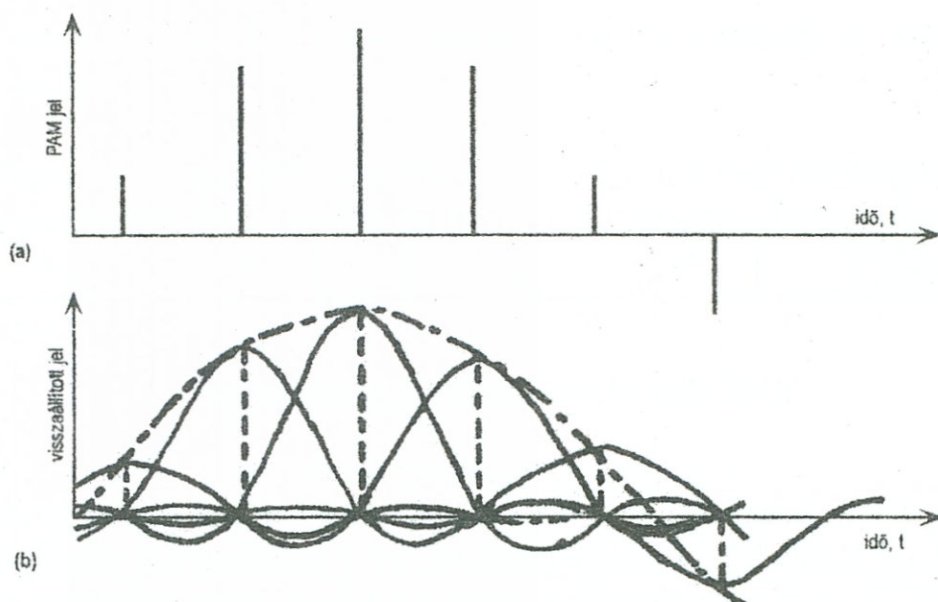
2.46. ábra. A mintavételezett jel spektruma

A 2.46. ábrán a mintavételezett jel spektruma látható. Ha az analóg jel összetevői  $f_a$  és  $f_f$  között helyezkednek el, ez a spektrum a végtelenig nyúlik, az  $f_k = k/T$  ( $k$  nem negatív egész szám) értékek, mint képzetes vivőfrekvenciák köré kétoldalsávós amplitúdó modulációhoz hasonló jelleggel kapcsolódva.

Látható, hogy ha a  $2f_f < 1/T$  egyenlőtlenség nem teljesül, a spektrum egyes részei egymást *átfedik* (a fogalom neve angol szóval: aliasing), ami az analóg jel visszaállítását akadályozhatja. Ezt elkerülendő, az analóg jelet mintavételezés előtt sávkorlátozzák és megfelelően választják meg a Dirac-delta sorozat ismétlődési frekvenciáját. Beszéd digitalizálása során  $f_f = 3400$  Hz választható. Ehhez illeszkedve  $T = 125 \mu s$ , azaz  $1/T = 8000$  Hz mintavételi gyakoriság a megfelelő és elterjedt érték. Beszéd digitalizálása során ritkán használnak nagyobb mintavételi frekvenciát, ugyanakkor zene nagy hanghűséggel való átviteléhez legalább  $32000$  Hz gyakoriság szükséges. (A használatos értékek:  $32$ , valamint  $44,1$  és  $48$  kHz.)

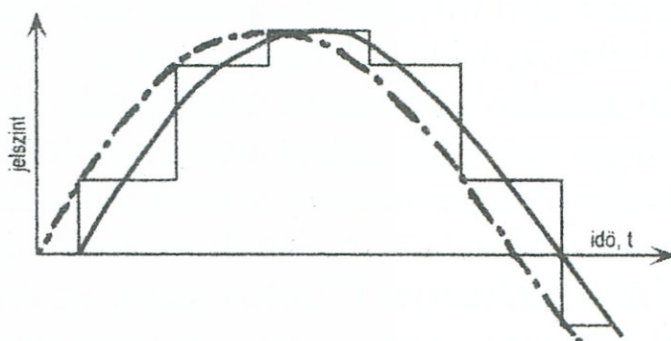
A 2.45. ábra kapcsán leírt folyamatot *impulzus amplitúdó modulációnak* (pulse amplitude modulation, PAM) nevezik. A PAM jelből, amennyiben a sávhatárolást a mintavételezés megtörténte előtt a fenti módon végrehajtották, az eredeti analóg jel veszteség nélkül visszanyerhető. Ehhez nem kell mást tenni, mint azt olyan *aluláteresztőre* vezetni, amelynek sáv szélessége  $1/2T$ . Amint azt már a 2.5. ábra kapcsán láttuk, az ideális aluláteresztőnek a Dirac-delta gerjesztésre adott válasza  $C \cdot \sin x / x$  alakú, ahol a  $C$  amplitúdó az analóg jel pillanatnyi értékével egyenlő, azaz  $x=0$  időpontban az érték éppen az impulzus területével egyezik,  $x = k\pi$  (ahol  $k$  nullától különböző egész szám) időpontokban a válaszjel pedig nulla. A sáv szélesség megfelelő választásával tehát a mintavételi időpontokban csak egyetlen impulzus ad nullától eltérő jelet, mégpedig éppen a megfelelő amplitúdóval. Ezekben az időpontokban így az analóg jel visszaállítása hibátlan. Bizonyítás nélkül közöljük, hogy a közbenső időpontokban a  $\sin x / x$  jelek összege szintén hiba nélkül adja ki az eredeti analóg jel mindenkori értékét (2.47. ábra).





2.47. ábra. A PAM (a) és az  $1/2T$  határfrekvenciájú aluláteresztőn átvitt jel (b)

A gyakorlatban soha nem ténylegesen nulla időtartamú impulzusokat adnak a helyreállító szűrő bemenetére (2.48. ábra). Előszeretettel alkalmaznak e helyett  $T$  szélességű impulzusokat, amelyek felharmonikus tartalma kisebb. A szűrő lényegében ekkor *átlagolást* végez, aminek a hatására, a 2.48. ábrán látható módon, az analóg jel  $T/2$  időeltolódást szenved, ami általában elhanyagolható. Lényegesebb viszont, hogy a PAM jelből így alakított bemenőjel csökkentett felharmonikus tartalma (lásd a 2.7. ábrát) megkívánja az aluláteresztő átvitelének a 2.8. ábra szerinti módosítását. A 3400 Hz felső határfrekvenciájú beszédjel azonban a 8000 Hz-es mintavétellel még jól visszanyerhető.



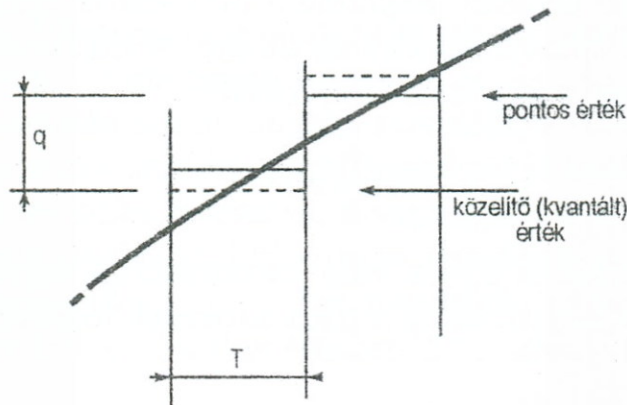
2.48. ábra.  $T$  szélességű impulzusokból összerakott és átlagolt jel

A beszédjel digitalizálásának a következő lépése a kvantálás, azaz a PAM jel amplitúdójának a számjegyes megadása, ami mindig véges pontossággal történik. Választanak egy maximális amplitúdót, amit *egységnek* (radix) tekintve megadják annak tört részeként azt a *kvantumot*, amelynek egész számú többszöröseként fejezik ki a mindenkori pillanatnyi amplitúdót.

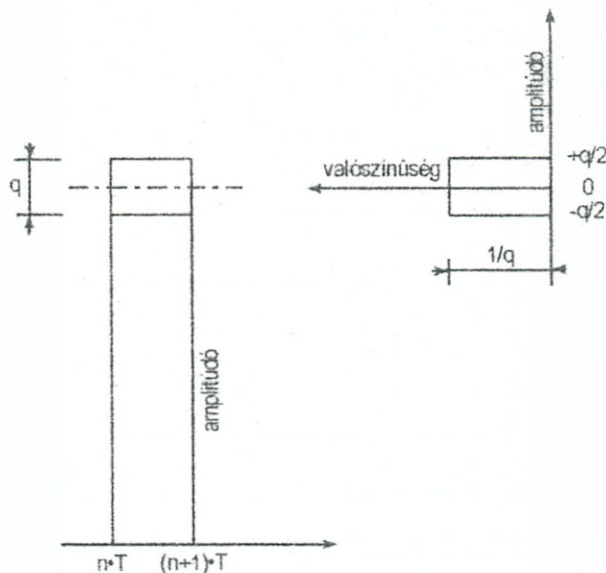


Ezzel elérik, hogy a kvantált érték bináris jellel történő kifejezésekor valamennyi PAM jelnek ugyanolyan szóhosszúságú kód fog megfelelni.

Beszédjel digitalizálásakor azt kell figyelembe venni, hogy az előforduló amplitúdó-ingadozások terjedelme mintegy 35 dB, a legkisebb jeltől a zajszint megkívánt távolsága további kb. 35 dB, azaz a kvantálás megkövetelt bizonytalansága nem lehet nagyobb -70 dB-nél. Célszerű választás az  $n=13$  bit pontosságú kvantálás, amiből 1 bit az előjel, 12 pedig a pillanatérték megadására szolgál. Ezzel  $2^{12}=4096$  különböző érték adható meg, a pontatlanság nem nagyobb -72 dB-nél.



2.49. ábra. A kvantált (közelítő) értékről indított átlagolás járulékos zajt termel



2.50. ábra. Az átlagolandó jel amplitúdó eloszlása

A kvantáltan átvitt beszédjel visszaállítása már csak közelítő pontosságú lehet. A pontatlanság, legalábbis annak az átviteli sávba eső összetevője, hallható zaj formában jelentkezik. Ez a *kvantálási zaj* számszerűen is megadható. A számítást a 2.49. ábra szerinti jelölésekkel végezzük. Amint látható, most a 2.48. ábrával ellentétben, az átlagolást nem a pontos jelen hajt-

juk végre, mert az átlagolandó amplitúdó attól  $\Delta$  értékkel eltér.  $\Delta$  egyenlő valószínűséggel veszi fel a  $-q/2 - +q/2$  tartományba eső értékeket (2.50. ábra), ahol a kvantum,  $q=1/N=1/2^n$ . A zaj teljesítménye  $\Delta$  nullától való átlagos eltérése négyzetével egyenlő:

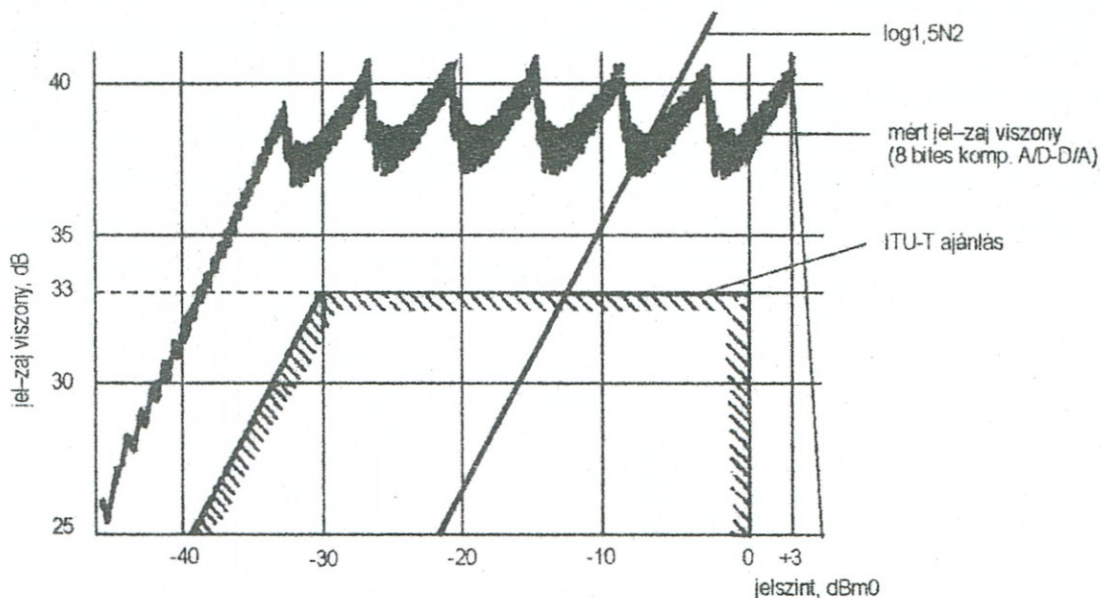


$$(\text{zaj}) \sigma^2 = \frac{1}{q} \int_{-q/2}^{+q/2} x^2 dx = \frac{1}{q} \left[ \frac{x^3}{3} \right]_{-q/2}^{+q/2} = \frac{2}{q} \frac{q^3}{24} = \frac{q^2}{12}.$$

Az  $N$  különböző szinttel megadható maximális szinuszos jelamplitúdó  $q \cdot N/2$ , amihez  $q^2 \cdot N^2/8$  teljesítmény társítható. A maximális jel és a zaj teljesítményének viszonya, a két fenti kifejezésből:

$$(J/Z) = 1,5 \cdot N^2. \tag{2.2}$$

Logaritmikus értékre, dB-re való átszámításnál ügyelni kell arra, hogy ez teljesítmények viszonya, tehát a tízes szorzójú logaritmust kell figyelembe venni.



2.51. ábra. A kvantálási zaj szintfüggése (Értelmezését l. a szövegben.)

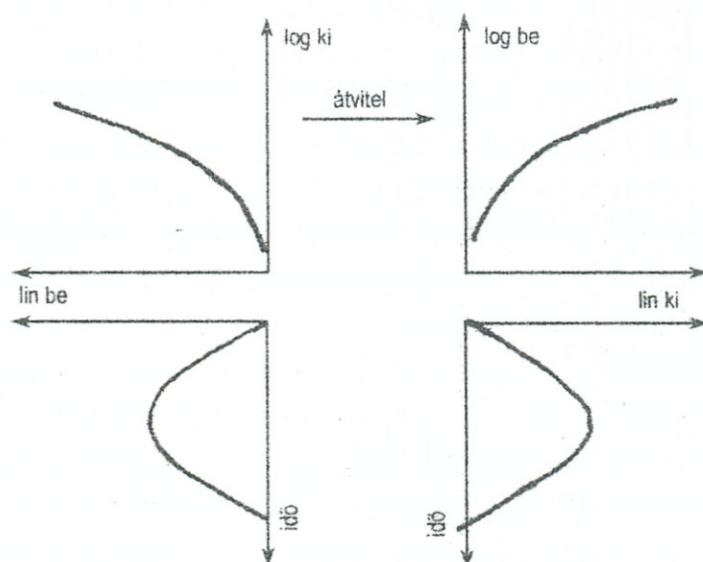


A jel-zaj viszonyra adott (2.2) kifejezésből  $n=8$  bit, azaz  $N=256$  esetén 50 dB érték számolható. Ha 3 dB túlvezérlési tartalékot hagyunk (2.51. ábra), ez 0 dBm0 jelszinten 47 dB jel-zaj viszonyt jelent. Az ITU-T úgy tekinti, hogy az összeköttetések átlagos jelszintje  $-15$  dBm0, amikor is a kiadódó 32 dB-es jel-zaj viszony még elfogadhatóan jó, de már az átlagos jelszint alatt esetleg 30 dB-lel jelentkező mássalhangzók a hallhatósági határ közelébe kerülnek.



**Beszéd kódolására** nem használnak  $n=8$  bitnél nagyobb felbontást. Ekkor viszont, mint láttuk, sem tartalék nincs az átlagosnál kisebb jelszinten jelentkező beszéd, sem annak kis energiájú, de az érthetőséget jelentősen befolyásoló összetevőinek a megfelelő átvitelére. Megoldást az jelent, ha a 8 bit kiosztása nem egyenletes a *radixon* (a maximális, még torzítás nélkül kódolható amplitúdó értéken) belül, azaz *nemlineáris kódolást* alkalmaznak. Az előjel bittől eltekintve, a maradék 7 bitet úgy használják fel, hogy a 0 jelszint környezetében a lineárishoz képest kisebbre választják a kvantumokat, így kis jelszinten a kvantálási hiba kicsi, ugyanakkor nagyobb jelszinten, fokozatosan rontva a *radixon* belüli felbontás finomságát, viszonylag pontatlanabban, kevesebb bit felhasználásával digitalizálunk, ami szintén elfogadható pillanatnyi jel-zaj viszonyt eredményez.

**Nemlineáris kódolás** során, analóg szemlélettel élve, a pillanatnyi beszédjelnek mind a pozitív, mind a negatív szakaszát külön-külön, nemlineáris karakterisztikájú erősítőn átvezetve, komprimáljuk, a komprimált jelet lineárisan digitalizáljuk, majd az átvitel után analóggá visszaalakított jelen a kompresszor karakterisztika inverzének megfelelő expandálást végrehajtva nyerjük vissza az eredeti, torzítatlan értéket (2.52. ábra).

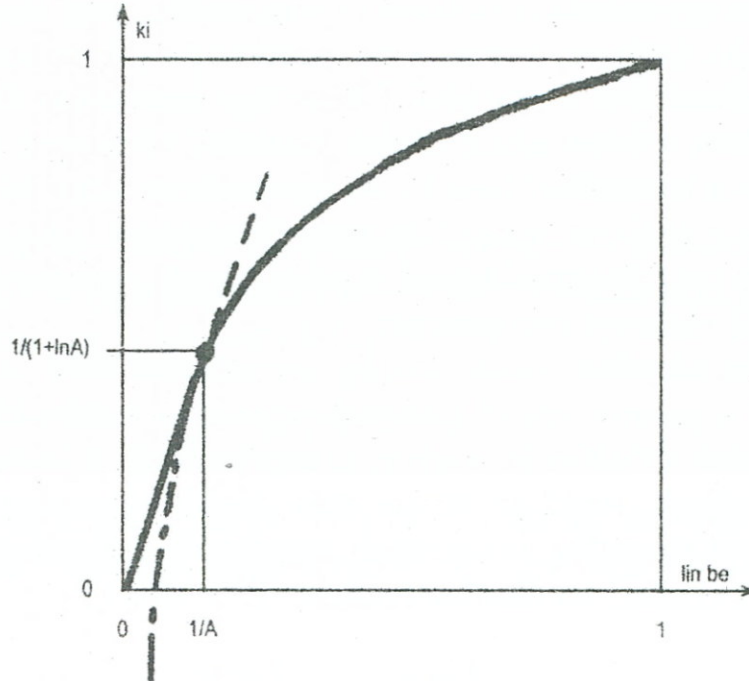


2.52. ábra. Kompondor karakterisztikák

A komprimálási karakterisztika célszerűen logaritmikus. Ekkor biztosítható ugyanis, hogy az összenyomás mértéke a szinttel arányos, a kvantálásból adódó jel-zaj viszony a szinttől független legyen. Az elsőként a Bell Laboratóriumban kidolgozott T1 jelű PCM rendszerben alkalmazott összefüggés az ún.  $\mu$ -karakterisztika:

$$y = \frac{\ln(1 + \mu x)}{\ln(1 + \mu)},$$

ahol  $x$  a kompresszor bemeneti,  $y$  a kimeneti jele. Mindkettő a 0–1 tartományban változik. A karakterisztika görbültségére jellemző  $\mu$  értékét kezdetben 100-ra, majd 255-re választották meg.



2.53. ábra. Az  $A$ -karakterisztika értelmezéséhez

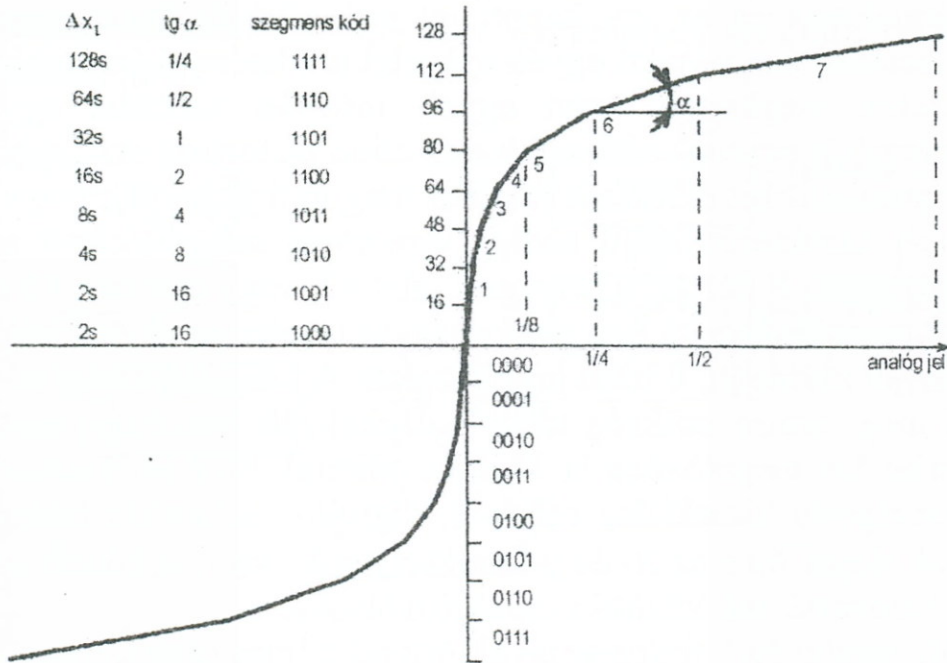


Az ITU-T ajánlás szerinti  $A$ -karakterisztika (2.53. ábra) a folytonos függvényt két, a kis jelszinten érvényes lineáris, majd ehhez illeszkedő logaritmikus összefüggéssel adja meg:

$$\left. \begin{aligned} y &= \frac{1 + \log Ax}{1 + \log A}, \text{ ha } 1 \geq x \geq 1/A, \\ y &= \frac{Ax}{1 + \log A}, \text{ ha } 1/A \geq x. \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

Az  $x$  és  $y$  mennyiségek jelentése és értéktartománya változatlan. A karakterisztika görbültségére, illetve a két szakasz kapcsolódásának a helyére jellemző  $A$  állandó értéke 87,6. Ez egyébként a karakterisztikának az  $x=0$  és  $x=1$  bemeneti jelnél érvényes deriváltjainak a hányadosa: ennyiszor kisebb a  $q$  kvantum, pontosabb a jel felbontása kis jelszint esetén, mint a nagy jelszintű szakaszon.





2.54. ábra. A-karakterisztikájú 13-szegmenses kódoló

A (2.3)-mal adott kompondor-karakterisztikát a gyakorlatban lineáris szakaszokból összeállított törtvonalas közelítéssel valósítják meg (2.54. ábra). Mind a pozitív, mind a negatív jeltartományban 7-7 szakasz van. (A kis jelszinten induló 2 szakasz meredeksége azonos.) Az egymást követő szakaszok meredeksége mindig fele az előzőnek. Egy-egy szakaszon belül a nagyobb helyi értékű első négy bit értéke azonos, a további háromhoz tartozó 8-8 szint pedig lineárisan, egyenlő kvantumokkal van adva.

A fenti törtvonalas közelítésnek megfelelően  $x$ -nek a 0-tól  $1/64$ -edig terjedő tartományára jut a 128 döntési szintből 32, azaz az összes  $1/4$ -e. Itt tehát a meredekség 16, ami 12 bites felbontásnak (előjelbit és 11 bit) felel meg. A 8 bites felbontáshoz viszonyítva ez 16-szor, azaz 24,1 dB-lel kisebb kvantálási torzítást jelent. Ez a 24,1 dB a *kompondálási nyereség*. Visszatérve a 2.51. ábrához, a kompondálási nyereség úgy jelentkezik, hogy a 8 bites lineáris felbontáshoz képest az elérhető jel-zaj viszony nő ezzel az értékkel. A megnövelt érték kis bemeneti jelszinten érvényes, amíg az el nem éri a  $-33$  dBm0-t. Az ehhez tartozó jel-zaj viszony érték 38 dB. Részletesebb számítással kimutatható, hogy a  $-33$  és  $+3$  dBm0 tartományban az érték, amint azt a 2.51. ábrán berajzoltuk, ingadozik, mégpedig 37 és 41 dB között. Az ITU-T ajánlás csak 16 dB kompondálási nyereséggel számol és nem kíván meg 33 dB-nél nagyobb jel-zaj viszony értéket az A-karakterisztika szerinti digitalizálás és visszaalakítás, azaz egy A/D-D/A átalakítás esetére.

Nemlineárisan kvantált és digitalizált beszédjel analóg jellé való visszaalakítása után kapott kvantálási torzítás, mint *egység* használatos a digitalizált beszédjelen végzett különböző műveletek torzító hatásának a szubjektív kiértékelésére. A beszédjelen többször elvégzik a 8 bites kompondált



A/D-D/A átalakítást és az így kapott jel érthetőségét összehasonlíttják az ugyanazon beszédjelen végzett egyéb művelet eredményeként kapott jelével. Egyezés esetén megkapják ezen egyéb művelet torzítási egyenértékét "kvantálási torzítás egység"-ekben (quantisation distortion unit, qdu) mérve.

A kompendálás kivitelezését illetően meg kell jegyezni, hogy a nemlineáris átviteli karakterisztikájú analóg erősítővel megvalósított megoldást ma nem használják. E helyett a bemeneti jelet 12, vagy újabban 13 bit (egy-egy műveletet megelőzően 16 bit) pontossággal lineárisan digitalizálják, majd ebből képezik a rövidebb, 8 bites kódszavakat. A visszaalakítást inverz átkódolás előzi meg, amire szükség lehet a digitalizált beszédanyagon végzett egyéb műveleteket megelőzően is. Ilyenek például: több jel összeadása konferencia beszélgetés kialakítása céljából, digitális csillapítás beiktatása stb. Átkódolással oldják meg az A- és  $\mu$ -karakterisztika szerint kódolt berendezések, illetve hálózatrészek közötti csatlakoztatásokat is.

A 8 kHz mintavételi frekvenciával történő 8 bites digitalizálás az analóg beszédjelet 64 kbps sebességű digitális jelfolyammá alakítja át. Az ehhez alkalmazott nemlineáris kódolás nem teszi lehetővé *zene* hasonló módon történő digitalizálását.

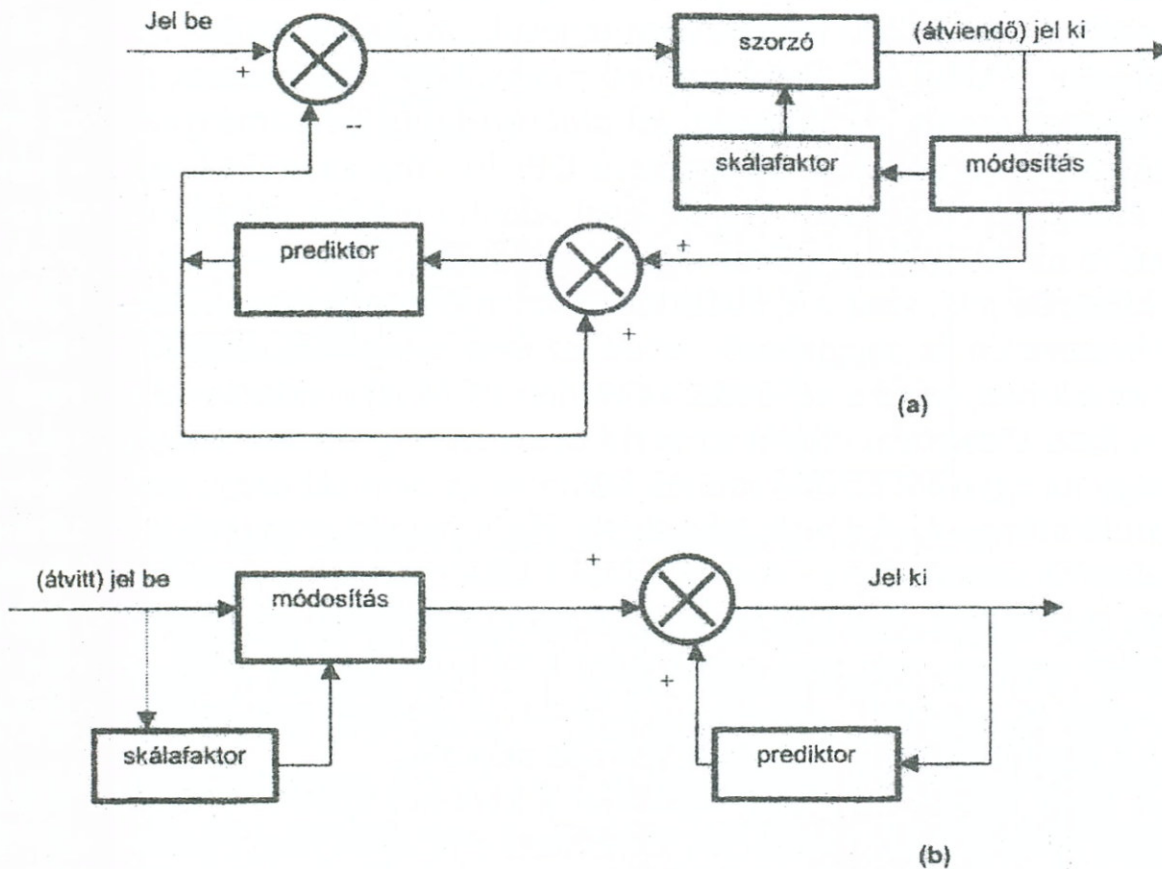
A 2.2.1. alfejezetben megadtuk a beszéd fonémikus információ tartalmát néhányszor 10 b/s, valamint a hallás információ feldolgozó kapacitását mintegy 50.000 b/s értékben. Látható, hogy a 64 kb/s sebességgel digitalizált beszédjel, minden bizonnyal, közel teljes élethűségű reprodukciót tesz lehetővé és esetleg lehetőség adódik kisebb átviteli sebesség mellett is érthető és megfelelően felismerhető beszéd átvitelére is. Erre szükség lehet akkor, amikor a rendelkezésre álló átviteli csatorna kapacitása nem éri el a 64 kb/s értéket, illetve, ha a rendelkezésre álló átviteli kapacitást nagyobb számú csatorna kialakítására kívánjuk felhasználni.

**Az adattömörítő eljárások** alapvetően két csoportba sorolhatók. A *hullámforma kódolók* kizárólag a beszédjel mintavett amplitúdóinak a kódolási formáját módosítják, tekintet nélkül annak fizikai tartalmára. Az elérhető kompresszió mértéke viszonylag csekély. A beszédjel és a hallás együttes fizikai tulajdonságainak felhasználásával alakítják ki az ún. *forráskódolókat*, avagy *Vocoder*-eket, amelyek – szélső esetként – lehetővé teszik a beszédnek akár néhányszor 10 b/s sebességgel történő átvitelét. A tartalmi megértéshez képest a beszédet egyénivé tevő többletinformáció azonban ilyenkor teljesen elvész. Az elfogadott minőséget adó tömörítéshez szükséges – jelenlegi – határ a 10 kb/s körüli sebesség mellett biztosítható, de átviteli kapacitás szűkében ennek a töredékére is csökkenthető. (A *hibrid kódolók* működése a két módszer előnyös tulajdonságait felhasználva, azok kombinálásán alapszik.)

A fenti felosztás mellett használatos egy eltérő csoportosítás is, ami szerint az adattömörítő eljárások lehetnek: *prediktív kódolás*, *bontott frekven-*



ciasávós kódolás, illetve spektrális kódolás, amelyek szintén általában kombináltak jelennek meg.



2.55. ábra. Prediktív kódoló (a) és dekódoló (b) vázlata

Beszédjelek kódolására gyakran használják a PCM-ből kifejlődött *differentenciális PCM* (DPCM), kódolást, illetve ennek *adaptív* változatát (ADPCM). Ezek prediktív kódolási változatok és működésük azon alapul, hogy a beszédjel pillanatnyi értéke a 8 kHz mintavételi frekvenciából adódó 125  $\mu$ s idő alatt nem változik meg oly mértékben, ami a teljes 8 bit újra előállítását igényli. A kódoló vázlatos felépítését a 2.55. ábra mutatja, amelynek felhasználásával próbáljuk a működést bemutatni. A be- és a kimeneti jelek például PCM jelsorozatok. A *kódoló* kimeneti jelét viszik át és ez nem más, mint a bejövő (tömörítetlen) jel és egy predikált (jósolt, illetve várható) érték különbségének egy skálafaktorral szorzott értéke. A skálafaktor megválasztásával biztosítható a tömörítés mértéke, azaz a kimeneti jel maximális hosszúsága. Ha ezt például 4 bitre választjuk, a másodpercenkénti 8000 mintavétellel számolva, a szükséges átviteli sebesség 32 kb/s. 2-5 bites különbségi jelek átvitele esetén 16-40 kb/s átviteli sebesség adódik.

A kódolóban a prediktor bemeneti jelét a skálafaktorral visszaosztott kimeneti jel és a prediktor kimeneti jelének összege adja. Legegyszerűbb esetben a prediktor egyszerű *késleltető*, amelynek a kimenetén mindig az egy





mintavétellel korábban érvényes bemeneti jele jelenik meg. Ha a skálafaktort egységnek választjuk, a kódoló kimenetén mindig a két egymást követő digitalizált beszédjel *különbsége* jelenik meg. Ha ezt a különbséget csonkoljuk (maximáljuk) és a fenti feltétel nem teljesül, az átvitel torzul. Ennek kiküszöbölésére például a skálafaktort kell módosítani, csökkenteni, ami viszont kis jelszintek esetén a különbségi jel *alulcsordulását* eredményezi. Fix értékű skálafaktoriall működik az egyszerű DPCM, míg az átvitt kimeneti jelso-rozat értékének folyamatos figyelésével adaptív módon változó skálafaktort használva az ADPCM tömörítő eljárásához jutunk. Vegyük észre, hogy a kódoló kimeneti jele, amit a skálafaktor módosításához felhasználtunk, a dekódoló bemenetén is megjelenik, tehát azonos átlagolási eljárást használva mind az adóban, mind a vevőben, az eredeti PCM jel torzítatlanul átvihető.

A fenti tömörítési eljárás az átvitt beszédanyagról csak annyit tételezett fel, hogy az egymást követő minták különbsége nem túl nagy, azaz lényegében hullámforma-kódolónak tekinthető. Ha a beszéd alapvető jellemzőinek részletesebb ismeretében – forráskódolást alkalmazva – a prediktor felépítését úgy módosítjuk, hogy az átvitt jel hossza erőteljesen csökkenthető legyen és, szélső esetben, már csak mintánként a változás irányát jelző egyetlen bitet viszünk át, eljutunk a predikciós kódolóval elérhető maximális tömörítéshez. Az ilyen kódolót *delta-modulátornak* nevezik.

A 8000 Hz-cel mintavett beszédjel 8 kb/s-nél kisebb sebességű csatornán való átvitele tehát predikciós tömörítési eljárással nem oldható meg. Ha erre van igény, egyéb módszert kell alkalmazni. Jelentős mértékű tömörítés a spektrális kódolással érhető el, ha azt kombináljuk a forráskódolási módszerekkel.

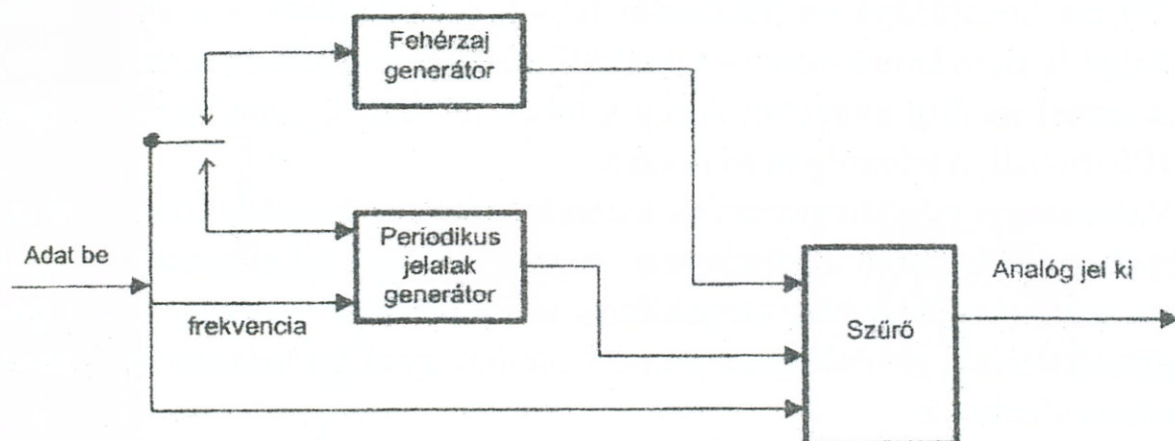
Spektrális kódoláskor a pillanatértékek helyett az (analóg) jelalak szinuszos összetevői frekvencia-, amplitúdó- és – esetleg – fázisadataival jellemezzük a beszédjelet. Természetesen ezek időben nem állandók. Ezért olyan hosszú időtartamokat választunk, amelyen belül a jelalak közel periodikusnak tekinthető és erre határozzuk meg a Fourier-sor összetevőit. Ezeket továbbítva, jelentős mértékű adattömörítést érhetünk el. Az időalap szokásos értéke 5-30 ms, ami a fonémák tartamához képest viszonylag rövid.

Magánhangzó vagy zöngés mássalhangzó ejtése esetén, amikor a hangszalak rezegnek és a hang formált szinuszjelnek tekinthető, a beszédminta egy átlagos amplitúdó, néhány (harmonikus) frekvencia- és relatív amplitúdóik értékének a megadásával, viszonylag kis adatmennyiséggel jellemezhető. Zöngétlen mássalhangzók ejtésekor a jel fehérzaj-jellegű, amelyben a formánsoknak megfelelő frekvenciájú összetevők dominálnak.

A spektrálisan forráskódolt beszédet nem lehet rekonstruálni az átvitt mintákon végzett D/A-átalakítással. A dekódoló (2.56. ábra) a beszédet újragenerálja oly módon, hogy zaj- vagy periodikus jelet generál, megfelelő abszolút értékkel, majd beállítja a (frekvencia-) összetevők arányát. Az így



keltett beszéd, bár érthetőségéből is veszít, de mindenekelőtt a beszélő egyéni jegyeit veszíti el fokozatosan, az adatkompreszió mértékének a növekedésekor.



2.56. ábra. Elrendezés spektrális forráskódolt jel dekódolásához

Ezzel a módszerrel az adatkompreszió mértéke erőteljesen fokozható, ha kihasználjuk a beszédjelnek a fonémák időtartamára kiterjedő állandó, ismétlődő jelalakokat eredményező jellegét. Ezt viszont mindig csak mértékkel érdemes megtenni. Szélső esetben így elérhetnénk akár 50 b/s átviteli sebességet is, ami mellett már teljességgel elvesz a beszélő egyéniségét, hangulatát stb. kifejező többlet információ átvitelének a lehetősége. Az ilyen kompresziós módszerek jóval szerteágzóbbak és általános ismertetésükre nem vállalkozunk. Valamennyi módszer megegyezik abban, hogy a beszédjelet nem a mintavétel ütemében, szinkron módon továbbítják, hanem bizonyos számú mintát együttesen kezelve igyekeznek, a beszéd érthetőségének megőrzése mellett, azokból kevesebb bitet tartalmazó üzenetet képezni, majd ezek átvitele után, a kompresziókor használt műveletek megfordításával, általában nem az eredeti mintákat, sokkal inkább a beszéd-részleteket reprodukálni.

Az ITU-T által ajánlott és a digitális átvitelt alkalmazó mobil távbeszélésben alkalmazott ilyen tömörítő módszer 20 ms hosszúságú beszédmintákat használ. PCM jelekből indul ki és a 160 mintát 260 bittel viszi át. [13] A biteket – fontosságuknak megfelelően – 1a, 1b és 2 osztályokba sorolják. Az 1a osztályba sorolt 50 bitet átvitelkor 3 paritásbittel, majd az 1b osztály 132 bitjével közösítve további 4 hibavédő bittel bővítik. Az így nyert 189 bitet konvolúciós kódolással megduplázzák, majd a 2 osztályú 78 bitet hozzáadva, 456 bitet használnak a 20 ms beszédminta átvitelére. Az információ átviteli sebessége  $260 \cdot 50 = 13$  kb/s, az adatátviteli igény  $456 \cdot 50 = 22,8$  kb/s. Született





ajánlás az információ átviteli sebesség megfelezésére (6,5 kb/s) is, de létezik már a fenti 13 kb/s sebességű átvitel javított kódolású változata is.

Az ilyen és hasonló felépítésű kódolók jelkésleltetést eredményeznek. A fenti 20 ms hosszúságú beszédmintát feldolgozó rendszer – a visszaállítás időigényét is figyelembe véve – minimálisan 40 ms-ot késleltet, ami a valóságban ennél mindig nagyobb. Amíg a teljes késleltetés nem nagyobb mintegy 100 ms-nál, a jelenség nem zavaró.

Valamennyi adatkompresziós technika az átvitt beszéd információ tartalmának a csökkenését eredményezi. A gyakorlatban alkalmazott, elfogadhatónak tekintett tömörítési megoldások is optimálisan mintegy 3 – 5 qdu-val egyenértékűek, de csökkenő jelszint mellett gyakran mérnek 10 qdu-nál nagyobb értékeket is.



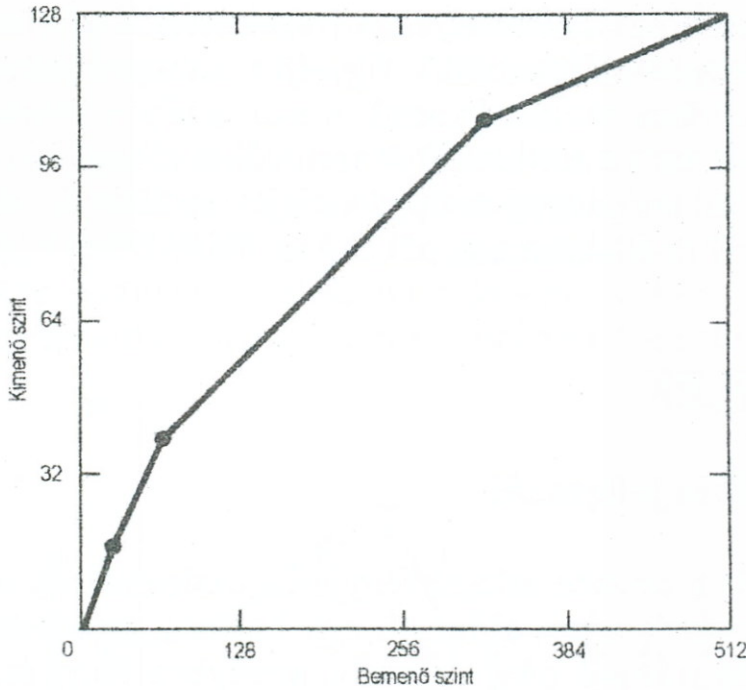
### 2.2.6. Zene digitalizálása

Műsorközlő és jelrögzítő/reprodukciós alkalmazásoknál a zene vagy általánosabban a hangérzet tökéletes utánczására törekednek. Ez egyrészt szélesebb frekvenciasáv átvitelét igényli, szemben a beszédátvitelnél alkalmazott sávhatárolással, ami ott előnyös: csökken a zajszint, ugyanakkor nem romlik az érthetőség. Az emberi fül számára nem észrevehető, ha a jelösszetevőket 15 kHz felső határig visszük át, vagyis minimálisan 32 kHz gyakorisággal veszünk mintát. [14]

A zene digitalizálása szokásosan 16 bites lineáris kvantálással történik. A nagy mintavételi frekvencia és a nagy amplitúdó tartomány feldolgozása tehát, fenti adatainkkal például, legalább 512 kb/s adatátviteli sebességet igényel, amit még 2-vel kell szorozni a sztereofónia alkalmazása miatt.

Mind átvitel, mind hangrögzítés esetén indokolt az adatkompreszió. Felépítésre legegyszerűbbek a hullámforma kódolók. A PCM-nél megismert módon, töréspontos, szintfüggő meredekségű átviteli karakterisztikát alkalmazva csökkentik a 10 bit pontossággal kvantált jelet 8 bitesre a Video 8 rendszerű kamerák (2.57. ábra). A megoldás hátránya, hogy a nagy amplitúdójú jelre ültetett halk hangok átviteli mértéke változik a nagy amplitúdójú jel fázisa függvényében, ami elég csúnyán hangzó keresztmodulációs torzítást eredményez.





**2.57. ábra.** Szintfüggő meredekségű átviteli karakterisztika (csak a pozitív jeltartományt ábrázoltuk, hasonló karakterisztika érvényes a negatív jeltartományban is)

A fenti torzítást úgy lehet elkerülni, ha a különböző meredekségű kvantálást mindig a jel teljes egészére alkalmazzuk. A megoldás nagyon hasonlít a lebegőpontos számábrázoláshoz. A NICAM 728 kódolási rendszer például 5, egymástól egy kettes tényezőben (6 dB) különböző meredekségű kvantálást használ. Hogy mikor melyiket, azt a bemeneti jel amplitúdója állítja be. A jelet például 1 ms hosszúságú tömbökre bontják és az ezalatt érvényes meredekséget úgy állítják be, hogy a túlvezérlést elkerüljék. (Reprodukció esetén ugyanezt a meredekséget vissza tudják nyerni, ha a tömbön belül vizsgálják az alulcsordulást és azt 6 dB-nél kisebbre állítják. (A törtvonalas karakterisztikát használva a kompressziós nyereség mintánként 2 bit, az utóbbi esetben az 5, az előzőhöz képest mindig kétszeres meredekségű, azaz 0...24 dB erősítés-tartományt átfogó szakasznak megfelelően 4 bit.)

A továbbiakban a zeneanyagok adattömörítéséhez használt forráskódolási változatot ismertetjük, annak is a bontott frekvenciasávós változatát. Mint tudjuk, a fülbe érkező hangok egymást maszkolják, egymás hatását elfedik. Érvényes ez akkor is, ha az egymásra ható hangok frekvenciája különböző. A maszkolás kevéssé a kisebb, inkább a nagyobb frekvenciák irányába terjed ki, mértéke a frekvenciák különbségének növekedésével csökken. A maszkolt, azaz nem hallható hangot felesleges átvinni. Hogy ezt kihasználhassuk, felbontjuk a teljes átviteli sávot a fül számára hatásában nem megkülönböztethető tartományokra. (Szokásos érték a 30 sávra bontás, amelyek abszolút szélessége növekvő frekvenciával nő.) Amellett, hogy az egyes sávokba eső összetevőket külön-külön digitalizáljuk (ehhez nem kell nagy

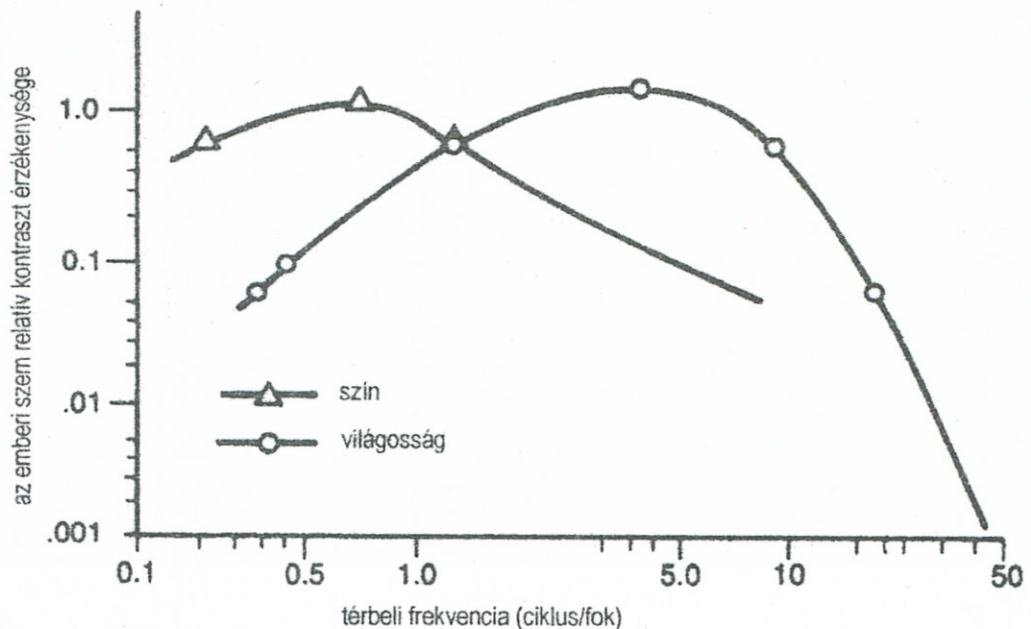


mintavételi frekvenciát használni, ha a frekvenciákat például a sáv széléhez képesti különbséggel jellemezzük), figyeljük az egyes sávokban a jelteljesítményt, ismeretében meghatározzuk a szomszédos sávokban a maszkolt hallásküszöböt és az ez alá kerülő összetevőket elhagyjuk. Az így elérhető tömörítés csak a hanganyag redundanciáját csökkenti, minőségromlással nem jár. A technikát alkalmazzák például az ISO/MPEG kódolásnál.

## 2.3. VIDEOJELEK

### 2.3.1. A látás jellemzői

A látás [14] a szembe érkező fényjelek észlelésén és idegrendszeri feldolgozásán alapul. A szem, akár csak egy kamera, gondoskodik arról, hogy élesre állított kép jelenjen meg a retinán, amelyben fényt érzékelő csapok és pálcikák helyezkednek el. Az előbbiek sűrűsége a központi, az utóbbiaké a perifériális tartományban nagyobb. A pálcikák nem különböztetik meg a színeket, de érzékenységük – különösen 10–30 percnyi adaptálódás után – nagyságrenddel nagyobb a csapokénál, amelyek ugyan érzéketlenebbek, de rövid idő alatt képesek adaptálódni, nagy térbeni felbontást biztosítanak és felelősek a színlátásért.



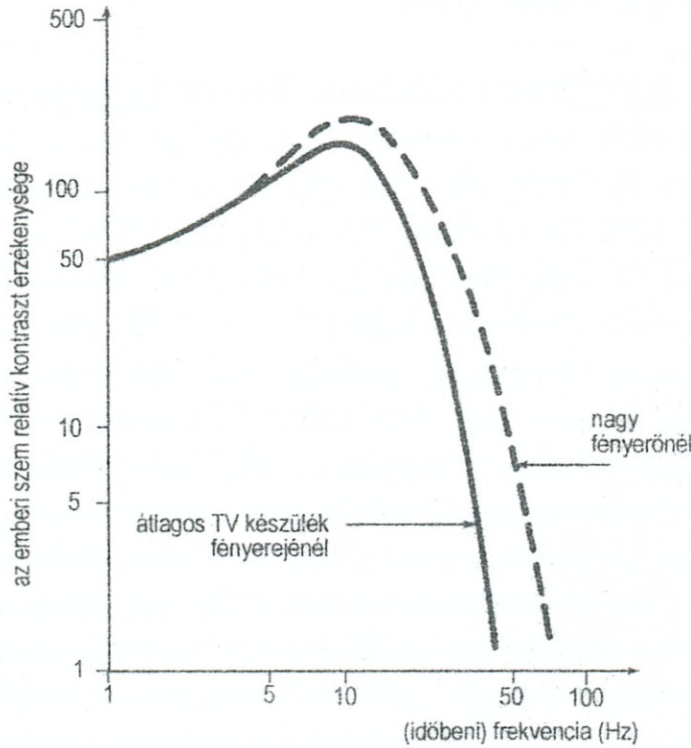
2.58. ábra. Az állókép szín és fényerősség változásait nehezebb megkülönböztetni akár kicsi, akár nagy a változás térbeni frekvenciája

A felbontást a térbeni periodikus fényintenzitás változásoknak az egy-ségnyi látószögön belül észlelhető száma adja meg (2.58. ábra) és bár vi-

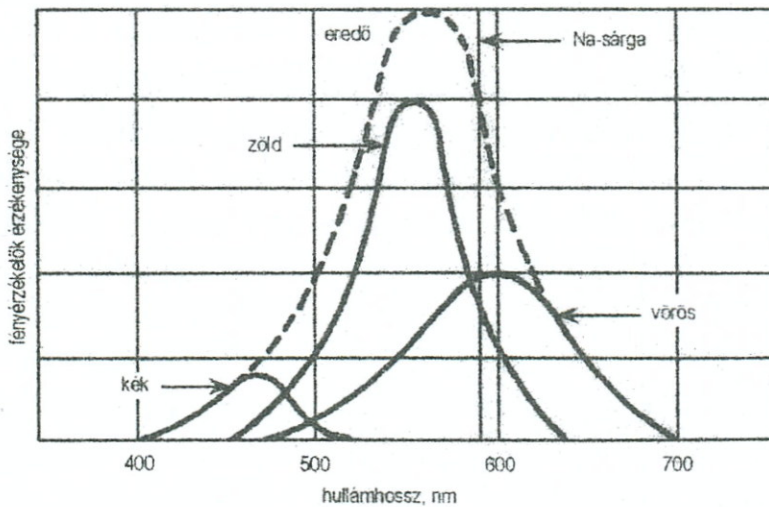


szonylag nagy fényerő-változások nagyobb frekvencia esetén is érzékelhetőek, az érzékenység kisebb a színekre, mint a világosságjelre, azaz a fehér fényre.

A fényérzet kialakulásához és megszűnéséhez a szemnek egyaránt időre van szüksége. Bár a látás perzisztenciája mintegy 0,1 s, fényintenzitás ingadozások ennél gyorsabb változások esetén is érzékelhetők és amint a 2.59. ábrán látható, a televíziónál alkalmazott másodpercenkénti 50-szeri képváltás éppen csak elegendő a fényingadozás észlelésének az elkerülésére.



2.59. ábra. Ha egy pontban az idő függvényében szaporán változik a fényerő, azt egyre kevésbé vesszük észre



2.60. ábra. A különböző színeket érzékelő csapok viszonylagos érzékenysége különböző és az eredő érzékenység is erőteljesen függ a fény hullámhosszától



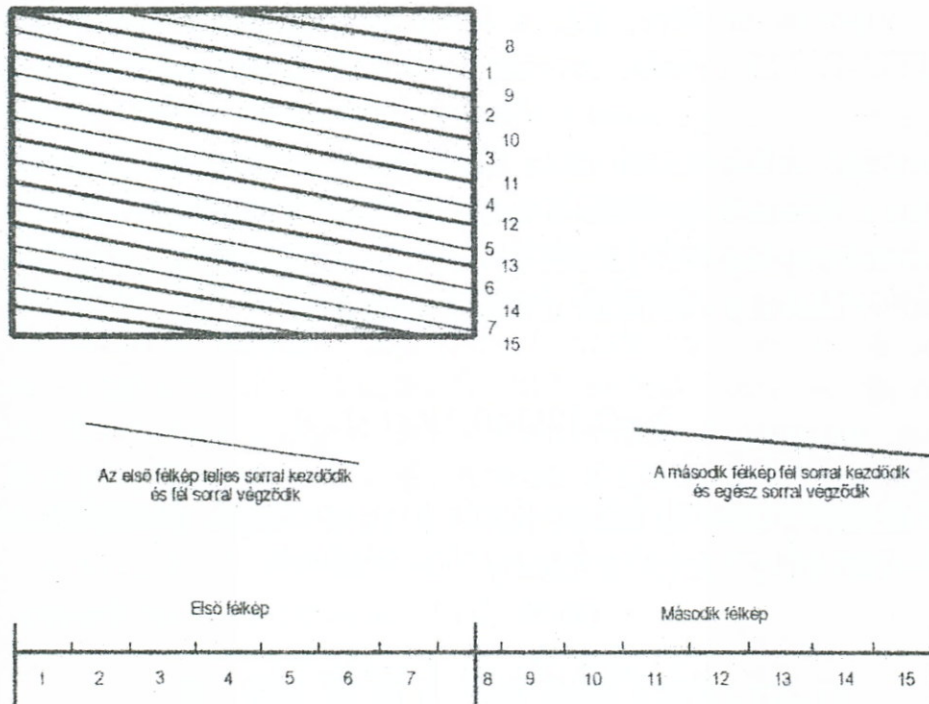
A retinán elhelyezkedő csapok közül egyesek a zöld, mások a vörös, illetve a kék színű fényre érzékenyek (2.60. ábra). Relatív érzékenységük különböző, legnagyobb a zöld esetén, ami eredőben is színtől függő érzékenységet eredményez a látható fény amúgy is szűk, a 400 és 700 nm hullámhossz tartományán belül. Ugyanakkor viszonylag kis, mintegy 1%-nyi intenzitás különbség már érzékelhető.

### 2.3.2. A videojel kialakítása

Az emberi szem számára tökéletes illúziót keltő *mozgóképek* reprodukálására alkalmas (elektromos analóg) videojel az előző pontban foglaltak figyelembevételével állítható elő. Miután a szempontokból állítja össze a képet, célszerűnek tűnt az elektromos leképzésnél is ezt a módszert választani. Az éleslátás szöge mintegy 15 fok, – és ekkora térszögben elhelyezkedő kép leképzése mellett döntöttek – a 2.58. ábra értelmében a tökéletes leképzéshez egy irányban mintegy 600 képpont választása látszott elegendőnek. A függőleges irányban tehát 625 sorra bontják a képet. (A következőkben figyelmen kívül hagyjuk a 60 Hz hálózati frekvenciát használó országokban alkalmazott és eltérő számadatokkal alakított képbontási szabványokat, megjegyezve persze, hogy minden mennyiséget úgy kell meghatározni, hogy mindkét rendszer egyaránt értelmes elrendezést használhasson. Vízszintes irányban a két szemmel való látásnak megfelelően a feldolgozható látószög nagyobb. Erre 4:3 arányban több pontot szántak. Másodpercenként – a filmnél elterjedt gyakorlatot közelítve – 25 képet dolgozva fel, így összesen  $625 \cdot 625 \cdot 25 \cdot 4/3$ , azaz mintegy 13 millió képpont veendő számításba. Feltéve, hogy az egymás melletti pontok tartalma mindig ellentétes, az analóg módon előállított fényjel sávzélesség igénye 6,5 MHz.

A villódzás mértékét csökkentendő másodpercenként nem 25 képet, hanem 50 *félképet* tapogatnak le. Az egymás utáni félképek egyrészt a páros, másrészt a páratlan sorokat tartalmazzák és mivel a sorok nem pontosan vízszintesek, hanem balról jobb felé soronként egy sornyit lejtenek (2.61. ábra), az egyik félkép a bal felső sarokban egész sorral kezdődik és fél sorral végződik, a másik fent közepén fél sorral kezdődik és egész sorral végződik. A két félkép így nem fedi, hanem kiegészíti egymást, az egymás utáni félképekben az egy függőlegesbe eső képpontok tartalma nem azonos. Bár ez a tartalom egyszerűen nyerhető az előző félkép két szomszédos sora tartalmának *átlagaként*, a félképekre alapozott képvisszaadás sok apró minőségi problémát vet fel és igényesebb esetekben, például számítógépes grafikai alkalmazásoknál lehetőleg elkerülik.





2.61. ábra. 2:1 közbeszövött sorok váltottsoros letapogatása

Az analóg képjelben az egyes képpontok nem önállóan jelennek meg, csak a jel megfelelően nagy sávzélessége biztosítja azok elkülöníthetőségét. Digitális képjel előállításakor természetesen minden képpont önálló életet él. Analóg videojel digitalizálásához mintavételi frekvenciának (az ITU-R 601-es ajánlásában adott módon, 3,375 MHz egész számú többszöröseként választott) 13,5 MHz-et használnak, továbbá az intenzitást 8 bit pontossággal (0,4 % felbontással) kvantálják. Képenként a minták, azaz a képpontok száma a másodpercenként 25 képváltással, 625 sorral és 4:3 képaránnyal dolgozó (európai) rendszerben kb. 520 800. Ekkor egy félkép 2,08 Mbit-tel adható meg, míg a videojel – a színtartalomtól eltekintve – kb. 104 Mb/s sebességgel kódolható. (Ha a videojelből elhagyják a kép- és sorváltásra fenntartott időket, kevesebb képpont (pixel) felhasználásával is azonos minőségű felbontás érhető el. Például az ITU-R 723 ajánlásában szereplő 720\*288 pixeles (félkép) felbontás csak 82 944 Mb/s adatmennyiséget eredményez egy-egy színösszetevőre.)

A kép *színeinek* a visszaadására térve át, a szem felépítéséből következik, hogy megfelelően megválasztott hullámhosszúságú zöld, vörös és kék képekből tökéletes színtartalmú kép nyerhető. A három színnek megfelelő jel a valóságos színes képből zöld, vörös és kék szűrőn átvezetve állítható elő. A színeknek megfelelő angol szavak (green, red és blue) kezdőbetűi alapján ezeket G, R és B jelnek nevezik. Ha egyszerű összeadást választunk a színes mozgóképviteléhez, lehetőség van a három alapszínnek megfelelő teljes képek előállítására, párhuzamos átvitelére és újbóli összeadással az



eredeti kép visszanyerésére. Ez, a fenti szám adatokkal,  $3 \cdot 108 = 324$  Mb/s (illetve az ITU-R 723 ajánlás szerint, 248,832 Mb/s) sebességű átvitelt igényelne.

A televíziós műsorszóró és a képrögzítési technikákkal összhangban, lehetőség van a színes képjelnek a fentitől eltérő kezelésére. E szerint a szem relatív színérzékenységevel (2.60. ábra) összhangban, a G, R és B jelekből megfelelő súlyozással előállítják a *világosságjelet*:

$$Y = 0,59G + 0,3R + 0,11B,$$

aminek a reprodukálásával fekete-fehér kép nyerhető. Emellett előállítanak és átvisznek még két *szín-különbségi jelet*, például:

$$C_R = (R - Y) \text{ és } C_B = (B - Y)$$

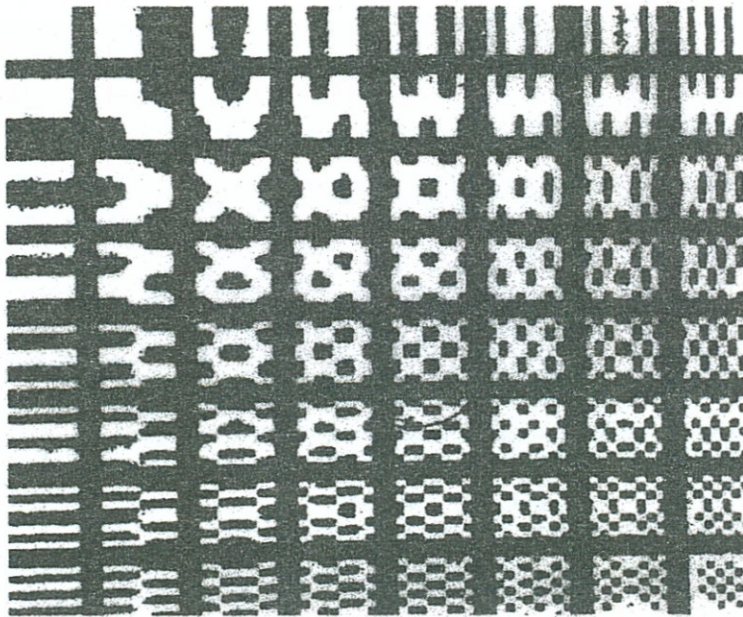
formában, hogy a három jelből egyszerű összevonási művelettel az eredeti három színjel a megszokott módon visszanyerhető legyen. Ha a digitalizálás során az analóg módon előállított világosság és két szín-különbségi jelből indulnak ki, figyelembe kell venni, hogy míg a világosság jel csak pozitív lehet, a szín-különbségi jelek előjeles mennyiségek és így elvben 1 bittel hosszabb szóval adhatók meg. Ugyanakkor, mivel a színek felbontása rosszabb (lásd 2.58. ábra), kisebb mintavételi gyakorisággal digitalizálhatók. Elterjedt a fele gyakoriság: a 6,75 MHz alkalmazása. Így mind a világosság jel, mind a szín-különbségi jelek 10 bittel való megadása esetén a teljes színes mozgóképp mintegy 270 Mb/s sebességet követelne meg.

A fenti sebességű adatjelek legfeljebb a színes mozgóképp, röviden a videó jel elektronikai rendszeren *belüli* processzálásakor használatosak. Mind a kép rögzítésekor, még sokkal inkább az átvitelekor *adattömörítési* eljárást kell alkalmazni, hogy elfogadható mennyiségű jel rögzítése vagy átvitele esetén a reprodukció lehetővé váljon. (Mivel a mozgóképp redundanciája jelentős, erre lehetőség is nyílik.) Ismeretesek a képminőséget nem rontó megoldások és olyanok, amelyek többé-kevésbé elfogadható minőségromlást eredményeznek. Ha a képtömörítést meggondoltan végzik, nyilvánvalóan szoros összefüggés van a tömörítés mértéke és a szükséges átviteli sebesség között. Más szóhasználat: a képből előállított adatjel tartalmaz *redundáns* részeket, amelyek minőségromlás nélkül elhagyhatók, míg az adatjel *entrópiája* lehetőleg megőrzendő. Ha a tömörítést úgy végzik, hogy csak a redundancia csökken, a minőség nem romlik.



### 2.3.3. Tömörítési eljárások

A digitális képjel tömörítését lehetővé tevő egyik fontos eljárás az ún. *diszkrét koszinusz transzformáció*, DCT. Ez, mint az F.I. függelékben részleteztük, hasonló a diszkrét Fourier-transzformációhoz (DFT), annak olyan változata, amikor is egy – időben vagy térben folyamatosan változó – jelből egyenlő közökben vett mintákból számolt frekvencia összetevők nem amplitúdóval és fázissal vannak megadva, hanem valamennyien az – időben vagy térben – első mintához illeszkedő, különböző frekvenciájú és megfelelő amplitúdójú koszinusz függvények. Szokásosan 8 egymás melletti vagy egymás alatti pixelhez tartozó érték helyett 8 különböző frekvenciájú koszinusz jel amplitúdóját adják meg, amelyek közül az első a (nulla frekvenciás) átlagérték, a további 7 frekvenciája pedig a nyolc pont közötti távolság reciproka felének az 1...7-szerese (2.62. ábra).

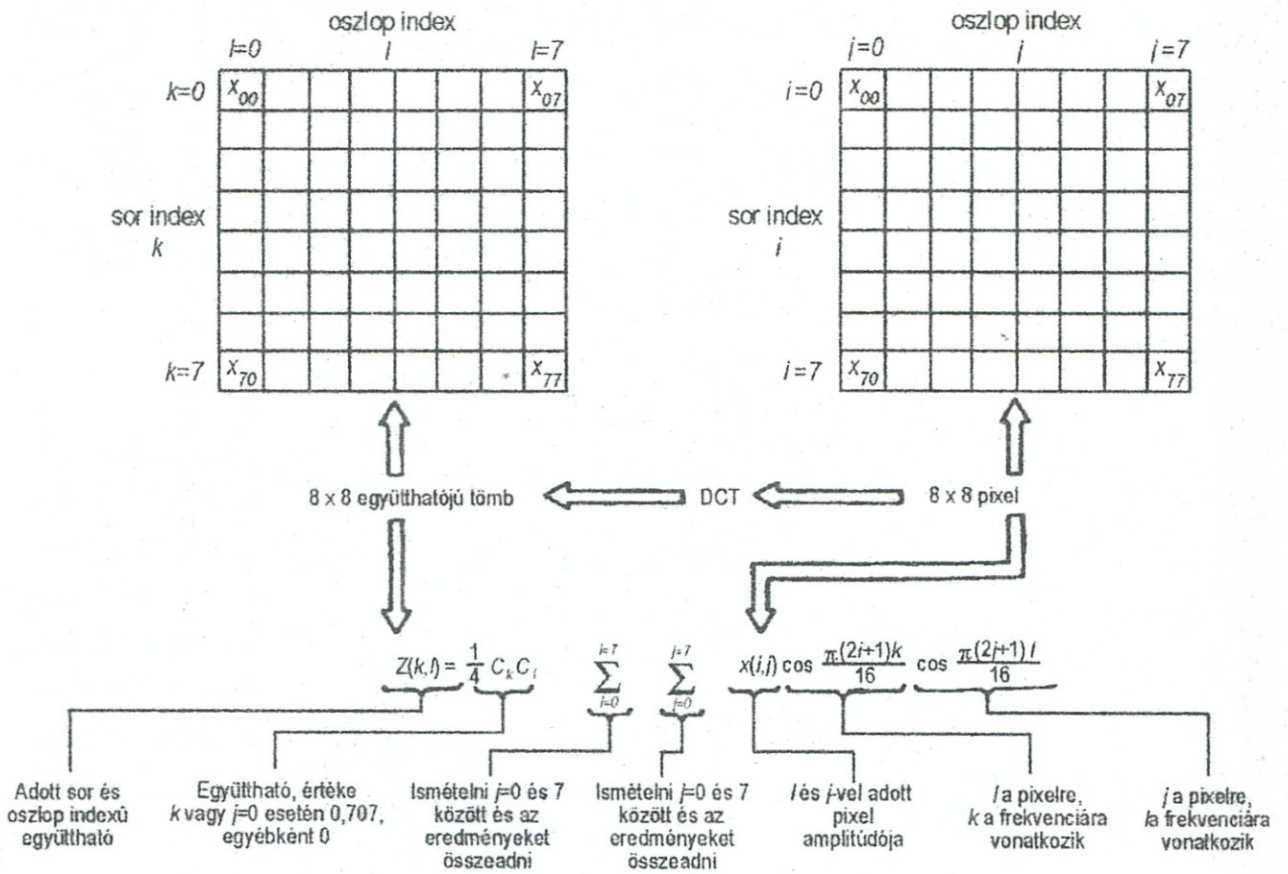


2.62. ábra. 8\*8 pontból álló jelsorozat értékei közelítően megadhatók 8-8 különböző frekvenciájú koszinusz jel összegzésével. Az amplitúdók meghatározására a kétdimenziós DCT szolgál

A képjel *pontjai* helyett a DCT-vel számolt *frekvencia-együttható* értékeket nem a fenti módon összefogott 8-8 pixelre határozzák meg, hanem 8\*8 pontból álló *blokk* képezi az átszámítás alapját. Az ehhez használt *kétdimenziós DCT* (2.63. ábra) során a 64 képpont tartalmát 64 frekvencia-kombináció amplitúdójával adják meg. Ezek közül az első ( $k=l=0$ ) az átlagszint, az első sor további elemeinek ( $k=0, l=1...7$ ) az értékeit a 2.62. ábrán értelmezetthez nagyon hasonlóan számítják. Az egyetlen különbség az, hogy az együtthatók számításához nem az első sor pontjainak, hanem az egyes oszlopok átlagának az értékét tekintik kiindulásnak. Hasonlóan: az első osz-



lop további elemei ( $l=0, k=1...7$ ) az egyes sorok átlagértékéből képződnek. A további ( $k>0$  és  $l>0$ ) kétdimenziós frekvencia-összetevők a 2.62. ábrán értelmezett egydimenziós összetevők különböző  $k$  és  $l$  értékekre értelmezett függvényeinek a szorzataiból állnak elő és a  $8 \times 8$  pixeles blokk sakktábla-szerű összetevőinek amplitúdóit adják meg. A sakktáblák világos és sötét foltjainak a száma  $k$  és  $l$  értékével arányosan nő. [14]



2.63. ábra. A 64 pontos cella amplitúdó értékeiből a kétdimenziós DCT együtthatók számításának a menete



Ha 64 pixel jelének értéke helyett 64 kétdimenziós frekvencia-összetevő amplitúdóját adjuk meg, ez önmagában nem a megadáshoz szükséges bitek számának a csökkenését, de inkább enyhe növekedését eredményezi. A szín-összetevők például 8 bites megadása esetén már a színkülönbségi jeleknél bevezetett egy további előjelbit. A DCT-együtthetők több mennyiség összevonásával állnak elő, az ennek eredményeként adódó nagyobb érték megfelelő átlagolási együtthetó választással a pontosság csökkenése nélkül visszacsökkenthető, de ez önmagában nem csökkenti le a reprodukcióhoz szükséges bitek számát. A DCT eredménye csak az, hogy olyan formában fejezzük ki az adatokat, ami lehetőséget ad a további adatcsökkentő processzálásra.



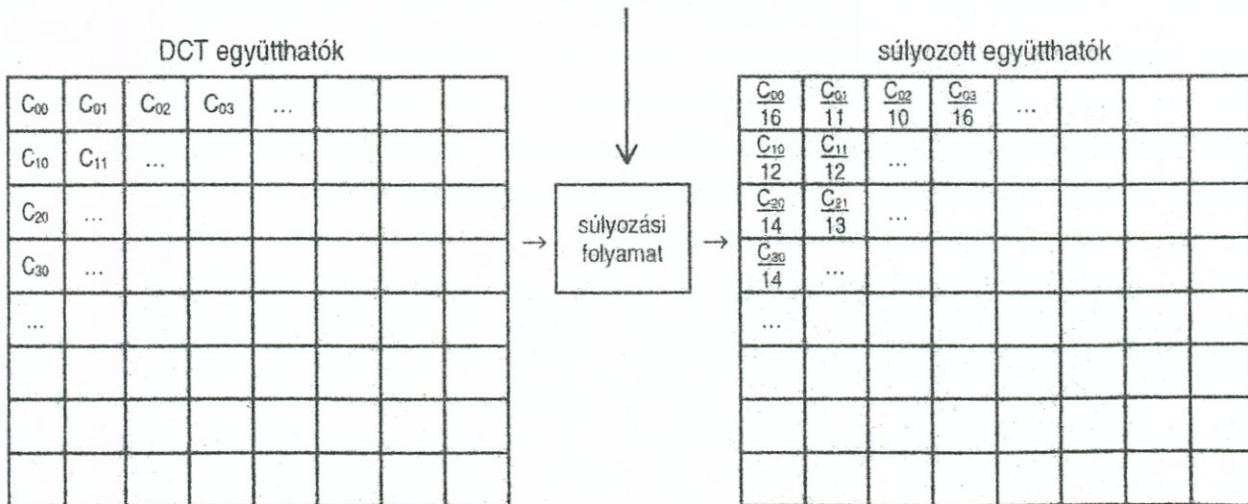


Adatcsökkenést eredményez a színkülönbségi jeleknek a világosságjel-től eltérő felbontású kezelése. Az ISO JPEG (Joint Photographic Experts Group) állóképek tömörített kódolására kidolgozott szabványában az ún. 4:2:2 rendszer 16\*8 pixel méretű makroblokkot használ a világosságjel kialakítására, míg a mintavételi sebességet sorirányban megfelelően, ehhez rendel két, egyenként 8\*8 pontból álló színkülönbségi jelet. A 16\*8 pixel így 2 világosság és 2 színkülönbségi jel-blokkal van ábrázolva. A 4:2:0 rendszert alkalmazva a színkülönbségi jelek sorirányú felbontása is feleződik, ekkor egy 16\*16 pixel méretű makroblokkot 4 világosságjel és 2 színkülönbségi jel-blokk fejez ki.

A transzformált blokkokon belül a  $k=l=0$ -hoz tartozó, az átlagos világosságot kifejező együtthatótól a nagyobb térbeni frekvenciák irányába távolodva, fiziológiailag az együtthatók jelentősége csökken. Nagyobb frekvencián ugyanis a képjel nagyobb zajosságot visel el a tökéleteshez viszonyítva. Célszerűen tehát az egyes DCT együtthatókat  $k$  és  $l$  növekedésével arányosan növekvő súlyozási tényezővel osztják és az egység közelében választott küszöbérték alá kerülőket elhagyják. A JPEG által ajánlott súlyozó tényezőket a 2.64. ábra mutatja.

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

súlyozó tényezők



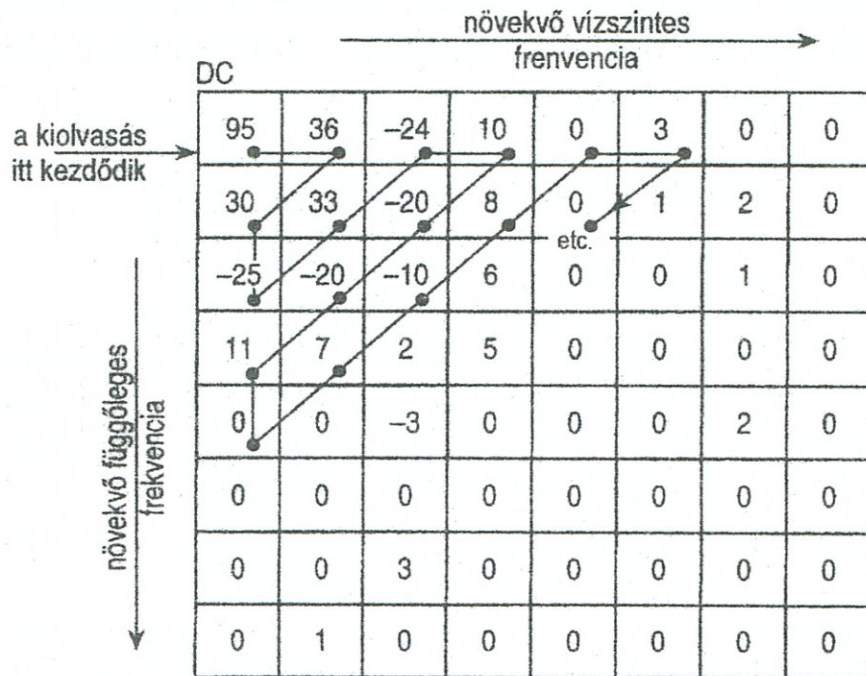
2.64. ábra. A nagyfrekvenciás összetevők csökkenő észrevehetőségét figyelembe vevő súlyozási tényezők



Súlyozás és csonkolás után általában csak a blokk együtthatóinak bal felső csoportjában maradnak nullától eltérő együtthatók. Ráadásul ezek értéktartománya is korlátozott. Célszerű tehát a kódolás során:

1. Először a bal felső sarok közelébe eső együtthatókat kódolni,
2. Változó szóhosszúságú, a gyakrabban előforduló értékek kódolására rövidebb, a ritkábban előfordulókhöz hosszabb kódszavakat használni, és
3. A fennmaradó nulla értékek kódolása helyett azok számát adni meg.

Az 1. szerinti javaslat a 2.65. ábra szerinti cikk-cakkos sorrendválassal valósítható meg. A 2. megvalósítása a már megismert Huffman-kódolás alkalmazását igényli. A 3. pedig úgy valósítható meg, hogy a Huffman-kódok közül választunk egyet a nulla-sorozat kezdetének a jelzésére, majd megadjuk az utolsó értékes együtthatót követő nullák számát. (A 2. és 3. feltétel fenti megvalósítását gyakran *entrópia kódolásnak* nevezik.)



2.65. ábra. A kvantált DCT együtthatók kiolvasásának az entrópiakódolást megkönnyítő cikk-cakk kiolvasási sorrendje

A fentiekből kitűnik, hogy a súlyozási tényezőket egy további, ún. *újrakvantálásnak* nevezett művelettel módosítva, kisebb vagy nagyobb mértékű kompresszió érhető el. Általánosságban kijelenthető, hogy vizuálisan veszteségmentes kódolás érhető el 2:1-nél nem nagyobb mértékű eredő kompresszió esetén. Ez még 10:1 mértékű kompressziónál is elmondható, de megismételt oda-vissza kódolás esetén a zavarok megjelenésének a valószínűsége megnő. A minőség elfogadható 20:1 mértékű adatkompresszió ese-



tén, de ezen túl különböző zavarok (elsősorban a 8\*8 pixel méretű cellák) jelennek meg a visszaállított képen.

A DCT alkalmazásával és az ahhoz kapcsolódó, fent vázolt technikával tömörített, majd visszaállított *állóképek* minősége változó és függvénye egyrészt a képfelbontás minőségének, másrészt a tömörítés alkalmazott mértékének. A képek sorozatából létrejött és digitalizált *videojel* viszont tovább tömöríthető, kihasználva az egymást követő képek hasonlóságát.

A predikciós adattömörítési eljárások között legismertebb a *differenciális kódolás* (DPCM). Ennek megvalósításához egy teljes képet kell tárolni (aminek következtében majd visszaállításkor egy képidőnyi késleltetés jelentkezik), majd a következő képet ebből, mint referenciából pixelről-pixelre haladva kivonva nyerhető egy különbségi kép, amit DCT-nek alávetve, majd tömörítve lehet átvinni. Ha az egymást követő képek hasonlítanak egymáshoz, a tömörített különbségi kép jóval kevesebb adatot tartalmaz, mint egy teljes kép, így további adatmennyiség-csökkenés érhető el. (A váltott soros letapogatásnál jelentkező sorközbeszövés nem teszi lehetetlenné a DPCM alkalmazását. Mivel ekkor a kivonáshoz nem áll rendelkezésre a megfelelő pixel, csak az egy sorral alatta és a felette lévő, a kivonandót e két képpont interpolált értéke adja. Ez az interpolálás egyszerűen elvégezhető, tehát a DPCM előnyösen alkalmazható tetszőleges videó anyagok tömörítéséhez.)

A különbségi képek tömörített adatmennyisége különösen akkor jelentősen kisebb a teljes képekéhez viszonyítva, ha az egymást követő képek közötti különbség kicsi, azaz nincs jelentős mozgás. Ellenkező esetben a mozgó tárgyak által eddig eltakart és a helyükön feltűnő részletek a különbségi képek tartalmát a teljeséhez teszik hasonlóvá és a kódolási előny elvész.

Jelentős mértékű mozgást tartalmazó képanyag esetén további predikciókat célszerű alkalmazni, hogy hatékony tömörítést tudjunk elérni. Ez pedig az ún. *mozgás-kompenzálás*, aminek az a lényege, hogy a kódolandó képben megkeresik a referenciáéval azonos -vagy közel azonos – rajzolatokat tartalmazó, bár az eredeti helyéről elmozdult részleteket, amelyeket azután a kivonáshoz felhasználva a kódolandó különbség nulla, vagy kisebb amplitúdójú és így kevesebb bittel megadható. A mozgás-kompenzáció elvégzése céljából a referencia képet *makroblokkokra* bontják (szokásos mérete 16\*16 pixel). Ha ezek tartalmát az új kép megfelelő részletéből kivonva, jelentős különbségi jelet kapnak, akkor a szomszédos makroblokkokat félpixeles lépésekben mozgatva, mind vízszintesen (max. 31 félpixelnyire), mind függőlegesen (max. 15 félpixelnyire) eltolva megpróbálnak az új képpel egyezést keresni. Ha ez sikerül és jelentősen kisebb különbségi jelet eredményező helyzetet találnak, akkor az így nyert jelet használják fel a DCT, majd a kódolás alapjának.

A többlet kódolási nyereséget némileg csökkenti az, hogy az eltolási vektor két összetevőjét (makroblokkonként 6+5 bitet) is át kell vinni a kép



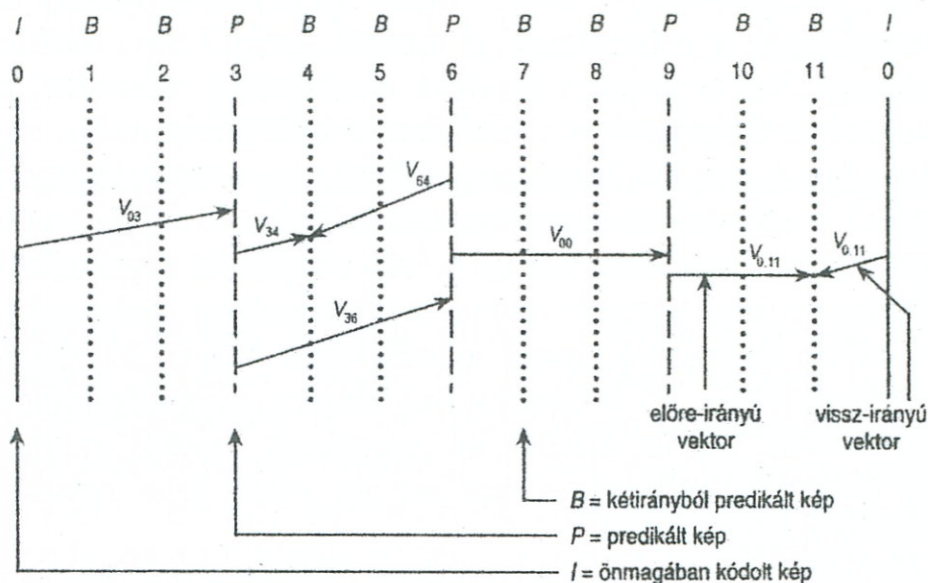


helyreállításához, de ha a képen jól meghatározott nagyméretű tárgyak mozdulnak el, a nyereség így is jelentős lehet. Az elmozduló tárgy mögül előtűnő részletek persze nagy különbségi jelet eredményeznek és ezek, mint új képanyagok, nem is találhatók meg a rámozgatott szomszédos makroblokkokban.

A mozgáskompenzációval bővített differenciális kódolás jelentős bitsebesség csökkenést eredményez az állóképek kódolásához alkalmazható entrópia-kódolt DCT-hez képest. Egy önmagában kódolt (intra coded) **I** képhez képest egy predikciós módszerrel kódolt **P** kép átlagosan mintegy 1/3-ad annyi bitet tartalmaz. Vég nélkül nem lehet azonban **P** képeket továbbítani. Egyrészt fokozatosan fel nőnek a hibák és a kép egyre zajosabb lesz, másrészt – editáláskor – a visszaállítás megkezdése nem indulhatna teljes kép adásával. Ezért azt a megoldást választják, hogy időnként **I** képet továbbítanak, amit néhány, általában nem több mint 3 darab **P** kép követ. A differenciális kódolás tehát az önmagában kódolt állóképek sorozatához képest általában mintegy felére csökkenti a videojel átviteléhez szükséges bitsebességet.



A mozgó tárgyak mögül előtűnő részletekben gazdag képek kódolásakor az *előző* képhez viszonyított predikciós kódolás nem hatékony. Ebben az esetben jobb eredményt, nagyobb tömörítést adna a *követő* képhez történő viszonyítás. Lehet, hogy *köztes* megoldás eredményez nagyobb megtakarítást. Ez esetben képeznek egy az előző képhez viszonyított predikciós képet, egyet a követhöz viszonyítva és a kettő átlagát tekintik predikciónak. A mozgásvektorok koordinátáiból így többet kell átvinni, de eredőben bitsökkenéssel lehet számolni. Makroblokkonként választva az előző, a követő és az 50-50 %-osan számított különbségi képek között, majd ezeket DCT-vel tömörítve, köztes **B** képek állíthatók elő, amelyek további 3...4-szer kevesebb bittel adhatók meg a **P** képekhez képest. Ezeket a köztes képeket viszont nem használják további predikcióra.



2.66. ábra. Az MPEG-kódolásnál használt háromféle kép előállításának sorrendje



Az ISO keretében működő MPEG (moving pictures experts group) munkacsoport digitalizált videojelek tömörítésére dolgozott ki szabványokat. E szerint minden 12. kép (félkép) **I**. Közöttük egyenletes eloszlásban 3 **P** kép helyezkedik el, míg minden **I** és **P** képet 2-2 **B** kép követ (2.66. ábra). Az egymást követő képek eltérő kódolása miatt nem lehet az egymást követő képeket sorrendben átvinni, mivel előállításukhoz esetleg későbbi képek tartalmának az ismeretére is szükség van. Az ábra jelöléseivel például a lehetséges átviteli sorrend: **I0, B10, B11, P3, B1, B2, P6, B4, B5, P9, B7, B8**, s.í.t., hogy a visszaállításkor a viszonyításhoz szükséges kép már rendelkezésre álljon. Editáláshoz egy sorozat képtárolóra van viszont szükség. A reprodukció csak bizonyos mértékben már feltöltött tároló esetén kezdődhet, így élő közvetítéskor bizonyos késleltetés jelentkezik.

Az MPEG-1 szabvány szerinti kódolásnál eldobnak minden második félképet, a fennmaradó jelből nyert és fenti módon komprimált adatokat a mindenkori képtartalomtól függő mértékű újrakvantálással állandó, 1,5 Mb/s sebességű jelfolyammá alakítják. Ezzel PAL minőségű mozgóképek visszaadás nem érhető el, de CD-n való rögzítéshez, illetve távközlési vonalakon történő egyszerű átvitelhez megfelelő minőség valósítható meg.

Az MPEG-2 szabvány a szokásos televíziós minőségű kép átvitelét célozza meg. Lehetővé teszi a szokásos 4:3 képarány mellett a 16:9 arányú kép átvitelét, különböző minőségű színvisszaadás mellett. Lehetőség van **B** képek nélküli működésre, kis késleltetést biztosítandó. Az elérhető átviteli sebesség nem nagyobb az MPEG-1-nél használt 4...5-szörösénél. PAL minőségű mozgóképek digitális átviteléhez egyre szélesebb körben alkalmazzák.

Videotelefon szolgáltatásokhoz viszont nagyobb mértékű kompressziót alkalmaznak. Több különböző megoldás ismeretes, ezekről összefoglalóan annyit érdemes megjegyezni, hogy – szélső esetként – egyszerű, például mellkép jellegű, lassan mozgó képek, állókép jellegű iratok és közepesen jó minőségű hang átvitelére alkalmas rendszerek üzemelnek 2\*64 kbps, pontosabban egy ISDN alaphozzáférésnek megfelelő sebességű átvitelre alapozva.

Elsősorban a kisebb, esetleg csak 64 kb/s sebességű átvittel is működő *multimédia*-alkalmazásokhoz fejlesztik az MPEG-4 ajánlást, amely 144\*180 (vagy még arányosan kevesebb) pixelt tartalmazó képeket továbbít tömörített formában és a hangsávot is a szokásosnál nagyobb mértékben, esetleg csak 4–9 kb/s sebességűre tömöríti.



## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Brewster, R. L.: *Communication Systems and Computer Networks*. Ellis Horwood. Chichester. 1989.
- [2] Nyquist, H.: Certain topics in telegraph transmission theory. *Trans. AIEE*, **47**. 617–644. (1928).
- [3] Bennett, W. R. – Davey, J. R.: *Data Transmission*. McGraw Hill Book Co. New York. 1965.
- [4] Shannon, C. E.: A mathematical theory of communication. *BSTJ* **27**. 379 és 623. 1948)
- [5] Fano, R. M.: *Transmission of Information*. MIT Press és John Wiley & Sons. Inc. New York. 1961.
- [6] Elek K. – Gaál J.: Implementation of trellis coded modems. *Híradástechnika*, **XLV**. 23–29. (1994 márc.).
- [7] Hamming, R. W.: *Coding and information theory*. Prentice Hall. 1980.
- [8] Hagelbarger, D. W.: Recurrent codes: easily mechanised, burst-correcting binary codes. *BSTJ*. **38**. 9. 69-984. (1959).
- [9] Huffman, D. A.: A method for the construction of minimum-redundancy codes. *Proc. IRE*. **40**. 1098. Sept. 1952.
- [10] Richards, D. L.: *Telecommunication by speech. The Transmission Performance of Telephone Networks*. Butterworths. London. 1973.
- [11] Házman I. – Richards, D. L. – Whorwood, R. W.: Background masking audiograms of speech. *ACUSTICA* **57**. 87-94. (1985).
- [12] Dr. Házman István: *A digitális átviteltechnika alapjai*. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatósága. Budapest, 1995.
- [13] Gibson, J. D. (szerk.): *The Mobile Communications Handbook*. A CRC Handbook Published in Cooperation with IEEE Press. 1998.



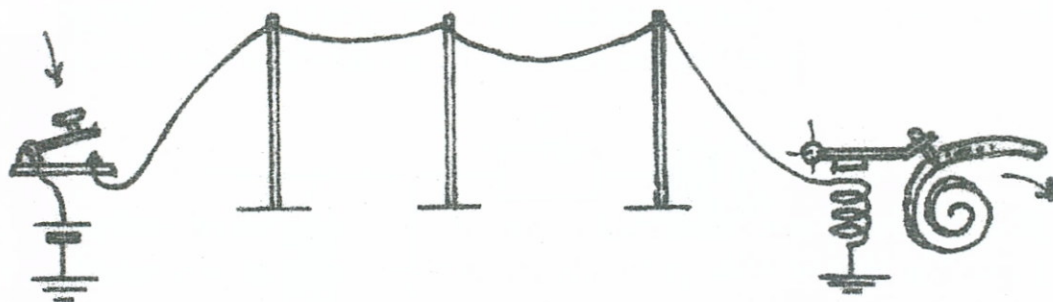
## 3. JELÁTVITELI KÖZEGEK

### 3.1. Átvitel elektromos vezetéken

#### 3.1.1. Az elektromos vezeték jellemzői



Az elektromos távközlésre a kezdetektől használt átviteli közeg az elektromos vezeték. Az átviendő információt a vezeték elejére (bemenetére) kapcsolt elektromos teljesítmény generátor valamely jellemzője, leggyakrabban a forrásfeszültség pillanatnyi amplitúdója tartalmazza. Az elektromos jel – több-kevesebb módosulással – végighalad a vezetéken, amelynek a végére csatlakoztatott fogyasztó a jeleket visszaalakítva az eredetivel azonos információt állít elő.



3.1. ábra. Az első táviró vonalak felépítése

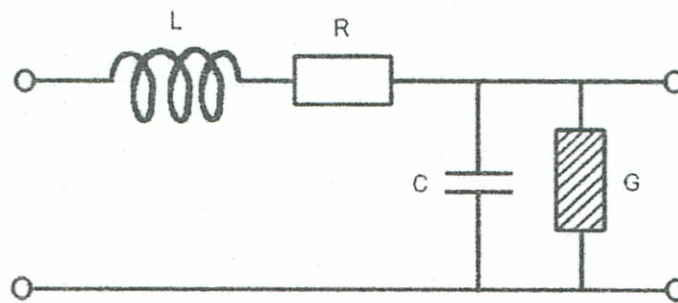
Kezdetben (3.1. ábra) a jelek továbbítására egyetlen vezetéket alkalmaztak, az áramkör zárásáról a föld-visszavezetés gondoskodott, amit mind a generátor, mind a fogyasztó egysarkú földelésével tettek lehetővé. Az áramkörök számának növekedésével, valamint a váltakozó áramú energiaátviteli rendszer kialakulásával az elektromágneses zavartatás oly mértékben megnőtt, hogy a föld-visszavezetéses rendszer teljességgel tarthatatlanná vált. Később ettől eltérő vezeték-elrendezések honosodtak meg. Elsőként a *kettős légvezeték* terjedt el, majd ennek a kábelbe helyezett változata, a *szimmetrikus érpár*, végül, a század második felében, a *koaxiális kábel*. A két vezetéket, amelyek a térben úgy vannak elhelyezve, hogy mindkettőben – a földhöz viszonyítva – azonos mértékű zavaró jel keletkezzék, a zavar szintjének a csökkentésére, a hasznos jel és a zavaró jelek szétválasztására alkalmazták. A koaxiális kábel külső köpenye, mint közel nulla ellenállású fémburok, árnyékoló hatást fejt ki és a középső értől távoltartja a zavaró tereket. Igaz ugyan, hogy az árnyékoló palást nem tartható tökéletesen földpotenciálon és zavart felvevő hurok alakulhat ki, de ez utóbbi megoldás még így is zavarérzékenyebb a sodrott érpárhoz viszonyítva. Az utóbbi időben megpróbálkoztak az *árnyékolt sodrott érpár* kialakításával, ennek járulékos előnyei azonban elmaradnak az előállítási költségek növekedéséhez viszonyítva.



Az átviteli jellemzőket illetően, a következőkben, eltekintve a be- és ki-kapcsolási tranziensektől, szinuszos váltakozó áramú jelekre korlátozzuk a vizsgálatot [1]. Az elektromos vezeték homogénnek tekintjük és egységnyi hosszúságú szakaszát négy paraméterrel tekintjük megadottnak. Ezek (3.2. ábra): a hosszegységre eső *soros ellenállás*,  $R$ , a *soros induktivitás*,  $L$ , valamint az *átvezetés*,  $G$  és a *kapacitás*,  $C$ . A paraméterek általában a frekvenciától függő mennyiségek: a soros elemeket elsősorban a váltakozó áramnak növekvő frekvenciával a vezetéből való kiszorulásával értelmezhető *bőrhatás*, a sönt elemek közül elsősorban a vezetést pedig a vezeték szigetelésére, illetve pozicionálására alkalmazott dielektromos anyagok váltakozó áramú tulajdonságai befolyásolják.

A vezeték elejére ( $z=0$ ) kapcsolt feszültség  $\omega$  frekvenciájú összetevőjét, az exponenciális írásmódot használva, jelölje:

$$U(z=0) = A \cdot \exp j\omega t. \quad (3.1)$$



3.2. ábra. Elektromos vezeték elemi szakaszának váltakozó áramú jellemzése

A ( $z$  irányban) végtelen hosszúnak tekinthető vezetéken az előre haladó feszültség hullámnak a helyfüggése  $\exp(-\gamma z)$  függvénnyel írható le, ahol a  $\gamma$  terjedési együttható a vezeték jellemzőitől függ és

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (3.2)$$

formában adható meg. Valós és képzetes részét  $\alpha$ -val, illetve  $\beta$ -val jelölve:

$$\gamma = \alpha + j\beta,$$

ahol  $\alpha$  jelenti a hosszegységre eső *csillapítást*,  $\beta$  pedig a hosszegységre eső *fázisforgatás*.

A végtelen hosszú vezeték bemeneti impedanciája,  $Z_0$ , a vezeték-jellemzőkkel kifejezve:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}. \quad (3.3)$$



$Z_0$  adja a véges hosszúságú vezeték bemeneti impedanciáját is, feltéve, hogy az "végtelenítve" van, azaz az őt lezáró impedancia is  $Z_0$ . Ebben az ún. *illesztetten lezárt* esetben a jel csak előre irányban terjed, a lezáró impedanciáról visszaverődő jel nulla.

Az illesztetten lezárt vezeték tetszőleges  $z$  helyén a feszültség (3.1)-ből a terjedési együtthatóval szorozva számolható:

$$U(z) = A \cdot \exp(-\alpha z) \cdot \exp j(\omega t - \beta z). \quad (3.4)$$

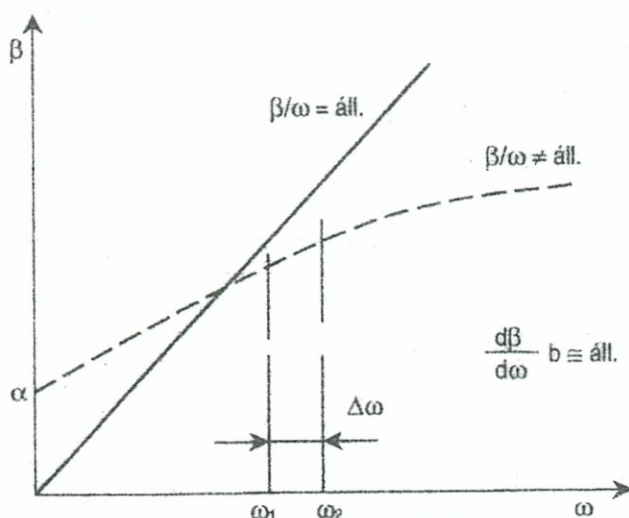
Az amplitúdó növekvő  $z$  irányában előre haladva exponenciálisan csökken. Az  $\alpha$  együtthatót szokásosan dB/km egységekben adják meg. (Újabban terjed a rövidebb bázistávolságra, például 100 m-re vonatkoztatott megadási mód is, különösen a nagy átviteli sebességre használt sodrott érpárok széles-sávú jellemzésére.)

A  $\beta$  együttható segítségével a feszültség hullám  $v_f$  terjedési sebessége, az ún. *fázissebesség* a következő formában adható meg:

$$v_f = \omega / \beta. \quad (3.5)$$

Egyszerűen belátható (3.4) forgó vektorának argumentumából, hogy a  $t=0$  időpontban  $z=0$  helyen lévő fázishelyzet  $t_1$  időpontban a  $z_1 = v_f \cdot t_1$  helyen található.

Ha a fázissebesség nem függ  $\omega$ -tól, azaz  $\beta$  arányos  $\omega$ -val, a feszültség-hullám valamennyi összetevője azonos sebességgel terjed és a jel *alakja* – tetszőleges helyen mérve – nem változik, az átvitel torzítatlan. A jel amplitúdó természetesen a vezetéken előre haladva a csillapításnak megfelelően folyamatosan csökken. Egyébként általában a többfrekvenciás jelalakok az átvitel során torzulnak.



3.3. ábra. A hullámterjedési együttható frekvencia-függésének a vizsgálatához



Torzítatlan átvitel megvalósítható  $\omega$ -val nem arányos, de adott frekvencia-tartományban  $\omega$  lineáris függvényének tekinthető  $\beta$  esetén is, feltéve, hogy a jel összetevői ebbe a tartományba esnek. Terjedjen ez a tartomány (3.3. ábra)  $\omega_1$ -től  $\omega_2$ -ig és adjuk meg erre a tartományra való érvénnyel a  $\beta$  együtthatót  $\beta=a+b\omega$  alakban, ahol  $b$   $\beta$ -nak – jelen tartományban állandó értékű –  $\omega$  szerinti differenciálhányadosa. Az összefüggést (3.4)-be helyettesítve,  $\omega_1$ -től  $\omega_2$ -ig terjedő frekvenciájú jelekre érvényesen:

$$U(z)=A*\exp(-\alpha z)*\exp(-j\alpha z)*\exp j\omega(t-bz). \quad (3.6)$$

A középső exponenciális tényező egyszerű, helytől függő járulékos fázisforgatást jelent. Az utolsó tagot vizsgálva látható, hogy a  $v_f$  fázissebesség helyébe az

$$1/v_g=b=d\beta/d\omega \quad (3.7)$$

egyenlettel definiált, ún. csoportsebesség lépett. Amennyiben ez – a szóban forgó frekvencia tartományban – állandó, az ilyen összetevőket tartalmazó jel alakhűen terjed, ellenkező esetben az átvitel során alakjában módosul.

Az érpárok milyenségének a jellemzésére egyrészt az elektromos szigetelésre alkalmazott anyag milyenségét, másrészt a rézvezető átmérőjére jellemző mennyiséget használnak. Természetesnek tűnik az átmérő megadása. A sodrott érpárok szóhajóhető átmérő-tartománya: 0,16...1,4 mm. Ebből hazánkban távbeszélő előfizetők csatlakoztatására a 0,4, 0,6 és 0,8 mm átmérőjű érpárokat használják, régebben telepített, még használatban lévő távolsági összeköttetésekhez használtak ennél nagyobb érátmérőjű típusokat is. A ma már ritkán látható légvezetékek anyaga csupasz bronz-, ritkábban alumínium huzal volt, a szükséges mechanikai szilárdság biztosítására általában minimálisan 2 mm érátmérővel. (Az alumíniumot többesű, 4\*1,35 vagy 7\*1,2 mm átmérőjű, sodrott változatban használták.)

A nemzetközi gyakorlatban, távbeszélő érpárok esetében, az átmérő megadása mellett további kétféle jellemzéssel találkozunk. Angol érdekelt-ségű területen terjedt el a vezeték készítéséhez felhasznált réz súlyának a megadása font/mérföld (lbs/m) dimenzióban. (A 0,4 mm érátmérőnek jó közelítéssel 4 lbs/m fajlagos súly felel meg.) Használatos még a vastagság je-lölésére az AWG (american wire gauge), ami azt a számot jelenti, ahányszor a drótot a húzószerszámon áthúzták. A megfeleltetés: a 20 AWG kb. 0,8, míg a 26 AWG kb. 0,4 mm érátmérőt jelent.

A számítógép hálózatok kiépítéséhez használt kábelek érpárainak a jel-lemzésére számozásos kategorizálást használnak. A jelenleg ismert, leggyor-



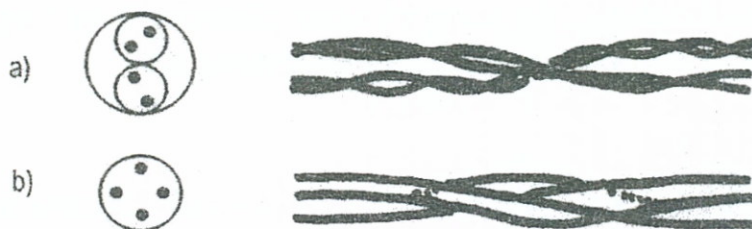
sabb adatátvitelhez ajánlott Cat 6-os érpár mintegy 150 Mb/s sebességig használható, mintegy 100 m maximális távolságra.

### 3.1.2. Átvitel elektromos kábelben



Több érpárt összefogva és külső mechanikai, elektromos és a környezetállóságot biztosító védelemmel ellátva az elektromos kábelhez jutunk.

A csak elektromos védelmet biztosító szigetelő réteggel bevont összedort érpár (unshielded twisted pair, UTP) képezi az alapját a lapos kábelnek, amit előszeretettel használnak számítógépekben és egyéb elektronikai berendezésekben adatátviteli buszként. A szigetelt érpár köré fém burkolatot létesítve kapjuk az árnyékolt sodort érpárt (shielded twisted pair, STP). Ez kevésbé érzékeny bizonyos külső elektromos és mágneses zavarokra, de csillapítása valamelyest nagyobb, úgyhogy ritkán alkalmazzák.



3.4. ábra. A DM- (a) és az egyszerű érnégyes (b) szerkezete

A külső megjelenésre *hengeres kábelek* elemi összetevője nem az érpár, hanem az *érnégyes*, ami két változatban létezik. Két, eltérő menetemelkedésű sodrott érpár összesodrásával jön létre a DM-érnégyes, míg négy szál párhuzamosan vezetett drótot összesodorva kapjuk a csillag-négyest. Az előbbi egy viszonylag laza, rossz térkitöltésű szerkezet, de a két érpár között a csatolás kicsi és ezért igényesebb alkalmazásoknál, például a távkábeleknél használják. Az utóbbi az olcsóbb, gyakran igen nagyszámú érpárt tartalmazó, elsősorban az előfizetői hálózatban alkalmazható kábelek elemi összetevője. A csillag-négyes két-két, átlós elhelyezkedésű vezetékét tekintik egy-egy érpárnak, amelyek egymással – a többi érpárhoz viszonyítva – szoros csatolásban vannak, ami onnan ered, hogy a szerkezet soha nem lehet matematikai pontosságú, aminek következtében a két vezeték eltérő előjelű hatásai nem pontosan egyformák és az érpárok között eredőben mind mágneses, mind elektromos csatolás létrejön. A kapacitív csatolások kiegyenlítésére utólagosan van mód, a mágnesesre kevésbé. A sok érpárt tartalmazó kábelek belső felépítése bizonyos modularitást mutat: több, például 25 érnégyest tartalmazó elemi sodratokat (pázmákat) készítenek és ezekből különböző számút összefogva különböző méretű kábelekhez jutnak (3.4. ábra).

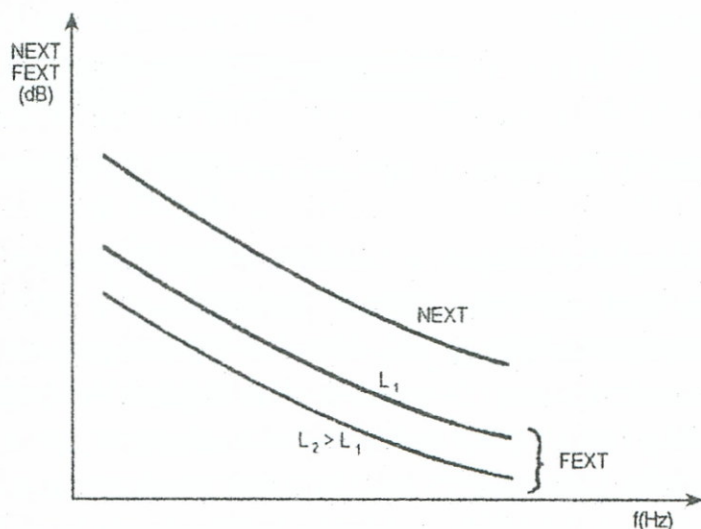




A kábelben elhelyezkedő érpárok közötti ki nem egyenlített csatolás eredményeként a vezetékekben folyó áram, illetve vezetékek közötti feszültség részben áttranszformálódik a párhuzamos érpárakba és ott *zavarként* jelentkeznek. [2] Ez a jelenség az *áthallás* (crosstalk). Mérhető a zavaró jelforrás becsatlakozásával azonos helyen, ez a *közelvégi áthallás* (near-end crosstalk, NEXT), illetve az érpár másik végén, ami a *távolvégi áthallás* (far-end crosstalk, FEXT). Mindkét érték a zavaró jelforrás és a mért zavarjel közötti csillapítást jelenti.

Zavaró feszültség keletkezik továbbá a kábel külső borításán át ható zavaró terekből, mint amit az elektromos energiatovábbító hálózat, vagy rádiófrekvenciás adók okoznak.

A zavaró feszültség harmadik forrása az áramot szállító elektronok rendezetlen hőmozgásából adódó termikus *zaj*. Ez önmagában mindig elhanyagolható. Szakaszosan erősített vezetékeknél viszont jelentőssé válik az erősítő eszközök által termelt járulékos zaj, ami a vezeték hosszával arányosan fel nő. Az erősítők közötti távolság és az erősítők paramétereinek megválasztásával optimalizálható, de soha el nem tüntethető és végső soron a vezetékkel áthidalható távolság határolását eredményezi.



3.5. ábra. Az áthallás frekvenciafüggése, jellegre helyes ábra

Az áthallás mértéke érpárról-érpárra változik. Legnagyobb, nyilvánvalóan, az érnégyesen belüli érpárra, míg a kábelszerkezetben távolabb elhelyezkedő érpárakra csökken. Továbbá, függ az érték a mérési frekvenciától: a frekvencia növekedésével általában nő (a csillapítás csökken). Az érpár hosszának a függvényében eltérő viselkedést mutat a közelvégi és a távolvégi jellemző. Az előbbit jellegzetesen hosszról független jellemzőnek tekintjük, ami egy minimális hossz után közelítően teljesül is, hiszen a távolabbi keresztmetszetekben jelentkező zavaró jel, amit a zavaró jelforrás már csillapított szintje hoz létre, visszafelé menet ismételt csillapodik és hatása a



bemenetnél elhanyagolhatóvá válik. Ugyanakkor, a távolvégi áthallás a hosszal arányosan nő (3.5. ábra).

### 3.1.3. Alapsávi átvitel szimmetrikus érpáron

Egyenáramú, valamint az ehhez csatlakozó sávba eső frekvenciájú jelek átvitelére általában a sodrott érpárból alakított szimmetrikus érpárat használjuk. A tényleges átviteli jellemzők jó közelítéssel számolhatók a 3.1.1. alfejezetben megismert összefüggések felhasználásával, egyszerűsítésként figyelembe véve, hogy a soros induktivitás impedanciája, valamint az átvezetés elhanyagolhatóan kicsi a soros ellenálláshoz, valamint a sönt kapacitás szuszceptanciájához képest.

Alapsávi átvitelnél a hullámimpedancia számításba vehető közelítő értéke:

$$Z_0 \cong \sqrt{\frac{R}{j\omega C}} \quad (3.8)$$

Ez egy koncentrált elemekből igen nehezen kialakítható impedancia. A frekvencia növelésével abszolút értéke – végtelenből – a frekvencia négyzetgyökével arányosan csökken, míg fázisszöge  $-45^\circ$ , azaz a rezisztív és a kapacitív rész abszolút értéke egyenlő. A lezárást általában csak durva közelítéssel hajtják végre, a hullámimpedanciát egyszerű ellenállással helyettesítve, melynek értékét az átviteli frekvenciasáv közepe táján számolható impedancia abszolút értékével választják egyenlőnek vagy 600 ohmmal helyettesítik. Esetleg, a közelítést javítandó, némi kapacitív elemmel egészítik ezt ki. Nem illesztett lezárás esetén a vezetéken nemcsak előre irányban terjed jel, hanem a végére érkező jel(energia) egy része visszaverődik, bár, erről gyakran megfeledkezve, a terjedő jel értékét általában (3.3)-mal közelítik.

Hasonló közelítéssel élve, a (3.2) hullámterjedési együttható a

$$\gamma = \alpha + j\beta \cong \sqrt{j\omega RC} \quad (3.9)$$

alakban írható fel, azaz a hosszegységre eső csillapítás és fázisforgatás azonos és

$$\alpha = \beta = \sqrt{\frac{\omega RC}{2}} \quad (3.10)$$



értékkel közelíthető. A csillapítás tehát a jelfrekvencia négyzetgyökével arányosan nő. Az  $\omega/\beta$  formában definiált fázissebesség a frekvencia négyzetgyökével arányosan nő (amíg meg nem közelíti a fénysebességet) és értéke:

$$v_f \cong \sqrt{\frac{2\omega}{RC}} \quad (3.11)$$

Beszédfrekvenciás (300-3400 Hz) alkalmazásra korlátozott érvénnyel a 3.1. Táblázatban foglaltuk össze az előfizetői hálózatban jelenleg előszere-tettel alkalmazott habosított PVC-szigetelésű és petrolgyanta töltésű kábelek érpáira a jellegzetes fajlagos ellenállást, kapacitást és a (beszédsáv közepe táján mérhető és a teljes sávra vonatkoztatott közelítő értéként használt) egyenérték-csillapítást az érátmérő függvényében. [3]

3.1. táblázat

érátmérő (mm)	fajlagos ellenállás (ohm/km)	fajlagos kapacitás (nF/km)	egyenérték- csillapítás (dB/km)
0,4	300	42	2,1
0,6	135	42	1,35
0,8	72	42	0,9

Az előfizetői érpárat egyre gyakrabban használják alapsávi *adatátvitel*-re. A felhasznált sáv szélesség ez esetben maximálisan a szimbólumváltási sebesség (Baud-rate), bár jellemzőnek inkább ennek a felénél mérhető csillapítás értéket tekintik. (Például a 160 kb/s alapsebességű ISDN csatlakozás esetén, 2B1Q vonali kódolást alkalmazva a vonalon az átviteli sebesség 80 kBaud, ez 40 kHz-nél 0,5 relatív átvitelt kíván meg, az átvitel minőségét meghatározó csillapítást ennél a frekvenciánál specifikálják.)

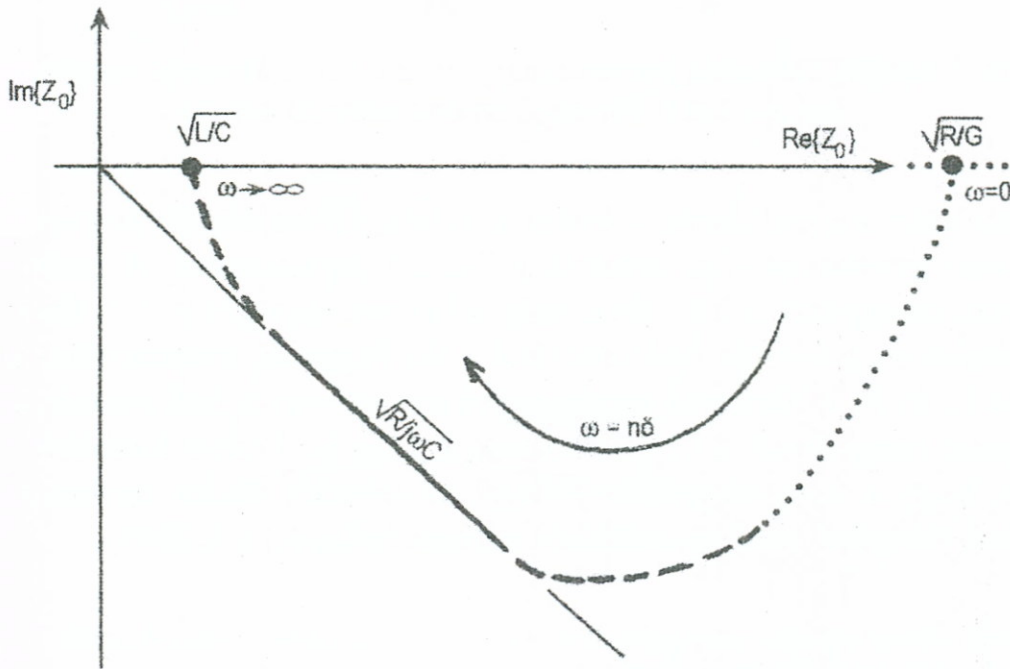
Beszédfrekvencián túlmenő alkalmazások esetén a fenti, (3.8), illetve (3.10)-zel adott közelítő kábeljellemzők nem használhatók. *Nagyobb frekvenciákon* (amíg a sönt vezetés,  $G$  hatása elhanyagolható, de a soros induktivitás hatása már dominál a soros ellenállás,  $R$  mellett) jobb jellemzést kapunk, ha az alábbi jellemzőket a veszteség mentesnek tekintett vezetékre érvényes összefüggésekből számoljuk:

$$Z_0 \cong \sqrt{\frac{L}{C}}, \text{ illetve} \quad (3.12)$$

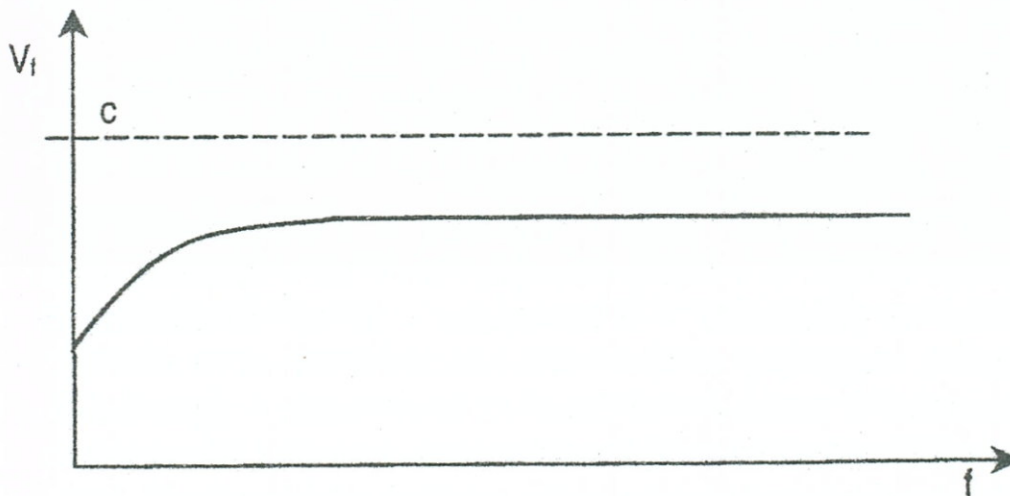
$$\beta \cong \omega \sqrt{LC} \quad (3.13)$$



Fentiekből az olvasható ki, hogy – ebben a frekvencia tartományban – a hullámellenállás ohmos, a szokásos vezetéktípusokra 100-150 ohm körüli érték, míg a fázisforgatás a frekvenciával közel arányosan változik, azaz a  $v_f$  fázissebesség a frekvencia növekedésével nő, majd állandósul és a fénysebességnél valamivel kisebb értékre áll be. Ebben a jellegzetesen 'magasabb' frekvenciák tartományában (mintegy 40-60 kHz-től kezdődően) közel állandónak tekinthető (3.7. ábra), vagyis a csoportfutási idő kevésbé függ a frekvenciától, a jelalak-átvitel közel torzítatlan.

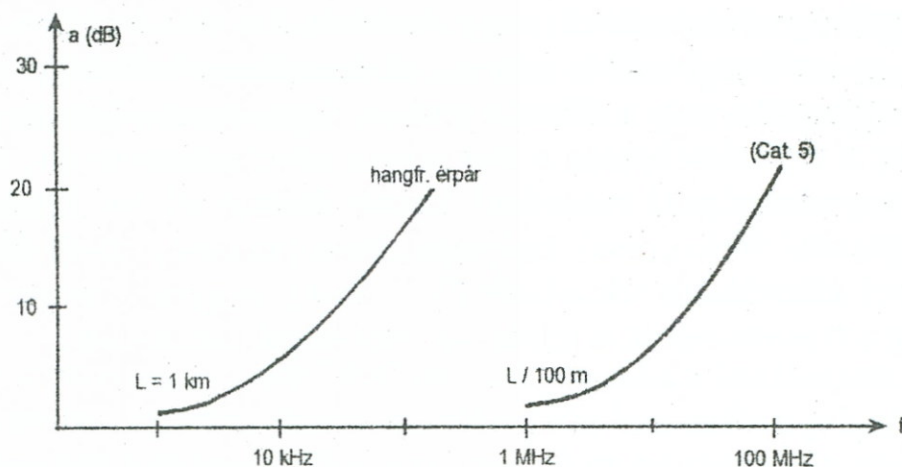


3.6. ábra. A hullámimpedancia frekvenciafüggése, jellegre helyes ábra



3.7. ábra. A fázissebesség frekvenciafüggése, jellegre helyes ábra





3.8. ábra. A fajlagos csillapítás frekvenciafüggése, 0,6 mm érátmerőjű hangfrekvenciás, illetve a Cat 5 minőségű érpárra jellemző értékek

Ezek után megadhatók – kvázi a teljes szóbjöhető frekvencia tartományra való érvénnyel – az érpárok jellemző paraméterei. A hullámellenállás frekvenciafüggését a 3.6. ábra, míg a fázissebességét a 3.7. ábra mutatja. Bonyolultabb a csillapítás frekvenciától való függését matematikailag követni, hiszen  $L$  és  $R$  a bőrhatás eredményeként növekvő frekvenciával nő, hasonlóképpen megjelenik a  $G$  söntvezetés hatása is. Durva közelítésként, úgy tekintjük, hogy a négyzetgyökös-jellegű növekedés széles tartományban érvényes és a hangfrekvenciás értékből extrapolálható (3.8. ábra).



### 3.1.4. Az erősített kábel

A kábel véges értékű és az áthidalt távolsággal növekvő *csillapítása* a vett jel amplitúdóját csökkenti, míg a csillapítás *változása* a frekvencia függvényében, a *lineáris torzítás* a több, különböző frekvenciájú összetevőből álló, nem-szinuszos jeleknél jelalak-torzításban jelentkezik.

Az információt hordozó jel *csillapodása* azt eredményezi, hogy a jel egyre inkább összemérhetővé válik a mindig jelenlevő *zajjal* és az információ hibátlan visszanyerése egyre nehezebb.

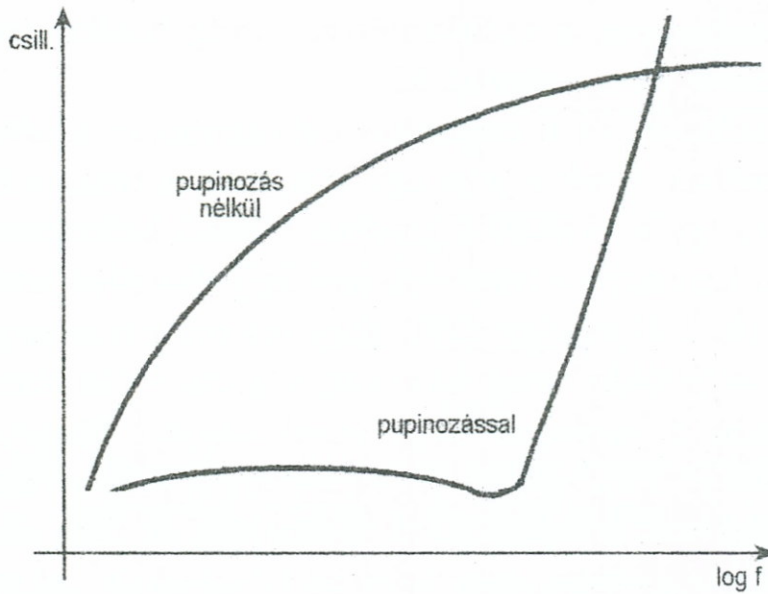
Hamar rájöttek arra, hogy – legalább is a beszédsvágra korlátozottan, pontosabban: amíg a  $G$  vezetés elhanyagolható és a bőrhatás eredményeként  $R$  és  $L$  nem nő jelentősen – a csillapítás a soros induktivitás növelésével csökkenthető, mégpedig növekvő frekvenciával növekvő mértékben, tehát a lineáris torzítást is csökkentve. Ezzel az is elérhető, hogy a hullámellenállás a (3.8) közelítéstől eltérően a beszédsváiban is a (3.12)-vel adott, közel ohmos értékkel vehető számításba, azaz a kábel jól illeszthető ohmos belső ellenállású generátorhoz és fogyasztóhoz.



A megnövelt soros induktivitású kábel hullámterjedési együtthatója (3.9)-től eltérően, az előző bekezdésben adott feltételekkel számolva:

$$\gamma = \alpha + j\beta \cong \sqrt{-\omega^2 LC + j\omega RC}. \quad (3.14)$$

A négyzetgyökjel alatti kifejezés első, negatív valós tagja a hullámterjedési együttható fázisszögét növeli és így csökken annak valós része, azaz a csillapítás.



3.9. ábra. A kábel csillapításának a frekvenciafüggése, jellegre helyes ábra

Az induktivitás növelésére Krarup azt javasolta, hogy az induktivitást növelendő vonják be a réz eret nagy permeabilitású (vas) réteggel. Ezzel a nehezen kivitelezhető megoldással szemben Pupin javaslatára az valósult meg, hogy az induktivitást szakaszosan beiktatott önindukciós tekercsekkel növelték meg. A hatás így is hasonló volt: a hullámimpedancia képzetes része lecsökkent és a csillapítás úgyszintén csökkent, legalábbis egy frekvencia *tartományban*. Kialakult egy *határfrekvencia*, ami alatt mindez teljesült, míg e felett a csillapítás meredeken nő (3.9. ábra). A határfrekvencia a szakaszosan beiktatott induktivitás és a két induktivitás közötti szakasz kapacitása által alkotott soros rezgőkör rezonancia frekvenciájával esik egybe. A beiktatási távolságok és az induktivitás értékének a variálásával az átvitel módosítható: nagyobb induktivitás érték beépítése jobban csökkenti a csillapítást, és minél kisebb távolságoként alkalmazzák, annál kevésbé csökkenti a határfrekvenciát.

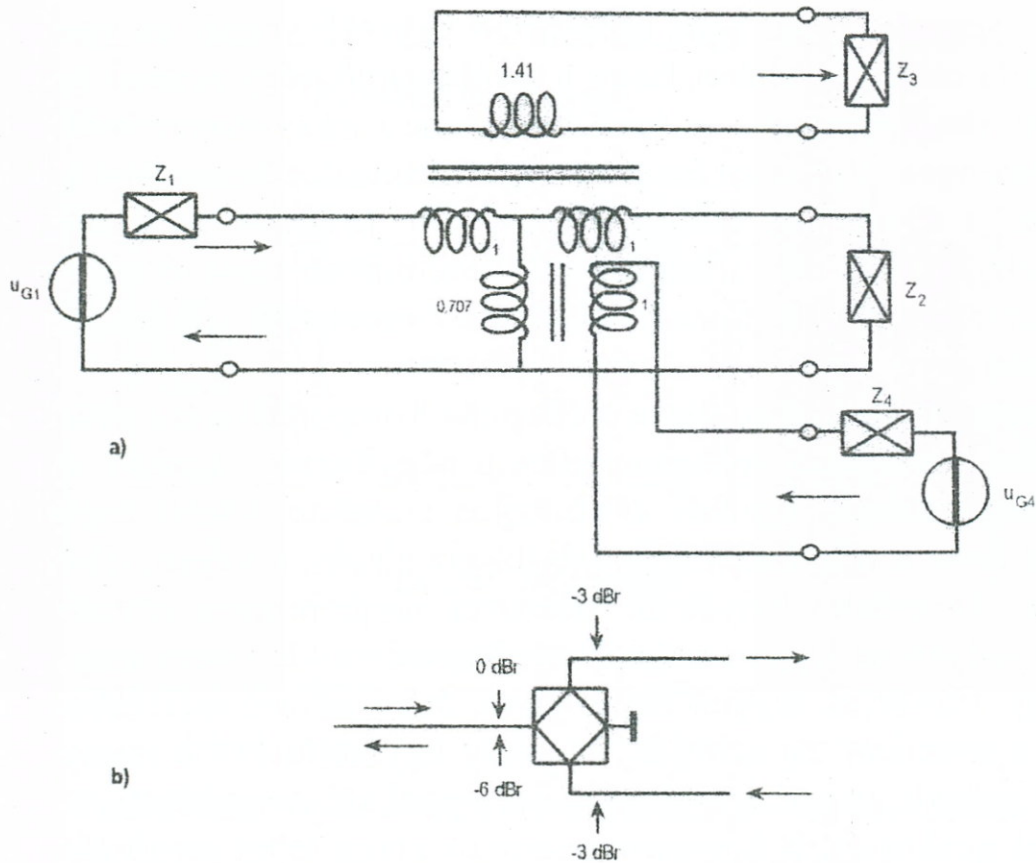


A *pupinozás*nak nevezett eljárással csökkenthető a kábel csillapítása és így nagyobb távolság áthidalására válik alkalmassá. Ugyanakkor csökken a (3.5)-tel adott fázissebesség, azaz nő a jel futási ideje. A jelkésleltetés túlzott növekedése pedig zavarhatja a társalgás folyamatosságát. A kialakult gyakorlatban a csévék távolságát kevésbé variálták (1830 m érték honosodott meg), és csak az induktivitás értékét változtatták a néhányszor-10 mH tartományban: kisebb induktivitás kisebb mértékű csillapítás-csökkenést, de rövidebb jelkésleltetést, nagyobb pedig kisebb csillapítást, de nagyobb futási időt eredményezett. A pupincsévéket mindaddig alkalmazták, elsősorban a távkábelek csillapításának a csökkentésére, amíg hatékonyabb csillapítás-csökkentő módszerek nem alakultak ki.

A frekvenciafüggés és a csillapítás csökkentésére később elektronikai eszközöket használtak. Ezek a jelet egy irányban vezetik: a bemenetüktől a kimenetük felé és így a vezetékbe sorosan történő beiktatásuk lehetetlenné teszi az egyidejű kétirányú jelvezetést, ami az erősítetlen érpár alapvető tulajdonsága volt. (Itt kell megjegyezni, hogy létezett olyan megoldás is, amikor elektronikai erősítőkkel megvalósított, *negatív* valós részű *impedanciákat* transzformáltak a vezetékre hogy ezzel iránytól független csillapítás-csökkenést érjenek el. Ez a *negatív impedanciájú erősítő* átengedi az egyenáramot és ezért előfizetői áramkörökben használták, de nem alkalmas a csillapítás hatékony csökkentésére, még kevésbé közel-nulla csillapítás biztosítására elektromos instabilitás fellépésének a veszélye nélkül.)

Elektronikai eszközök beiktatása előtt az érpáron terjedő jeleket irány szerint szét kell választani. E célból iránycsatoló áramkört kell alkalmazni a vezeték mindkét végén, amelyet ebben az alkalmazásban *2/4-huzalos átalakító*nak neveznek. Transzformátorokkal megvalósított (hazánkban alkalmazott elrendezésű) változatának kapcsolási rajza a 3.10. ábrán látható. Az áramkör szimmetrikus felépítésű, legalábbis a  $Z_1$ - $Z_2$  impedanciák felől nézve.  $Z_1$  képviseli a kéthuzalos oldalt, míg  $Z_3$  és  $Z_4$  a négyhuzalos el- és visszavezetés. Ami persze bizonyos fenntartással értendő. Ha teljesül a  $Z_3=Z_4$  egyenlőség, a  $Z_1$  generátor által leadott energia fele-fele arányban oszlik meg  $Z_3$  és  $Z_4$  között. A  $Z_3$  irányába (előre irányba) terjedő jel erősítő bemenetére kerül és hasznosítódik, míg a  $Z_4$ -en fellépő a visszirányú erősítő kimenetén elemésztődik.





**3.10. ábra.** 2/4-huzalos átalakító soros és sönt transzformátorokkal megvalósított változata (a) és jelképi jelölése (b)

A  $Z_4$  felől érkező vissz irányú jel oszlik meg (általánosságban) a további mindhárom impedancián. Az iránycsatolás akkor valósul meg, azaz  $Z_4$  irányából  $Z_3$  felé akkor nem terjed jel, ha fennáll a  $Z_1=Z_2$  egyenlőség, azaz az áramkör nemcsak formailag, hanem elektromosan is szimmetrikus. Ebben az esetben a  $Z_4$  generátor leadott teljesítménye  $Z_1$  és  $Z_2$  között fele-fele arányban oszlik meg. Míg  $Z_1$ ,  $Z_3$  és  $Z_4$  az iránycsatolótól elmenő vezetéseket képviseli,  $Z_2$  az iránycsatolás megvalósíthatósága érdekében az áramkörre csatlakoztatandó impedancia (szokásos nevén: *vonalutánszat*) értékének megválasztásától függ az iránycsatolás minősége.  $Z_1=Z_2$  egyenlőség esetén az irányok szétválasztása tökéletes, ettől eltérő esetben a négyhuzalos ágak közötti, ún. *transzhibrid csillapítás* véges és  $(6+B)$  dB értékű, ahol  $B$  az ún. *visszafordulási csillapítás* és

$$B=20 \log_{10} \left| \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 - Z_2} \right| \quad (3.15)$$

formában adható meg.



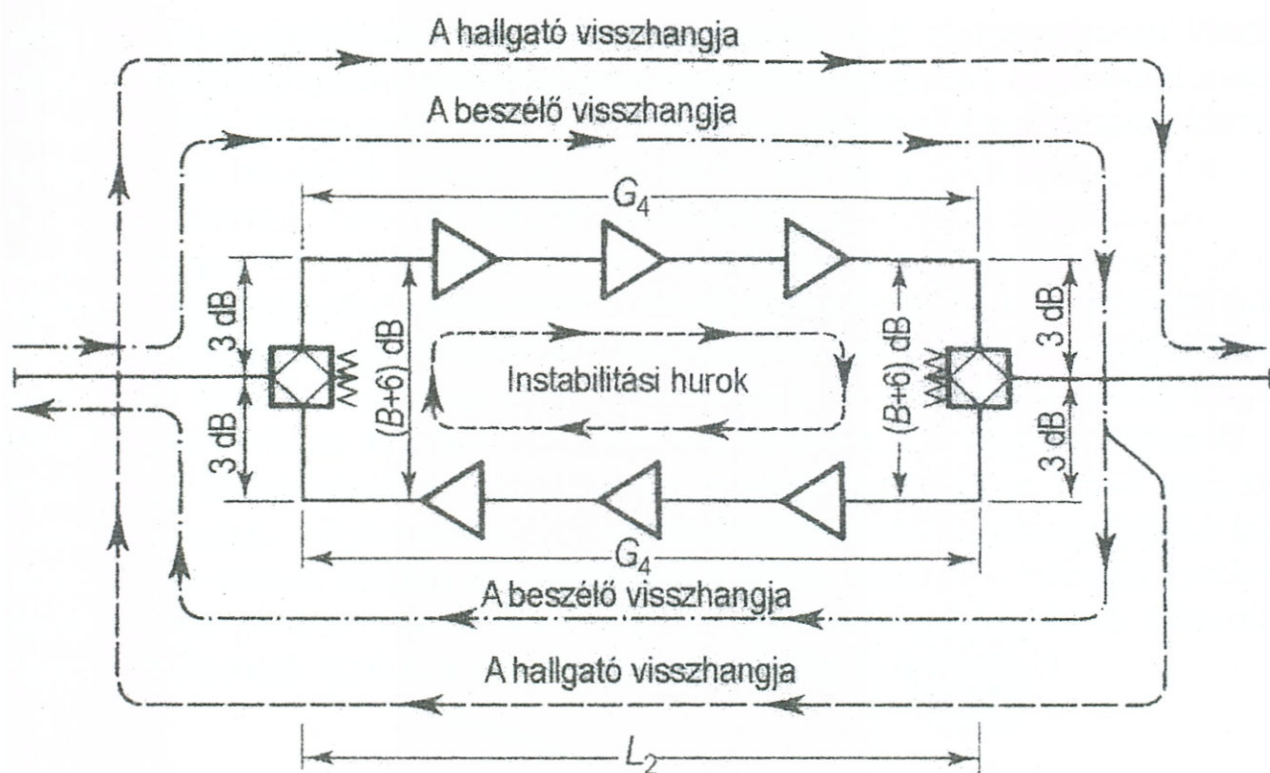
Kis visszafordulás, azaz közelítően egyenlő vonal- és vonalutánzat impedancia esetén – feltéve, hogy a továbbmenő négyhuzalos ágak impedanciái is megegyeznek – a hibrid beiktatása irányonként 3 dB csillapítást eredményez. Vonatközi pontnak a kéthuzalos bemenetet tekintve, a négyhuzalos elmenő ág szintje tehát -3 dBr; továbbá, ha a négyhuzalos érkező jelszint is -3 dBr, a kéthuzalos továbbmenő szint -6 dBr lesz. Ezeket a szinteket a 3.10. ábra b. részletén bemutatott jelképi jelölésre is feltüntettük.

Analóg jelvezetés esetén a csillapítás kompenzálására *erősítőket* alkalmazunk, amelyeket értelemszerűen a négyhuzalos ágakba építjük be. Az erősített szakasz így két 2/4-huzalos átalakító között foglal helyet. Erősíteni lehet a négyhuzalos vonalszakasz elején, a végén, illetve szakaszonként. Az erősítő helyét az határozza meg, hogy a *jelszint* a vonal egyetlen helyén se legyen az elektronikai erősítőkkel nem megvalósíthatóan nagy, illetve ne legyen olyan kicsi, hogy zavaró mértékben megközelítene a termikus zaj szintjét. Ez pedig egyértelműen a szakaszonkénti erősítést igényli, mint kizárólagosan elfogadható megoldást. Az erősítők beiktatási gyakoriságát kompromisszumos elven lehet meghatározni: minél sűrűbben telepítjük az erősítőket, annál jobban tudjuk a mindenkori jelszintet a termikus zaj szintjétől távol tartani, ugyanakkor a sok erősítő által termelt – az erősítéstől függetlenül állandó mértékű, a bemenetükre koncentrált – zaj additív eredője lesz nagy. Helyesen megválasztva az erősítők (angol szóval: *repeaterek*) közötti távolságot, az erősítés által termelt járulékos zaj optimalizálható.

A zajszint kérdése központi fontosságú volt az *analóg* átviteltechnikában. A jel mellé telepedett zajt ugyanis többé már nem lehetett eltüntetni, az fokozatosan felnövekedve befolyásolta az érthetőséget és így, közvetve, a maximálisan alkalmazható erősítés mértékét.

Alapvetően más a helyzet *digitális* jelátvitel esetén. A digitális jelre telepedő additív zaj az erősítés helyett alkalmazott *regenerálás* során teljességgel eltűnik, illetve kizárólag esetlegesen bithibát, az újraértelmezett bit értékébeni tévesztést eredményezhet, aminek a zavaró hatása vagy elhanyagolható, vagy – adatátvitel esetén – hibajelző és -korrigáló módszerekkel (a 2. Fejezetben megismert módon) eltüntethető. Ha a bithiba-arányt megfelelően kis értéken tartjuk, akkor tetszőlegesen nagy számú regenerálás után is a bemenetivel azonos szinten tartható a zaj hatása, az információ járulékos hiba nélkül visszanyerhető.





3.11. ábra. Visszhang és visszacsatolási útvonalak a 4-huzalos hurokban

Tetszőlegesen távoli előfizetők közötti erősített összeköttetés, a fentiek értelmében, a 3.11. ábra szerint építhető fel. A kéthuzalos szakaszok az előfizetők környezetére korlátozódhatnak, csillapításuk (loss) legyen  $L_{1a}$ , illetve  $L_{1b}$ , míg a négyhuzalos szakaszé mindkét irányra, szimmetrikus felépítést feltételezve,

$$L_2 = (6 - G) \text{ dB},$$

ahol  $G$  a 4-huzalos szakasz eredő erősítése: az összes beiktatott erősítés és csillapítás különbsége.

A  $G$  eredő erősítés megválasztását igen körültekintően kellett elvégezni mindaddig, amíg a jelátvitel analóg módon történt. A négyhuzalos hurokban digitális jelet végigvezetve semmi akadálya nincs a  $G=0$  dB választásnak, amire egyébként az analóg technika alkalmazása során törekedtek is. Ez esetben a négyhuzalos szakasz csillapítása,  $L_2=6$  dB, amihez a kéthuzalos csillapításokat hozzáadva, kapjuk a két, tetszőlegesen távoli előfizetőt összekötő csillapítás értékét. Vagyis, a 2/4-huzalos átalakítást az előfizetőkhez közelítve, bármely két (kéthuzalos csatlakoztatású) előfizető, határértékben, 6 dB csillapítással csatlakoztatható.

A négyhuzalos hurkot magában foglaló átviteli hálózatban zavaró jelként megjelennek a visszhangok. A beszélő saját hangját – csillapítás és késleltetés után – viszonthallja, a hallgató oldal pedig a közvetlen hangon



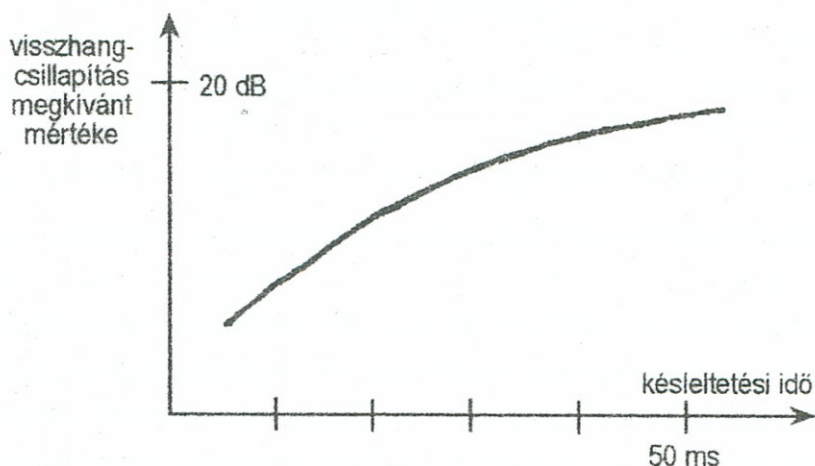
kívül visszhangot is hall. Hasonlóan, adatjelek átvitelekor, a zavaró jelek nem *hallhatóak*, hanem a hasznos jel mellett *zavarként* jelentkeznek. A beszélő visszhang-csillapítása

$$2(L_{1a}+6-G)+B \text{ dB,}$$

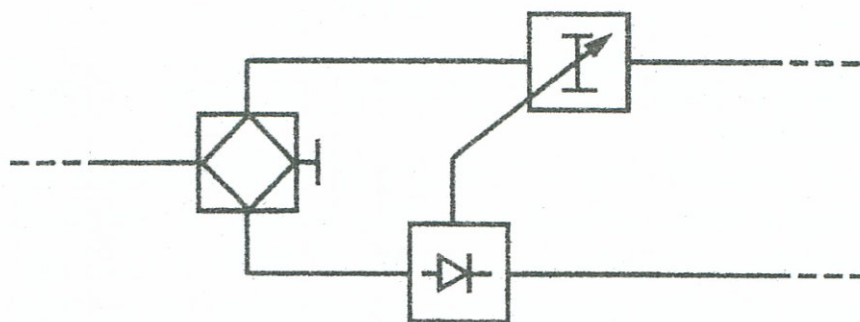
késleltetése – a kéthuzalos szakasztól eltekintve – megegyezik a hurkon való körbefutás idejével. A hallgató oldalon a visszhang-csillapítása

$$2(6-G+B) \text{ dB,} \tag{3.16}$$

késleltetése pedig a hurok teljes futási ideje.



3.12. ábra. Összefüggés a futási idő és a visszhang-csillapítás megkívánt mértéke között



3.13. ábra. Visszhangzár a 4-huzalos hurokban

Míg a beszélő oldalon a generátort ritkán zavarja a visszhang jel, a hallgató oldalán jelenléte zavaró, akár ténylegesen beszédátvitelről, akár adatátvitelről legyen szó. Beszédátvitel esetére az ITU-T összefüggést ad meg a visszhang-csillapítás elfogadható mértékére, ilyen függvényt a 3.12. ábrán mutatunk be.



Látható, hogy a visszhang jelenléte a futási idő növekedésével válik egyre zavaróbbá, azaz a jelenség igen nagy távolságok áthidalása: a kontinensek közötti beszélgetés, illetve a műholdas telefónia esetén válhat érzékelhetővé és zavaróvá. 20 dB-nél nagyobb visszhang-csillapítás, amint az (3.16)-ból látható,  $G=0$  dB feltételezésével, kb.  $B=6$  dB minimális értéket kíván meg, ami ha nem teljesül, akkor a négyhuzalos hurokba visszhangzárát kell beépíteni (egy megoldás a 3.13. ábrán látható), ami az elmenő ágban észlelhető jelszint megjelenésekor a visszirányú ágba automatikusan jelentős csillapítást iktat be. Így a visszhang elkerülhető, de a beiktatott csillapítás a visszirányból érkező hasznos jel szintjét is csökkenti: a túlvégi előfizetőt a hívó oldali beszédjének az időtartamára mintegy kiiktatja és ezzel megzavarva a társalgás folyamatosságát. Adatátvitel esetén a visszhang zajként jelentkezik és ismert módon és mértékben a vételi oldalon a bithibák értékét befolyásolja. (Adatátvitelnél nincs időbeni korreláció a különböző irányokban átvendő jelek között, a visszhangzárát tehát ki kell iktatni.)

### 3.1.5. Szélessávú analóg átvitel



A 3.1.3. pontban láttuk, hogy a hangfrekvenciás tartománytól eltekintve a szimmetrikus érpár átviteli jellemzői előnyösen alakulnak: a hullámimpedanciája közel ohmos és állandó, a jel terjedési sebessége a frekvenciától független és állandó, és a csillapítás sem nő meredeken. Ezért kis csatornaszámú (analóg) multiplex rendszerek jelének átvitelére régebben szívesen alkalmazták a szimmetrikus érpárt, általában a 100...200 kHz-nél nem nagyobb frekvencián. Az átviteli sáv kiterjesztését egyrészt a csillapítás és az áthallás okozta zavar szint növekedése akadályozta.

Szélessávú analóg átvitelre elsődlegesen a koaxiális kábelek szolgálnak. Az elektromos paramétereikre a (3.12) és (3.13) szerinti közelítések érvényesek. A fajlagos csillapítás a szimmetrikus érpárhoz képest extrém széles frekvencia tartományban kicsi lehet, a zavar szint a külső köpeny árnyékoló hatása eredményeként kicsi. A belső ér pozicionálására – és elektromos szigetelésére – alkalmazott dielektrikum anyagának megválasztásától és annak – tömör vagy szakaszos – kiképzésétől függően alapvetően három különböző típuscsalád, illetve alkalmazási terület jelölhető ki.

A távközlési koaxiális kábelek több változata ismeretes. Hazánkban elterjedt az ún. *kiskoax* (1,2/4,4 mm belső/külső ér átmérővel), amit 4, max. 12 MHz frekvenciáig alkalmaztak átvitelre, valamint az ennél szélesebb sávú rendszerekhez használt *nagykoax* (2,6/9,5 mm átmérővel). Ennél nagyobb átmérőjű kábeleket a világban, gyakran különlegesen, üregesen kialakított belső szigetelő szerkezettel készítenek, nagyobb (mintegy max. 50 Mhz) sáv szélességű sokcsatornás analóg átviteli rendszerekhez. (Az ebbe a cso-



portba sorolt távközlési kábeleket gyakran használják digitális jelek átvitelére is, mind távközlési alkalmazásban, mind pedig számítógépek összekapcsolására.)

Létezik egy jellegzetesen szélessávú felhasználáshoz optimalizált koaxiális kábeltípus, ezt a műsorszórásban, elsődlegesen a vételtechnikában és a kábeltelevízió hálózatokban alkalmazzák, vannak olcsóbb és igényesebb, különböző maximális frekvenciáig ajánlott változatai.

### 3.1.6. A digitális előfizetői vonal

Távbeszélő előfizetőknek a kapcsoló központhoz való csatlakoztatására jó ideig kizárólag sodort érpárat használtak. Gyakran felmerült, hogyan lehetne ezeket *többszörösen* felhasználni. Az egyik ilyen lehetőség az időbeni megosztás: *akkor* használni a csatlakozást egyéb célra, *amikor* beszédösszeköttetés nem áll fenn. Mivel az előfizetői érpárok a központ oldalán állandó jelleggel vannak csatlakoztatva, az ilyen idő-multiplex felhasználásuk nehézkes.

Elterjedtebb az előfizetői vonal átviteli kapacitásának a frekvencia szerinti megosztása: megtartják a 300-3400 Hz közötti tartományt beszédátviteli célra, míg a többit egyéb alkalmazásokban hasznosítják. Ilyenkor soha nem szabad elfelejteni, hogy a távbeszélő összeköttetés esetén a fenti beszédcsáv mellett az egyenáram átviteli lehetőségét is fenn kell tartani. A távbeszélő ugyanis *alapszolgáltatás*, ami azt jelenti, hogy minden egyéb központi (energia) szolgáltatástól függetlenül is üzemelnie kell. A távbeszélő végberendezés energiával való ellátása a központi táplálású hálózatoknál a központban elhelyezett telepről – értelemszerűen az előfizetői érpáron történő szállítással – egyenáramon történik. Sőt, a távbeszélő összeköttetés során egyéb, beszédcsávon kívül eső frekvenciájú jelzéseket továbbítanak: a *csengetés* 25 Hz körüli frekvenciás jellel történik, míg a tarifa-impulzusokat (régbben 16, ma inkább) 12 kHz frekvenciájú jellel továbbítják, mindkettőt a központtól az előfizető irányában.

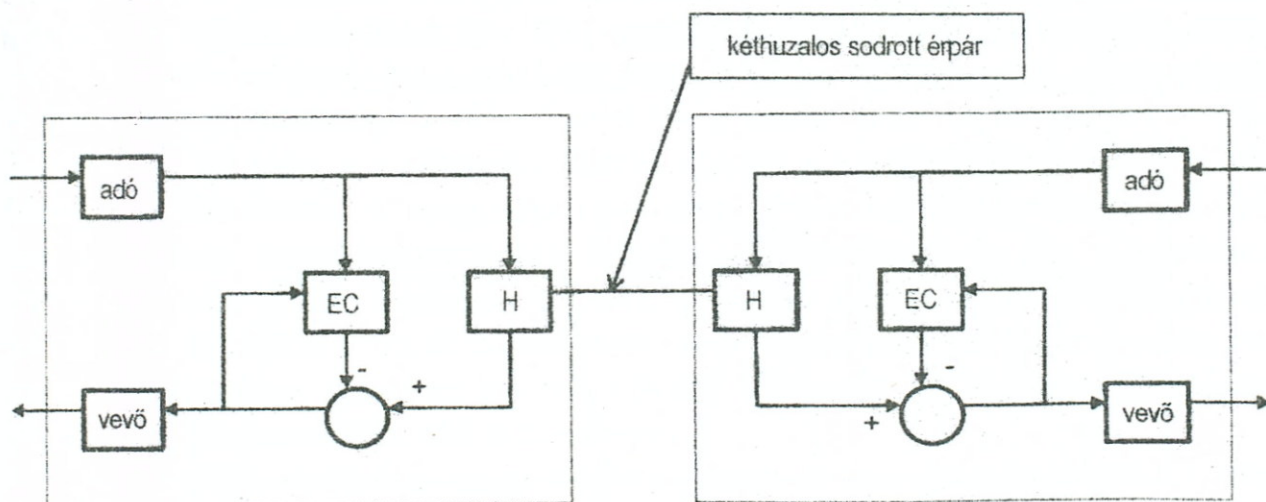
A beszédcsáv alatti tartományt kihasználható, régebben esetleg távíró összeköttetést vagy – központok közötti érpárokon – kisfrekvenciás jelzésátvitelt létesítettek. Az ilyen felhasználás ma ritka.

Sokkal jelentősebb az előfizetői érpárnak az adatátvitelre, illetőleg a beszédcsáv feletti tartománynak a párhuzamos adatátvitelre való alkalmazása, ami az előfizetők számára esetleg több Mb/s adatátviteli sebességet biztosít, és ennek eredményeként sokoldalú szolgáltatások elérésének egyikévé kezd kinőni.



**Alapsávi adatátvitelt** – mondhatni szabványos megoldásként – 160 kb/s sebességben építenek ki. [4] Ilyen sebesség választásával az analóg beszédátvitelre kifejlesztett előfizetői hálózat érpárai közel 100%-ban alkalmasak, esetlegesen 1 regenerátor közbeiktatásával, jó minőségű adatátvitelre (például N-ISDN hálózatban az előfizető alapsebességű csatlakoztatásához). A szokásosan választott vonali kódolás a 2B1Q, ami tehát 80 kBaud szimbólumváltási sebességet eredményez, maximálisan 80 kHz-ig véve igénybe a vonal átviteli frekvencia sávját.

Ebben az alkalmazásban az előfizetői érpáron 2-huzalos jelleggel kétirányú átvitelt valósítanak meg. Az adatátvitel alapvetően 4-huzalos jellegű alkalmazás, tehát mind a központ, mind az előfizető oldalán az érpárhoz való csatlakozáshoz 2/4-huzalos átalakítókra van szükség. Ezek most a 3.1.3. alfejezetben megismerttől eltérően, fordított módon csatlakoznak a szimmetrikus érpárhoz. Mivel adatátvitelnél a 4-huzalos oldalon a visszafordulás kellő kis szinten való tartására a hibridnek szabvány-értékű vonalutánzattal való lezárása nem alkalmas, elektronikai kivitelezésű visszhangtörlő áramköröket kell járulékosan alkalmazni. Az így kialakított *visszhangtörléses hibrid* (echo cancelling hybrid, ECH), a 3.14. ábrán látható módon csatlakozik a vonalhoz az adó-, illetve vételirányú szűrőn (TF, illetve RF) keresztül. A vonali (jelen esetben a 2B1Q) kódot kialakító adón, illetve visszaalakító vevőn (T, illetve R), valamint a vonalutánzattal lezárt hibrid transzformátoron kívül visszhangtörlő egységet (echo cancellor, EC) tartalmaz. A visszhangtörlő adaptív módon, azaz a vonal egyedi paramétereinek megfelelően a vonalra adandó kódolt jelből olyan jelet képez, amit a vett jelből kivonva a vevőre jutó jelnek az adóoldalival korrelációban lévő (abból eredő) részét minimalizálja.



**3.14. ábra.** Kétirányú alapsávi adatátvitel szimmetrikus érpáron  
(EC=visszhangtörlő egység, H=hibrid)

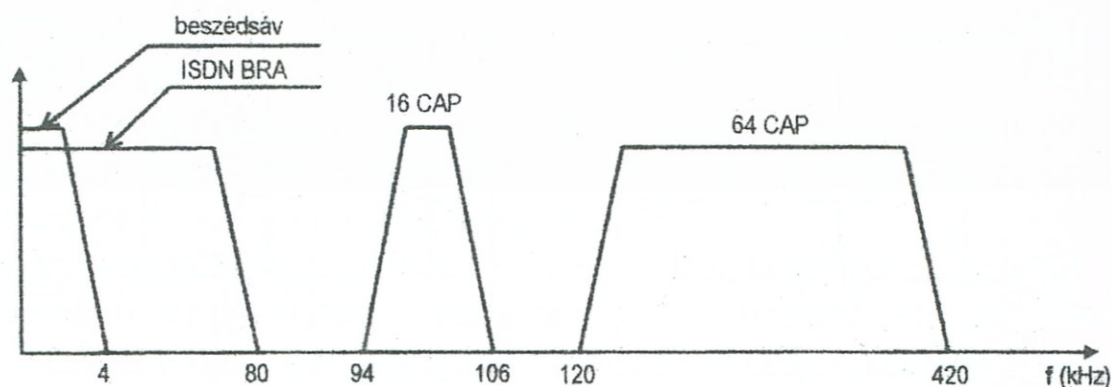


Léteznek a fentihez képest nagyobb sebességű alapsávi adatátviteli megoldások is mind a távközlő, mind a számítógépes hálózatokban is. Általános jellemzőjük, hogy – az alkalmazott sodrott érpár átviteli jellemzőitől függő mértékben – annál rövidebb távolságon alkalmazhatók minél nagyobb átviteli sebességet nyújtanak. Az átvitel általában egy időben csak egyirányú, a duplex megoldás ritka, amit a nehezen megvalósítható visszhangtörlés indokol.



**Kiegészítő adatátviteli csatornát** a beszédsávban alapsávi átvitel zavarása nélkül az előfizetői érpáron üzemelő, egyidejű párhuzamos adatátvitelt megvalósító berendezésekkel hoznak létre. Ezek *digitális modulációs* eljárásokat alkalmazva biztosítanak adatátviteli lehetőséget. Az ilyen megoldásokat *digitális előfizetői vonal* (digital subscriber line, DSL) összefoglaló névvel illetik. (Néha az alapsávi adatátvitelt biztosító vonalat is DSL-nek nevezik.) Az elnevezéssel különböző sebességet biztosító megoldásokat foglalkoztat össze, az egyedi megoldásra a DSL rövidítés elé tett további betű utal. A fenti, 160 kb/s sebességű változat a HDSL (high bit rate DSL) egyik esete és az alapsebességű ISDN előfizetői csatlakoztatására alakították ki (ilyen értelemben jelölik még az IDSL betűszóval is). A nagyobb, 784 kb/s, illetve 1168 kb/s sebességű változatok 3, illetve 2 érpáron valósítják meg a primer sebességű ISDN-csatlakozást.

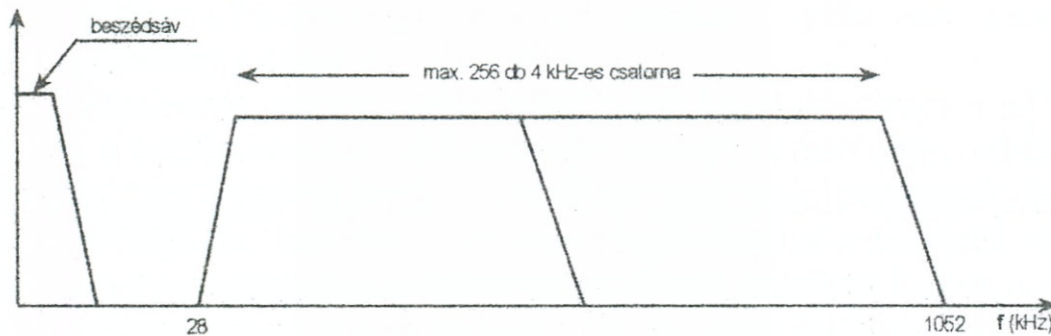
Az egyéb DSL változatok a beszédsáv fölötti frekvenciasávot használják adatátvitel kialakítására. Ilyenek az ADSL (aszimmetrikus átvitelt biztosít, az előfizető irányába, azaz lefelé az átvitel általában nagyobb sebességű, mint felfelé), az RADSL (az előbbinek a vonal paramétereire folyamatosan illeszkedő sebességű (rate adaptív) változata, a VDSL (nagyon nagy sebességű változat), valamint a szimmetrikus átvitelt nyújtó SDSL. Az ADSL szokásos sebessége felfelé nem haladja meg a 640 kb/s, lefelé a 9000 kb/s. VDSL elnevezéssel illetik a 9 Mb/s-nél nagyobb sebességet megvalósító rendszereket. Az SDSL (szimmetrikus DSL) átviteli sebessége szokásosan nem haladja meg a T1/E1 sebességű PCM rendszereket.



**3.15. ábra.** Két vivőfrekvenciás, kétirányú adatátvitel az alapsávban analóg vagy digitális átvitelre használt sodrott érpáron



A beszédsáv fölötti adatátvitel kialakítására két megoldás terjedt el. [5] Az egyik esetben átviteli irányonként 1-1 segédvívöt használnak, nagy szimbólumváltási sebességgel modulálva. Az alkalmazott modulációs rendszer után ezeket CAP-rendszernek (carrierless amplitude-phase) nevezik. Egy lehetséges spektrum-elrendezés a 3.15. ábrán látható. A megoldás hátrányos tulajdonságaként tartják nyilván a viszonylagosan nagy zavarérzékenységet: az átviteli sávban bárhol jelenik meg, akár csak egyetlen frekvencián is zavaró jel, az a teljes átvitelre hatással van. Kivédésére csökkenteni kell a moduláció állapotszámát, ami viszont érzékenyen csökkenti az átviteli sebességet.



3.16. ábra. Kétirányú adatátvitel DMT technikával az alapsávban analóg átvitelre használt sodrott érpáron

Az újabban alkalmazott modulációs technika a sokvívös megoldás (discrete multitone, DMT). A kb. 28 kHz alsó frekvencia határtól kezdve felfelé, 4 kHz osztással alkalmaznak vívőket, maximálisan 256-ot (3.16. ábra). A kisebb frekvenciások szolgálnak a felfelé, a nagyobbak a lefelé irányú átvitelre. Mindegyiket az egymást nem zavaró sáv szélességet eredményező szimbólumváltási sebesség mellett, egymástól függetlenül modulálják max. 16 b/s/Hz sebességgel. Ez vívőnként max. 64 kb/s átviteli sebességet jelent. A rendszer zajvédeltsége kiváló. Szelektív zavarok esetén a zavart sáv vívője kiiktatható; ha nagy a csillapítás, illetve magas a zajszint, a modulációs sebesség csökkenthető. A megoldás igen nagy processzási igényvel lép fel, ami a modern áramköri technika fényében megoldható és így a rendszer széleskörű elterjedése várható. A DMT technika hátrányos tulajdonságának tekintik az átvitelbe iktatott késleltetést, amit az átvendő adatmennyiség részekre bontásához, majd az átvitelt követő sorrendbe állításához szükséges várakozási, processzási idő eredményez.

Az (x)DSL technika nagy előnye, hogy a már beszédátvitel céljára amúgy is kialakított előfizetői vezetékhálózat járulékos kihasználásával biztosít egyszerűen nagysebességű adatátviteli lehetőséget a távbeszélő előfizetők valóban széles köre számára.

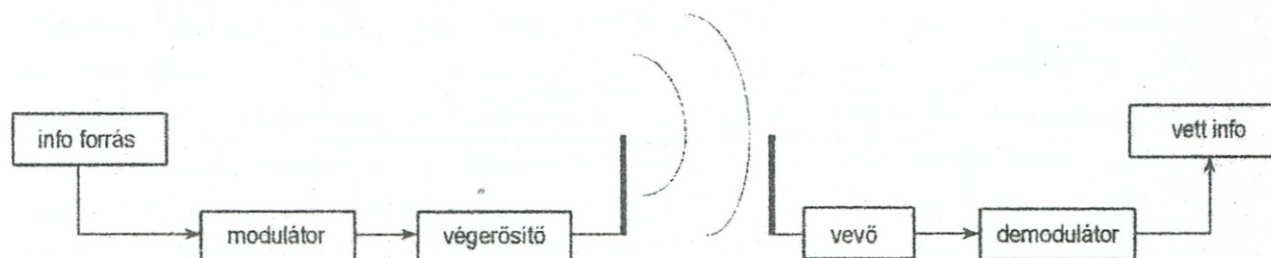


## 3.2. RÁDIÓS ÁTVITEL



### 3.2.1. Alapfogalmak

Az atmoszférában terjedő rádióhullámok *létének a kimutatása* is már távközlési tevékenység volt és első felhasználási területüket is ez adta meg, hiszen természetüknél fogva ‘távolba hatottak’, azaz lehetővé tették üzenetek térbeni továbbítását. Mint tudjuk, [6] a rádióhullámok a szabad térben terjedő energiát képviselnek és ez az energiatovábbító csatorna átveheti az energiatovábbító kábel szerepét, feladat körét.



3.17. ábra. Rádiós átviteli rendszer tömbvázlata

Az időben változatlan energiaszállítás információt nem szállít, ehhez valamely paraméterét ciklikusan módosítani, változtatni kell. A modulációs módszerek közül elsőként az intenzitás moduláció (IM) terjedt el és természetesen adatátviteli lehetőséget biztosított rádióhullámok felhasználásával. A később kialakuló, az állandó amplitúdójú vivő folyamatos amplitúdó-, majd frekvencia-, illetve fázismodulációját felhasználó rendszerek inkább analóg, mintsem digitális jelek átvitelére voltak alkalmasak és elsőként a *műsorszóró* rendszerek alakultak ki, amelyek információk pont-sokpont közötti továbbítására, szétosztására szolgálnak.

A modulált rendszerek a távközlésben is nagyon hamar elterjedtek. Ezek annyiban térnek el a műsorszórásban alkalmazottól, hogy míg azoknál törekednek a vételi körzet minél szélesebbre tágítására, emitt az a cél, hogy a szállító rádióhullám minél inkább csak a távközlési célállomás (illetve célállomások) által legyen észlelhető, azaz az összeköttetés pont-pont (illetve pont-többpont) közötti legyen. (A pont-többpont rendszereknél a kétirányú összeköttetés megléte a távközlési alkalmazást jellemzi, *műsorszóró* alkalmazásoknál a többpont irányából átvitel nincs.)

Az adatátvitel jelentőségének elterjedésével megjelentek a *digitális modulációt* alkalmazó rádióadók. Ezek persze szintén a vivő valamely jellemzőjének a módosításával viszik át az információt. Az analóg modulációhoz képest az egyetlen különbség a moduláló jel előállításának technikájában van, ami digitális moduláció esetében közvetlenül adatjelből van előállítva,



analóg közvetítés nélkül. Az itt használatos modulációs mód általában a QAM, a CAP ugyanis előnytelen, mivel a jellegzetesen nagy frekvenciás vi-  
vő pillanatértékeinek memóriából való kiolvasása nem megoldott.

A rádiós átviteli rendszer (3.17. ábra) az átviendő, illetve a visszanyert információs tartalomnak megfelelő elektromos felületek között az *adóoldalon* rádiófrekvenciás jelforrást, modulátort, teljesítményerősítő végfokozatot és adóantennát, a *vevőoldalon* vevőantennát, erősítőt és demodulátort tartalmaz. Az antennák között az energiatovábbítás a szabad térben (vákuumban vagy a légtérben) megy végbe. Az átvitel minőségét alapvetően az antennák kialakítása és a közvetítő tér milyensége, állapota határozza meg, ez utóbbi-  
ba beleértve anyagának, állapotbani inhomogenitásainak milyenségét, továbbá a légtérben elhelyezkedő (és a rádiójeleket elnyelő vagy visszaverő) szilárd tárgyak milyenségét és helyzetét is.

Ami az antennák méretét illeti, abból lehet kiindulni, hogy a jó hatásfokú sugárzás a hullámhosszal összemérhető méretű vezető (fém) alkatrészekkel történhet. Az irányérzéketlen, általában rúd alakú antennák hossza a hullámhossz negyede, fele. Ezekből irányfüggő sugárzási karakterisztika kialakításához egynél többet (néhányat) használnak, amelyek között a távolság szintén a hullámhosszal összemérhető. Ha az irányérzékenységet a rádióhullámokat jól visszaverő tükrökkel valósítják meg, ezek célszerű mérete viszont a hullámhossz többszöröse (gyakran sokszorososa).

### 3.2.2. Hullámterjedési tulajdonságok



A felhasználható rádióhullámok frekvenciája elvileg tetszőleges lehet. A gyakorlatban több különböző szempont szerint jelentkeznek viszonylag szigorú választási feltételek. Ezek egyike a már előzőleg említett antenna-méret kérdés. További ilyen szempont az energia előállíthatósága, bár ez jó-szerével csak történeti kérdés. Ma a teljes spektrum a megfelelő teljesítményszinten előállítható, probléma csak az egészen nagy frekvenciás oldalon, mondjuk néhányszor 10 GHz-nél jelentkezik, ami egyúttal a felhasználás felső határát is – pillanatnyilag – meghatározza.

Az egészen kis frekvenciákat a távközlésben nem használják, ez elsősorban az ipari alkalmazások területe, kezdve a vasúti vontatásban alkalmazott  $16\frac{2}{3}$  Hz-től. Ezt követi az elektromos energia szállítására használt 50, illetve 60 Hz. Ezekben a frekvenciákon nem kifejezetten sugárzásos energiaszállítás történik, hanem éppen ellenkezőleg, veszteség nélkül szeretnénk vezetőkeken továbbítani azt. Itt a problémát a járulékos szórt terek jelentik, amelyek magasabb harmónikusokban dúsak és nagyobb frekvencián, mint zavaró jel jelentkeznek. Az ipari frekvenciák tartománya kiterjed az ultra-



nagy hangfrekvenciákig, mondjuk 100 kHz-ig, bár 50 kHz-et frekvencia-etalonként globálisan kisugároznak.

A rádiózásban alkalmazott első frekvencia-tartomány, mondjuk, 100 kHz-től 2 MHz-ig terjed. Ezeken a frekvenciákon távközlés addig volt általános, amíg csak ezek előállításához rendelkezünk eszközökkel. Ma elsősorban *műsorközlő* adók üzemelnek itt, amelyeknél elsődlegesen a föld felületén minden irányban helyet foglaló vevők felé, körkörösén igyekeznek az energiát szétsugározni. Ehhez általában függőleges rúd-antennákat használnak, amelyek felfelé kevésbé sugároznak. A vízszintesen szétterített sugárnyaláb valamelyest követi a föld görbületét. Az adó- és a vevőantenna közötti levegőréteg csillapítása, különösen, ha a napsugárzás ionizáló hatása nem zavar, kicsi és így ez a frekvencia-tartomány (a hosszú- és középhullámú sáv) jó vételi lehetőséget eredményez az adóállomások széles környezetében.

A következő, 30 MHz felső határral megadható (rövidhullámú) sávot az előzőtől eltérő terjedési tulajdonságok jellemzik. Ezek az atmoszféra (néhányszor 10 km magasságú) ionizált rétegeiről visszaverődnek és mivel a Föld (különösen a vízzel fedett) felületéről ismét verődnek, jól irányított, koncentrált nyalábjaik körülutazhatják a földgolyót és segítségükkel összeköttetés hozható létre annak bármely két pontja között. Minthogy az ionoszféra visszaverő rétegei időben instabilak, a napszak és az évszak függvényében változnak, a rádióhullámok vételében ingadozás mutatkozik, megjelenik az elhalkulás (fading) jelensége. Tapasztalati úton bizonyos előjelzéseket dolgoztak ki a fadingmentes időszakokra, és mivel a rövidhullámok sugárzásához szükséges antennák mérete durván a 10-50 méter rendjébe esik, lehetőség van antenna-kombinációkkal a hullámokat viszonylag keskeny nyalábba koncentrálni az ionoszféra visszaverő rétegeire irányítva, viszonylag kis adóteljesítménnyel, időszakosan stabil összeköttetéseket létrehozni. A rövidhullámokat egy időben előszeretettel használták pont-pont közötti távközlés céljára is.

A fenti, jellemzően nagytávolságú távközlési mód mellett elterjedt a középhullámú körsugárzásos módszernek megfelelő terjedést hasznosító rövidhullámú rádiós távközlő hálózat is. Az erre kijelölt frekvenciasáv a sáv nagyfrekvenciás vége táján (27 MHz környezetében) található (CB, citizen band) és ezt egy időben szívesen használták a mobil távbeszélőt pótló forgalmazásra.

Frekvenciában felfelé haladva eltűnik az ionoszférikus visszaverődés hasznosíthatósága. Ha a következő, igen-nagy és ultra-nagy frekvenciák (very high frequency, VHF és ultra high frequency, UHF) tartományának felső határát, némileg önkényesen, mintegy 2 GHz-nél vonjuk meg (ehhez már csak mintegy 15 cm hullámhossz tartozik!) olyan hullámhosszakhoz jutunk, ahol



- a hullámok már közelítően csak *egyenes vonalban* terjednek,
- néhány szilárd anyag jórészüket elnyeli, bár az általában zavaró, különösen fémek felületén jelentkező visszaverődés sem elhanyagolható,
- az antennák kialakításával létrehozható akár jó hatásfokú körsugárzás, akár jól irányított keskeny nyaláb is. A közel párhuzamos nyalábok kialakításához szükséges parabola-tükrök mérete itt még igen nagy lenne, de a jó körsugárzó antenna már kézben tartható berendezéseken is elhelyezhető.

Viszonylag nagy, a hangfrekvenciás sávot meghaladó modulációs sáv-szélesség könnyűszerrel elérhető, azaz itt helyezhetők el a nagy frekvenciákkal dolgozó FM hang-adók, a televíziós adók (már ami a műsorszórásról van szó) és közepesen nagy adatátviteli sebesség is elérhető.

Ez a frekvenciasáv igen fontos és kedvelt mind a szélessávú műsorszórásban, mind a mobil távközlésben.

Végezetül, a rádiófrekvenciás spektrum felülről nyitott végén helyezkednek el a mikrohullámok. Egyenes vonalban terjednek és jól nyalábolhatóak. Jellegzetesen pont-pont közötti távközlésre alkalmasak (bár, műholdakkal kombinálva, a pont-több pont megoldás is terjed.) A ma széles körben alkalmazott digitális modulációs mód nagy adatátviteli sebességet biztosít, az analóg modulált megoldások pedig a televíziós műsorszórás szolgáltatásaira szorúlnak vissza.

### 3.2.3. Energiaátviteli jellemzők



A terjedő energia szintjének a jellemzésére egyrészt a fajlagos teljesítmény-sűrűséget fogjuk használni, jelöljük ezt  $P$ -vel és mérjük  $W/m^2$  egységekben. Másrészt megadhatjuk az  $E$  elektromos térerősséget  $V/m$  egységben mérve. A két mennyiség között vákuumban és jó közelítéssel levegőben a

$$P=2,66 \cdot 10^{-3} \cdot E^2, \text{ illetve } E=19 \cdot P^{1/2}$$

összefüggés érvényes, a fenti mértékegységeket használva. [1]

Az adóantenna bemenetén rendelkezésre álló teljesítmény ismeretében a következők figyelembevételével lehet a vevő bemenetén megjelenő jelszintet meghatározni:

1. Az adóantenna egynél kisebb ( $\eta_a$ ) hatásfokkal sugározza le az elektromos teljesítményt:  $P_s = \eta_a P_{el}$ .



2. A lesugárzott teljesítmény – gömbsugárzót feltételezve – az adóantennától  $r$  távolságban elhelyezett vevőantenna környezetében ( $r$  sugarú gömb felületén egyenletes energia eloszlást feltételezve)  $P$  teljesítménysűrűséget hoz létre, amelyre a  $P_s=4\pi r^2 P$  összefüggés érvényes.

3. A fenti teljesítménysűrűség nagyobb lesz, amennyiben a lesugárzott teljesítmény a teljes gömbfelületnél kisebb felületen oszlik meg. Ezt a növekedést kétféle módon vehetjük számításba. Az egyik módszer akkor használható, amikor az adóantenna (rendszer) *nyereségét* ismerjük. Ez egy rendszerint dB-ekben megadott mennyiség és értéke annál nagyobb, minél kisebb térszögbe sugároz az antenna. Ha viszont az antenna által – többé-kevésbé egyenletesen – besugárzott *felület* konkrét ( $F$ ) értéke ismert, a fenti összefüggés a  $P_s=FP$  alakúra egyszerűsödik.

4. Következő lépésben a vevőantenna kimeneti (a vevő bemenetére vezetett) jelét határozzuk meg. Amennyiben a vétel helyén a térerősség ismert és az antenna egyszerű bot-alakú, az antenna kimeneti *feszültsége* a térerősség és az antenna *effektív 'magassága'* szorzatából adódik. (Ez kapcsolatban van az antenna tényleges hosszával, pontos meghatározásával itt nem foglalkozunk.) Vevőantenna *rendszer* használva itt is figyelembe veendő az antennanyereség. Nagy frekvencián, amikor egy adott  $f$  felületű parabolatükörrel gyűjtjük össze az antennára vezetett teljesítményt, célszerű a teljesítménysűrűségből kiindulva a vevőoldali  $P_v$  teljesítményt a  $P_v=fP$  egyszerű összefüggésből meghatározni. Természetesen, mivel sem a tükör felületi kialakítása sem tökéletes és a fókuszpontjába helyezett antenna határfoka is véges, a ténylegesen a vevőre vezetett teljesítmény ehhez képest valamelyest kevesebb lesz.

5. Végezetül, nem szabad megfeledkezni a környezetből a vételi frekvencián jelentkező zavaró jelek hatásáról, az atmoszféra esetleges csillapításáról (például a 10 GHz körüli tartományban a vízpára jelentős mértékben elnyeli az energiát) és a gyakran zavaró reflektált jelek hatásáról. Ez utóbbiak a tényleges beeső jellel soha nem azonos utat megtéve jutnak a vevőantennára, a nem azonos fázisú reflektált jelek a direkt jellel összeadódva szintingadozást (fading) vagy visszhangot (echo) eredményeznek.



**Példák:**

**1. példa.** Mekkora az *antennanyereség* értéke a föld felszínén elhelyezett, a teljes szabad légtérbe egyenletesen sugárzó antennarendszer alkalmazása esetén?

Mivel a teljes gömbsugárzóhoz képest a teljesítmény most egy félgömb mentén oszlik meg egyenletesen, a felületegységre jutó teljesítmény megkétszereződik, a nyereség 3 dB.

**2. példa.** Mekkora a nyereség, ha az antennarendszert kör keresztmetű energianyaláb hagyja el, amelynek az átmérője  $6^\circ$  és ezen belül az energia eloszlása egyenletesnek tekinthető?

Rajzoljunk képzeletben egységnyi ( $r=1$  m) sugarú gömböt a sugárzó körrel. Ennek a felülete  $4\pi$  m<sup>2</sup>. A  $6^\circ$  térszögnek megfelelő kör átmérője az egységsugarú gömbön  $d=\pi \cdot 6/360=\pi/60$  m. A gömbszelet felületét a körlap felületével közelítve, a kisugárzott nyaláb keresztmetszete az egységsugarú gömbön  $\pi \cdot d^2/4=\pi^3/14400$  m<sup>2</sup>. A gömb teljes felületét ehhez viszonyítva kapjuk az antennanyereséget:  $57600/\pi^2$ , ami logaritmikus egységben kb. 38 dB.

**3. példa.** Mekkora a teljesítménysűrűség a föld felszínén, ha a geocentrikus pályán keringő műholdon elhelyezett adó 10 W teljesítménnyel  $d=2000$  km átmérőjű kör alakú területet egyenletesen sugároz be?

Elhanyagolva a légkör esetleges energia elnyelő hatását (ami például 10 GHz körüli frekvencia és esőfelhővel burkolt föld esetén bizonyosan nem jogos!), az érték  $P=10/(\pi d^2/4)=3,18 \cdot 10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>.

Szokásos a fenti érték logaritmikus megadása, amikor a viszonyítási alap  $1 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . A relatív érték ekkor  $10^{-5}/\pi$ , aminek a logaritmus  $-49,7$  dB.

**4. példa.** Mekkora feszültség jelenik meg a vevőkészülék bemenetén, ha az előző példa értelmében besugárzott területen  $1 \text{ m}^2$  felületű antennát helyezünk el és a begyűjtött teljesítményt 70% hatásfokkal vezetjük a bemenetre?

A vevő bemenetére jutó teljesítmény  $P \cdot 0,7 \cdot 1 \text{ m}^2 = 2,23 \cdot 10^{-12}$  W. Ha a vevő bemeneti ellenállása  $R=50$  ohm (a  $P=U^2/R$  összefüggés értelmében), a fellépő feszültség,  $U \approx 10 \mu\text{V}$ .

**3.2.4. Frekvenciagazdálkodás**

Amíg kábeltől tetszőleges mennyiséget lefektetve az átviteli kapacitás bármekkora növelhető, a rádiós átvitel összkapacitása véges és határolt. Egyértelműen meg van határozva a rendelkezésre álló sáv szélesség és az alkalmazott modulációs megoldás által. Nem is beszélve arról, hogy a megfe-



lelő szétválaszthatóság érdekében ki nem használt tartományt kell hagyni a különböző felhasználók számára biztosított sávok, azokon belül pedig az egyes csatornák között. Valamelyest javít a helyzeten az, hogy ugyanazt a frekvenciát egy időben egyszerre többen is használhatják, ha az adóállomások olyan távol helyezkednek el egymástól, hogy vételkörzetük elkülönül: a vevőre jel csak a kívánt adóból jut, a venni nem kívánt adó jele, ami zajként jelentkezik, megfelelően kis szintű a legszerencsétlenebb terjedési viszonyok között is.

A fentiekből kitűnik, hogy az adó telepítési tervek elkészítésekor gondosan kell kiválasztani az adóállomások helyét, meghatározni az antennák sugárzási karakterisztikáját és az adási teljesítményt. A felhasználható frekvencia sávokat sem lehet önkényesen, csak a vállalkozás igényei szerint megválasztani: egyrészt egy országon belül, másrészt országok között kompromisszumos összehangolásra van szükség. Ezt nemzetközi szervezet, az ITU-R végzi, amelyhez mindenkinek folyamodnia kell, az igény megjelölése és indoklása mellett, a frekvencia használati jog megszerzéséért. Eredőben tehát a sugárzási jog materiális értéként jelentkezik, ami szétosztható, eladható – és rendeltetésszerűen használható.

### 3.3. Optikai átvitel

#### 3.3.1. Lehetőségek áttekintése



Mivel az ember szeme a fény érzékelésére szolgál, természetes, hogy fényjelek segítségével távolból információt lehet számára közvetíteni. Ezt fel is használták ősidők óta: hogy csak a legismertebb megoldásokat említsük, gondoljunk az indiánok füstjeleire, a napóleoni idők fénytávíróira vagy a hajósok zászlójelzéseire. Ez a témakör azonban nem az elektromos távközlés fogalmkörébe tartozik. [7]

Távközlő rendszerünkbe illeszkedő átviteli rendszer fény – vagy ahhoz közeli, infravörös tartományba eső hullámhosszúságú – jelek, mint kisugárzott elektromágneses hullámok felhasználásával a 3.17. ábrához hasonló elrendezésben építhető fel. Az egyetlen különbség az, hogy az antennák szerepét elektro/optikai, illetve opto/elektromos átalakítók veszik át.

A szabad térben terjedő fényjelre az információt akár analóg, akár digitális moduláció alkalmazásával feltehető. A fény kisugárzása történhet körkörös, de nyalábolható is mind az adási, mind a vételi oldalon. Ez bizonyos védettséget eredményez az illetéktelen vétel és a zavaró egyéb fényjelek ellen. A védettség, legalábbis adási irányban, fokozható extrém kis szögben kisugárzott, jól fókuszált lézerefény alkalmazásával. A szabad tér közve-



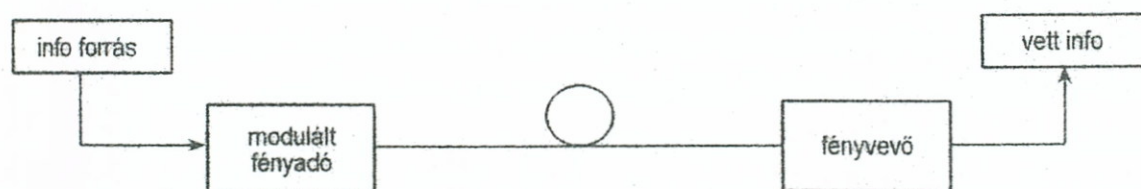
títésével történő fénytávközlést azonban csak speciális szolgáltatásoknál használják.

Széles körben, sőt nagy távolságra kizárólag a kábelbe összefogott fényvezetőn továbbított információt hordozó fényt alkalmazzák. A fényvezető az elektromos zavarokra teljességgel érzéketlen, az átvitelben felhasznált eszközök zaja pedig pontosan számolható és így a jel-zaj viszony pontosan meghatározott és állandó. Az átviteli hibaarány tehát jól meghatározott és tervezhető.

További alapvető jellemző az elérhető nagy átviteli sebesség. Az alkalmazható modulációs sebességet kizárólag a csatlakozó elektronikai eszközökkel elérhető sebesség korlátozza. Az egyetlen optikai szálon terjedő egyetlen fényjel ma mintegy 10 Gb/s átviteli sebességet biztosít. Ez a sebesség tetszőlegesen sokszor a rendelkezésre áll. Annyiszor, ahány szálat a kábelbe építünk és ahány kábelt telepítünk. Az újabb megoldásoknál több, különböző hullámhosszúságú fényjelet egyetlen fényvezetőn továbbítva ez az átviteli sebesség megsokszorozható.

### 3.3.2. Átvitel optikai szálon

**Rendszertechnika.** A nem közvetlenül elektromos jellel való távközlés most tárgyalt változata alapvetően a 3.18. ábrán bemutatott elemeket tartalmazza. Az átvitel két végpontja kábelbe összefogott fényvezetőkkel van összekötve. A szál adóoldalon félvezető alapú fényforrás (fényemittáló dióda, LED vagy lézer dióda, LD) kimeneti jele táplálja, míg a vételi oldalra érkező fényérzékelő diódára kerül, ami által keltett – elektromos – jel erősítés és dekódolás után vett információként a rendelkezésre áll. Ebben az egyszerű rendszertechnikájú változatban az információ forrás adóoldali kódolása általában bináris kódban történik, az alkalmazott moduláció IM.

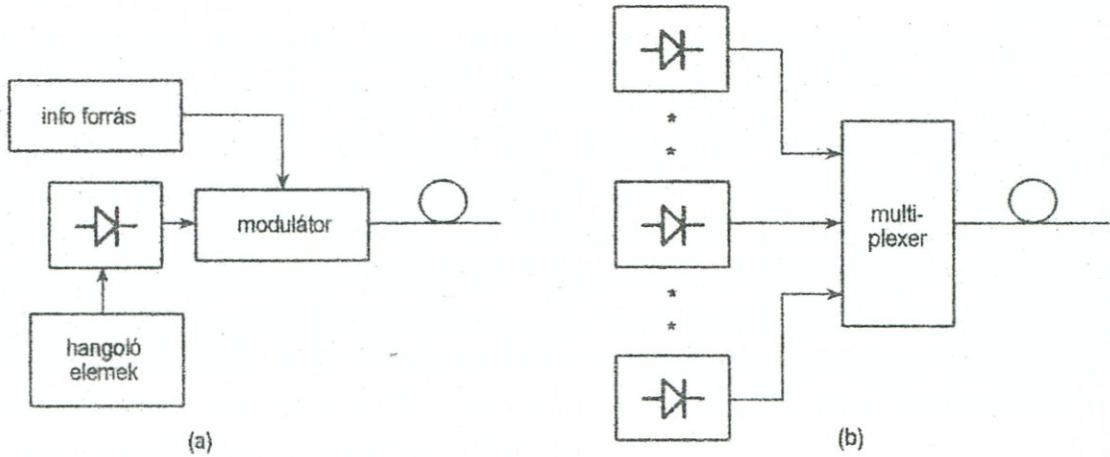


3.18. ábra. Optikai szálon történő átvitel legegyszerűbb változata

Az időrendben elsőként kialakult fenti egyszerű elrendezés több változatban fejlődött, fejlődik tovább. Az adóoldalon különválasztották a fényjel előállítását a modulációtól. Az így kialakult közvetett modulációs változat (3.19. ábra a. részlet) lehetővé teszi, hogy spektruma jelentős mértékben keskenyedjen, a fényjel egyre nagyobb mértékben megközelítse a rádiótech-



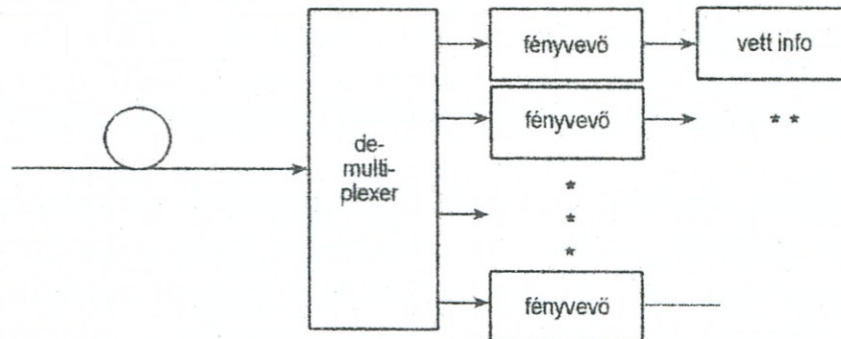
nikában megszokott elektromos jel, kisugárzás után az elektromágneses hullám spektrálisan tiszta karakterét és a modulált jel spektrumát pedig alapvetően a moduláció típusa – és ne a fényforrás frekvencia-bizonytalansága – határozza meg. A külső elektro/optikai modulátor lehetővé teszi a jel analóg modulációját, illetve digitális moduláció esetén, például a fázismodulációt is. Lehetővé vált, továbbá, polarizált kimeneti jelet előállítani, aminek persze csak akkor van értelme, ha a továbbmenő szál is tartja a betáplált jel polaritását.



3.19. ábra. Az adóoldal kialakítási változatai

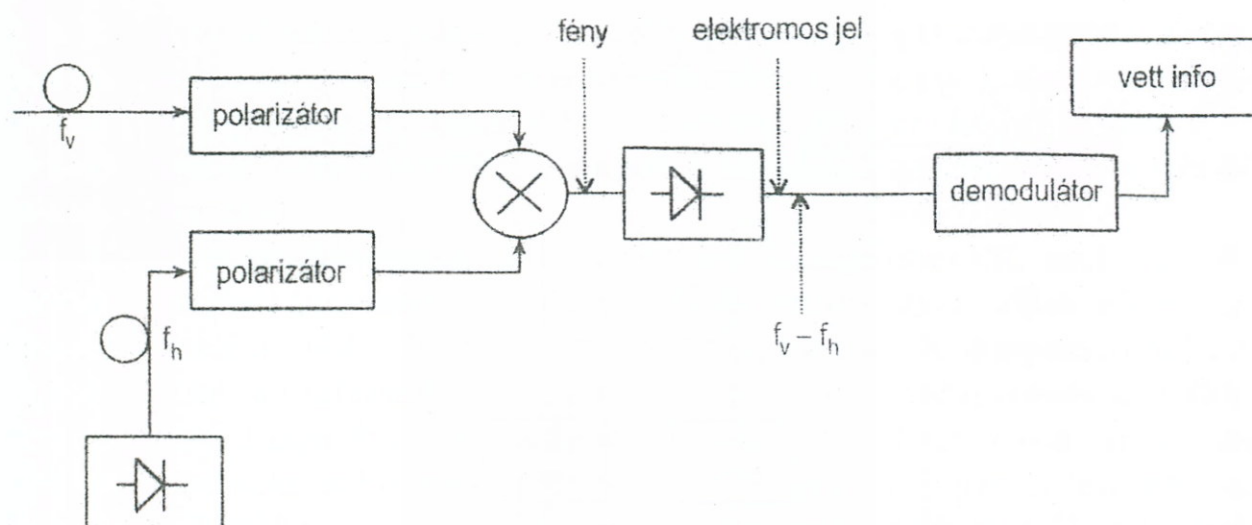
Az adóoldali jelfrekvencia pontos előállíthatósága és spektrumának tisztasága lehetővé tette, hogy egy szálon egyidőben több, különböző frekvenciájú fényjelet továbbítsanak. A hullámhossz-osztású multiplex (wave division multiplex, WDM, illetve dense WDM, DWDM) rendszer adóoldalán (3.19. ábra b. részlet) az egyéni jelek előállítása tetszőlegesen, akár belső, akár külső modulációval történhet, az összeadásukról általában egyszerű felépítésű összeadó, multiplexer gondoskodik.

A vételi oldalon a demultiplexált jel demodulálása fény/elektromos átalakító dióda felhasználásával oldható meg. A demodulálás jó linearitása nemcsak intenzitás-, de amplitúdó-modulált jel vételét is lehetővé teszi. Multiplexált (több 'színű') jelet továbbítva (3.20. ábra) természetesen a detektálást megelőzően szét kell választani az egyes vivőket.



3.20. ábra. WDM jel vétele





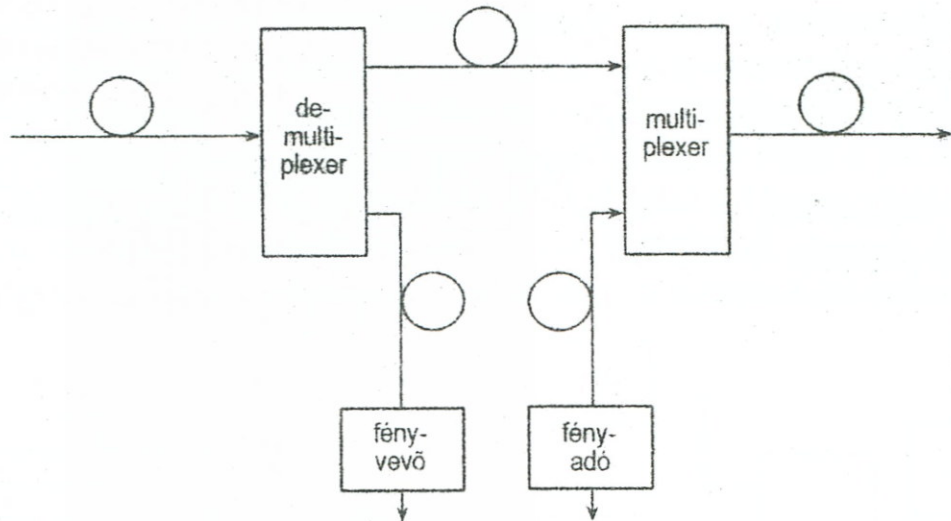
3.21. ábra. Optikai jel koherens vétele

Amíg a fényvezetőn terjedő jel *erősítését* nem tudták megoldani, nagyobb csillapítás áthidalása érdekében megpróbálkoztak a *koherens* vétellel. (Ez megegyezik a rádiós vételtechnikában használatos szuperheterodin elvvel, ha ezt az olvasó esetleg már azt jobban ismeri.) Az elrendezés tömbvázlata a 3.21. ábrán látható. A bejövő  $f_v$  frekvenciájú fényjelet, ha szükséges, polarizálják, hogy elektromos, illetve mágneses térerő vektorához hozzá lehessen adni a helyi, állandó  $f_h$  frekvenciájú jelforrás azonos polarizáltságú jelét. Az összeadást követően a fényjelet diódás fény/elektromos átalakítóra vezetik. A fényteljesítménnyel arányos áramot adó dióda a térerőre vonatkoztatva *négyzetes detektorként* viselkedik, aminek eredményeként létrejön az  $|f_v - f_h|$  frekvenciájú elektromos jel, a bejövő jellel azonos modulációval. A fényjelek frekvenciáinak a megfelelő megválasztásával a különbségi frekvencia olyan tartományba esik, ami elektronikusan erősíthető, amit követően (második) demodulálással a bejövő jel modulációs tartalma visszanyerhető. Ez a koherens vétel – azonkívül, hogy a bejövő fény mellett érkező, de attól eltérő frekvenciájú, esetleges zavaró jelek, azaz többvívős jeltovábbítás esetén a tökéletlen szétválasztás hatását eltüntetheti – a vétel érzékenységét javíthatja, megközelítve ezzel a  $10^{-9}$  BER-hez tartozó mintegy 20 fonon/impulzus elméleti határértéket.

Ami a rendszertechnikai elrendezés-változatokat illeti, meg kell még említeni a WDM rendszerekben a kapcsoló, illetve a forgalom-irányító pontokon alkalmazható, egyes vivőket leágasztató, illetve becsatoló (ún. add-drop) multiplexereket (3.22. ábra), ezek funkcióiról a következő fejezetben lesz szó részletesebben.







3.22. ábra. Jelfolyamba iktatott add-drop multiplexer

**A hálózat kialakítása.** Az átviteli közeget alkotó fényvezető szál rendszertechnikai szerepe egységes, kialakítása kevésbé. A kvarcüveg alapú szálak a közeli infravörös tartományban mutatják a legkisebb csillapítást, és mivel ebben a frekvenciatartományban mind a fényjel előállítás, mind detektálása félvezető eszközökkel megoldható, az átviteli rendszer minden szükséges eleme rendelkezésre áll. A kis csillapítású tartományok 900 nm, 1300 nm és 1550 nm (közepes értékek) hullámhossznál adódnak. Az ezekhez tartozó frekvenciák (közelítően): 330 THz, 310 THz és 200 THz. A tartományok szokásos elnevezése: első, második és harmadik *ablak*. Növekvő sorszámú ablakhoz csökkenő csillapítás tartozik. Hogy ezután miért nem csak a harmadik ablakot alkalmazzák átvitelre: az ehhez tartozó félvezető eszközök jelenleg drágábbak és így indokolt a kisebb sorszámú ablakok kihasználása is (főleg kisebb távolságok áthidalására és kisebb modulációs sebesség-igény kielégítésére).

A szálaknak a köpenyéhez képest nagyobb törésmutatójú magjában teljes visszaverődéssel történik a fény továbbítása. Ha a magátmérő és az alkalmazott hullámhossz viszonya nagy, a szálban több, különböző elektromágneses tér-elrendeződésű hullám, *módus* terjed, mégpedig egymástól eltérő terjedési sebességgel. Ez a *szóródás* (diszperzió) elkeni a terjedő impulzusokat, ami úgy jelentkezik, mintha az átvitel aluláteresztő-jellegű lenne. Tehát nem növelhető tet-szőlegesen az átviteli sebesség, nem rövidíthetők az impulzusok.

Az impulzusok időbeni kiterjedése a szálhosszúság növekedésével nő, eredőben tehát a *sokmódusú* (multimode, MM) szálakra az elérhető átviteli sebességet jellemző tényezőként egy MHz\*km dimenziójú mennyiség adható meg. Közöséges szálakra ez az érték néhány száz, ami azt jelenti, hogy pl. 1 km távolságra az átvitel jellemző sávszélessége néhány száz MHz. Igaz ugyan, hogy a sokmódusú szálakra az elérhető sávszélesség a távolság növekedésével csak annak mintegy 0,5–0,6 hatványkitevője arányában csökken, szélessávú nagytávolságú átvitelre a sokmódusú szálak alkalmatlanok.



Az egyes módusok sebesség-különbsége a mag törésmutatójának a sugár szerinti módosításával némileg kiegyenlíthető, tehát az így kialakított *változó indexű* (graded index, GI) szálakkal a fenténél jobb eredmény érhető el. A javulás azonban nem jelentős és ezeknek a szálaknak az alkalmazása jelentősen nem terjedt el.

Alapvető javulás érhető el a csökkentett magátmérőjű, csak egyetlen módus terjedését biztosító *egymódusú* (single mode, SM) szálak alkalmazásával. Ezeknél a módusdiszperzió problémája eltűnik. A diszperzió mértéke sajnos ezeknél a szálaknál sem nulla, megmarad a törésmutatónak a hullámhossztól való függésére visszavezethető *színi vagy kromatikus diszperzió*, amelynek mértéke a hosszal arányosan nő. A jellemző jósági tényező: néhány száz GHz\*km és jellemzője, hogy a hullámhosszal és a fényjel spektrumának a szélességével változik. Itt nem tárgyalt okokból a színi diszperzió nulla értéket is felvehet és az ehhez csatlakozó 10–30 nm szélességű frekvenciatartományban biztosítható a 10 ps/km\*nm érték. (Érdemes megjegyezni, hogy mintegy 0,46T mértékű diszperzió eredményezi a T időtartamú impulzusok 10% kiszélesedését.)

A fenti diszperziós mérték kifejezésének a nevezőjébe írandó, nm-dimenziójú mennyiség a fény spektrumának a szélessége. Ez két tényezőtől: a modulációs sáv szélességtől és a fényforrás spektrumának a szélességtől tevődik össze. Az első tényező ilyen értelmezésben nagyon kicsi, 10 Gb/s sebességű IM esetén is mindössze 0,08 nm (1500 nm hullámhosszúságú fényre). A második pedig nagyban függ a fényt előállító dióda milyenségétől. LED-ekre, mintegy 10 nm. LD esetén legalább egy nagyságrenddel kisebb, de korszerű, esetleg már WDM-re is használható típusokra 0,01 nm vagy még annál is sokszorta kisebb lehet. Ilyen, igen kis mértékű színi diszperzió esetén már nem elhanyagolható a *polaritás (módus)* diszperzió, amelynek részletezésétől itt eltekintünk.

A hálózat kialakítása, a fentiek értelmében, nagyban függ az átviteli szakasz hosszától és az átviteli sebességtől. Alapvető jellemző, hogy általában igyekeznek a közbenső *regenerátorok* alkalmazását elkerülni és a szakaszt egyetlen, összefüggő fényvezetővel áthidalni. Így az olcsó, LED-es és sokmódusú szállal telepített rendszer csak néhány km-es szakaszokon és/vagy kb. 1 Gb/s átviteli sebesség-igény esetén megfelelő. Hasonlóan, az első ablakban mérhető nagyobb fajlagos szálcsillapítás is a rövid átviteli szakaszok felé viszi az alkalmazhatóságot. Nagyobb távolságú, nagy átviteli sebességet igénylő alkalmazásoknál – még a fejlettebb rendszerek későbbi esetleges telepítését is figyelembe véve – mindenképpen egymódusú szálakat építenek be, jelenleg az átvitel, első lépésben, a második, de távlatilag a harmadik ablakban üzemelő berendezésekkel történik, nyitva hagyva a WDM rendszer további telepíthetőségét is. Hazánkban, jelen pillanatban, nem látszik jelentős igény az erősítő alkalmazására, mivel a szóban forgó távolságok nem nagyobbak 60–100 km-nél.



## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Simonyi K.: Villamosságtan II. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1957.
- [2] Dr. Lajtha György: Távközlő hálózatok elmélete és tervezése. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1971.
- [3] A Magyar Posta Átviteli Terve. (vezérigazgatói utasítás) 1982.
- [4] Dr. Papp S. – Dr. Réthy Gy. – Balogh T. – Bartucz J. – Horváth T.: ISDN műszaki ismeretek I. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatóság. Budapest. 1995.
- [5] Balogh Tamás: A digitális előfizetői vonalak evolúciója. Magyar Távközlés. IX. 4. 23–28. (1998 ápr.)
- [6] Dr. Házman István: Távközlő hálózatok felépítése. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatósága. Budapest, 1995.
- [7] Dr. Házman István (szerk.): Optikai távközlés. (főiskolai jegyzet) (megjelenés alatt)



## 4. ÁTVITELI RENDSZEREK

### 4.1. Alapfogalmak



#### 4.1.1. Jelek és jelzések

Az átvitel célja elsődlegesen – és a felhasználó (előfizető) szempontjából kizárólagosan – *jeleknek* a címzetthez való eljuttatása. Ezek a jelek, mint a 2. fejezetben láttuk, lehetnek *analóg* jelek, ami azt jelenti, hogy pillanatértékük meghatározott frekvencia- és amplitúdó tartományban tetszőleges értéket vehet fel, továbbá lehetnek *adatjelek*. Ez utóbbiak pillanatnyi értéke 0 vagy 1, a két állapot közötti átváltás gyakorisága, a jelátviteli sebesség általában állandó. (Az analóg jeleket is egyre gyakrabban digitalizált formában vesszük át, az átalakítás után így ezek is adatjelnek tekinthetők. Átvitelük során, célszerűen folyamatosan, digitális formájukat megtartják, analóg jellé való visszaalakításuk az átvitelt követően, csak a címzettnél történik.)

A jeleknek a címzetthez való eljuttatása *átviteli csatornában* történik, amit az összeköttetés idejére bocsátanak a hívó és a hívott rendelkezésére. Minden egyes összeköttetést:

- fel kell építeni,
- az átvitel során folyamatosan felügyelni kell,
- az átvitel befejezése után le kell bontani, végül
- az összeköttetés jellemzőit megfelelően bizonylatolni szükséges.

A fenti feladatok ellátására *jelzésekre* van szükség. Ezeket is át kell vinni, mégpedig a forrásuk és rendeltetésük szerint vagy a felhasználók és az átviteli hálózat belső szervezési pontjai között, vagy közvetlenül a belső pontok között. Ha – némi általánosítással – a belső pontokat *központnak* nevezük, akkor tehát beszélhetünk jelzésváltásokról

- az előfizető/felhasználó és a központ, illetve
- a központok között.

Alapvetően megkülönböztetünk, továbbá,

- csatornához rendelt és
- átviteli csatornától független, ún. közös csatornás

jelzésátviteli módot. Míg az előbbi esetben jelzésátvitel csak a későbbiekben majd jelátvitelre szolgáló csatorna kijelölését követően lehetséges, az utóbbi esetben a jelátviteli csatornára csak ténylegesen a jelek átvitelének időtartama alatt van szükség.



Csatornához rendelt jelzésátviteli mód esetén maguk a jelzések továbbíthatók

- a jelátviteli csatornában, illetve
- a csatornán kívül.

Míg az első esetben jelzéstovábbítás csak a jelátvitel előtt vagy után történhet, csatornán kívül átvihető jelzéseket, illetve közös csatornás jelzésrendszert alkalmazva a két funkció párhuzamosan megvalósulhat.

#### 4.1.2. A jelátviteli csatorna

A végponti felhasználók, tehát a *hívó* és a *hívott* között az összeköttetés, pontosabban a jelek átvitelének a tervezett időtartamára – a jelzések felhasználásával – jelátviteli csatorna épül fel, áll rendelkezésre. Amennyiben a felhasználók azonos jelleggel aktívak (például egymás között beszélgetni, társalogni óhajtanak), a felépítendő összeköttetés célszerűen *szimmetrikus*, azaz mindkét irányban azonos jellemzőkkel rendelkező csatornákat használ. *Aszimmetrikus* összeköttetést hozunk létre, ha a felek átviteli igénye alapvetően eltérő.

Ha az átviteli csatorna az összeköttetés időtartama alatt folyamatosan, állandó átviteli kapacitással áll rendelkezésre, azt mondjuk, hogy a csatorna *áramkörkapcsolt*. Ha a csatorna csak akkor (és addig) áll rendelkezésre, amikor (és amíg) valamelyik irányban konkrét átviteli igény jelentkezik, a csatorna *üzenetkapcsolt*. (Az utóbbi esetben a csatorna tényleges kihasználtsága jelentősen nagyobb lehet, mivel a jelszünetekben további, más hívó és hívott közötti összeköttetések jeleinek az átvitelére használható fel.)

Az üzenetkapcsolás során – az ódon táviratozástól eltekintve – általában nem a teljes üzenetet továbbítják egy egységben, mivel így hosszú üzenetekkel a csatornát közösen használók időlegesen egymást zavaró mértékben kizárhatják az átvitelből. A teljes üzenetet *csomagokra* (packet), *keretekre* (frame) vagy *cellákra* (cell) bontva, több részletben továbbítják, hogy valamennyi felhasználó kiszámítható időn belül sorra kerüljön.

## 4.2. Áramkörkapcsolt átviteli csatornák

### 4.2.1. Kizárólagos felhasználású csatorna

Kizárólagosan egy felhasználó jeleinek az átvitelére, legalábbis ami a távbeszélő alkalmazást illeti, elsősorban a szimmetrikus érpár jön számítás-



ba. Ezen megoldható, hogy a jelek mellett a jelzéseket is átvigyük. Akár analóg, akár digitális jelekkel dolgozunk, az átvitel általában kétirányú, az összeköttetés kéthuzalos jellegű. Mivel a két irányban terjedő jelek felhasználása külön-külön történik, a felhasználó oldalán 2/4-huzalos átalakítást kell alkalmazni, megoldva egyúttal az irányok közötti csatolás kellő mértékű csökkentését. Alapsávi átvitel esetén ez külön berendezések használatát jelenti. Vivős rendszerekben az irányok szétválasztása az irányonként eltérő frekvenciák alkalmazásával automatikusan megoldódik.

Szóba jöhet a vezeték többszörös felhasználása, például egyidejűleg alapsávban és vivőfrekvenciásan is. Esetleg így egynél több felhasználó is hozzáférhet ugyanahhoz az átviteli közeghez, illetve egy felhasználó több szolgáltatást használhat párhuzamosan.

Az egyéni felhasználó kiszolgálására vezeték helyett használhatunk rádiós összeköttetést, továbbá távlatilag szóba jöhet fényvezető alkalmazása is, kiterjesztve az optikai átvitelt az előfizetőig.

A különböző közegeken kialakítható átviteli megoldásokkal a 3. Fejezetben már megismertünk.

Az egyéni felhasználó csatlakoztatására szolgáló *hozzáférési hálózat* (access network) a teljes távközlő hálózat viszonylag legköltségesebb része. Egyrészt önmagában is összetett feladat valamennyi felhasználó megközelítése, csatlakoztatása a hálózat többi részéhez, másrészt jellemzően rossz a kihasználás, hiszen általában az idő csak kis részében történik forgalmazás.

Egyrészt a hatékonyság növelése érdekében építik a hozzáférési hálózatot – általában csak részben, egy szakaszán – több átviteli csatornát magában foglaló átviteli rendszer felhasználásával. Ez elsősorban az előfizetőtől távol eső szakaszokon előnyös, ahol sok vezetékkel kellene közös nyomvonalon a forgalmi gyűjtőpont felé csatlakoztatni. A közös rendszer egyszerű megoldásában sok érpárt hordozó kábel lehet, ez azonban csak a nyomvonal-közösítés egyik elemi megoldása. Fejlettebb megoldást jelent az átviteli közegre telepített és több felhasználó számára egyidejű hozzáférést biztosító többcsatornás rendszer alkalmazása. Így lehetőség nyílik, másrészt, magasabb szintű szolgáltatásokhoz szükséges – például nagysebességű – hozzáférés kialakítására. Ilyen értelemben valamennyi, a következőkben megismert átviteli rendszer megjelenhet a hozzáférési hálózatban, a csatlakozó pontok megfelelő kialakításával.

#### 4.2.2. Csatornák multiplexálása

Többszörös felhasználás alatt értjük a forgalmazási lehetőség biztosítását egyidejűleg több előfizető számára valamely átviteli közegen kialakított átviteli rendszeren. A csatornák összefogására szolgáló művelet a

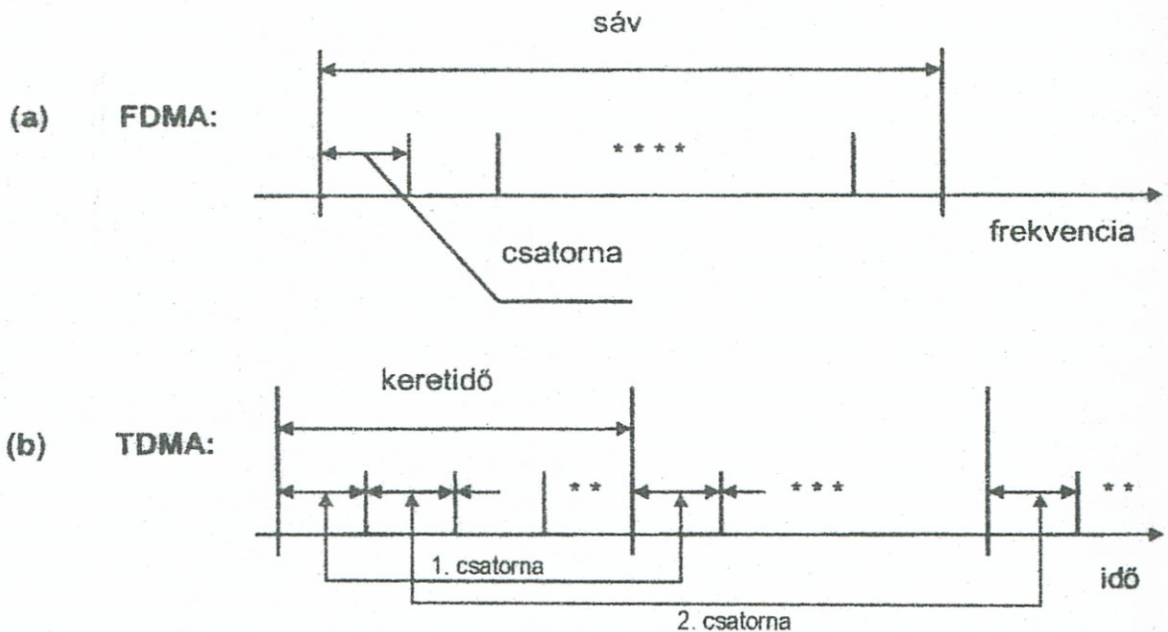
!



*multiplexálás.* A multiplex rendszer tehát valamilyen értelemben több átviteli csatornát tartalmaz. Az egyes átviteli közegek többcsatornás átvitelre eltérő módokon használhatók, illetve a közös átviteli rendszerek, illeszkedve az egyes alkalmazások eltérő igényeihez, többféleképpen alakíthatók ki. A fontosabb változatokat a következő pontokban ismertetjük.

### 4.2.3. Rádiós rendszerek

A többszörös hozzáférésű rádiós előfizetői csatlakoztatás korszerű változatai úgy épülnek fel, hogy az előfizetők egy-egy csoportja, egy-egy alkalmazás számára viszonylag széles frekvencia tartomány: egy-egy *sáv* áll a rendelkezésre (4.1. ábra), amelyben több átviteli csatornát hoznak létre. Az egyes előfizetők általában ezek közül egyszerre csak egyhez férhetnek hozzá.



4.1. ábra. Átviteli sáv és (azon belül) csatorna kialakítása a frekvencia tartományban (a), illetve az időtartományban (b).

A többszörös hozzáférés létrejöhet úgy, hogy az előfizető a sáv frekvenciában elkülönített csatornáját használja. Ezt nevezzük *frekvenciaosztású többszörös hozzáférésnek* (frequency division multiple access, FDMA). Ebben az esetben egy-egy előfizető csak a részére kiosztott csatornának megfelelő sáv szélességet eredményező modulációs sebességet alkalmazhat, a többi csatorna zavarását elkerülendő.



Többszörös hozzáférést lehet úgy is biztosítani, hogy a rendelkezésre álló sebességgel adó előfizetők között a sávot/csatornát időben nem folyamatosan, hanem szinkron jelleggel átkapcsolgatva, az idő egy bizonyos százalékában megengedve a hozzáférést, osztjuk meg (4.1. ábra b. részlet). A keretidőn belül mindegyik előfizető kap egy-egy időrést, ezen belül továbbít egy adatcsomagot, majd meghatározott számú (összesen 4, 8, esetleg több) csomagnak különböző előfizetők által történt továbbítása után mindegyik újból sorra kerül, lehetőséget kap ismét egy-egy csomag továbbítására, s.í.t. Ez az *idő-osztású többszörös hozzáférés* (time division multiple access, TDMA) kialakítható akár a teljes rendelkezésre álló frekvencia sávban, akár csatornánként, az utóbbi eset példa az FDMA és a TDMA együttes alkalmazására.

A csatornák többszörös felhasználása úgy is kialakítható, hogy ugyanazt a csatornát több *helyen* használjuk fel ismételten, vigyázva arra, hogy adási/vételi körzetük jól elkülönüljön, az azonos frekvenciájú adók egymást ne zavarják. Ezt a megoldást néha *térosztású többszörös hozzáférésnek* (space division multiple access, SDMA) nevezik.

Végül, ismeretes a *kódosztású többszörös hozzáférés* (code division multiple access, CDMA). Ekkor, általában, a rendelkezésre álló teljes frekvenciatartományt egyetlen sávnak tekintve, abban minden hozzáférő előfizető maximális adatátviteli sebességgel ad, de ezek az adások az előfizetőnként csak az egy-egy *csatornának* megfelelő (tehát kisebb) sebességű adatfolyamnak és egy maximális sebességű kódszónak a szorzataként állhatnak elő. A csatorna adatfolyama a vett jelnek ugyanazzal a kódszóval való szorzásával nyerhető vissza. Ha az egyes adó-vevő párok egymástól oly módon eltérő kódszavakat használnak, hogy a visszaszorzás és a megfelelő mértékű átlagolás után a további kódszavakkal szorzott (zavaró) jel eltűnik, az egyes kódszavak birtokosainak a jelei egymást nem zavarják és létrejön az egymástól független többszörös hozzáférés. (Az ilyen kódszavakat *ortogonálisnak* nevezzük.) A CDMA alkalmazásának előnye, többek között, az egyszerű rádiófrekvenciás kialakítás: valamennyi adó és vevő azonos frekvencián működik, a csatorna-kiosztás dinamikus, az egyes résztvevők különböző sebességeket használhatnak, az információ csak a kódszavakat ismerők számára hozzáférhető stb. [1]

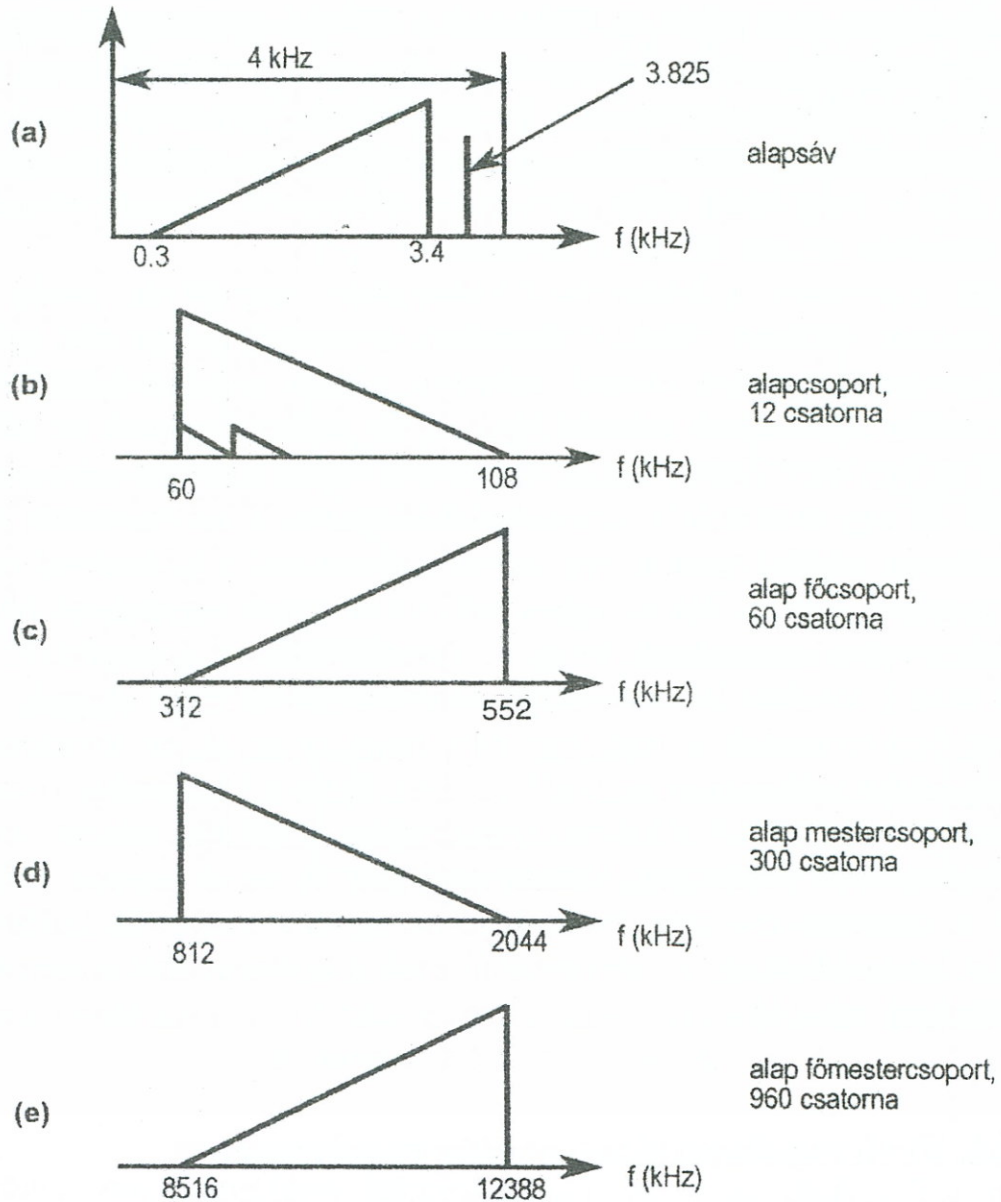
#### 4.2.4. Frekvenciaosztásos analóg rendszerek



Sodort érpárokon és koaxiális kábeleken az erősítők alkalmazása lehetővé tette több beszédfrekvenciás átviteli sáv kialakítását. A távbeszélő technikában alkalmazott egyszerű jelzések egyidejű átvitelét is megvalósító sokcsatornás analóg átviteli rendszer megvalósítása, a csatornának a frekvenciatengely mentén történő elhelyezésével lehetséges.



Egy 4 kHz szélességű sávban helyezték el mind a beszédjelet, mind egy 3,85 kHz-es, a jelzések átvitelére szolgáló jelet. Ez utóbbi alkalmas az előfizetői hurokzárás, illetve ellenkező irányban, a csengetési állapot jelzésére [4.2. ábra (a) részlet]. Egy csatorna számára így 4 kHz sáv szélesség elegendő. A többszörös csatornás rendszereket ennek, mint *alapsávnak* különböző frekvencia tartományokba való transzponálásával alakították ki. A frekvenciaáttevésre 4 kHz többszörösével egyenlő frekvenciájú vivők modulálása alkalmas. Célszerűen egyoldalsávós (amplitúdó) modulációt használtak, a vivő egyidejű elnyomásával. [2]



4.2. ábra. FDM rendszerek modulációs egységei

Az eredőben átvitendő sáv szélessége így 4 kHz-nek többszöröse, pontosabban annyszorosa, ahány csatornás rendszert építünk. Eleinte



Az átviteli igény növekedésével egyre nagyobb csatornaszámú rendszerek alakultak ki. Ezeknél a modulációs rendszer, célszerűen, moduláris felépítésű, hogy viszonylag nagyszámú csatornát kevés modulációs lépésben tudjanak egymás mellé rendezni. A nagyvilágban többféle modulációs rendszer alakult ki, amelyek elsősorban a nem kívánt modulációs termékek kiszűrésének a módszerében térnek el egymástól. A nálunk meghonosodott rendszerben az alapsávi jelekből 12-öt a 60-108 kHz tartományba egymás mellé modulálva [4.2. ábra(b) részlet] nyerik a csoportot, amelyben az egyes alapsávi jelek 'fekvése' fordított, azaz a 3,4 kHz-es jelek a sávban kisebb frekvenciára modulálva jelennek meg a 0,3 kHz-eshez képest.

A csoport *alaphelyzete* a fent említett frekvenciasáv. Ha 5 csoportot összefogva, a 312-552 kHz sávba, mint alaphelyzetbe modulálják azokat, most 'egyenes fekvésben', a 60 csatornás *főcsoportot* nyerik. 5 főcsoport fordított fekvésű összefogásával jön létre a *mestercsoport*, 16-szorozással, egyenes fekvésben pedig a *fő mestercsoport*. Ezek alaphelyzetét a frekvenciatengely mentén a 424. ábra (c), (d) és (e) részletei mutatják. Ez a frekvencia szerinti elhelyezkedés az alkalmazott – itt nem tárgyalt – modulációs rendszer eredménye és egyáltalán nem azt jelenti, hogy a kábelen ezen a frekvencián vinnék át a jeleket. A fő mestercsoport általában 4 MHz körüli sáv szélességgel vihető át, hármat összefogva alakul ki a jellegzetes 12 MHz sáv szélességű 2700 csatornás átviteli rendszer, s.í.t. A multiplex csoportokban egyes csatornákat az átvitelt vezérlő jel(zés)ek átvitelére tartanak fenn. Továbbá, az átviteli sávban elhelyeznek *pilotjeleket*, amelyek a sávon belül az erősítés mértékének az állandó szinten tartását könnyítik meg.

#### 4.2.5. Időosztásos digitális rendszerek

Kiindulva a beszéd digitalizálására használt, a 2. fejezetben megismert megoldásból, többcsatornás digitális átviteli rendszert úgy nyerünk, ha ezekből az egyenként 64 kb/s sebességű jelekből egy átviteli úton egyidejűleg többet viszünk át. Természetesen az eredő átviteli sebesség többszörösen nagyobb lesz 64 kb/s-nél. A nagysebességű átviteli úton az egyes csatornák jeleit *időben* egymás mellé rendezve visszük át. Ez azt jelenti, hogy a közös csatornát, szigorú sorrend betartásával, egy-egy rövid időre, felváltva bocsátják rendelkezésre egy-egy csatorna jelcsoportjának az átvitelére. Az előállított egységes jelfolyam elnevezése: *időosztásos multiplex* (time division multiplex, TDM). [3]



Az alkalmazott multiplex rendszerek egységes képet mutatnak, ami természetes is, hiszen az egységes digitális jelfolyam átmegy az országhatárokon, végberendezéseik esetleg különböző szolgáltatók tulajdonában vannak, így igen csak szükséges a rendszerek együttműködését megvalósítani.

Az egyedi 64 kb/s sebességű csatornák jeleinek a legkisebb közös egységet képviselő *primer* PCM-multiplex rendszerbeni összefogására a világban háromféle megoldás terjedt el, pontosabban alakult ki, amelyek közül az elsőt már nem is használják, megemlézése történelmi érdekességgel bír:

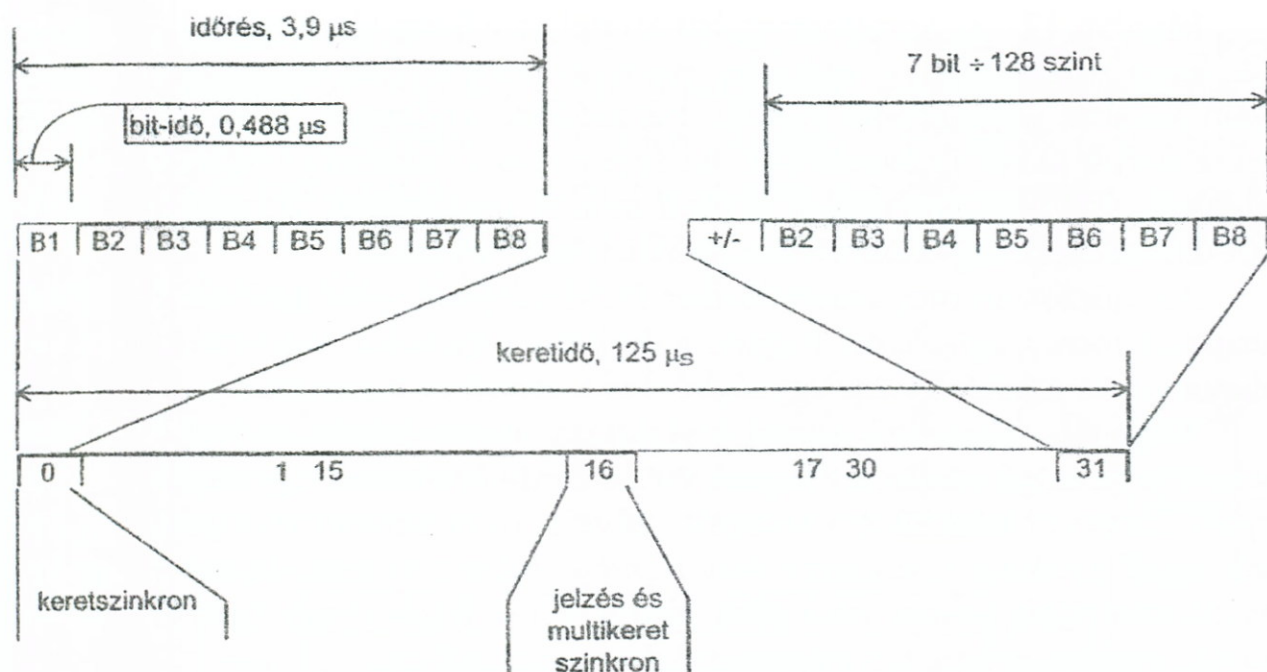
Angliában alkalmaztak először többcsatornás multiplexet: 24 darab 64 kb/s sebességű csatornát fogtak össze oly módon, hogy keretidőnként oktett-bontásban  $24 \cdot 8$  bitet továbbítottak egy közös csatornán. Ez 1536 kb/s átviteli sebességet eredményezett. (Az ilyen mértékben növelt sebességű átvitel éppen megvalósítható volt azokon a távkábeleken, amelyeket alapsávi analóg átvitelre addig alkalmaztak. Az 1830 méterenként beépített Pupin-csévék helyére kerültek az – akkor igen nagyra tekintett átviteli sávszélességet igénylő alkalmazáshoz feltétlenül szükséges szakaszos erősítést megvalósító – regenerátorok.

A jelfolyam *szinkronizálását* megoldandó, megcsorbították a 8 bites kódolást, minden keretben az egyik csatorna jelét csak 7 bittel vitték át és az így felszabaduló, keretenként 1 bitet erre használtak fel. A rendszer szélesebbkörű alkalmazásra az Egyesült Királyságon kívül nem került sor és ma idejétmúltnak tekinthető.

Az első, az Egyesült Államokban és Japánban ma is használt 24 csatornás rendszerben a sebességnek 1544 kb/s-re való növelésével egy 8 kb/s sebességű átviteli csatornát hoztak létre, ami alkalmas mind a szinkronizáció, mind jelzésátviteli funkciók ellátására. A bővítést úgy alakították ki, hogy, megtartva a teljesértékű, 8 bites beszédkódolást, keretenként egy (193-ik) bitet iktattak be a jelfolyamba.

A CEPT által kidolgozott, majd a CCITT által ajánlásként elfogadott, ún. 30/32 csatornás rendszer 30 beszédcsatorna mellett 2 darab, egyenként 64 kb/s sebességű csatornát tartalmaz, így az átviteli sebesség 2048 kb/s. Minden keretben a 0-ás jelű csatorna (keretenként továbbított 8-8 bitje) szolgál a szinkronizálásra, a 16-os csatorna pedig jelzések átvitelére van általában fenntartva. A további 30 csatorna jelek átvitelére szolgál (4.3. ábra). A keretidő itt is, a 8 kHz-es mintavételnek megfelelően, 125  $\mu$ s, aminek a 32-edrésze az egy csatorna 8 bitjének az átvitelére szolgáló *időrés*, 3,91  $\mu$ s. Egy bit időtartama, a *bitidő* ennek –nyolcadrésze, 0,488  $\mu$ s.





4.3. ábra. TDM rendszer keretidejének a felosztása 30/32 csatornás átviteli rendszerben

A keretszinkron-szó felépítése (4.4. ábra) különböző a páros és a páratlan számú keretekben. A szinkron *megejtét* az jelenti, ha vesszük az egyik keretben a 7 bites, **0011011** tartalmú szinkronszót, majd a következő keret második időzésében a második bitpozícióban az **1**-et.

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
*	0	0	1	1	0	1	1
*	1	X	*	*	*	*	*

} alternáló keretek

\* keretszinkronhoz fel nem használt bit  
X általában 0, ha 1-be vált: távriasztás

4.4. ábra. A 0-s csatornában átvitt keretszinkron szó felépítése

## 4.3. Áramkörkapcsolt átviteli rendszerek

### 4.3.1. Hierarchikus multiplikáció

A következőkben kizárólag digitális átviteli rendszerekkel foglalkozunk, hiszen az analóg jelek közvetlen átvitele egyre nagyobb mértékben háttérbe szorul. Ezen belül is **egyelőre**, összhangban az előzőkkel, a 64 kb/s sebességgel, 125 μs keretidővel digitalizált beszédjel és a vele azonos szervezésű egyéb digitális jelek multiplex átvitelére fordítjuk a figyelmet.





Minden 125  $\mu$ s keretszervezésű átviteli rendszer alapvetően úgy működik, hogy valamennyi, a multiplex rendszer összetevőjét képező elemi jelfolyam jeleiből *valamennyit* minden keretidőben átvisznek. Ezeknek a biteknek a *helyét* akkor is fenntartják, ha éppen nincs valamely csatornában átviendő jel. Az ilyen szervezésű átviteli módot *szinkronnak*, a rendszert előállító műveletet pedig *szinkron multiplikációnak* nevezzük.

Az előzőkben megismert primer PCM csoport, mint szervezési egység, központi fontosságú. Látni fogjuk, a digitális kapcsolók szervezése erre van alapozva, de önálló átviteli egységként is kiterjedten használható.

Nagyobb sebességű átvitel kialakítása esetén közös átviteli útra több primer sebességű rendszert fognak össze és továbbítanak egyidejűleg. A nagyobb csoport kialakítására szolgáló művelet neve szintén *multiplikáció*. Ennek egyik módja a rendszerek *hierarchikus többszörözése*. Ilyenkor egy keretidő alatt több primer multiplex rendszer 1-1 bitjét (vagy byte-ját) továbbítják, mindig azonos egymásutániségben, sorrendben.

Az elfogadott hierarchiának megfelelően, a 30/32 csatornás rendszerben a többszörözés mindig négyszerezést jelent (míg a 24 csatornás rendszerben sorra 4-szerezést, 7-szerezést, majd 2-szerezést, sőt ettől eltérő sokszorozást is használnak). A használatos átviteli sebességeket a 4.1. táblázat tartalmazza. Vegyük észre, hogy az átviteli sebességek nem egyszerűen az alapértéknek a sokszorozással szorzott értékei, hanem annál mindig nagyobbak. A további bitek a magasabb hierarchiájú rendszer szinkronizálására és egyéb, az átvitel ellenőrzésére használt jelzések átvitelére szolgálnak.

4.1. táblázat

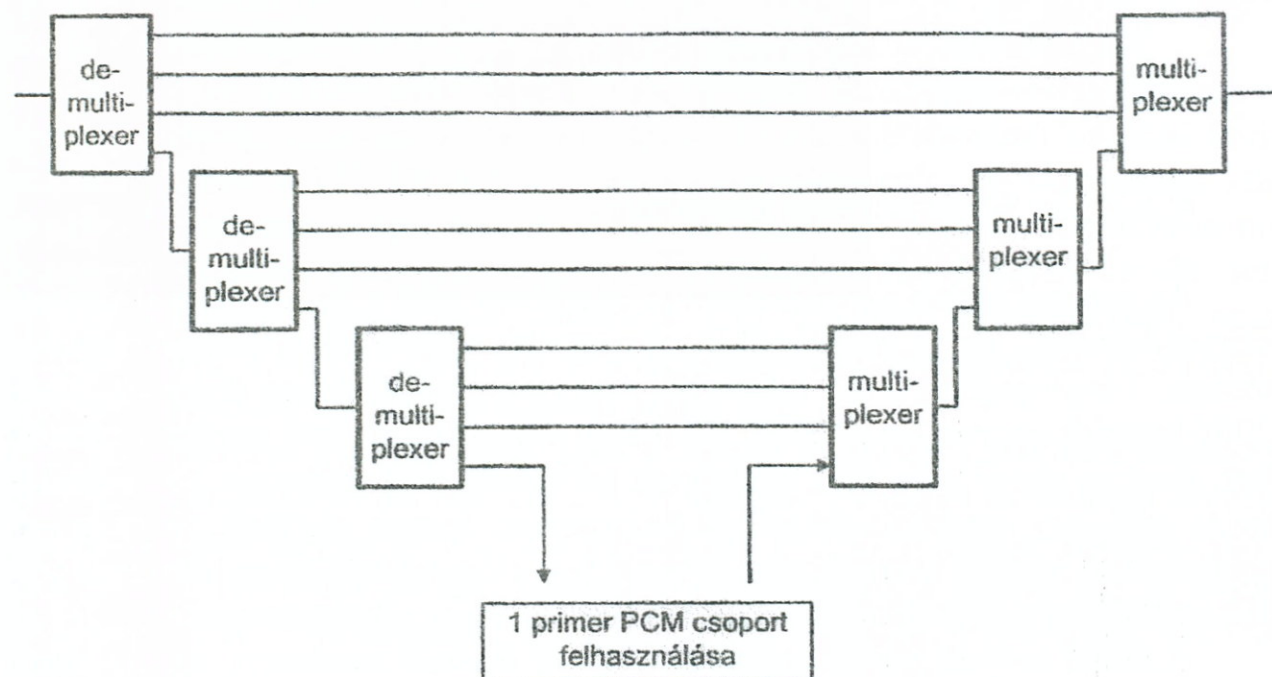
Szint	24 csatornás Átviteli sebesség [kb/s]	30/32 csatornás		Elnevezés
		Átviteli sebesség [kb/s]	Csatornaszám	
1	(1536) 1544	2048	30 (31)	primer
2	6312	8448	120	szekunder
3	(32 064) 44 736	34 368	480	tercier
4	97728	139 264	1920	kvaterner

Adott sebességű átviteli csatornához az illesztés – általában több jelcsoomag egyesítésével, multiplexálásával történik. Az ezt megvalósító berendezés a multiplexer. (Hasonló módon, a vétel helyén *demultiplexálás* történik, az erre szolgáló berendezés a demultiplexer. A két művelet, illetve berendezés mindig párban szerepel.)

Hierarchikus multiplexálást alkalmazva, minden egyes szint eléréséhez egy-egy berendezésre van szükség. Például, ha az átviteli sebességszint a kvaterner (139 264 kb/s), ugyanakkor az átviendő jelcsoomagok primer PCM



szintűek, azokat először szekunder, majd terciér és végül kvaterner szintre kell multiplikálni. A vétel helyén, ha a megérkező jelfolyamból csak egyetlen primer csoport végződik is itt (a többi további vételi helyre kell irányítani), sorban el kell végezni a hierarchia szintek szerinti lebontást, hogy kinyerjék az oda címzett információt, majd – továbbvezetés előtt – a magas szintű jelfolyamot újra elő kell állítani (4.5. ábra).

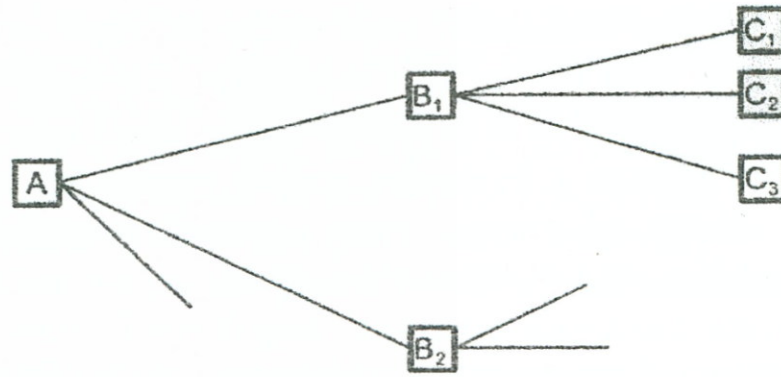


4.5. ábra. Primer PCM csoport kinyerése és visszahelyezése kvaterner szintű PDH átvitel esetében

A hierarchikus multiplexálás (és demultiplexálás) műveletét *PDH* (pleziokron digital hierarchy) szerinti műveletnek nevezzük. (A pleziokron szó jelentése: majdnem-szinkron.)

Ha a multiplexálási mérték váltásának az igénye gyakori, a hierarchikus multiplikáció alkalmazása előnytelen. Előnyös viszont, jellegzetesen, a *fasztruktúrájú* hálózatokban (4.6. ábra), amikor a forgalom mértéke fokozatosan csökken (az ábrán A, B és C-vel jelölt) nagyobb osztódású síkok irányában. Ilyenkor a kisebb forgalomnak megfelelően egyre kisebb mértékű multiplexálást, kisebb sebességű átvitelt célszerű kialakítani. A kisebb forgalmú átviteli utakon egyre kisebb sebességű, kisebb csatornaszámú, tehát olcsóbb berendezéseket lehet használni.





4.6. ábra. Fa-struktúrájú hálózatokban az ágak számának a növekedésével az egyes ágak forgalma csökken

### 4.3.2. Az SDH átviteli rendszer

Az optikai szálak megjelenésével jelentősen nőtt a közel azonos költség-szintet biztosító, de az előzőknél jóval nagyobb sebességű átvitel alkalmazhatósága. Ténylegesen ez azt jelentette, hogy az első lépésben kiépített, közel 2000 beszédcsatorna kapacitású, 140 Mb/s sebességű átviteli rendszer olcsóbb lett, mint az akkor még nem elavultnak tekinthető 900 csatornás koaxiális kábeles (analóg) rendszer. Ezzel párhuzamosan, hamar rájöttek, hogy a sok csatlakozási ponttal rendelkező hálózatokban előnytelenül nagy költség a sok, fokozatonként működő multiplexer és demultiplexer alkalmazása. [4]

A PDH helyett kialakítottak egy olyan átviteli rendszert, amely alkalmas arra, hogy tetszőleges szintű PCM jelsorozatok hierarchikus multiplexálás és demultiplexálás nélkül, külön-külön behelyezhetők, illetve abból kivethetők legyenek. A rendszert az USA-ban alakították ki és elnevezték *Sonet*nek (synchron digital network). Ezt Európában átvették és elnevezték *SDH*-nak (synchron digital hierarchy).

Az új rendszerben megtartották a 125  $\mu$ s keretidőt és átviteli alapsebességnek a 155,520 Mb/s értéket választották. Egy keretidő alatt 2430 oktett továbbítása történik. Ebből 91 oktettet leválasztva, fejrészt alakítottak ki, míg a többi a multiplex csatornák jeleit viszi át.

A fejrész 91 oktettje szolgál a bitfolyam szinkronizálására, közös átviteli jellemzők jelzésére, stb. Egy 9 oktett hosszúságú szakaszát elnevezték *pointer*nek. Segítségével lehet *jelölni* a jeltovábbításra felhasznált további 2339 oktettből azokat, amelyek az egyes átvinni szándékolt jelcsomagot szállítják. Így lehetővé válik a tetszőleges méretű – és *szinkronizált* módon elhelyezkedő – jelcsomag közvetlen kivétele vagy annak közvetlen behelyezése anélkül, hogy szükség lenne a teljes jelfolyam megbontására.

A fenti kapacitásnak megfelelően, a jelfolyam kitölthető maximálisan  $4 \cdot 7 \cdot 3 = 84$  darab 1544 kb/s sebességű primer, vagy  $7 \cdot 3 = 21$  darab 6312 kb/s

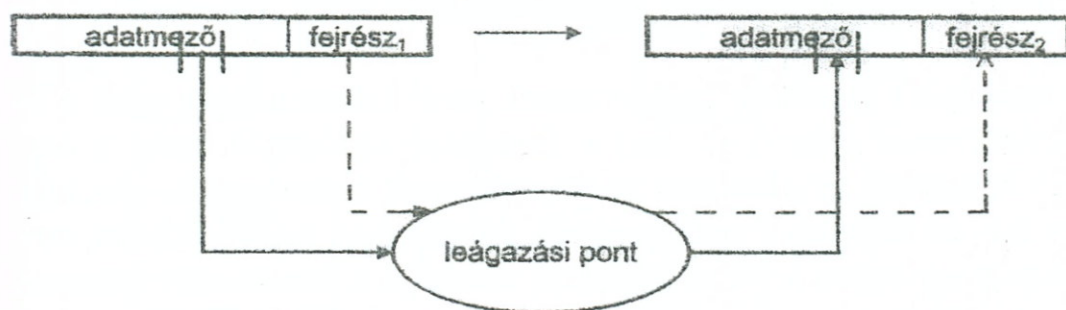


sebességű szekunder, vagy 3 darab 44 736 kb/s sebességű tercier, továbbá egy 139 264 kb/s sebességű kvaterner PCM rendszer jelével. Egy hordozó, bizonyos megkötöttségekkel, különböző szintű jelfolyamok egyidejű fogadására is alkalmas, a maximális kapacitás kihasználásáig.

A fenti kapacitás adatok a 24 csatornás rendszerhez illeszkednek, és mivel a rendszert az Egyesült Államokban dolgozták ki, a 30/32 csatornás rendszerben rosszabbul is használható ki. A 2048 kb/s sebességű primer rendszerből  $3 \cdot 7 \cdot 3 = 63$ , a 34.368 kb/s sebességű tercierből összesen legfeljebb 3 helyezhető el benne, a kvaterner rendszert persze így is fogadni tudja. (A szekunder PCM csak tercierbe multiplexálva szerepelhet.)

Mivel az átviteli sebességek – az igények növekedtével arányosan – gyorsan nőnek, szabványosításra és gyors kiépítésre kerültek további átviteli rendszerek a 155 520 Mb/s sebesség 4-szeresének, 16-szorosának stb. megfelelő átviteli kapacitással. Míg az első az STM-1 (synchronous transport module) elnevezést kapta, a továbbiak STM-4, STM-16 stb. jelzésűek. Átviteli sebességeik rendre a 155 520 Mb/s többszörösei, azaz 622,08 Mb/s, 2,488 32 Gb/s stb. E magasabbrendű multiplexek az STM-1-ből byte-byte követő sokszorozással állnak elő.

Az amerikai gyakorlatban, ahol a tercier PCM az 1544 kb/s sebesség  $4 \cdot 7 = 28$ -szorozásával áll elő, ezt a nem egészen 50 Mb/s sebességű átvitelt igénylő adatmennyiséget tekintik egységnek és OC előtaggal citálják. (Ebből az 155 520 Mb/s átviteli sebességű csatornában 3 vihető át). A Sonet rendszer STM-1 moduljának így OC-3 felel meg, az STM-4-nek OC-12, s.í.t.

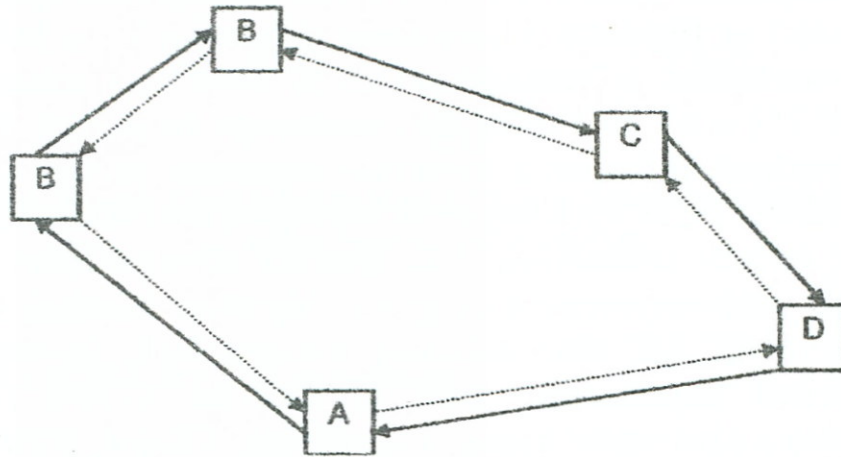


4.7. ábra. PCM-csoportok kinyerése és visszahelyezése SDH átvitel esetén

Az SDH átviteli rendszerben a jel-leágaztatás és a behelyezés igen egyszerűen történhetik (4.7. ábra). A leágazási/betáplálási pontokon figyelik a fejresz, ezen belül a pointer tartalmát, ami megmondja, hol található a szinkron jelfolyamban a megfelelő jel, amit azután közvetlenül kiemelve a célállomás felhasznál. Kétirányú összeköttetésben gondolkozva, a leágazási ponton a kivett jel helyébe – az új célállomást megjelölő pointer-tartalom módosítás után – a vissz irányú jel kerülhet célszerűen beiktatásra.



A fenti egyszerű irányváltás persze csak akkor valósulhat meg, ha az SDH jelfolyam körben kereng egy olyan gyűrűn, amelyik útjába ejti mindkét célállomást (4.8. ábra). Ez a gyűrű struktúra az SDH átvitel kialakulásával együtt fejlődött ki, így a két megoldás előnyei együtt használhatók ki.



4.8. ábra. Gyűrű struktúrájú SDH hálózatban a teljes adatmennyiség kering

### 4.3.3. Az áramkörkapcsolt hálózat felépítése

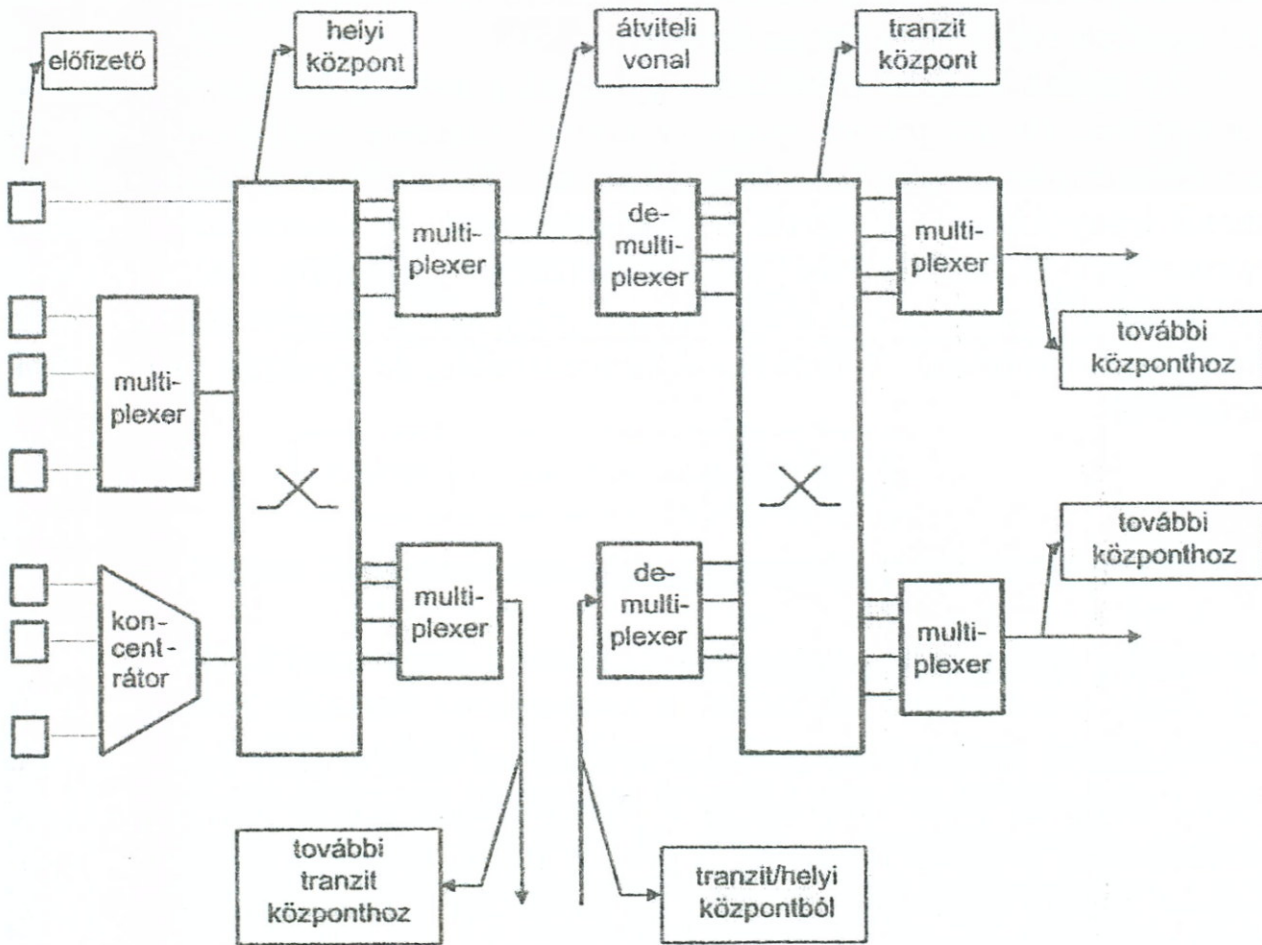
A megismert multiplexerek önmagukban nem teszik lehetővé az átviteli csatornák kapacitásának a jobb kihasználását. Ha a multiplex rendszer egy-egy csatornájára csak egy felhasználó jelét vezetjük, annak kihasználtsága is azonos lesz az egy-felhasználós szakaszéval. A forgalom közös átviteli utakra történő multiplexálása tehát önmagában nem elegendő.

A multiplex rendszer csatornáinak jobb kihasználása csak a forgalom *koncentrálásával* érhető el. Ezt a feladatot valósítják meg a *kapcsolók*, amelyek bizonyos értelemben multiplexernek tekinthetők. De míg a multiplexer be- és kimeneti csatornáinak az összege ugyanakkora, továbbá, a multiplexer egyetlen átviteli út felé továbbítja a bemeneti csatornák jeleit, a kapcsolók felépítése és működése ettől eltérő.

Akkor miben hasonlítanak egymásra? Ugyanúgy be- és kimeneti csatornákkal rendelkeznek. De míg a multiplexer bemeneti csatornái összegzett átviteli kapacitásának megfelelő kapacitású átviteli rendszerhez csatlakozik, a kapcsoló be- és kimeneti csatornáinak az egyedi kapacitása mindig azonos. Feladatuk is eltérő. A kapcsoló egy-egy bemeneti csatornát az *összeköttetés* fennállásának az idejére összekapcsol egy-egy kimenetivel. Hogy mikor melyikkel, azt az összeköttetés felépítését kezdeményező *hívó* határozza meg, amikor kapcsolat-felépítési szándékát jelezve, közli a *hívott* személyét, egyéni hívószámát.



A kapcsoló bemeneti csatornáinak a száma általában meghaladja a kimenetiekét. (Esetleg egyenlő, de nagyon kivételes az, hogy kisebb lenne.) Ilyen értelemben *forgalom-koncentráció* valósítható meg, egy-egy kimenetre egymás után több felhasználó jelét csatlakoztatva. Ez a koncentráció értelemszerű, ha a több felhasználót a hívotthoz vezető átviteli útra kívánjuk irányítani, viszont forgalmi *torlódáshoz* vezet, ha az egyidejű hívók száma meghaladja a választott irányba menő kimeneti csatornák számát. Hasonló eredményre vezet, ha kifejezetten forgalom-koncentrálási szándékkal a felhasználók egyes csoportjainak a számuknál kevesebb továbbmenő csatornát biztosítunk az átviteli láncban.



4.9. ábra. Helyi és tranzit központokat tartalmazó áramkörkapcsolt hálózat

Ezekután felépíthető az áramkörkapcsolt hálózat (4.9. ábra). A kifejezetten forgalomkoncentrációs céllal beépített kapcsolót *koncentrátornak*, míg az előfizetőket közvetlenül, illetve távoli előfizetők felé vezető átviteli utak áramköreivel (forgalmi szempontból kapcsolóknak tekinthető) összekapcsoló rendszereket *központnak* nevezzük. Célszerűen megkülönböztetjük az olyan központot, amelyik kapcsolójára mindkét típusú áramkör vegyesen kapcsolódik a kizárólag távoli előfizetők koncentrált forgalmú átviteli nya-



lábjai között átkapcsolást létesítőtől. Az előbbit *helyi központnak*, az utóbbit *tranzit* (nagyvárosi forgalomban *tandem*) *központnak* nevezzük.

Az előfizető/felhasználó tehát a helyi központhoz csatlakozik. A leg-egyszerűbb esetben egyszerű érpár segítségével. Az esetlegesen közbeiktatott multiplexer csak az átviteli módot változtatja meg, áttérve a vezetékes összeköttetésről valamilyen fejlettebb átviteli módra. Ezzel szemben, a közbeiktatott koncentrátor mindig a csatlakoztatott előfizetők csak egy hányada számára teszi lehetővé az egyidejű forgalmazást.

A központok egymással minden esetben többszörös átviteli rendszer beiktatásával létesítenek kapcsolatot. A kapcsolóról egy-egy felhasználói csatorna kapacitásának megfelelő jelfolyamok jönnek le. Ezeket multiplexálva vezetjük az átviteli vonalra.

Az áramkörkapcsolt hálózat egyidejűleg mindig kétirányú kapcsolatot épít fel. Ez azt jelenti, hogy az átviteli utakhoz csatlakozó multiplexer-demultiplexer párokon túlmenően, az előfizetőhöz a központtól elmenő irányokban is beépítik a demultiplexert. A koncentrátor-funkció ellentettjére is szükség van: ezen felhasználói csoportok felé a központból indított kisszámú csatornán érkező jelet kell a csoport bármely tagja irányába továbbítani. A funkció *dekoncentráció*, de gyakran *expánzió* is nevezik.

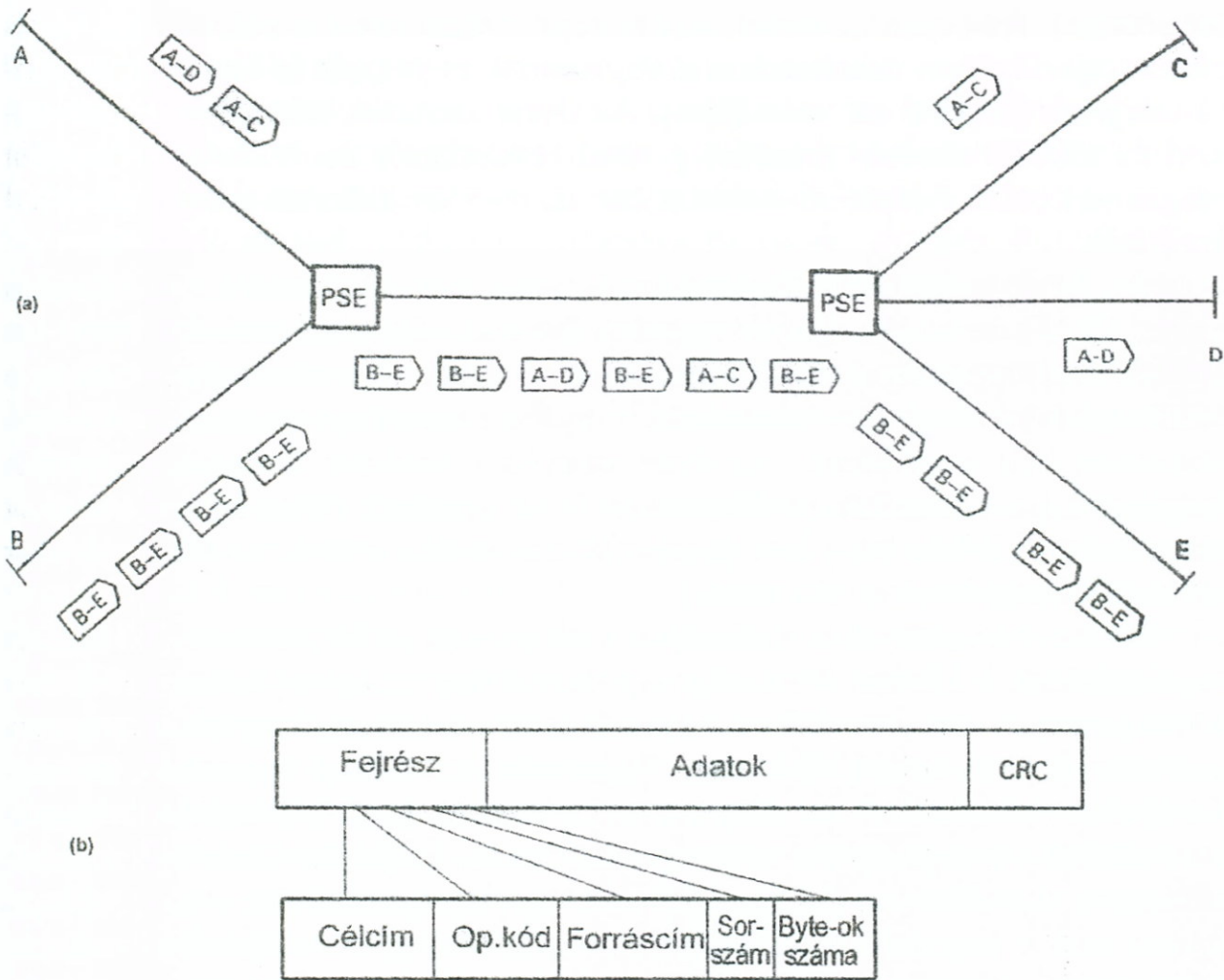
## 4.4. Aszinkron átviteli rendszerek

### 4.4.1. Általános megfontolások

Szinkron átviteli rendszereknél valamilyen módon előre meg van határozva, hogy az átvitt információ a jelfolyamnak mikor melyik pontján, pontosabban pontjain található. A pontok kijelölhetősége függvénye a jelfolyam szinkronizáltságának, ami természetszerű követelmény. A szinkronizált jelfolyamból akár demultiplexálással, akár a pointer által megjelölt hely megkeresésével a megfelelő csatorna-információ hibátlanul visszanyerhető.

Alapvetően más a helyzet az adatátviteli hálózatoknál, amelyek a nem beszédüzemű szolgáltatásokból indulnak ki (De nem zárják ki a beszéd átvitelének az eddigétől eltérő szervezésű átvitelét). Ezeknél a hálózatoknál az átvendő jelsorozat nem kötött időrendben jelentkezik, továbbá nincs időben kötött kapcsolat a továbbítandó jel keletkezése és tényleges átvitele között. [5]





4.10. ábra. Statisztikai multiplexálás elve (a) és üzenetformátuma (b)

Az üzenetek (csomagok, keretek, cellák) sorba rendezését és a közös átviteli úton megvalósított továbbítását a *statisztikai multiplexer* végzi. Ez gondoskodik a több forrásból, tetszőleges időbeni sorrendben érkező üzeneteknek egy közös csatornán történő, az átviteli kapacitás kitöltésének a mértékéig veszteségmentes átviteléről (4.10. ábra). A demultiplexálás, azaz az irányonkénti információ-szétosztás szintén az üzenetek beérkezésének a sorrendjében történik. (Ez lenne a statisztikai demultiplexer, az elnevezés azonban nem használatos.) Meg kell jegyezni, hogy a 'veszteségmentesség' magában foglalja azt is, hogy nem minden adat továbbítódik a megjelenés időpontjában, egy részének átmeneti tárolására időnként mindenképpen szükség van. Ezek a tárolók kissé elbonyolítják a statisztikai multiplexer felépítést.

Az üzenetek megfelelő irányba való átvitele, majd szétosztása céljából az üzeneteket *címmel* kell ellátni. A címzett címe szükséges az üzenet célba juttatásához, az üzenetet indító címének átvitelepedig lehetővé teszi az üzenet felhasználhatóságát és a hibátlan vétel visszajelentését.

Az üzenetek – a kezdetüket és végződésüket meghatározó jelsorozaton, a *zászlón* (flag) kívül – fejrészt és adatátviteli részt tartalmaznak [4.10. ábra



(b) részlet]. Az olyan üzenetet, amely fejrészében mind a cél, mind a forrás címét teljességében tartalmazza, *datagram*nak nevezzük [a hasonló felépítésű telegram (távirat) szó mintájára]. Az ilyen üzenetek több átviteli szakasszal és több közbenső elosztási ponttal rendelkező, az 1.11. ábra kapcsán megismert belső felépítésű *hálózatokon* is, minden előzetes szervezés nélkül átvihetők.

Az ilyen üzenettovábbítási módot *összeköttetés nélkülinek* (connectionless mode, CLM) nevezzük. Ekkor egyetlen útvonal-választási szabály létezik: az átviteli csomóponthoz érkező üzenetet, a cél címének a birtokában, mindig a célállomásként megjelölt felhasználó irányába mutató, *optimálisnak* tekinthető útvonalon kell továbbítani. Az ilyen irányítási rendszer felépítése egyszerű, forgalmi kapacitásuk kihasználhatósága és az üzenetek célba érkezése viszont bizonytalan. (Hibás irányítási protokoll kialakítása esetén az üzenetek akár körbe is keringhetnek a hálózaton.)

Ha tervezni akarjuk a statisztikai multiplexált jelfolyamot átvivő hálózat kapacitásának a kihasználhatóságát, pontosabban az egyes felhasználók felé *kötelezettséget vállalunk* előre meghatározott adatmennyiség átvitelére, meg kell szervezni az adatátviteli utak forgalmát. Az átviteli kapacitásnak megfelelően, a felhasználókkal meg kell állapodni az általuk a hálózatra bocsátható adatok mennyiségéről és azok rendeltetési helyéről. Ezek birtokában a hálózaton *virtuális áramkör* (virtual circuit, VC) építhető fel, amin tényleges átvitel csak a szerződéses felhasználótól érkező üzenet továbbítása alatt történik, egyébként az átviteli csatornán más felhasználók üzeneteit továbbítják, valamennyit a lehető leghamarabb, a megelőzően érkezett üzenetek továbbításának a befejeztét követően.

A virtuális áramkörnek két típusa ismeretes. Az egyik az áramkörkapcsolásban ismeretes 'bérelt vonal'-nak felel meg. Ez az *állandó* virtuális áramkör (permanent VC, PVC), amit a tényleges átviteli igény jelentkezését megelőzően létrejött megállapodásban, meghatározott időpontig való érvénnyel jelölnék ki. A *kapcsolt* VC (switched VC, SVC) a távbeszélő összeköttetéshez hasonlóan, a tényleges átviteli igény jelentkezésekor, 'hívás' jelleggel jön létre és lebontódik a forgalmazás befejezése után.

A virtuális áramkörök egyes szakaszain tehát csak meghatározott felhasználóktól meghatározott irányba menő üzeneteket továbbítanak. Megkülönböztetésükhöz nem szükséges a forrás és nyelő teljes hívószámát használni, rövidebb jelzőszám is elegendő. Ezek a virtuális áramkör fennmaradásának az időtartama alatt vannak érvényben és érvényességük mindig az adott átviteli szakaszra korlátozódik. A rövidített hívószámokat tehát többször is felhasználják, a mindenkor érvényben lévő szerződések szerinti forgalmazás egyes üzeneteinek a megjelölésére. Ugyanakkor, egy konkrét üzenet a hálózat különböző szakaszain áthaladva általában eltérő azonosítóval rendelkezik.



Az egyes átviteli szakaszokon érvényes rövid hívószámok összessége határoz meg, jelöl ki egy-egy konkrét virtuális áramkört. A mindenkor érvényes hívószámokat az üzenet-irányítási pontokon *irányítási táblázatban* tárolják, ami tehát minden egyes bemeneti irányból érkező üzenetek hívószámaihoz társítottan tartalmazza az ahhoz tartozó kimeneti irányt és az ahhoz csatlakozó átviteli szakaszon érvényes hívószám értékét. Pontosabban, ezek nem is a távbeszélő összeköttetések fogalmához társítható hívószámok, sokkal inkább (üzenet) *azonosítóknak* tekinthetők.

Az átviteli utakon statisztikusan multiplexált forgalmat továbbító hálózatnak a fenti üzemmódja *összeköttetéses* (connection oriented mode, CoM) jellegű.

Az üzenetkapcsolt hálózatoknál a statisztikai multiplexerről nem lehet általánosságban eldönteni, hogy az milyen értelmű és mértékű koncentrációt végez. Ehhez konkrétan ismerni kell a csatlakozó csatornák átviteli kapacitását. Ha a bemenetek összesített átviteli kapacitása nem nagyobb a továbbító átviteli út kapacitásánál, forgalmi torlódás soha nem léphet fel, a multiplexer – esetleg késleltetéssel, de – minden üzenetet továbbítani tud. Amennyiben a kimeneti kapacitást (jelátviteli sebességet) nem a felhasználók által ráterhelt forgalom elképzelhető maximumára méretezték, a multiplexer esetlegesen koncentrátoroként működik – a szónak a forgalom-áteresztést korlátozó értelmében – és maximális kimeneti teljesítményével meghatározza a továbbvezethető információ mennyiségét.

Az üzenetkapcsolt hálózatok *kapcsolói* tulajdonképpen a statisztikai multiplexerek. A kapcsolót és a multiplexert úgy tudjuk, némi önkényességgel, egymástól megkülönböztetni, ha a multiplexerhez egy, míg a kapcsolóhoz több kimeneti irányt, útvonalat társítunk. Kivételüket illetően, ez a megkülönböztetés nem jelentős, a gyakorlatban hozzáférhető eszközök kimeneteinek a száma 1 és 16 között változik. Általában nem a be- és a kimeneti összkapacitás, inkább külön-külön a csatlakozó vonalak maximális információ-továbbítási sebességei alapján különböztetjük meg az eszközöket egymástól. Az eszközök fejlődését a sebesség növekedése jelenti. Ma az elektronikai áramkörökkel elérhető maximális kapcsolási sebesség (vele együttjáróan a kapcsoló átviteli kapacitása) jelenti a határolást.

#### 4.4.2. Csomagkapcsolt átvitel és kerettovábbítás (frame relay)



Az üzenetek továbbításának fent megismert módszerét az jellemzi, hogy az átviteli vonalakon csak akkor van jel, amikor valamelyik információforrás aktív. Az alkalmazott átviteli protokoll az ISO által kidolgozott *HDLC* (High-level Data Link Control) eljárás valamelyik változata. E szerint, mint már említettük, az üzenetek elejét és a végét egy-egy *zászló* (flag) jelöli. En-



nek a hosszúsága egy oktett és a tartalma: **01111110**. Az üzenet végét jelző zászló egyúttal a következő kezdete is lehet. (Az üzenet belsejében a zászló véletlen előfordulását elkerülendő, minden ötödik egymást követő **1** után egy **0**-át iktatnak be az átvitel elején, majd ezeket a vétel során törlik.)

Ilyen szervezésben történik a *csomagkapcsolt* és a *kerettovábbításos* rendszerekben az üzenetek átvitele. Általában az egy egységben továbbított jelcsomag minimális és maximálishosszát korlátozzák, így nincs meghatározva azok pontosan egyenlő hosszúsága.

A csomagkapcsolt hálózat a PSTN-hez, míg a kerettovábbítás az ISDN-hez kapcsolódik. A HDLC ezekhez társítható változatai a LAP-D (line access protocol, data) és a LAP-F (line access protocol, frame). A szolgáltatások részletesebb leírása a 10. fejezetben található. [6]



#### 4.4.3. Cellás szervezésű aszinkron átvitel

A fenti megoldás tehát még az üzenetek továbbításának az időbeni elrendezése szerint is aszinkron. Kidolgoztak olyan átviteli megoldást, amelyben az átviteli vonalakon a jelátvitel folyamatos, függetlenül attól, hogy pillanatnyilag éppen van-e továbbítandó üzenet vagy nincs. A (folytonos) jel-folyam rövid, egyforma hosszúságú szakaszokra van bontva. Egy-egy ilyen szakaszt *cellának* (cell) neveznek, amely tartalmaz fejrészt (a szinkronizálás és a címek továbbításának a céljára) és adattovábbító részt.

A tényleges üzenetek a cellák adattovábbító részében, részekre tördelten kerülnek átvitelre. Szinkron, időben kötött érkezésük itt sincs biztosítva, hiszen tényleges hosszuktól függ, hány cellában 'férnek el'. A cellák továbbításának az időrendje (a statisztikai multiplexálásnak megfelelően) is bizonytalan. Az átviteli megoldást *aszinkron átviteli módnak* (asynchronous transfer mode, ATM) nevezik és mind szélesebbkörű elterjedése várható. Részletesebb tárgyalása a 12. fejezet témája.

## 4.5. Számítógép hálózatok



### 4.5.1. Alapfogalmak

Sajátos jelátviteli feladatot jelent számítógépek – vagy általánosságban adatforrások – olyan jellegű összekapcsolása, amikor a csoport minden tagja alapvetően azonos szerepet tölt be és ezek gyakorlatilag véletlen módon akarnak forgalmazni egymással. Az összekötő hálózat a hozzáférési hálózatnak sajátos változata. Egyetlen hierarchiasík létezik: vezeték- (vagy esetleg



rádiós) hálózat a csoport résztvevőinek az összekötésére. Anélkül, hogy tárgyalni kellene a gépek közötti forgalmazás protokolláris kérdéseit, szorítva a jelátvitel szervezési kérdéseire, meg lehet vizsgálni az alkalmazott jelátvitel alapvető tulajdonságait. [7]

Az összekötő hálózat felépítése általában olyan, hogy a csoport valamennyi résztvevője egyenlő partnerként van csatlakoztatva, bármelyikük is ad, azt az összes többi veszi, de vett anyagot csak akkor használja fel, ha az üzenet neki van címezve. Ha – a jelterjedési időtől eltekintve – az üzenet valamennyi résztvevőhöz egyszerre érkezik, busz- (sín-) struktúráról beszélünk, ha viszont a jel meghatározott sorrend szerint a résztvevőkön 'körbejár', a hálózat gyűrűs-struktúrájú.

Általánosságban kimondható, hogy egyidejűleg csak egy résztvevő adhat. Ha egyszerre többen adnának, egymást zavarnák. Vagyis az integrális forgalmazási sebességet a hálózat maximális átviteli sebessége határozza meg, annál egyrészt kisebb az üzenetek címezésének szükségessége miatt és csökkentheti az időtartam, ami az egyidejűleg jelentkező résztvevők között az adási jog megszerzésére fordítódik.

#### 4.5.2. Busz-struktúrájú hálózatok

Busz (sín) alatt olyan hálózatot értünk, amely egyenrangúan összeköti a csoport tagjait, azonos hozzáférhetőséget biztosítva számukra. A forgalmi kaosz elkerülésére forgalmi rendszabályokat kell érvényesíteni, ami alapvetően két módon történhet: az egyik módszer a *lekérdezéses üzem* (polling), míg a másik a *véletlenszerű hozzáférhetőség* (random access) alkalmazása.

A lekérdezéses hálózatban a tagok folyamatosan 'vételi' állapotban vannak. Egy központi állomás előre meghatározott sorrendben felszólítja őket, hogy amennyiben továbbítandó üzenetük van, kezdjék meg az adást. A felszólítás megérkezése után elküldik az előkészített üzenetet. Ha az állomásnak nincs üzenivalója, ezt közli a központtal, aki ezután a következő tagot szólítja fel hasonló tevékenységre. Nem szükséges az állomásokat mindig azonos sorrendben lekérdezni. Egyesek előnyt élvezhetnek másokhoz képest és a lekérdezési sorrend bármikor módosítható.

A fenti *gördülő lekérdezés* (roll-call polling) előnytelen nagy területi kiterjedésű hálózatokban, mert a hosszú terjedési idők lelassíthatják a forgalmazást. Ilyenkor esetleg előnyösebb az *egymást lekérdezés* (hub polling, nem szószerinti fordítás!), ami azt jelenti, hogy mindig a közvetlen közeli résztvevő kérdezi le a következőt, központi lekérdező alkalmazása helyett. Ha a résztvevő vette a neki szóló üzenetet, illetve befejezte az adást, átadja a forgalmazási jogot a következőnek. Így a jelterjedés ideje kevésbé zavaró, de a berendezések elbonyolódnak és nehéz a lekérdezési sorrendet módosítani.





A lekérdezéses forgalmazás előnyös abban az esetben, amikor a résztvevők főleg a központi résztvevővel szándékoznak kapcsolatot teremteni, ilyenek a bankrendszerek, központi helyfoglaló rendszerek, stb.

Ami a véletlenszerű hozzáféréssel forgalmazó hálózatok szervezését illeti, ezek közül elsőnek kell meg említeni az *ALOHA protokollt* használó hálózatokat, ami a legrövidebb, de egyúttal a legrégebb és még a 60-as években a Hawaii Egyetemen fejlesztették ki. Ez kezdetben rádiós hálózaton üzemelt. A protokoll lényege, hogy bármelyik állomás, ha kész üzenete van, elkezd az adást, amit követően várja a hibátlan vétel visszajelzését. Ha az adás hossza  $P$  és a jelterjedés ideje  $t$ , akkor a hibátlan vétel visszajelzésének az adás kezdetét követően  $P+2t$  idő alatt meg kell érkeznie. Ha ez nem történik meg, újra kezdi az adást. Zavarmentes adás csak úgy képzelhető el, hogy az adás megkezdése előtt legalább  $P$  idővel és azt követően szintén  $P$  ideig más nem kezd adásba. A megzavarható időtartam tehát  $2P$ . A hibátlan vétel valószínűsége tehát megegyezik a legalább  $2P$  hosszúságú adásszünetek valószínűségével. Ennek maximális értéke kb. 18 % (az ehhez tartozó össz-adásidő ennek kb. 2,5-szerese, tehát az adások mintegy 40 %-a eredményes, továbbá ez is csak akkor jó közelítés, ha az üzenetek átlagos  $P$  hosszúsága mellett a  $t$  terjedési idő elhanyagolható).

Az ALOHA protokoll, bár egyszerű, de csak kis forgalmú hálózatban használható és igen rosszul használja ki a rendelkezésre álló átviteli sebességet. (Létezik olyan változata is, amikor az adások nem kezdhetők véletlenszerűen, hanem csak a  $P$  időtartamok kezdetén, ez a *réselt (slotted) ALOHA*. Ekkor a kapacitás maximális kihasználhatósága az előbbinek a kétszerese, ugyanolyan adási eredményességgel.) A felajánlott forgalom növelésével, mindkét változatra jellemzően, az átvitt forgalom meredeken csökken. Nem egy jó hatásfokú rendszer, viszont bizonyos esetekben, például ha egyes állomások kívül esnek egymás vételkörzetén és csak a központtal tudnak forgalmazni, más nem is használható.

A fenti protokoll fejlettebb változatában, ami persze szintén elsősorban egy kábelre felfűzött résztvevők esetén előnyös, az adni szándékozó állomások figyelik a vonalon történő forgalmat és ha az foglalt, várnak, amíg a vonal szabadná nem válik. Az adást, feltételezve, hogy egyszerre esetleg több állomás is szeretne üzenetet küldeni, csak a vonal felszabadulását követően egy véletlenszerűen választott, de legalább a vonalon érvényes leghosszabb terjedési időnyi várakozás után kezdik meg, az ütközés valószínűségét csökkentendő. A terjedési idők véges hosszúsága miatt, így is megtörténhet, hogy másik állomás is elkezd adni, amit észlelve, mindkét adó visszalép és az előzőtől eltérő idejű várakozás után próbálkozik ismét. Így nagy valószínűséggel elkerülhető az ismételt ütközés. Az üzemmód elnevezése: *adásfigyelő többszörös hozzáférés ütközés detekcióval* (carrier-sense multiple access with collision detection, CSMA/CD). Hatékonysága messze felülmúlja az



ALOHA protokollét és a vonal kihasználhatósága megközelíti az egyet, különösen rövid terjedési idő, azaz rövid vonalra felfűzött állomások esetén.

A CSMA/CD változata a *token-busz* (szívesen fordítanánk a token-t *stafétabotnak*). A token a vonalon terjedő, állomásról-állomásra továbbított jelegyüttes, aminek a birtoklása jogosítja fel az egyes állomásokat adásra. Minden állomás addig vár az adás megkezdésével, amíg a token hozzá nem érkezik. Értelemszerűen, a token addig helyben marad, amíg az adás tart és akkor továbbítódik a sorban következő állomáshoz, amikor az adás befejeződött. Kis forgalmú hálózatok esetén a CSMA/CD jobb eredményt ad, míg a vonal teljes kapacitását megközelítő forgalom esetén a token használata megakadályozza, hogy egyes állomások túl hosszú időre kizáródhassanak a forgalomból.

### 4.5.3. Gyűrűs hálózatok

A véletlenszerűen forgalmazó állomásokból hálózatok, a busz-struktúra mellett, a 4.8. ábra szerinti gyűrűs elrendezésben is kialakíthatók.

A gyűrűre csatlakozó állomások szokásos elnevezése: csomópont (node). A jel csomóponttól-csomópontra terjed, minden node veszi a beérkező jelet, majd, esetleg módosítással továbbadja a következőnek. A gyűrű *aktív*, ami azt jelenti, hogy akkor is van a vonalon jel, ha nincs forgalmazás – szemben a passzív busz-struktúrával. Az összes forgalom itt sem haladhatja meg a vonal maximális kapacitását. Ismert változatai: a *réselt* (slotted) és a *token* gyűrű.

Réselt gyűrű esetében a vonalon egy adatblokk kering, amelyben helyet foglal a célállomás (és a feladó) címe, valamint – a rendszerint csomagokra bontott – információ. Ha a címzett veszi az üzenetet, ennek megtörténtét egy megfelelő bit átállításával jelzi, ami, ha visszaérkezik a feladóhoz, az üresnek nyilvánítja a blokkot. Így annak információs mezejébe a *következő* állomás behelyezheti az ő üzenetét (azért nem az előzőleg adó, mert így az a többi csomópontot kizárhatná a forgalmazásból).

Hogy ne kelljen minden sorrakövetkező állomásra időt fordítani akkor is, ha azoknak nincs mondanivalójuk, kifejlesztették a token forgalmazó gyűrűt, amelyben mindig az a csomópont kezdheti el az adást, amelynél a token jelképező bitminta tartózkodik. Különböző megoldások terjedtek el, amelyek különböznek a token kezelésében és az üzenetek csatlakoztatásának a mikéntjében, de ennek tárgyalása már nem a jeltovábbítás, de sokkal inkább a számítógép hálózatok szervezésének a tárgykörébe tartozik.

!



## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Pap László: A hírközlő csatornák fizikai védelme, szórt spektrumú eljárások. Híradástechnika XLVI. Évfolyam.3. 2–9. 1995 március.
- [2] Izsák Miklós (főszerk.): Távközléstechnikai Kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1979.
- [3] Dr. Házman István: A digitális átviteltechnika alapjai. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatósága. Budapest, 1995.
- [4] Vígh Sándor (szerk.): SDH alapismeretek. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatóság. Budapest.
- [5] Flood, J. E.: Telecommunications Switching, Traffic and Networks. Prentice Hall. London. 1995
- [6] Atkins, J. – Norris, M.: Total Area Networking. John Wiley & Sons. Chichester,.1995.
- [7] Tanenbaum, A. S.: Számítógép hálózatok. (ford.) Novotrade Kiadó Kft. – Prentice Hall Int. Ltd. 1992.



## 5. KAPCSOLÓK

### 5.1. A kapcsolástechnika alapjai

#### 5.1.1. Az összeköttetés felépítése



Az előző fejezetben azzal foglalkoztunk, hogy milyen szervezésben lehet az átviteli utat, pontosabban annak *szakaszait* kialakítani, azaz a jelet az egyik helyről a másikra átvinni. Az összeköttetések kialakítása azonban nagyon ritkán jelenti egyszerűen két pont közötti kapcsolat létrehozását. A forgalmazásban nagy, esetleg igen nagy számú felhasználó időnkénti összekapcsolására van látszólag véletlenszerűen szükség. Nem lehet megtenni, hogy a hálózatot valamennyi pont között állandó jelleggel kiépítjük, mert ennek egyrészt a kihasználtsága igen rossz, másrészt az ára elképzelhetetlenül magas lenne.

A hálózatban elhelyezett, forgalomszervezési feladatokat ellátó berendezések közül a *kapcsolók* azok, amelyek lehetővé teszik a forgalmazásban résztvevő felhasználók tényleges összekötését. A kapcsolók működése határozza meg a hálózat teljesítőképességét, és köröttük csoportosul számos szervezési és üzemeltetési feladatot ellátó kiegészítő berendezés és tevékenység, ami a berendezések összességét *hálózattá* teszi. Az átviteli csomópontok további elemeinek a beillesztése is mindig kapcsoló funkciót ellátó elemekkel történik.

Kapcsoló alatt hajlamosak vagyunk kizárólag áramkörkapcsolást végző eszközre gondolni. Ez azonban nincs így, az üzenetkapcsolt hálózatok csomópontjaiban helyet foglaló elemek is azonos feladatot látnak el. Sőt, amint azt a következőkben megkísérlünk végigvezetni, a legkorszerűbb digitális áramkörkapcsolt központok szinte minden feladatot képesek majdnem tökéletesen ellátni. Továbbfejlesztésük, elsősorban kapcsolási kapacitásukat illetően, megállt. A jövő nagy információ-átviteli igényét kielégítő, mai szemmel nézve szinte határtalan kapcsolási kapacitással azok az üzenet- (vagy cella-) kapcsolt központok rendelkeznek, amelyek fejlődése a közeljövő nagy ígérete.

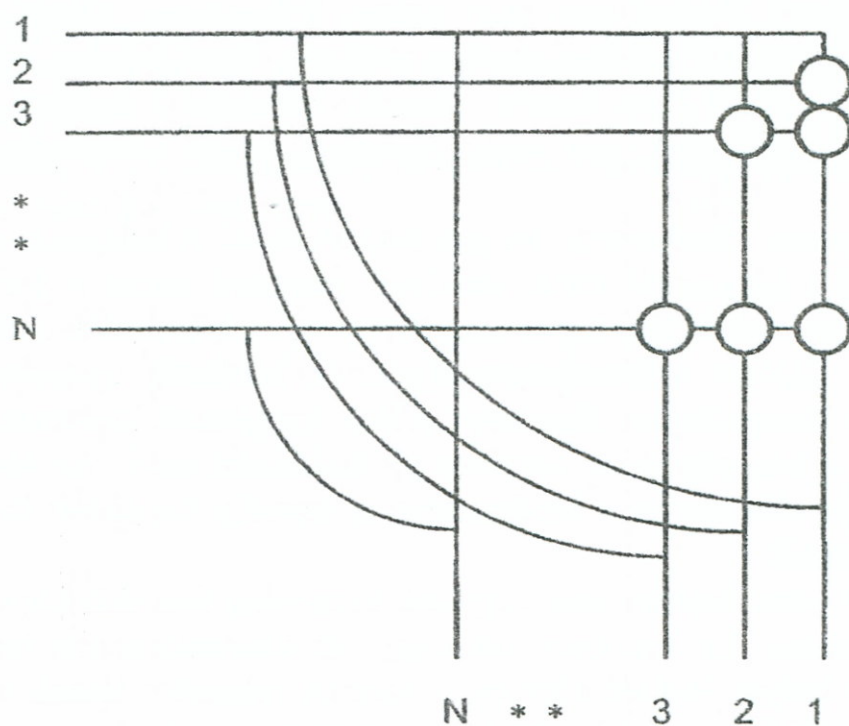
#### 5.1.2. Mátrix az áramkörök összekapcsolásához



Áramkörök bontható, a forgalom mindenkori igényének megfelelően átrendezhető összekapcsolására, természetszerűleg adódik, az 5.1. ábrán látható módszer. Minden előfizetőtől egy-egy vonal (vezeték) érkezik a központ egy-egy vízszintesen és egy-egy függőlegesen elrendezett, egymást



metsző sínére. Az összekapcsolásuk a sínek találkozási pontjain készített furatokba dugott vezető csappal történhetik. Ez a kapcsoló mátrix igen primitív, de feladatát tökéletesen ellátja. Az olvasó egyszerűen belátja, hogy tulajdonképpen csak részleges kiépítésére van szükség: felesleges az egyik főátló és az ennek egyik oldalán elhelyezkedő fél mátrix pontjainak a kiépítése, hiszen önmagával senkit sincs értelme összekötni és az összekötött előfizetők sorrendi megkülönböztetése is felesleges:  $N$  számú előfizető  $N(N-1)/2$  kapcsolási pont felhasználásával tetszőlegesen összekapcsolható.



5.1. ábra. Mátrix  $N$  előfizető összekapcsolására

A fenti megoldás csak elvinek tekinthető. Nem beszélve arról, hogy a szükséges kapcsoló pontok száma  $N$  növekedésével négyzetes arányban, elviselhetetlen mértékben nő. Elképzelhetetlen, hogy valamennyi előfizetőt egy pontba lehetne a kapcsolat végrehajtása céljából összehozni, azaz nincs mód a helyileg csoportosult, a többihez képest egymás között viszonylag többet forgalmazó előfizetők leegyszerűsített összekötésére. Nincs lehetőség a tényleges forgalmat az előfizetők *megelégedettségét* nem befolyásoló kis veszteséggel lebonyolító, de olcsóbb kapcsoló egységek kialakítására sem. Végül, a fenti fél-mátrixos kiépítés sem elegendő a négyhuzalos rendszerekben, amikor is mindkét irányban egyidejűleg, de külön-külön kell az összeköttetést kialakítani.



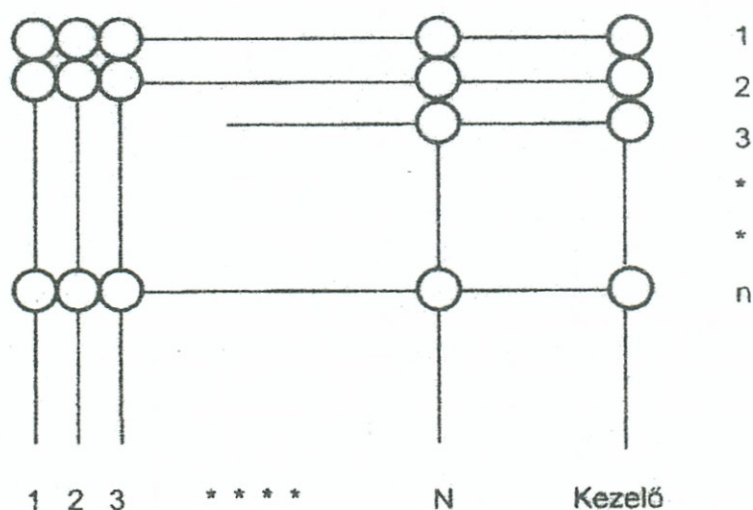


### 5.1.3. A kézi kapcsolású központ

Az egy központból kiinduló hozzáférési hálózathoz csatlakozó előfizetők (a kialakulás időpontjában ez az egy központból kiinduló előfizetői vezetéseket jelentette) közötti összeköttetések létrehozására az 5.1. ábrán bemutatott *direkt* kapcsolástól eltérően az ú.n. *link* kapcsolású szerelvényeket alkalmazták. A link fordítása itt: *összekötő áramkör* (5.2. ábra), amelyből annyit építettek fel, amennyit az  $N$  számú előfizető forgalmának ellátására elegendőnek tartottak. Az összekötő áramkörök számát  $n$ -nel jelölve, most  $N \cdot n$  számú kapcsolási pontot kell építeni.  $N$  növekedésével  $n$  ugyan nő, de korántsem arányosan, a tervezéskor dönthető el, hogy az előfizetői csoporton belül egyidejűleg hány összeköttetés létesítését tesszük lehetővé.

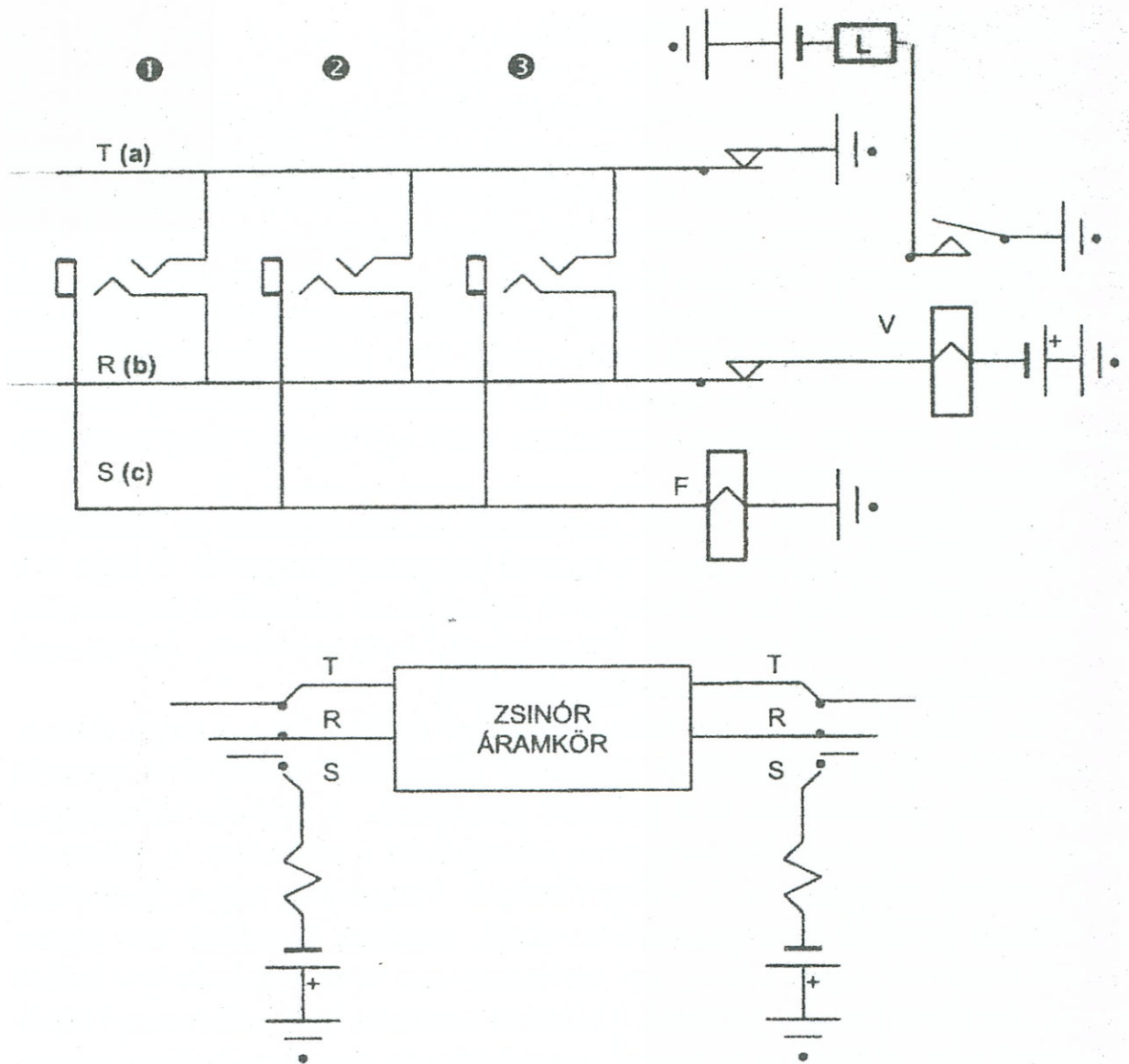
Az előfizetőkön kívül a kezelő (operátor) is csatlakozhat az összekötő áramkörökhöz mind a hívóval, mind a hívottal kapcsolatot tartandó. Ő látja el a forgalom (ami itt kizárólag beszédforgalmat jelent) lebonyolításával kapcsolatos összes teendőt, ami az összeköttetés felépítésének, felügyeletének, *bontásának* és *bizonylatolásának* a teljes körű elvégzését jelenti.

Az 5.2. ábrán bemutatott elv felhasználásával épültek fel a sok-sok évtizeden keresztül, még az automatizált kapcsolás időszakába is átnyúlva használt kézi kapcsolású, pontosabban kézi kezelésű központok. A fejlődés részleteinek az elhagyásával, egy megoldást kiragadva, mutatjuk be a működést. A választott központ vázlatos felépítése az 5.3. ábrán látható. Viszonylag nagyszámú (több száz) előfizető egyidejű kiszolgálására tervezték, amelyek forgalmát már egyetlen kezelő nem volt képes ellátni, így párhuzamosan több munkahelyet kellett létesíteni. (Az ábrán hármát jelöltünk.) Minden munkahelyen valamennyi előfizető elérhető volt. A központba érkező vezetékük egy-egy dugaljzatban végződött, amelyek párhuzamosan kapcsolódva minden munkahelyen megjelentek. Az aljzatok bemenetét gyűrű képezte, amelyek közösen jelfogón (F) keresztül földelődtek.



5.2. ábra. Előfizetők összekapcsolása összekötő áramkör felhasználásával





5.3. ábra. Kézi kapcsolású távbeszélő központ vázlatos felépítése

Az összekötő vezetékek szerepét a *zsinóráramkörök* vették át, amelyekből kezelőként a megfelelő mennyiség állt rendelkezésre. Ezek mindkét vége dugaszban végződött. A dugaljak sorokba és oszlopokba rendezve a kezelő előtt függőleges felületen helyezkedtek el, míg a zsinóráramkörök dugaszai előtte egy vízszintes asztalkán sorakoztak páronként. (Maga az áramkör az asztal alatt volt és csak a zsinórvégződések voltak abból kihúzhatók, hogy a csatlakoztatás után is csak a minimális mértékben foglaljanak helyet a kapcsoló mező előtt.) A kezelő a beszélőkészletét bármely zsinóráramkörhöz mindkét irányban a nyugalmi helyzetben lévő dugaszpárok előtt elhelyezett kapcsoló segítségével tudta csatlakoztatni. A táplálás központi telepről történt, amely energiát szolgáltatott a központba beépített jelfogók és a hívási szándékot jelző lámpák működtetéséhez és áramot adott az előfizetői vezetékre, feltéve, hogy az előfizető kézibeszélőjének *felemelésével*



(off-hook) zárta az áramkört. A vonalon folyó egyenáram volt az előfizető egyetlen jelzésadási lehetősége a központ felé. A központ csengetéssel adhatott jelzést az előfizető irányába. A csengetőjel generátor (közös egységként valamennyi előfizető számára) a zsinóráramkörökhöz további kapcsoló kulcs közbeiktatásával, az ábrán nem feltüntetett módon csatlakozott.

Ha az ábra kapcsán végigkövetjük a hívások lebonyolításának a menetét, megismerhetjük a kapcsolt (nyilvános) távbeszélő hálózat üzemi protokollját. Az első mozzanat az, hogy a hívó előfizető letett (on hook) helyzetből felemeli a kézibeszélőjét, ezzel zárja az előfizetői hurkot, aminek hatására a  $V$  jelfogó meghúz és működésbe hozza az előfizető jelentkezését jelző lámpát. Az éppen szabad kezelő ezt észreveszi és az egyik szabad zsinóráramkörének egyik dugaszát az előfizetőnek az ő munkaterületén telepített dugaljába helyezi.

Ezzel az eddigi táplálási mód megváltozik. A  $V$  jelfogó elenged és a hívási szándékot jelző lámpa kialszik. A továbbiakban az előfizető táplálása a zsinóráramkörön keresztül, az ábrán nem feltüntetett módon történik. Ugyanakkor az  $F$  jelfogó ellenállásán eső feszültség megjelenik a gyűrűn.

A dugasz csatlakoztatása után a kezelő beszédkapcsolatot létesít a hívás céljának a megtudakolására. Ez lehet bármilyen speciális érdeklődés, de most tegyük fel, hogy hívási szándék. Ilyenkor a kezelő számára kulcsinformáció a *hívott* előfizető személye, neve (ha már volt, hívószáma), aminek ismeretében a kezelő az összeköttetés felépítésébe kezd. Megkeresi a keresett előfizető dugalját és csatlakoztatja a már használt zsinóráramkör másik végét. Első mozzanatként hozzáérinti a dugasz hegyét a dugalj gyűrűjéhez. Ha azon feszültség van, akkor kattánó hangot fog a hallgatójában hallani. Ezt a műveletet *tikkelésnek* nevezik és ezzel *foglaltságvizsgálatot* végez. A feszültség jelenléte a gyűrűn azt jelenti, hogy másik munkahelyen már valaki csatlakozott az előfizetőhöz, azaz az előfizető foglalt.

Feltéve, hogy a keresett előfizető szabad, azt a kezelő felcsengeti és informálja az őt hívó hívási szándékáról. Ha a keresettnek nincs ellenvetése, a kezelő visszaszól a hívónak: vonalban a keresett személy, és a kapcsolatból kilépve a partnereket a zsinóráramkörön keresztül összekapcsolja.

Ennél az egyszerű elrendezésnél semmi nem jelzi a kezelőnek a beszélgetés végét, ezért az kénytelen időnként belépni az összeköttetésbe és megtudakolni vagy behallgatással megállapítani, hogy még beszélnek-e. Ha már nem, kihúzza a zsinóráramkör mindkét végét a beszélők dugaszából és a hívás befejeződött.

Példánkban feltételeztük, hogy a hívó és a hívott ugyanazon kezelőhöz csatlakozik. Belátható, hogy egy kezelő pultján legfeljebb néhány száz előfizető dugalja helyezhető el. Ha egy központ területén ennél több van, azok csak elkülönített csoportot képezhetnek, más kezelőkkel. Ilyenkor, ha a hívott másik csoportba tartozik, szükség van a csoportokat összekötő áramkör-



ökre, amelyek felhasználásával a kezelők *átkérhetik* a keresettet. Maga a művelet akár szóban: átkiabálással is megtörténhet, de már nem működik a módszer, ha a keresett másik központhoz csatlakozik. Az összekötő áramkör ekkor tranzit áramkörre módosul, amit gyakran *trönknek* neveznek, az angol trunk szó megfelelőjeként. Az átkérés ezeken a tranzit áramkörökön felépített hívások segítségével történhet, esetleg több központon keresztül. A *táv-hívás* részletezésével itt nem foglalkozunk.

A kezelő segítségével lebonyolított beszélgetés kapcsán számos olyan fogalommal ismerkedtünk meg, amelyek egyrészt a távbeszélő szolgáltatás központi fontosságú jellemzői, másrészt, részben és megfelelően értelmezve, egyéb hálózatok szolgáltatási jellemzőiként is központi fontosságúak. Ezek közül a fontosabbakat a következőkben megvizsgáljuk:

- **Táplálás központi telepről.** Nemcsak lehetőséget teremt a vonalárammal történő jelzésre, de a szolgáltatást függetleníti egyéb (például az erősáramú hálózat) szolgáltatásoktól. A távbeszélő *alapszolgáltatás*, amelynek minden egyéb központi szolgáltatás hiányában is működnie kell.
- **Jelzés hurokzárással, illetve felcsengetéssel.** Kétirányú, bár egyszerű jelzéscsatorna van az előfizető és a központ között. Az intelligensebb jelzésváltás a kezelő és az előfizető között szóban történik, de már a beszédcsatornában. Hasonló a központok közötti jelzésváltás felépítése is.
- **Több kiszolgáló.** A hívások fogadására több, párhuzamos egyidejű kiszolgáló áll a rendelkezésre. Ezek egyenértékűnek tekinthetők.
- **Foglaltságvizsgálat.** A fogalom egyértelmű. Fellép viszont a lehetősége, foglaltság esetén, a *várakozásnak*, továbbá esetleg a folyó beszélgetésbe való belépésnek is.
- **Torlódás.** Ha elfogynak a zsinóráramkörök, további beszélgetés nem építhető fel. Ha elfogynak a szabad átkérők, a másik csoport felé is jelentkezik ez a korlátozás.
- **Számlázás, bizonylatolás.** A kezelő minden információval rendelkezik a lebonyolított beszélgetésről. Ezek alapján tetszőleges kimutatás (beszélő jegy) készíthető.
- **Titkosság.** Tulajdonképpen nincs biztosítva, hiszen a kezelő bármikor belehallgathat a beszélgetésbe.
- **Szolgáltatási osztályozás (class of service, CoS).** A kezelőnek módjában áll bármely kérést teljesíteni vagy megtagadni. Így pél-



dául az előfizetők, indokolt esetben, csak bizonyos típusú összeköttetést (például vészhívás) létesíthetnek.

- **Közös vezérlés.** A kiszolgáló személyzet, felkészültségének és képzésének megfelelően a hívás bonyolításának minden mozzanatát elvégzi.
- **Lekérdezés (scanning).** A kiszolgáló időnként, de rendszeresen ellenőrzi a hívásjelző lámpákat, behallgatással folyamatosan felügyeli a kapcsolat fennállását.
- **Tárolt program vezérlés.** A kezelő személyzet alaptudását képezi mindaz, amit eddig megbeszéltünk, de bármikor felkészíthetők további, bonyolultabb szolgáltatási funkciók ellátására.
- **Közös csatornás jelzés.** Az átkérésekkel kapcsolatos minden információ olyan jelzőcsatornán továbbítódik, ami közös valamennyi előfizetőre.

#### 5.1.4. Kapcsolási funkciók



Az egyszerű kézikézelésű központ működése kapcsán megismertük a távbeszélésre jellemző áramkörkapcsolás kapcsoló egységének a funkcióit. Ezek nagyon hasonlatosak bármely kapcsolat létesítésénél, bármely egyéb szolgáltatás esetében. Ezért még egyszer felsoroljuk ezeket:

- hívásfigyelés
- információvétel
- információ feldolgozása
- szolgáltatás osztályozása
- foglaltságvizsgálat
- felcsengetés
- összekapcsolás (hívóval, hívottal, egymással)
- felügyelet [időtartam-mérés, hívó és hívott (A és B szám) azonosítás]
- bontás
- információküldés a hívott felet csatlakoztató központ irányába.

Az összeköttetés kialakításához műszaki természetű kérdések kezelésén kívül adminisztratív tevékenység, mint például

- számlázás
- is kapcsolódik.



## 5.2. Automatizált kapcsolás



### 5.2.1. Többfokozatú kapcsolás

A kézikézelésű központoknál az előfizetői csoport méretét az egy operátor elé rendezhető dugaljak száma határozta meg. Az átkérés megoldásának az igénye alapvetően ugyanúgy jelentkezett, akár egy szomszédos csoportból kellett választani, akár igen távoli előfizetővel kellett az összeköttetést létrehozni.

A kapcsolás automatizálása felvetette a csoportok célszerű méretének a kérdését. Ez legegyszerűbb megfogalmazásban úgy jelentkezett, hogy egy-egy központ tápterületén belül az előfizetők száma megnőtt, túlhaladva az egy egységben kezelhető határt. Megvalósíthatatlan méretet öltött (volna) az 5.1. ábra szerinti egyfokozatú kapcsoló.

A megoldást a többfokozatú kapcsolás jelentette. Az automatizálás eredményeként az előfizetők kapcsoló gépekhez csatlakoztak, amelyek lényegileg kapcsoló mátrixokként viselkedve a hívó előfizető vonalát a hívott irányába igyekeztek továbbkapcsolni. Ha egyetlen mátrixra nem lehet valamennyi előfizetőt csatlakoztatni, akkor csak több fokozatban lehet a tetszőleges előfizetővel való kapcsolatot kiépíteni. A többfokozatú kapcsolás így természetesnek tűnik.

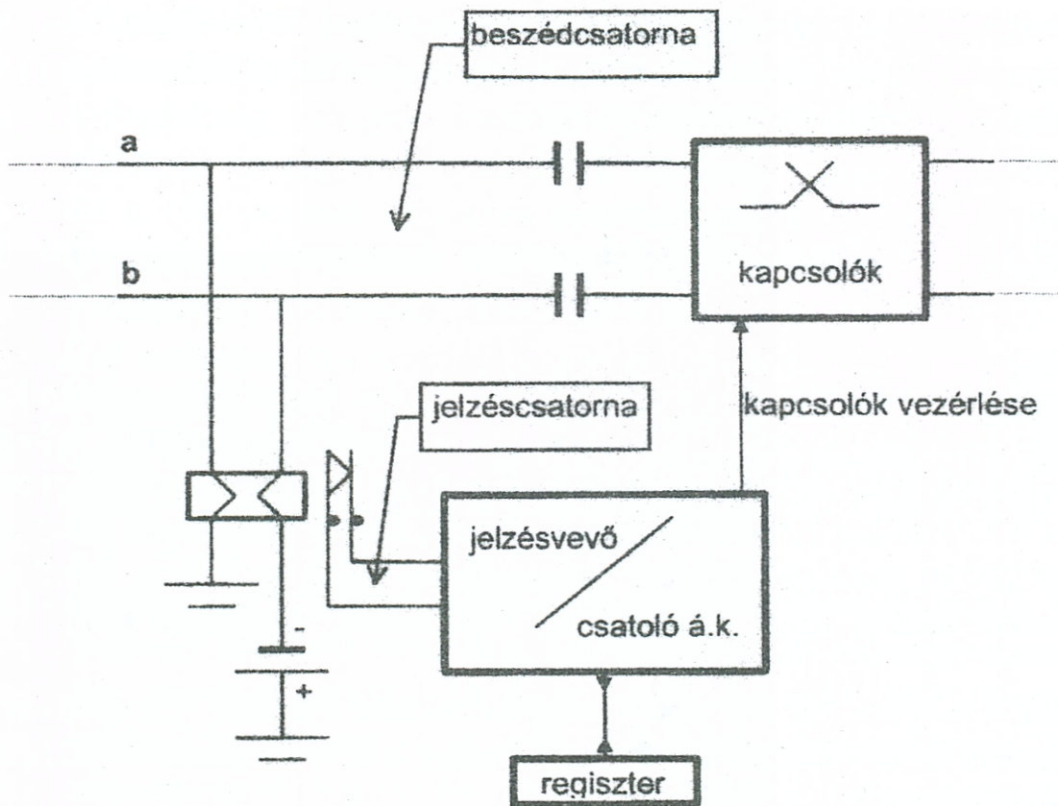
Egymást követő fokozatok segítségével egyszerűen megvalósítható a koncentráció, ami azt jelenti, hogy kevesebb kapcsolót lehet alkalmazni, mint ami egyidőben lehetővé tenné valamennyi előfizető számára a forgalmazást. Mivel a hívások gyakorisága és egyidejűleg fennálló száma statisztikus eloszlást mutat, megfelelő mértékű koncentráció nem rontja észrevehetően a szolgáltatás minőségét.



### 5.2.2. Kapcsolók vezérlése

A kapcsolók működésének és felépítésének az ismertetését megelőzően érdemes néhány általános megjegyzést tenni a kapcsolók vezérlésével kapcsolatosan. Ne felejtsük el, hogy a kapcsolók hosszú ideig elektromechanikusak voltak és a kapcsolás rendszertechnikája ezekhez illeszkedően alakult ki. A hívó előfizető is csak a hurokáram megszaggatásával tudta a keresett hívószámot a központ felé továbbítani. Az így szállított energia pedig nem elegendő a mechanikai kapcsolók közvetlen működtetésére.





5.4. ábra. Előfizető csatlakoztatása automata kapcsoló központhoz

Az előfizetői csatoló szerelvényt (5.4. ábra) alkalmazzák a jel- és a jelzésfunkciók szétválasztására. Ez a részáramkör *minden* előfizető sajátja. A kapcsolókat vezérlő jelek előállítása és a kapcsolók vezérlése viszont olyan funkció, amelyre csak a hívás felépítésének a fázisában van szükség, az összeköttetés további fázisaiban felesleges e berendezéseket lefoglalva tartani. Célszerűen úgy kell az elrendezést kialakítani, hogy csak a hívás felépítésének az időtartamára legyenek lefoglalva, majd feladatukat elvégezve kapcsolódjanak le és szolgáljanak ki további hívásokat.

A hívás felépítésének a folyamatában, az előfizető hívási szándékának jelzését követően *keresési* folyamat játszódik le, amelynek eredményeként a fenti jelzésvevő/csatoló áramkörök közül egy az előfizetői szerelvényekhez kapcsolódik a kapcsolók beállításának, pontosabban a hívott előfizető felé a csengetőjel kiadásának a pillanatáig.

A csatoló áramkör alapvetően kétféle módon működhet. A *direkt választási rendszerben* az előfizetőtől érkező, a hívott (*B*) számot tartalmazó tárcsaimpulzusok – jelerősítő jellegű jelfogós áttételen keresztül ugyan, de az érkezéssel azonos időben – közvetlenül működtetik (léptetik) az egyes kapcsoló fokozatokat (amelyek sorba kapcsolódó száma követi a betárcsázott számjegyek számát). A másik, általánosabban használt rendszer külön áramkört, az ún. *regisztert* tartalmaz. Ebben a rendszerben a választás két, esetleg időben részben átlapolódó fázisban történik: a hívószám a regiszter-



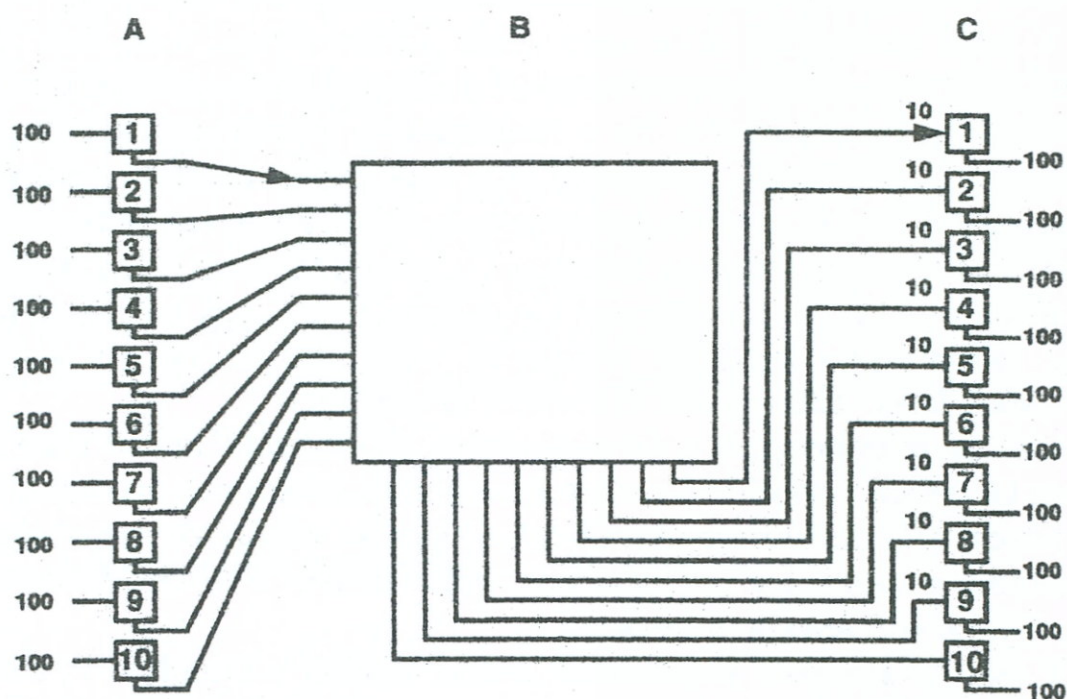
ben tárolódik, és a regiszter vezérli a kapcsolókat. Erre akkor van szükség, ha a kapcsoló felépítése viszonylag bonyolult, illetve fokozatainak száma nem azonos a hívószám számjegyeivel.



### 5.2.3. Többfokozatú szukcesszív kapcsolás, kapcsolás forgógéppel

Az 5.5. ábrán háromfokozatú kapcsoló elvi felépítését mutatjuk be, az egyszerűség kedvéért ezer előfizetőre. Az előfizetők kéthuzalú jellegű összekapcsolását mutatjuk be. A hívó előfizető az A fokozat bemeneteire, míg a hívott a C fokozat kimeneteire csatlakozik. Mivel bármelyik lehet akár hívó, akár hívott, minden előfizető megtalálható mind az A-hoz, mind a C-hez csatlakozók között, tehát a megfelelő végződések valójában közösítve vannak.

Más a helyzet, ha a központ négyhuzalosan kapcsol. Ez esetben A-hoz csatlakoznak az előfizetők mind a hívó, mind a hívott, kimeneti jelei, míg C-hez a bemenetek.



5.5. ábra. Három fokozatú szukcesszív kapcsoló felépítése

A kapcsoló három fokozatából kettő, az A és a C felépítése azonos, mindegyik tartalmaz 10-10 darab, egyenként 100 sorból és 10 oszlopból ki-képzett mátrixot, amelyek alkalmasak a 100 bemenet bármelyikének a 10 kimenet bármelyikére való kapcsolására. A kapcsoló pontokban, ha a csatla-



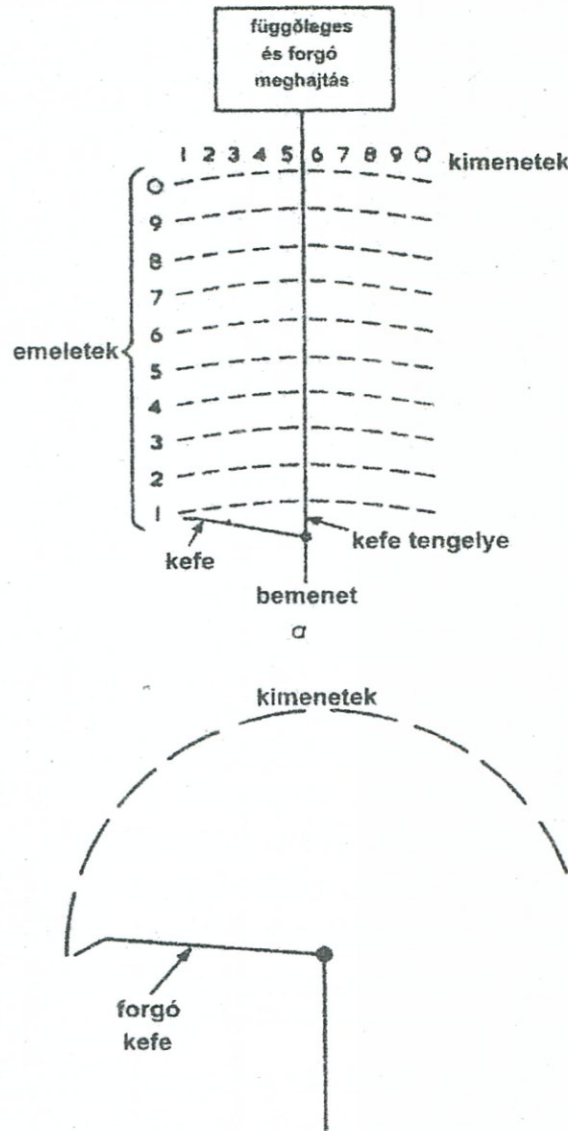
kozó vezetékeket sodort érpárnak tekintjük, legalább két, a valóságban ennél több kontaktuspár foglal helyet (gondoljunk például az 5.3. ábra kapcsán megismert foglaltság vizsgáló vezetékre, hogy egyéb belső feladatot ellátó vezetékekről ne tegyünk említést!). Egy-egy ilyen kapcsoló, ha az előfizetőket a 100 vezeték egyikére csatlakoztatjuk, a 100 előfizető számára 10 továbbmenő vezetéket biztosít, tehát 100 közül egyidejűleg legfeljebb 10 beszélhet (összesen, mind hívó és hívott együttesen!), azaz a koncentráció mértéke 10-szeres. (Ha a jelen eszközkészlet birtokában ezzel nem elégednénk meg, például megkétszerezhetnénk a megengedhető forgalmat egy további, azonos felépítésű kapcsoló párhuzamos alkalmazásával, ezzel – és egyéb lehetőségek ismertetésével – most nem foglalkozunk.)

Az egyszerűség kedvéért, választott elrendezésünk középső, **B** fokozata a csatlakozó 100-100 vezetékre egy teljes kiépítésű négyzetes mátrixot mutat be, amelyik például 10 darab eddig használt 100\*10-es felépítésű kapcsolóból készíthető el. A teljes kapcsoló tehát összesen 30 darab 100\*10 keresztponthoz tartozó kapcsolót, összesen 30.000 keresztpontot tartalmazva kiszolgál 1000 előfizetőt. Ha a kapcsolást egy fokozatban végeznénk, 499.500 keresztpontra lenne szükségünk. Igaz, hogy akkor mind az 1000 előfizető egyszerre is beszélhetne. Hogy kielégíti-e az igényüket a fenti módon koncentrált forgalom-lebonyolítási képesség, ezt most részleteiben nem vizsgáljuk.

Vizsgáljuk meg, hogyan épül fel a kapcsolat a fenti esetben! Ha valamelyik **A** előfizető kapcsolatot kíván létesíteni bármelyik, a **C** kapcsolóra bekötöttel, választ az őt csatlakoztató **A** kapcsoló továbbmenő 10 vezetéke közül egyet, amelyiket abban az időpontban más nem használ és ezzel bejut a **B** kapcsoló egyik szintjére. Itt találni kell egy szabad vezetéket a keresett előfizető **C** kapcsolójára menő 10 közül. Ha ezt is talált, a kapcsolat létrejöttét már csak az akadályozhatja meg, ha a keresett előfizető éppen foglalt. Vegyük észre, hogy az összeköttetés felépítése fokozatról-fokozatra menve elvégezhető, a kapcsolat létrejöttének mindig az a feltétele, hogy a *továbbmenő* vezetékek közül találjunk szabadot. A hívás felépítése tehát minden fokozatban elakadhat. És mivel ilyenkor nincs 'visszaút', az elakadt hívás eredménytelenül elvész. A kapcsoló vezérlése egyszerű, de vesztesége viszonylag nagy.

Vegyük észre, hogy ez a kapcsoló egyszerű forgó kapcsológépekből is felépíthető! Két megközelítést mutatunk be, igen vázlatosan, mivel ezek kerültek általánosabb alkalmazásra. Az első a nagyvilágban, a második, többek között, hazánkban.





5.6. ábra. Strowger-féle, két irányban léptethető kapcsoló vázlatos felépítése [2]



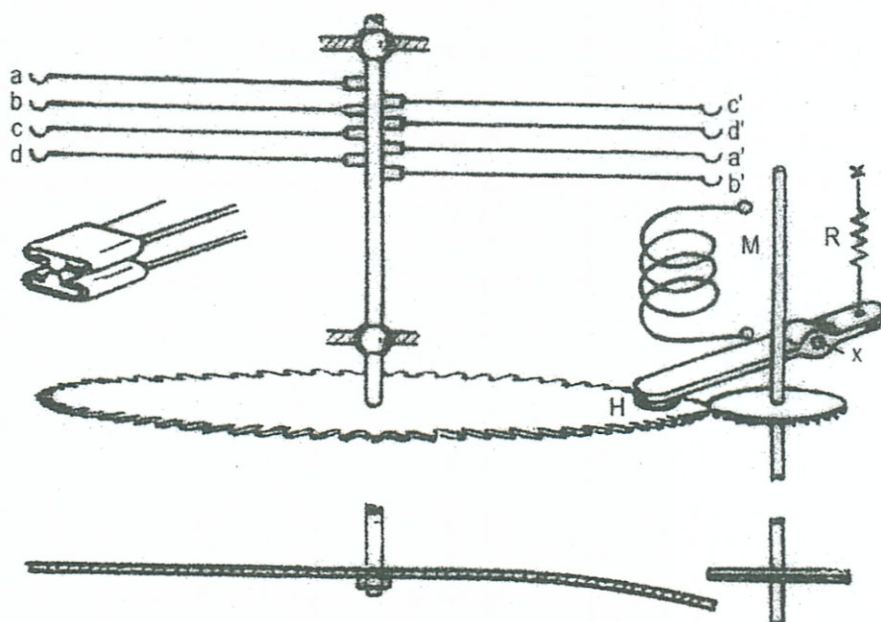
**Strowger megoldásában** [1] [2] az A fokozatban használt 100\*10-es mátrix 100 darab olyan kapcsolóból épül fel, amelyek mindegyike egy-egy előfizető számára biztosítja a továbbmenő áramköröket. A kapcsoló (uniselector) forgó keféire csatlakozik az előfizetőtől jövő vezetékpár (és további a foglaltság vizsgálathoz, stb.), a kapcsoló ívpontjai, amelyekkel forgás közben a továbbmenő vezetésekre történik a csatlakozás, a 100 kapcsolóra közösítve vannak (5.6. ábra). A B és a C fokozatok 10 emeletre tagolt választó típusú kapcsolókból épülnek, amelyek minden emeletén 10 ívpont található. Egy ilyen kapcsoló az A-ból jövő egy vezetéknek a B kapcsolási feladatát látja el. A 10 emelet mindegyike egy C csoport felé menő irányt határoz meg, ezen belül az egy emeleten lévő 10 ívponton történő szabad kereséssel az éppen szabad áramkör kereshető meg. (A gép egyébként úgy működik, hogy az emeletekre tárcsaimpulzusokkal ugratható fel, az emeleten szabad keresést végez. Ha talál szabad ívpontot megáll, ha nem, továbbfo-



rog, majd visszaesik alaphelyzetbe.) A gépnek az ilyen működését *csoportválasztás*nak nevezzük. A C pozícióban működő választógépnek mind a 100 ívpontjára különböző előfizető van csatlakoztatva, amelyek közül két számjegy felhasználásával először a tízes csoportnak megfelelő emelet, majd azon belül a másik számjegynek megfelelő számú lépkedés után az egyéni előfizető található meg. Ez a működésmód a tényleges *választás*.

A fenti kapcsoló A és B fokozata közé beiktatva az 5.4. ábrán megismert csatoló áramkört, egy teljes, jelen esetben maximum 1000 előfizető egymás közötti forgalmának lebonyolítására alkalmas központhoz jutunk. További központokhoz csatlakoztatott előfizetők úgy érhetők el, hogy például egyes kimeneti csatlakozásokat, vagy azok csoportját a másik központba átmenő áramkörökkel helyettesítjük. Hasonló a más központokból jövő forgalom csatlakoztatása is, ehhez a B kapcsoló bemenetére kell az átjövő vezetéseket bekötni, s.í.t. A központok tényleges felépítésének és üzemeltetésének kérdéseit azonban itt nem tárgyaljuk. Célunk kizárólag a kapcsolási elvek bemutatása.

A **rotary géppel** történő kapcsolás, bár alapvetően szukcesszív, azaz fokozatonkénti kapcsolást tesz lehetővé, több vonatkozásban eltér az előzőtől. Azzal, hogy a gépek forgatását nem bízza a – bár jelfogós áttételezéssel megerősített – tárcsaimpulzusra, látszólag megbízhatóbb működést eredményez. Itt a forgatáshoz szükséges energiát villamos géppel forgatott tengely biztosítja, amelyhez tengelykapcsolóval csatlakozik a mozgó érintkező-köteg (5.7. ábra). A megtett elfordulást az ívpontokkal szinkronban mozgó impulzusadó kimenő jeleinek a leszámlálása érzékeli és a forgás megállítása ennek a számnak a regiszterben tárolt számmal való összehasonlítása alapján történik. [3] (Az ilyen típusú léptetést *revertív* impulzus-számlálásnak nevezik.)



5.7. ábra. Rotary (forgó) kapcsoló vázlatos felépítése [3]



A rotary típusú keresőgép (A-fokozat), jelen példánkban 100 (a valószínűségben 200) ívponttal rendelkezik, minden ívpontra egy-egy előfizető van kötve. A továbbmenő áramkörök számát az határozza meg, hogy hány ilyen gépet kötünk párhuzamosan. Minden egyes gép leszedő keféi képezik a fokozatból továbbmenő áramköröket. A csatoló áramkör, ami ennél a központ típusnál is az A fokozat kimenetén foglal helyet most szükségképpen regiszttert tartalmaz, mivel a rotary választógépek revertív impulzálással működnek, közvetlenül a tárcsaimpulzusok ütemében nem léptethetők. A választógépek működése egyébként nagyon hasonló a Strowger központnál megismerthez, egyetlen érdemi különbség, hogy a gépek egy síkban, de nem 10, hanem több száz kimeneti ponttal rendelkeznek. A kimeneteken csoportok képezhetők, amelyek különböző továbbmenő irányok kiválasztására alkalmasak, de egyedi előfizetők is elhelyezhetők rajtuk. A központ típusunkban széles körű elterjedtségnek örvendett, a ma fiataljait már csak történelmi érdekességként érdekelheti.

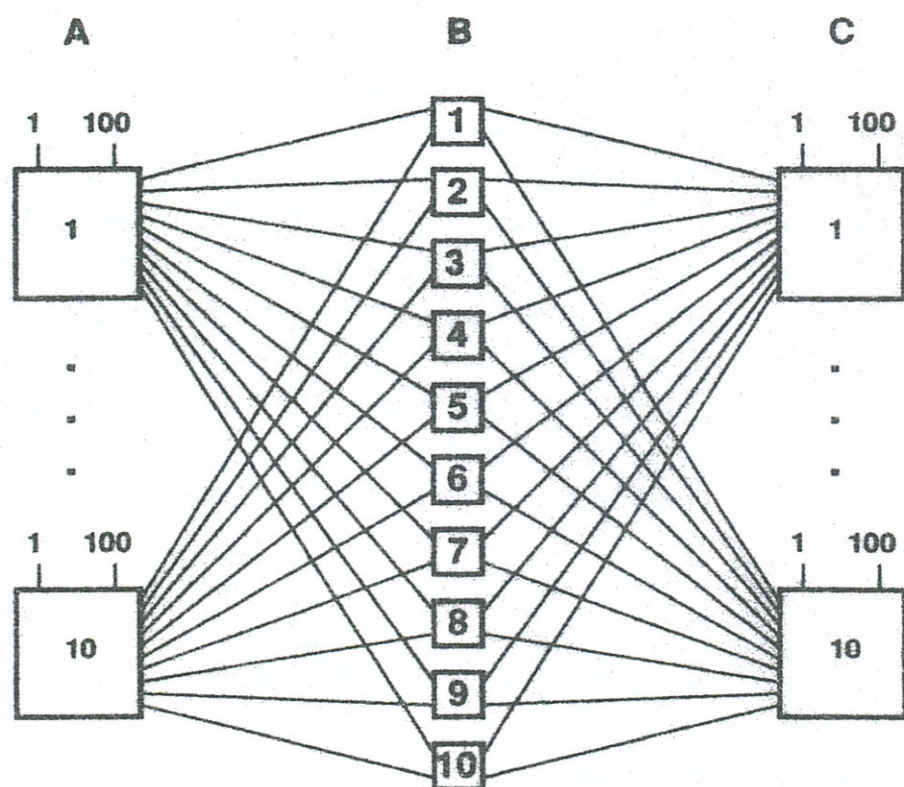


#### 5.2.4. Többfokozatú link kapcsolás, mátrixkapcsolók

Az előző alfejezetben ismertetett, közvetlen útválasztással működő kapcsoló, amely tehát a mindenkori következő fokozatot úgy éri el, hogy egy rendelkezésre álló irányba indulva, kereséssel azon az útvonalon szabad továbbmenő áramkört választ, nem az egyetlen lehetséges megoldás. Többfokozatú kapcsoló mátrixokból az 5.8. ábra szerint is felépíthető. Példaképpen itt is 1000 előfizetőt választottunk, amelyek 10 csoportba sorolva most is  $100 \times 10$ -es mátrixokhoz csatlakoznak. A csoportonként továbbmenő 10 áramkör azonban most egyenként, tehát összesen 10 darab B kapcsolóra van szétosztva. A B kapcsoló mérete  $10 \times 10$  keresztpont. A kimenetek egyenként egy-egy C kapcsolóra vannak bekötve, ez utóbbiak mérete változatlanul  $100 \times 10$  pont.

A kapcsoló a B fokozat egy-egy mátrixának a felhasználásával összekötő áramkört (linket) hoz létre az előfizetők között. Innen az elnevezése. Üzeme az ún. *feltételes útválasztáson* alapul: minden egyes C csoportra a B kapcsolókból csak egy út vezet, és ha ezt már valamelyik A csoportból egy előfizető használja, másik A csoportból ebbe az irányba nem található szabad út. A B kapcsoló kiválasztásának a feltétele az, hogy azt a kívánt irányba más ne használja.





5.8. ábra. Háromfokozatú link kapcsoló felépítése

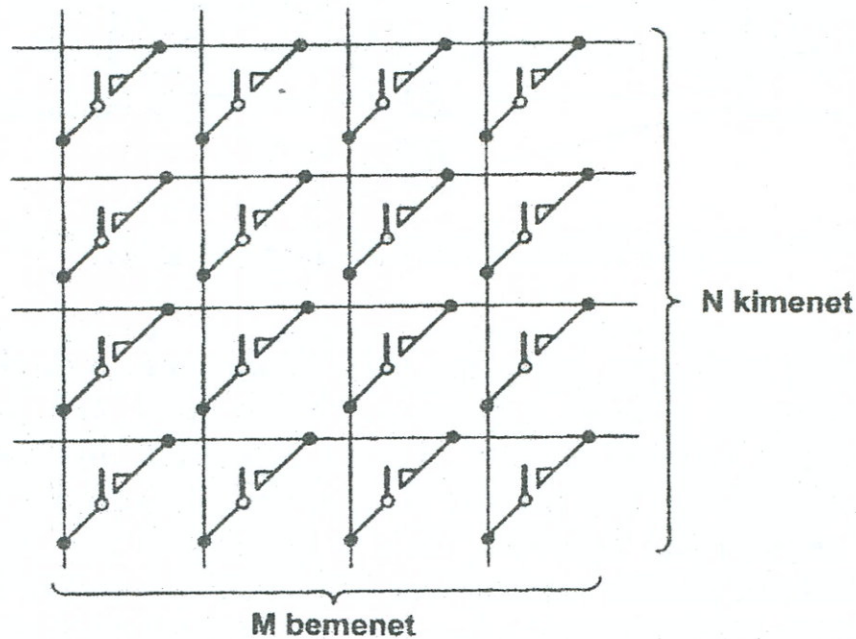
A kapcsolót tehát nem lehet úgy működtetni, mint a direkt változatot, fokozatról-fokozatra haladva kapcsolni, hanem *előre kell tudni*, melyik fokozatból tudunk előbbre haladni. Azaz a kapcsolók mindenkori állapotát, foglaltságát nyilván kell tartani. A nyilvántartás alapján szabad útvonalat kell a memóriából *kijelölni*, majd a kapcsolást *egy lépésben* elvégezni. A kapcsolók mellett szükség van központi memóriára és vezérlőre, amelyik a kapcsolók állapotának ismeretében kiválasztja a kívánt irányba mutató szabad útvonalat és vezérlő jelet biztosít a kiválasztott kapcsolók működtetéséhez. Ennek a regiszter mellett megjelenő további egységnek az elnevezése: *marker*.

A vezérlő áramkörök ilyen csoportosítása előre vetíti a kapcsolóknak központi processzor által való vezérlésének a szükségességét. Mindenesetre, az elektromechanikai mátrixkapcsolókkal felépített központok vezérlő szervei nem szükségképpen voltak elektronikusak, bár fejlődésük arra felé mutatott. Ha pedig elektronikai processzor vezérli a kapcsolókat, már csak egy lépés a processzort szabadon programozhatóvá tenni. A program szabad variálása a szolgáltatások bővíthetőségét eredményezi, és ezzel eljutunk a *tárolt program vezérelt* (stored program controlled, SPC) megoldáshoz, ami az elektronikai kapcsoló mezővel rendelkező akár térosztású (analógjelet kapcsoló), akár időosztású (digitálisan kapcsoló) köz-



pontok általános jellemzője lett. Amíg a vezérlő áramkörök nem szabadon programozhatók, a központot *huzalozott program vezéreltnek* nevezzük.

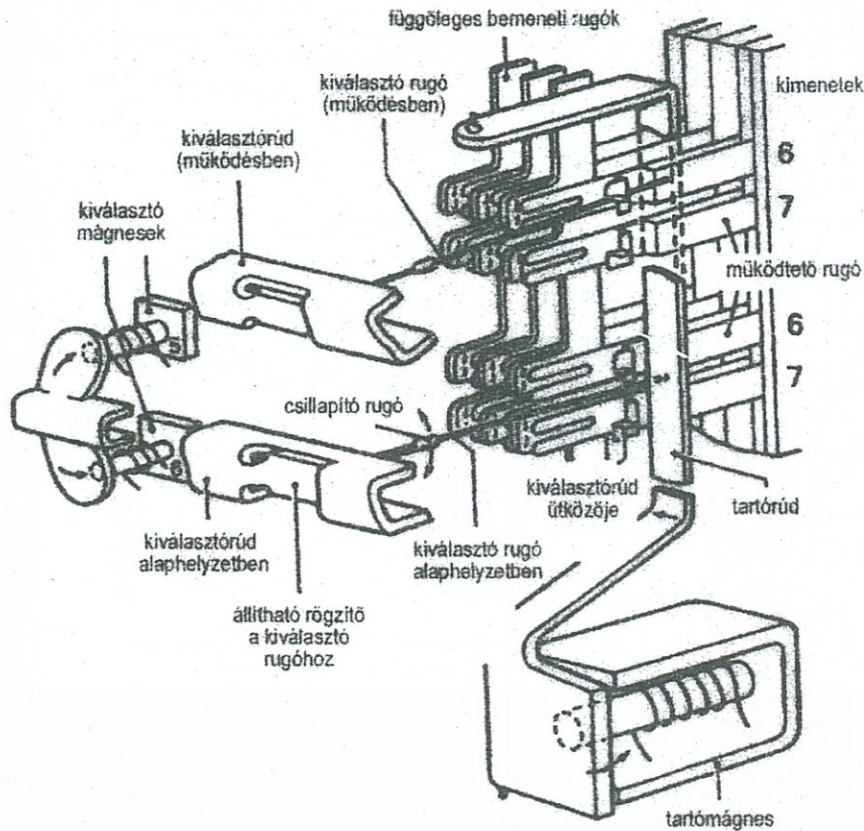
A keresztrudas (crossbar) kapcsoló [4] a mátrixkapcsoló elektromechanikai megvalósítása (5.9. ábra). A sematikus rajzból láthatóan, a horizontális és vertikális 'rudak' keresztpontjaiban érintkezőpár-kötegek helyezkednek el. *Működtetésük* a vertikális rudaknak elektromágnessel való elfordításával történik. Valamennyi egymás fölötti köteg közül, soha nem valamennyi, csak annak az érintkezőpárjai záródnak, amelyiket a vízszintes rudak *kijelölnek* (5.10. ábra). A megvalósított kapcsolókon a sorok száma általában 10, míg az oszlopszám változó, mondjuk 10 és 28 közötti érték. (Nem foglalkozunk a hatodik vízszintes rúd segítségével történő oszlopszám növelési lehetőséggel.)



5.9. ábra. Keresztpontokból felépített mátrix

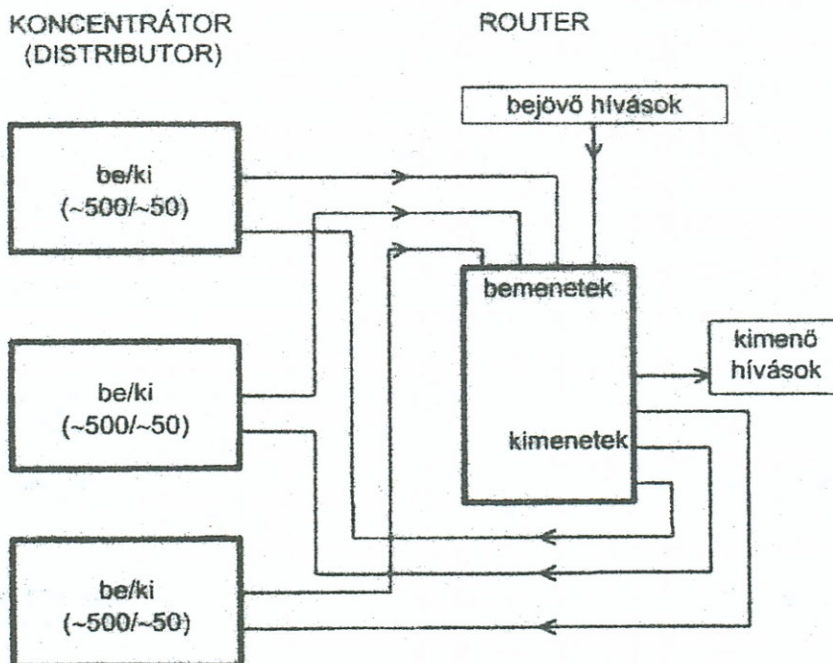
A crossbar gépekkel felépített központ alapvetően kétfajta, önmagában többfokozatú kapcsolókat tartalmazó kapcsoló egység felhasználásával épül fel. A már ismert kiegészítő berendezésekkel együtt az 5.11. ábra mutatja a szokásos tömbvázlatot. Az előfizetőket az elnevezésében is a funkciójára utaló *koncentrátor* fokozathoz csatlakoztatják. Az egység általában kb. 500 bemenettel rendelkezik, a továbbmenő áramkörök száma általában ennek 1/10-edé. Az előbbivel azonos felépítésű expander az 5.2.3. alfejezetben megismert négyhuzalos kapcsolásnál önálló egység, kéthuzalos kapcsolásnál, bár rajzban elkülönül, a valóságban a koncentrátorral azonos.





5.10. ábra. Crossbar (kereszttrudas) kapcsoló egy keresztpontjának a felépítése

A másik kapcsoló egység a központi elhelyezkedésű *router*. Ennél a koncentráció mértéke általában kisebb, esetleg nincs is. Feladata az egyes előfizetői csoportoktól és az egyéb központoktól bejövő forgalomnak a (bejövővel azonos) kimenő csoportok, illetve a további központok felé menő továbbítása.



5.11. ábra. Crossbar központ vázlatos felépítése



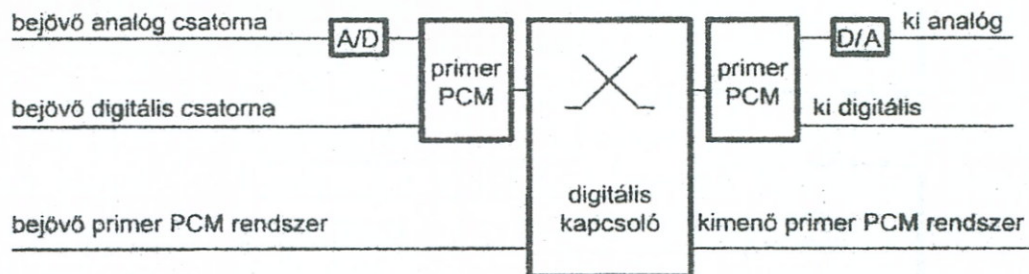
Térosztású elektronikai központok kialakításába, amelyek az analóg jelet mechanikai mozgó alkatrészek felhasználása nélkül kapcsolják, egy időben sok energiát fektettek. A probléma abban van, hogy nincs a mechanikai kontaktusnak potenciálisan független jellegét megtartó, nagy ki- és bekapcsolt állapot közötti ellenállásviszonyt biztosító elektronikai kapcsoló elem. Tirisztorral, triakkal, kisebb központoknál CMOS kapcsolóval próbálták kialakítani, nem átütő sikerrel. Egy időben, egyébként igen fejlett elektronikai/számítástechnikai felkészültséggel bíró központokban reed-relét alkalmaztak mátrixkapcsoló elemként, azonban széles körben ez sem terjedt el. Egyebekben ezek a központok nagyon hasonlítottak a korszerű elektronikai felépítésű crossbar típusokhoz.

### 5.3. Időosztású (digitális) kapcsolók

#### 5.3.1. PCM jelekre alapozott kapcsolás

Áramkörkapcsolt alkalmazásoknál az átviteli csatornát 64 kbps sebességű digitális jel reprezentálja. Ezt a jelet vagy az analóg jelből a digitális kapcsolóra történő rávezetést közvetlen megelőzően a központban állítják elő, vagy már így érkezik, az előfizetőtől vagy másik központból (5.12. ábra). Maga a kapcsoló a 64 kbps sebességű jelfolyam átvezetését végzi a hívónak és a hívottnak megfeleltetett csatlakozási pontok között. A kapcsoló, természetesen, mindig négyhuzalosan működik és célszerűen egyidőben teremt mindkét irányban átviteli kapcsolatot a két végpont be- és kimenetei között. [5]

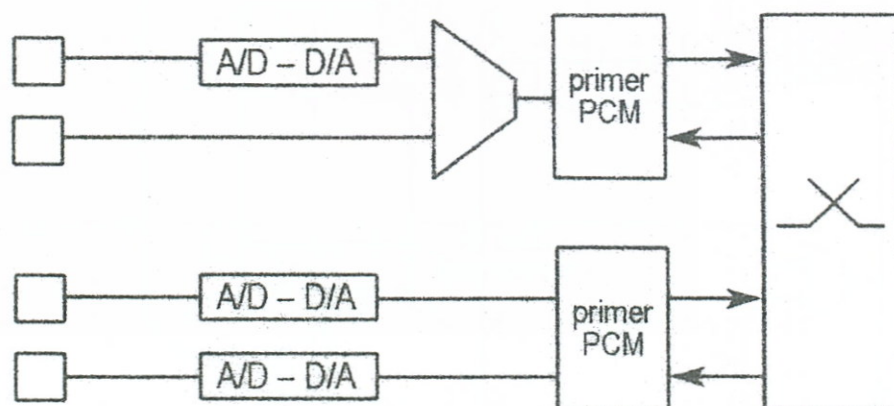
A működés szervezését illetően, többféle megoldás jöhetne számításba. Mivel a legtöbb esetben primer PCM rendszerbe rendezett jelsorozat áll a rendelkezésre – vagy ilyen lehet az átvitel során a kimenetről továbbvezetni, – a tényleges kapcsolókat világszerte egységes szabvány szerint primer PCM rendszerek alapulvételével fejlesztették ki. Ez persze egyúttal azt is jelenti, hogy nem elegendő egy bemeneti rendszer és a keresett kimeneti rendszer között a kapcsolást létrehozni, gondoskodni kell arról is, hogy az összekapcsolt csatornák időben találkozzanak, mivel a kapcsolt jelek a PCM kereten belül általában nem azonos időrésekben helyezkednek el.



5.12. ábra. A (szinkron) digitális kapcsoló 30/32 csatornás primer PCM rendszerbe rendezett 64 kb/s sebességű csatornákat kapcsol át



A tényleges digitális kapcsolók tehát egyrészt kapcsolatot létesítenek a hívót, illetve a hívottat tartalmazó primer PCM rendszer között, másrészt elvégzik a kereteken belül a megfelelő időrések kiválasztását is. Mivel az időrés-áttevés problémáját amúgy is meg kellett oldani, az időrés-áttevő kapcsolót akkor is alkalmazzák – a többfokozatú kapcsolás egy fokozataként – amikor erre nem is lenne szükség (azaz az összekapcsolandó csatornák azonos időrést foglalnak el a kereten belül).



5.13. ábra. A kapcsolóra vezetett primer PCM rendszerek csatornáihoz az előfizetők vagy koncentrátoron keresztül, vagy állandó jelleggel csatlakoznak

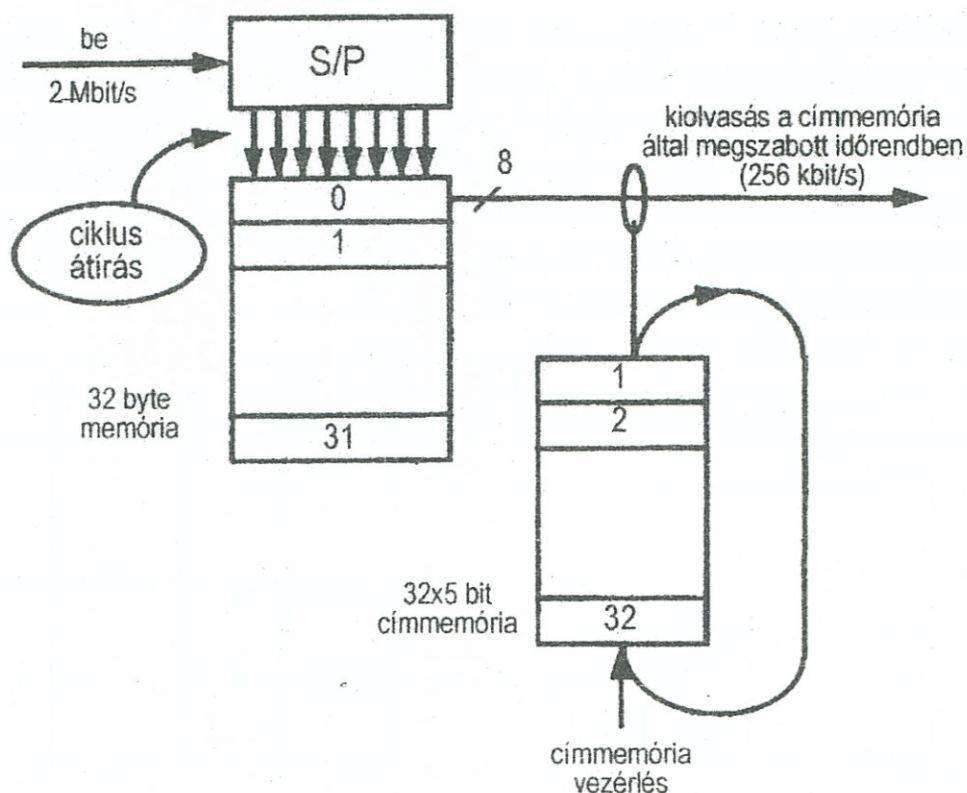
A 64 kb/s sebességű csatornákat multiplex rendszerbe helyező berendezések tekinthetők a legegyszerűbb digitális kapcsolónak. 30 csatornát helyez a keret 30 időrésebe a (primer PCM) multiplexer. Ha 30-nál nagyobb számú csatornához rendelünk egy ilyen rendszerben – időlegesen – egy-egy időrést, az eszközt *koncentrátornak* nevezzük. Az így kialakított primer PCM jelfolyam kerül azután a tényleges digitális kapcsolóra (5.13. ábra).

### 5.3.2. Az időrés-áttevő kapcsoló



Primer PCM jelfolyamokon belül a csatornák tartalmának időrések közötti *átrendezését* végzi az *időrés-kapcsoló* (időkapcsoló, T-kapcsoló). Elvi elrendezése az 5.14. ábrán látható. A bejövő primer PCM jelfolyam folyamatosan 1 keretnyi, 32 oktett kapacitású tárolóba kerül, amelynek a tartalma tehát keretidőnként felfrissül. A szinkronszó (és általában a 16-os jelzészcsatorna) kivételével az egyes adatcsatornák jeleit tartalmazó oktettek keretidőnként kiolvasásra kerülnek, de nem a beérkezővel azonos sorrendben. A sorrendnek ez a módosítása jelenti a *kapcsolást*. A kiolvasási sorrendet a szintén 32 szó kapacitású *cím-memória* határozza meg, ami tehát a kapcsoló vezérlését végzi.





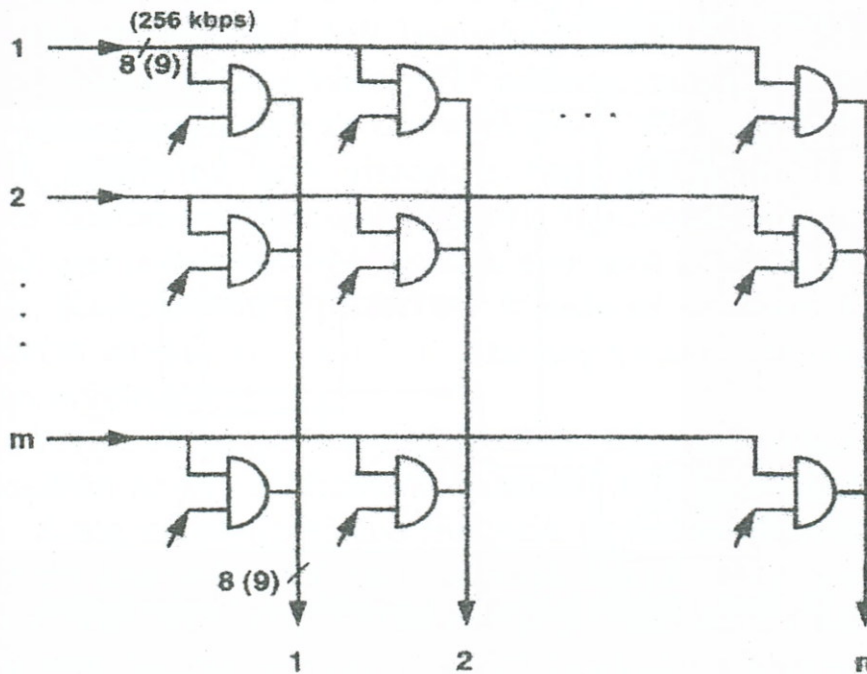
5.14. ábra. Digitális (szinkron) időrés kapcsoló

A kiolvasott jel oktettjeinek bitjei párhuzamos vezetésekre kerülnek, amelyeken tehát a jelsebesség 256 kb/s. A párhuzamosításra a jelsebesség csökkentése céljából van szükség, hogy így majd a következő kapcsoló fokozat sebességét ne kelljen túlzottan megnövelni.

Egy ilyen időkapcsoló tehát egyenértékű egy  $32 \times 32$  keresztpontos mátrixkapcsolóval. Az ezt követő kapcsoló szintén mátrix-elrendezésű és időben többszörös kihasználású, ami azt jelenti, hogy egyetlen (fizikai) bemenetére több (általában 16), a keretidő 32-ed része alatt sorban kiolvasott, egyenként 256 kb/s sebességű időkapcsoló-kimenet kerül párhuzamosan. Van olyan megoldás is, amikor több, például 16 primer PCM rendszer 512 csatornáját olvassák ki keretidőnként egy, természetesen, 512 szót tartalmazó címmemória által meghatározott sorrendben. Az eredmény, azaz a következő kapcsoló fokozatra vezetett jel mindkét megoldásnál azonos, csupán a címzés technikája eltérő (az előbbi esetben két lépésben, míg az utóbbiban egy nagyobb kapacitású tár által vezérelve, egy lépésben történik). A teljes, 16 primer PCM rendszert fogadó időkapcsoló 8 párhuzamos kimeneti vezeték mindegyikén a jelfolyam sebessége 4,096 Mb/s.



### 5.3.3. A térkapcsoló mátrix



5.15. ábra. Digitális (szinkron) térkapcsoló

Az előző alfejezetben ismertetett időkapcsolóból többet négyzetes mátrix felépítésű *térkapcsolóra*, S-kapcsolóra (az angol *space* kezdőbetűje után), mint második fokozatra vezetnek. Ennek felépítése – vezetékenként – a keresztpontokba helyezett kétbemenetű logikai-ÉS kapukból áll (5.15. ábra), amelyek vezérlése, megfelelő kapacitású cimmemóriák által történik úgy, hogy egy-egy keretidő alatt a bejövő (vízszintes) vezetésekre jutó soros 512 bit a megfelelő elrendezésben kerül át a kimenetekre (az ábrán a függőleges vezetésekre).

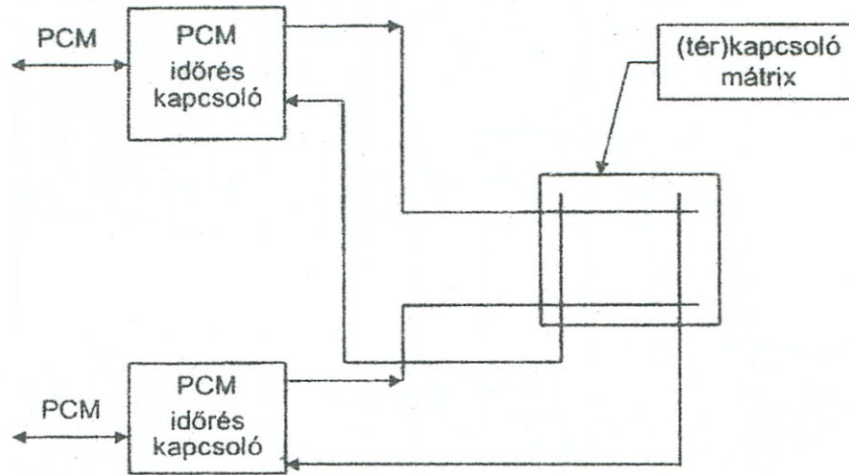
### 5.3.4. A T-S-T kapcsoló felépítése és vezérlése

A legegyszerűbb felépítésű, de hosszú fejlődés eredményeként kialakított és egyre általánosabban alkalmazott teljes digitális kapcsolómező a fentiekben megismert bemeneti időkapcsolóból, négyzetes mátrix felépítésű térkapcsolóból és a bemeneti fokozat tükörképének tekinthető kimeneti időkapcsolóból épül fel (5.16. ábra). A fokozatok között átmenő linkek száma vagy megegyezik a bemeneti (64 kbps sebességű) csatornák számával, vagy csak enyhén kisebb annál. Azaz vagy nincs is a kapcsolón belül koncentráció, vagy a mértéke jelentéktelen. Tehát, ha nem követnek el durva vezérlési hibát, gyakorlatilag valamennyi csatlakozó csatornában egyidejűleg forgal-

!



mazhatnak. (Blokkolásnak nevezik azt a jelenséget, amikor a kapcsoló közbelső fokozatain akad el a hívás felépítése. A fenti, koncentráció-mentes kapcsoló, bár a szigorú definíciónak nem mindenben felel meg, gyakorlatilag blokkolásmentesnek tekinthető.)



5.16. ábra. Digitális (szinkron) kapcsoló T-S-T kialakításban

Az idő-tér-idő (T-S-T) kapcsolókból felépített elrendezés, a digitális technikában természetesnek tekintendő négyhuzalos áramkörkapcsolásnak megfelelően, a jelforrások kimeneteiről a kapcsolt felhasználó bemenetére juttatja el a jelet. A kétirányú kapcsolatot, tehát az áramkörkapcsolás úgy épül fel, hogy valamennyi csatlakozó csatorna megjelenik a bemeneten és valamennyi csatlakozik a kimenetekhez. Minden összeköttetés egyidejűleg kétszer használja a kapcsolót az összeköttetés felépítéséhez. A vezérlő áramkörök kialakításánál ezt figyelembe is veszik és általában bizonyos szimmetria áll fenn a kétirányú csatorna elhelyezkedését illetően.

A digitális kapcsolók méretét, a csatlakoztatható csatornák számát csak részben a digitális áramkörök elérhető működési sebessége határozza meg, jelentős határoló tényező a felépítésből adódó fizikai méret, a csatlakozó kábelek hossza, stb. Az előzőekben említett, 4 MHz körüli kapcsolási sebesség egységesen felső határnak tekinthető, jelentős növelése irányában fejlesztésről sem hallani. Ez a határolás azt jelenti, hogy a térkapcsoló egy szintjére legfeljebb 512 PCM csatornát lehet csatlakoztatni. Az értelemszerűleg négyzetes mátrixot képező térkapcsoló ismert legnagyobb kiépítése 128\*128 keresztpont. Ami azt jelenti, hogy a kapcsoló legfeljebb 65 536 beszédcsatornát tud fogadni.

A fenti szám a maximálisan csatlakoztatható 64 kbps sebességű csatornák számát jelenti és nem az előfizetőkét. Ez utóbbit három tényező módosíthatja.

Mindenekelőtt, nem minden kapcsoló-bemenet osztható ki a felhasználók számára, még akkor sem, ha azok kizárólag egymás közt forgalmazná-



nak. Bizonyos számú és nem is kevés csatornát kell fenntartani az összes többi központhoz csatlakozó előfizetőkkel bonyolított forgalom számára: a bejövő, illetőleg a kimenő trónkok kapacitása levonódik a fenti számból. Hasonlóan, csatlakozó pontokat kell biztosítani a kapcsolás felépítése és felügyelete során váltott jelzése vételére és adására szolgáló berendezések (jelzés-vevők, tájékoztató hangok és szövegek generátorai, stb.) számára.

A másik szempont, ami viszont a fenti maximumnál több előfizető/felhasználó csatlakoztatását engedélyezi, figyelembe veszi, hogy az egy előfizető által igényelt forgalmi kapacitás meg sem közelíti a kapcsoló teljes kihasználását. Kisforgalmú előfizetőket feltétlenül érdemes koncentrátoron keresztül csatlakoztatni, ami akár egy nagyságrendnyi csatlakoztatási kapacitás-bővülést is jelenthet.

Végül a harmadik tényező a digitális kapcsolómező relatív méretének a meghatározásában az egy előfizető/felhasználó által igényelt átviteli kapacitás mértéke. Amíg az előfizető megelégszik egyetlen beszédátviteli csatornával, a digitális kapcsolómező igen nagynak látszik. Még nem változnak az arányok akkor sem, ha – ISDN alapsebességű csatlakozás esetén – egy helyett két csatornát használ egyidejűleg. Ott kezdődik a kapcsolómező méretének a (relatív) csökkenése, amikor a felhasználó kapacitás-igénye nőni kezd: megközelíti, eléri, meghaladja a primer PCM 2048 kb/s sebességét. Gondoljuk meg, a nagynak tekintett kapcsoló ekkor összetöporodik, mindössze maximum 2048 primer PCM fér el a bemenetein! Jelenleg itt ér véget az időosztásos szinkron kapcsolók teljesítőképessége.

## 5.4. Aszinkron kapcsolók

### 5.4.1. Statisztikai multiplexálás

Az üzenet (csomag-, kerettovábbító, cella-) kapcsolásos hálózatokban alkalmazott kapcsolók üzeme *aszinkron*, olyan értelemben, hogy a kapcsolandó információ elemei nem előre meghatározott időpillanatokban, azaz nem valós időben (real time) továbbítódnak. Tényleges átvitel az egyes csatornáknak csak akkor van, amikor üzenetet kell átvinni és a tényleges átvitel ütemezése látszólag véletlenszerű. Ezért van az, hogy az üzenetet (vagy elemét) nem lehet – teljes vagy csak átmenetileg a virtuálisan felépült áramkörre érvényes – cím nélkül sem fogadni, sem a megfelelő irányba továbbítani. [6]

A kapcsoló az üzenet beérkezése előtt nem tudja a továbbmenő irányt kijelölni, hiszen a cím csak az üzenet fejrészében jelenik meg. Egyszerre több irányból érkezik bemeneti jel: akár közvetlenül (a forrás jellegű) felhasználóktól, akár a már multiplexált jellegű jelfolyamokat továbbító előző

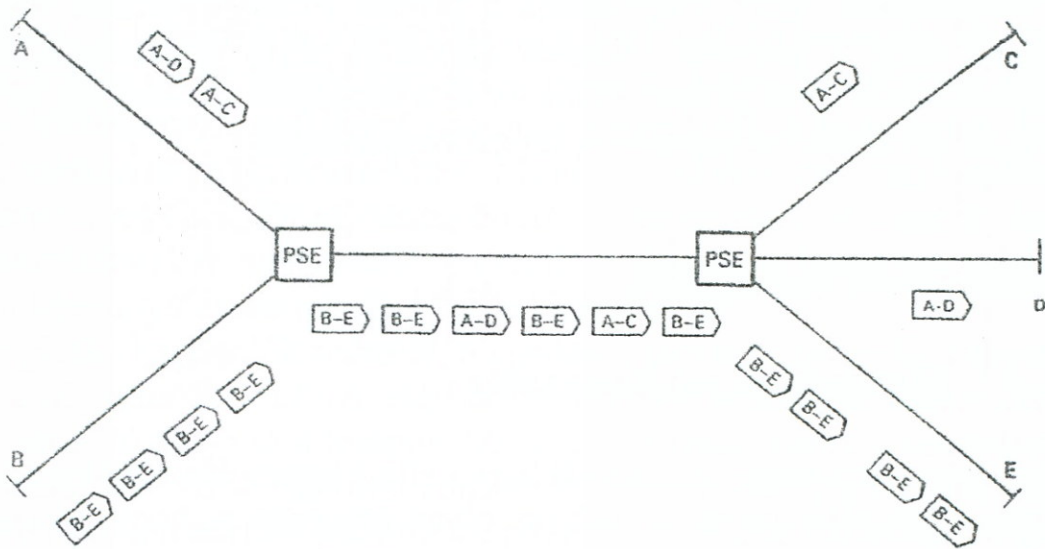
!



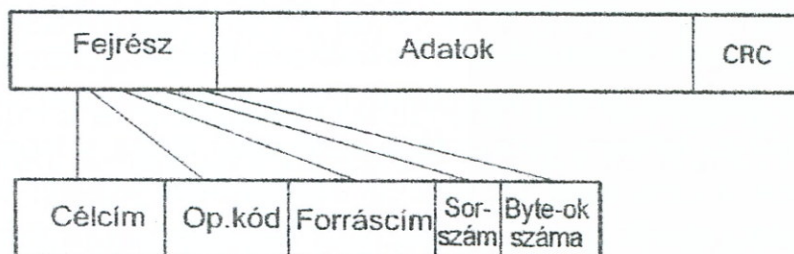
kapcsolóról. Általában több irányba kell a jelet továbbvezetni és a kimeneti jelfolyamok is multiplexáltak. Végül, a címzett (nyelő jellegű) felhasználókat csatlakoztató kapcsoló irányonként szétosztja, demultiplexálja a jelet.

A multiplexálás mindig *statisztikai* jellegű, a továbbított üzenetek több bejövő irányból érkeznek a kapcsolóra és – általában – beérkezési sorrendjüknek megfelelően a – teljes vagy csak az összeköttetés idejére érvényes részleges – címük alapján történik a továbbvezetési irányuk kiválasztása.

Időben folytonosan általában nem a teljes üzenet kerül továbbításra, hogy egyetlen felhasználó soha ne foglalhassa le hosszú időre az átviteli csatornát, kizárva ezzel a többieket a forgalomból. Az egyik megoldás szerint az üzenetet *csomagokra* bontják. A különböző irányokból érkező csomagok multiplexálását *egyetlen közös* átviteli útra történő a 4.3. ábra kapcsán megismertük. A *kapcsolás* ettől annyiban tér el, hogy ilyenkor a továbbmenő irányok száma egynél nagyobb: a különböző irányokból (statisztikusan, véletlenszerű gyakorisággal és rendeltetéssel) érkező csomagokat több irányba kell továbbítani. A kapcsoló vázlatos elrendezése az 5.17. ábrán látható. Az átvitelre kerülő üzenet-részek szerkezetét a 4.3. ábra kapcsán megismertük, az 5.18. ábra az ott megismert szerkezetet eleveníti fel, az 5.17. ábra szerinti kapcsoló működési elvének megértését megkönnyítendő.



5.17. ábra. Statisztikai multiplexálás csomagok szállítására



5.18. ábra. A csomagok jellegzetes felépítése



Az 5.17. ábra szerinti kapcsoló jellemzője, hogy veszteség nélkül bonyolítja le a forgalmat. Az egyes bemenetekre érkező csomagok – a kimeneti irányok átviteli kapacitása, mint határolás által meghatározott mértékig – veszteség nélkül továbbításra kerülnek, legfeljebb csak *késleltetést* szenvednek: átvitelre addig kell várakozniuk, amíg az adott kimeneti irányba az előző csomag, átvitele be nem fejeződik.

Az ilyen rendszerekben a szolgáltatás minőségének (QoS) jellemzésére nem a veszteség relatív értékét használják, hanem inkább az *átlagos késleltetést*, pontosabban ennek az átlagos üzenethosszhoz viszonyított értékét. Mielőtt erre értéket számolnánk ki, próbáljuk megismerni a statisztikai multiplexer további előnyös tulajdonságát, nevezetesen azt, hogy az áramkörkapcsolt rendszerhez képest több forrás jeleinek a kezelésére és továbbítására alkalmas.

Legyen tehát a multiplex jelfolyamot szállító (egyetlen) kiszolgáló átviteli kapacitása  $k$  b/s, egyetlen forrás pedig generáljon  $m$  b/s sebességű jelfolyamot, amikor aktív! Az egyenértékű szinkron (időosztásos) rendszer ki tud szolgálni  $n=k/m$  felhasználót.

Ha a felhasználók átlagosan az idő  $a$ -ad részében aktívak, és *elfogadható* időtartamú késleltetés mellett egy kiszolgáló  $b < 1$  forgalmat tud lebonyolítani, akkor írható, hogy  $k = n \cdot m \cdot a / b$ , amiből:  $n = (k/m) \cdot (b/a)$ . Vagyis amilyen arányban nagyobb  $b/a$  egyhez képest, olyan mértékben tud több forrást kiszolgálni a statisztikai multiplexer a valós idejű, áramkörkapcsolt változathoz képest.

Az elfogadható tartamú késleltetés mértékét a forgalom természete szabja meg. Maga a késleltetés a következőképpen definiálható: Ha nincs késleltetés, a csomagok átlagosan – az átviteli út futási idő jellegű késleltetésétől eltekintve – a generálásukat követően  $h$  idővel később érkeznek meg, ahol  $h$  a csomagok időbeni átlagos hossza. (Ha egy csomagban átlagosan  $p$  bit van,  $h = p/k$ .) A késleltetéses esetben a csomagok átlagosan  $\tau$  idővel érnek célba a generálásukat követően, ahol  $\tau = \bar{T} + h$ . (Itt  $\bar{T}$  a 6. fejezet végén közzölt átlagos késleltetési idő.) Értékét helyettesítve:

$$\tau = \bar{T} + h = h \cdot \left( \frac{b}{1-b} + 1 \right) = \frac{h}{1-b},$$

vagyis az üzenetek átlagos késése  $1/(1-b)$  arányban nagyobb a késleltetés nélküli esethez képest. Például  $b=0,5$  esetén mindössze kétszer hosszabb időt kell várakozni az üzenetek megérkezéséig. Kisforgalmú felhasználóknál, ahol  $a \ll 1$ , a kiszolgálható felhasználók száma tehát jelentősen nagyobb lehet a veszteséges rendszerhez, illetve a szinkron multiplexált esethez képest.





**Példák:**

**1. példa.** Egy végberendezés a számítógéphez 2,4 kb/s sebességű - kétirányú - átviteli vonallal kapcsolódik. A felhasználó percenként átlagosan egyszer küld 10 byte hosszúságú üzenetet, amire átlagosan 100 byte hosszúságú üzenettel válaszol a számítógép. A jelterjedési idő elhanyagolható. Mekkora idő telik el átlagosan a válasz érkezéséig és mekkora az adatátviteli vonal átlagos foglaltsága?

Az átvitel sebessége  $2400/8=300$  byte másodpercenként. Tehát az átlagos foglaltság a termináltól elfelé:  $10/(60*300)=5,55 \cdot 10^{-4}$ , azaz az idő kb. 0,05%-ában foglalt a vonal. Ellenkező irányban a foglaltság 10-szer nagyobb, azaz  $5,55 \cdot 10^{-3}$ , az átlagosan 10-szer hosszabb üzenetekből adódóan.

A válasz beérkezéséig eltelt idő átlagosan  $(10+100)/300=0,366$  s.

**2. példa.** A kis átlagos foglaltságra való tekintettel az átviteli vonalat megosztják több felhasználó között, statisztikai multiplexer felhasználásával. Ez két byte hosszúságú fejrész alkalmazását igényli. Egyes üzeneteknek majd várakozniuk kell. Mint látni fogjuk (F.III. függelék, illetve 6.3.4.3. példa), ahhoz, hogy az átlagos üzenet-visszaérkezési idő ne nőjön a fenti kétszerezésénél nagyobbra, az átviteli vonal átlagos terhelése nem nőhet 0,5 fölé. Kérdés, hány terminál egyidejű kiszolgálását tudja a vonal biztosítani?

Az üzenetek átlagos hossza némileg megnő, így egy terminál kiszolgálása most  $8(100+2)/2400=0,34$  másodpercet igényel. Ez átlagosan 1 percenként jelentkezik, vagyis egy terminál kiszolgálása  $0,34/60=5,66 \cdot 10^{-3}$  foglaltságot jelent. A kiszolgálható terminálok száma tehát:  $0,5/0,00566=88$ .

**3. példa.** Szinkron multiplex megoldásban minden terminál egy-egy időrést kapna az átviteli rendszerben. (Ekkor a 2 byte-os fejrészre nem lenne szükség, de gondoskodni kellene a jelfolyam szinkronizálásáról, ami jóval kisebb átviteli veszteséget eredményez, ezért elhanyagoljuk.) Kérdés: (a) mekkora átviteli sebességre lenne szükség, ha a fentiek megfelelő 0,34 s alatt várjuk a válasz érkezését, és (b) mekkora idő alatt érkeznek az üzenetek, ha az eredeti 2,4 kb/s átviteli sebességet tartjuk meg és osztjuk fel 88 terminál között?

- (a) A szükséges növelt átviteli sebesség durván a 2,4 kb/s 88-szorosa. A fejrész elhagyásával ez egy kissé módosul,  $88*2,4*100/102 \approx 207$  kb/s értékre.
- (b) A  $2400/88=27,27$  b/s sebességű csatornában a  $8*100=800$  bit átvitelére  $800/27,27=29,3$  másodpercre lenne szükség!





### 5.4.2. Késleltetési átviteli rendszer felépítése

A statisztikai multiplexálást alkalmazó veszteségmentes átviteli rendszer tehát kapcsolókból és átviteli utakból épül fel.

A kapcsoló jelfolyamokat egyesít, irányít, illetve oszt szét, amint azt az 5.17. ábra kapcsán megismertük. Az átviteli út nem sokban különbözik a szinkron multiplexált jelfolyamot szállítótól, az egyetlen hangsúlyozandó jellemző az, hogy, míg a szinkron jelfolyammal az átviteli kapacitás formailag teljesen kitölthető (csupán az egyes csatornák kihasználtsága lehet egészen rossz), a teljesen kihasznált kapacitású, statisztikusan multiplexált forgalmat szállító út késleltetése határtalanul megnőne.

A kapcsolóra csatlakozó be-, illetve kimeneti utak számától függően, különböző pozíciót elfoglaló üzenetek átmeneti tárolására kerülhet sor. A tárolók elhelyezésének optimalizálását nehezíti az is, hogy belső felépítésüket illetően, egyáltalán nem szükségszerű, hogy az üzenetkapcsolók egyfokozatúak legyenek. Így megtörténhet, hogy egy-egy adott belső irányba egyszerre egynél több üzenet is megy. A kapcsolókon – a véletlenszerű igénybevételnek megfelelően – a torlódás természetes jelenség és nem megoldás a torlódó üzenetek visszautasítása, elvesztése, amint az az áramkörkapcsolóknál történik. Az aszinkron kapcsolók szerves tartozékát képező belső tároló elhelyezhető akár a fokozatok bemenetén, akár a kimenetén.

Elvben a táruk szükséges hosszúsága végtelen, ami persze kivitelezhetetlen és nem is szükséges, mivel véges, jól definiált hosszúságú tárukkal és elviselhető késleltetések mellett a továbbmenő vonalak kihasználtsága elfogadható lesz, határfokuk megközelíti az egyet. A táruk számának és elhelyezésének optimalizálása határozza meg a statisztikai multiplexálás elvén működő kapcsoló minőségi jellemzőit, de ezzel itt részleteiben nem foglalkozunk.

### 5.4.3. Kapcsolók aszinkron jelfolyamban



Az üzenetkapcsolók mindenképpen véletlenszerűen érkező és általában előre nem pontosan meghatározott hosszúságú üzeneteket továbbítanak. Üzemeltetésük alapvetően kétféle módon történik. Azokat a kapcsolókat, amelyek csak akkor továbbítanak az átviteli vonalakon jelet, amikor *van* továbbítandó üzenet, aszinkron *üzeműnek* nevezzük. Jellemzőjük, hogy az átvitelben során jelezni kell az üzenet elejét és a végét, ami valamilyen jelsozattal: *zászlóval* történhet. (A tényleges üzenetben meg kell akadályozni a zászló jelsorozatának megjelenését, mert az téves értelmezést okozna!) Az átviteli rendszer  $k$  átviteli kapacitásának megfelelő átviteli sebesség termé-

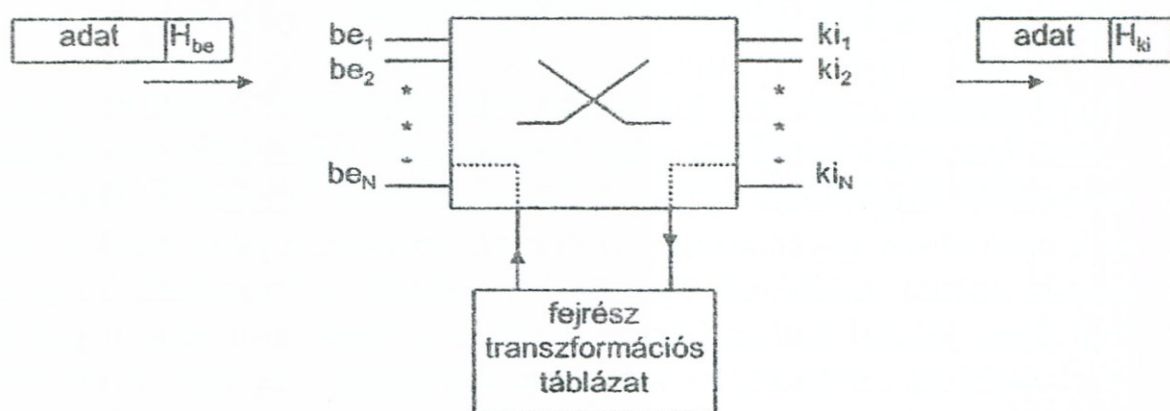


szetesen nem függ az üzenetek hosszától, az egy előre meghatározott érték és mindig állandó.

#### 5.4.4. Kapcsolók szinkron jelfolyamban

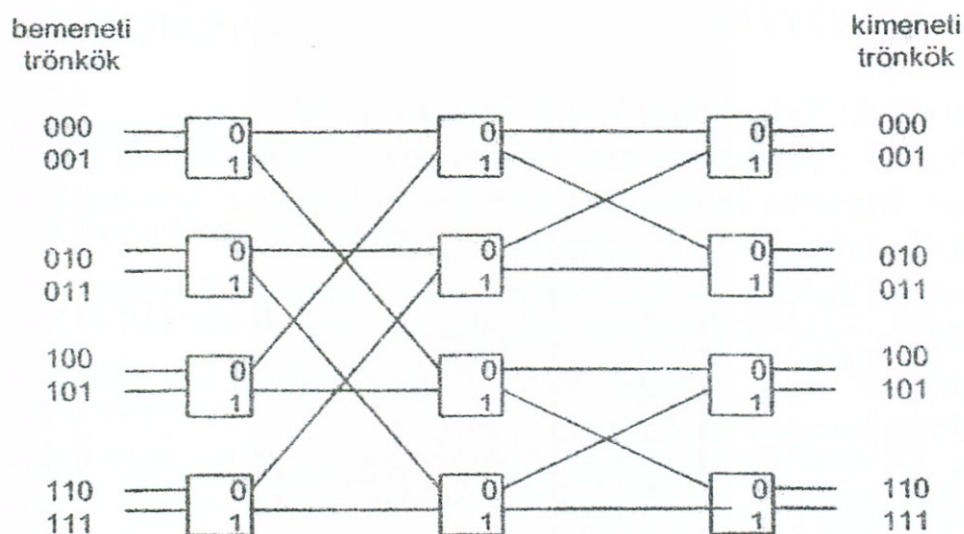
A cellakapcsolást alkalmazó üzenetkapcsolóknál visszatértek a folytonos jeltovábbításhoz, amint az a szinkron (áramkör) kapcsolóknál természetes volt. Az 53 oktett hosszúságú cella – legalábbis, ami a jelenleg ismeretes egyetlen cellakapcsoló rendszert, az *aszinkron transzfer módot* (asynchronous transfer mode, ATM) jellemzi – 5 oktett hosszúságú fejrészének utolsó oktettje szolgál (részben) a jelfolyam szinkronizálására. A tényleges üzenetet a további 48 oktettbe tördelten továbbítja, természetesen statisztikai multiplexeléssel, de a jelfolyam folytonosságát akkor is fenntartják, amikor nincs továbbítandó üzenet: ekkor a cellákat *üresen* továbbítják. Az üres cellák címezése jelzi, hogy csak addig léteznek, amíg a cella átviteli kapacitására nincs szükség.

Ami az aszinkron kapcsoló működési vázlatát illeti, az nem különbözik az 5.17. ábra kapcsán megismerttől. Ugyanakkor az 5.19. ábrán azt mégis bemutatjuk, elsősorban azért, hogy ismételten felhívjuk a figyelmet a csomagkapcsolótól eltérő üzemeltetésre. Az ATM kapcsoló tehát *folyamatosan* továbbítja a cellákat minden kimenő irányba akár van oda irányuló üzenet, akár nincs. A 6.20. ábra az ATM kapcsoló egy lehetséges kiviteli alakját mutatja, [6], például 8 be- és 8 kimenet esetére. A kapcsoló két bemenettel és két kimenettel rendelkező elemekből épül fel. A továbbmenő irányt a kapcsoló mátrix elemei maguk választják ki, a két továbbmenő irány közül a választást a fejrészben helyet foglaló cím egy-egy bitje közvetlenül vezérli. (Amint a jel a szóban forgó elemet elhagyja, a cím 'elhasznált' bitjének már átírva kell továbbmennie, hiszen a kapcsolót követő átviteli szakaszon már ugyanannak az üzenetnek más címe lesz!)



5.19. ábra. Digitális jelfolyam aszinkron kapcsolása





5.20. ábra. Háromfokozatú ATM kapcsoló

A kapcsoló elemek legalább két bemenettel (és a fenti irányítási módnak megfelelően két kimenettel) rendelkeznek. Megtörténhet, hogy a két bemeneten egyidőben ugyanarra a kimenetre továbbítandó üzenetet tartalmazó cella érkezik, amelyek közül az egyiket értelemszerűleg *várakoztatni* kell. Az ehhez szükséges tárat az ábra nem mutatja, a tényleges felépítés tehát összetettebb, mint a vázlatos ábrán látható.

A kapcsoló elemeken a jelátvitel sebessége sokszorososan, nagyságrendekkel meghaladja a szinkron kapcsolóknál megszokottat (a kb. 4 MHz-et). A kapcsolás persze nem bitenként, hanem cellánként történik, az átkapcsolást tehát nem túl gyakran, de *igen rövid idő alatt* kell elvégezni. A jelfolyam szokásos alapsebessége a 155,52 Mb/s és ennek többszöri négyszerezésével jönnek létre a nagyobb sebességű átviteli rendszerek. (Helyi számítógép hálózatokhoz alakítottak ki az alapnál kisebb sebességű rendszert is). A jelenleg gyártott leggyorsabb, még elektronikai eszközökkel kialakítható rendszer átviteli sebessége 10 Gb/s.



## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Atkinson, J.: Telephony. Vol.2. Pitman, 1948.
- [2] Smith, S. F.: Telephony and Telegraphy. 2<sup>nd</sup> Ed. Oxford Press. 1974.
- [3] lásd dr. Bartolits István: A hírközlés története c. sorozatát a MODEM IDŐK II. évfolyam 2-3. számtól kezdődően.
- [4] Automatic Telephone Exchanges with Crossbar Switches: Outstanding Features. L. M. ERICSSON. Stockholm.
- [5] Redmill, F. J. – Valdar, A. R.: SPC digital telephone exchanges. IEE/Peter Peregrinus. London. 1990.
- [6] Flood, J. E.: Telecommunications Switching, Traffic and Networks. Prentice Hall. London. 1995.



## 6. FORGALMAZÁS

### 6.1. Alapfogalmak

#### 6.1.1. A forgalom egysége



A távközlő hálózatok feladata információt hordozó jelek *átvitel*e. Az erre szolgáló – kapcsoló és átviteli elemeket tartalmazó – eszközöket (átviteli) *csatornának* nevezzük.

A forgalmazás során az átviteli csatornában továbbított jel csak többé-kevésbé tölti ki annak *időben értelmezett* átviteli kapacitását. Legfeljebb az idő 100%-ában forgalmazhatunk, ez a forgalmi igénybevétel tekinthető maximumnak, és a valóságban a csatorna ilyen mértékű kihasználtsága soha nem érhető el, legfeljebb megközelíthető. Ha a csatornát folyamatosan igénybe vesszük, azt mondjuk, hogy a forgalma 1 E (erlang). A mértékegység elnevezése A. K. Erlangra, a forgalomelméletet megalapozó dán szakemberre utal. [1]

(A távbeszélő technikában elterjedt két másik forgalmi egység is. Az egyik az *átlagos forgalmas órai hívás, ÁFOH*, amelyik 2 percnyi forgalmat jelent. A másik 100 másodpercnyi forgalommal egyenlő: *hundred of call seconds, CCS*. Az átszámítás: 1 E = 30 ÁFOH = 36 CCS.)

Egyetlen csatornában tehát a forgalom elérhető maximuma az 1 E. Ha a csatorna több jelforrás koncentrált forgalmát bonyolítja, ezek együttes forgalmi igénye nem haladhatja meg az 1 E határt. Ellenkező esetben a jelek átvitelére bizonyosan több csatornás átviteli utat kell biztosítani.

Több jelforrás jelének a közös átviteli útra való rávezetése egyrészt a *multiplexelés* (vagy multiplexálás) művelete (ez mindig párban szerepel a *demultiplexeléssel*, ami alatt, értelemszerűen, a közös átviteli útról az egyes *nyelők* átviteli csatornáiba történő jel-szétválasztást értjük), másrészt a *kapcsolás*.

A több csatornás átviteli utak maximális forgalma annyi erlang, ahány csatornát tartalmaznak. A maximális átviteli kapacitás teljességgel itt sem használható ki. Hogy milyen mértékben közelítjük azt meg, az éppen a választott multiplexelési, illetve kapcsolási módszer jellemzője.

A forgalmazás azt jelenti, hogy egy bizonyos adatmennyiséget el akarunk szállítani a forrástól a nyelőig. Adatátvitel esetén, ha ezt a teljes adatmennyiséget egy egységben továbbítjuk, a táviratozásnál megismert telegram mintájára, az azt tartalmazó üzenetet *datagramnak* nevezzük. A valóságban gyakran nem az átviteli csatorna időben folytonos igénybevételével oldjuk meg az átvitelt, hanem több részre bontjuk az üzenet (datagram) tartalmát. A részeket *csomagnak* (packet) nevezzük, és ezeket tekintjük önálló



forgalmi egységnek, nem feledve, hogy a teljes üzenetet most több ilyen egység képviseli. Használatos olyan átviteli megoldás is, amelynek során a datagram, illetve a csomagok ténylegesen még kisebb kapacitású *cellákban* kerülnek átvitelre.

## 6.2. A forrás/nyelő forgalma

Ha egy felhasználó  $A$  erlang forgalmat generál (vagy nyel el), az idő  $A$ -ad részében aktív és  $(1-A)$ -ad részében passzív. [2] (Ha mind a generált, mind az elnyelt forgalom ugyanazon a csatornán bonyolítódik, a generált értéke  $A_g$ , az elnyelté  $A_e$ , természetesen, a fenti kijelentés  $A=A_g+A_e$  helyettesítéssel érvényes.)

Speciálisnak tekinthető az az eset, amikor a forgalom önálló egységként kezelhető (a távbeszélő technikából kölcsönzött szóhasználattal) *hívásokból* tevődik össze és azok időbeni eloszlása és hossza véletlenszerű. Ekkor

$$A = C \cdot h / T,$$

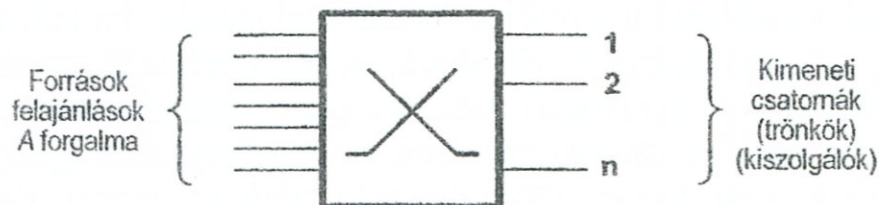
ahol  $C$  a  $T$  idő alatt érkező hívások átlagos száma,  $h$  pedig a hívások átlagos időtartama (távbeszélő technikában az átlagos tartási idő).

## 6.3. Közös átviteli utak forgalma

### 6.3.1. A forgalom időfüggése

A következőkben azoknak az átviteli utaknak a forgalmát vizsgáljuk meg, amelyek egy időben több forrás jeleit viszik át (pontosabban, továbbítják, ha nem tényleges átvitelről, hanem általánosan értelmezett átkapcsolásról van szó). (6.1. ábra)

A legegyszerűbb átviteli út fogalomhoz úgy jutunk el, ha az  $N$  darab forrás jelének a továbbvitelére olyan átviteli rendszert választunk, amelyben  $N$  egymástól nem különböző, és a csatlakozó forrásokéval azonos csatorna-kapacitású átviteli út található. Ilyenkor a forgalom korlátozás nélkül bonyolítható.



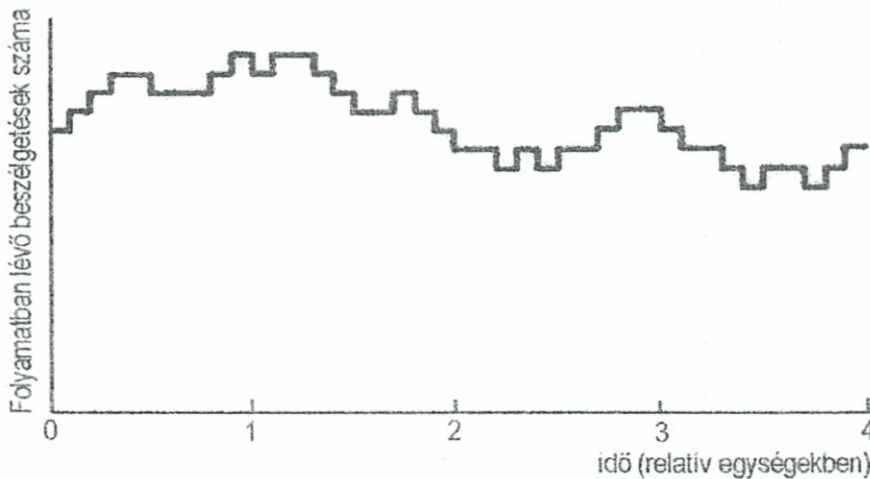
6.1. ábra. Forgalom koncentrációja átviteli utakra



Gyakoribb az, hogy az átviteli rendszer csatornaszáma kisebb a források számánál, illetve átviteli kapacitása kisebb a források összegzett kapacitásához képest. Ilyen utakra csak az ún. *kis* forgalmú források koncentrálnak.

Egy ilyen koncentrált forgalmú úton a folyamatban lévő hívások száma az idő függvényében változik (6.2. ábra). A mindenkor élő forgalom az éppen folyamatban lévő hívásokból, időben véletlenszerűen adódik össze. A véletlenszerű változáson túlmenően, a forgalom az idő függvényében tendenciózusan is változik. Az emberi tevékenység függ a napszaktól, a munkanapok és pihenőnapok váltakozásától, évszaktól stb.

Ha a koncentrált forgalmat akarjuk lebonyolítani, az átviteli (kapcsolási stb.) kapacitást a *legforgalmasabb* időszakra kell méreteznünk, mégpedig az akkor mérhető átlagos értékre. (A közben jelentkező *forgalmi csúcsok* kezelésével itt nem foglalkozunk.) Ennek természetes velejárója, hogy a forgalmi kapacitás a kisebb átlagos forgalmú időszakokban részben kihasználatlan marad. (A távközlési szolgáltató természetes törekvése ezek után, hogy igyekszik a forgalmat időben úgy szét húzni, hogy a rendelkezésre álló kapacitás kihasználása gazdaságosabban alakuljon.)



6.2. ábra. A forgalom időbeni változása

**Példák:**

1. példa. A forgalmas órában az előfizetők vizsgált csoportja kezdeményez  $C_g=500$  hívást és fogad  $C_e=400$  hívást. Egy hívás átlagos időtartama,  $h=2$  perc. Mekkora a (felajánlott) forgalom értéke?

A generált forgalom,  $A_g=C_g \cdot h=500 \cdot 2/60=16,66$  E, az elnyelt,  $A_e \cdot h=400 \cdot 2/60=13,33$  E, a csoport teljes forgalma,  $A=A_g+A_e=16,66+13,33=30$  E.



### 6.3.2. Veszteséges forgalombonyolítás

Jelölje  $n \leq N$  a rendelkezésre álló csatornák számát! Természetes, hogy egy ilyen átviteli út  $A_n = n$  erlang forgalom lebonyolítására képes. Tényleges forgalma ehhez képest mindig kisebb. Hogy mennyivel, az a forgalom lebonyolításának a módjától függ.

Távbeszélő technikában a *veszteséges* forgalombonyolítás a szokásos. Ha abban az időpillanatban jelentkezik egy új hívás, amikor mind az  $n$  számú átviteli csatorna foglalt, *torlódás* lép fel, az új hívást nem tudja kiszolgálni és az elvész. A torlódás valószínűsége meghatározására a számításokat először a már említett Erlang [2] végezte. Számításait az F.II függelékben adott valószínűségszámítási összefoglaló után az F.III. függelékben röviden bemutatjuk és néhány eredményét a következőkben felhasználjuk.

A veszteséges forgalombonyolítási számításokban felteszik, hogy a források  $N$  száma végtelen, a hívások megjelenése véletlenszerű (tehát egymástól független események, azaz a Poisson-eloszlás érvényesnek tekinthető). Az  $n$  átviteli csatornát tartalmazó útra definiálnak egy *felajánlott* forgalmat, amit  $A$ -val jelölünk és a veszteségre jellemző hányadost,

$$B = (\text{elveszett forgalom}) / (\text{felajánlott forgalom})$$

formában.  $B$  tehát

- az időnek az a hányada, amikor torlódás fellép
- a torlódás valószínűsége
- annak a valószínűsége, hogy egy hívás torlódás miatt elvész.

A  $B$  mennyiséget használjuk – veszteséges forgalombonyolítás esetén – a *szolgáltatás minőségének* a (grade of service, GoS) számszerű megadására. (Hogy inkább a nem-szolgáltatás mérőszáma, azzal ne törődjünk. Lényeges, hogy minél kisebb az érték, annál jobb a szolgáltatás.) Számszerűen,  $A$  forgalmat felajánlva egy  $B$  szolgáltatás-minőségű csoportra, az elveszett forgalom  $A \cdot B$ , a lebonyolított pedig  $A \cdot (1 - B)$  értékű.

Átviteli utak kapacitásának, pontosabban a veszteségnek a számítására a veszteséges forgalombonyolításra meghatározott első Erlang-formula (F.III.3) használható. Ennek a felhasználásával elsőként egy példa kapcsán bemutatjuk, hogy milyen mértékben előnyös a teljes hozzáférhetőség megvalósítása. Legyen például a rendelkezésre álló átviteli utak száma 160! Képezzünk ezekből csoportokat és osszuk meg a jelentkező forgalmat úgy, hogy minden csoportra átlagosan ugyanakkora forgalmat generáló előfizetői csoportot csatlakoztatunk! Különböző méretű csoportok esetére az 1% veszteséghez számított összeforgalom értékeket a 6.1. táblázat tartalmaz.



Látható, hogy a 160 töredékét tartalmazó utak átviteli hatékonysága rosszabb, mint a 160 csatornáé együtt, mivel a végtelen nagyszámú forrás által generált kis összforgalom esetén is viszonylag nagy az egyidőben felléphető hívás, amelyekből így több elvész. A nagyobb csatornaszámú átviteli utak viszonylagos kihasználhatósága lényegesen jobb az – egyébként ugyanakkora fajlagos forgalmat átvivő – kisebb csoportokéhoz képest. [3]

6.1. táblázat

Többcsatornás átviteli utak forgalom bonyolító képessége

Csoportok száma	A csoport mérete	Átvitt forgalom (1% veszteség)
16	10	71,4 E
8	20	96,2 E
4	40	116,0 E
2	80	130,7 E
1	160	141,2 E

A fenti táblázatos értékek csak végtelen nagyszámú forrás esetére érvényesek. Ha a források száma csökken, a veszteség is csökken. Az irodalomban fellelt [3] adatok alapján közölt 6.2. Táblázat  $n = 20$  és  $12 E$  felajánlott forgalom esetére adja meg a számolt veszteséget, a források száma függvényében. Természetes, hogy ha a források száma nem haladja meg az átviteli csatornákét, torlódás nem léphet fel. A források számának növekedésével a veszteség nő, és a végtelen számú forrásra számolt veszteségi érték a maximum.

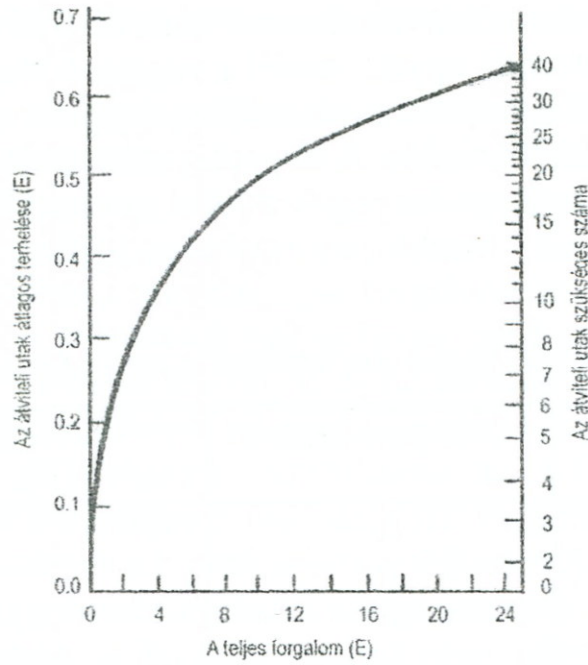
6.2. táblázat

Veszteség a források száma függvényében

Források száma	Veszteség
20	0
30	0,0011
40	0,0027
50	0,0039
100	0,0068
200	0,0083
$\infty$	0,0098

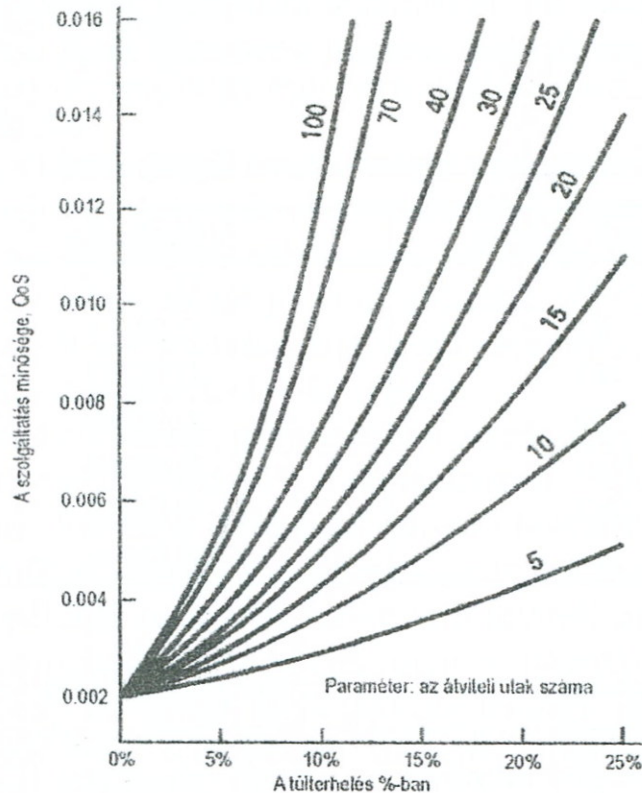
A 6.3. ábrán példaként az (F.III.3) formulából a 0,2% veszteséghez számítható összefüggést mutatjuk be a forgalom (majdnem mindegy, hogy a felajánlott vagy a lebonyolított értéket tekintjük is, a kettő mindössze 0,2%-ban különbözik egymástól!) és a csatornák átlagos lebonyolított forgalma között.





6.3. ábra. Az átviteli csatornák átlagos terhelése a forgalom függvényében, 0,2% veszteségre

A 6.4. ábrán hasonló módon számított értékeket mutatunk be arra az esetre, amikor a méretezethez képest *túlterheljük* az átviteli utat. Látható, hogy még nem jelentős mértékű túlterhelés esetén is a szolgáltatás minősége jelentősen romlik, az egyébként jobban kihasználható nagyobb csatornaszámú utakra viszonylag meredekebben.



6.4. ábra. A túlterhelés hatása a veszteségre



Végezetül vizsgáljuk meg, hogyan alakul a veszteség, ha a forgalmat több (ún. *tandem* kapcsolt) veszteséges fokozaton vezetjük keresztül! Két sorbakapcsolt trónk esetére elvégezve a meggondolást, általánosítható eredményre jutunk.

Legyen a trónkok vesztesége  $B_1$  és  $B_2$ , a felajánlott forgalom pedig  $A$ . A második fokozat felajánlott forgalma  $A \cdot (1 - B_1)$ , lebonyolított (célba érő) forgalma pedig  $A \cdot (1 - B_1) \cdot (1 - B_2)$ . Elvégezve a beszorzást és figyelembe véve, hogy a veszteség kicsi, azaz  $B_1 B_2 \ll 1$ , a közelítő eredményt

$$B \approx B_1 + B_2,$$

illetve  $k$  számú sorbakapcsolt fokozatra általánosítva

$$B = \sum_{i=1}^k B_i$$

formában kapjuk. Ez a veszteség-összeadódás persze csak akkor lép fel, ha a forgalmas órák a sorbakapcsolt fokozatokra egybeesnek. Ha nem, az eredő veszteség mindig kisebb lesz a számoltnál.

Érdeemes még végig gondolni az átviteli kapacitás bővítésének a szokásos menetrendjét. Az átlagos forgalom fokozatos növekedésével az átviteli utak vesztesége nő és fejlesztés válik szükségessé. Ez általában nem trónkóként, hanem trónk-csoportonként történik. A fejlesztés elvégzése után a veszteség hirtelen lecsökken, majd fokozatosan megint nőni kezd. Ha forgalmi *előjelzések* birtokában, jó előre elvégezzük a fejlesztést, megelőzhetjük a növekedést. De mi van akkor, ha az előrejelzés hibás volt és alulbecsülte a forgalom tényleges növekedését? Akkor ínséges időszak következhet, amire egy folytonosan fejlődő területen mindig számítani lehet.

**Példák:**

**6.3.2.1. példa.** Mekkora a kapcsolók átlagos foglaltsága a 6.2. Táblázat kapcsán vizsgált esetben?

Az  $n=20$  kapcsoló összesen  $A=12$  E forgalmat visz. Átlagos foglaltságuk  $A/n=12/20=60\%$ .



### 6.3.3. Várakozásos forgalombonyolítás

Erlang foglalkozott azzal az esettel is, hogy mi történik akkor, ha az azonnal ki nem szolgálható forgalom nem vész el, hanem kiszolgálásra *várakozik*. Az ehhez szükséges elrendezés a 6.5. ábrán látható, a felajánlott forgalom *tárolóba* kerül, amelyben sorba áll, amíg kiszolgálásra nem kerül. A kiszolgálás most is  $n$  csatornán történik [szokásos a csatornákat egyszerűen *kiszolgálónak* (server) is nevezni], amelyek mindegyike rendelkezésre áll a felajánlott forgalom egésze számára.



6.5. ábra. Sorbaállásos rendszer

A sorbaállásos forgalombonyolításkor jelentkező új fogalom a *várakozás*, illetve a *késleltetés* (delay). Azokban az időszakokban, amikor egyszerre  $n$ -nél nagyobb számú hívás jelentkezik (illetve  $n$ -nél nagyobb számú forrás aktív), az átviteli igény kiszolgálása azonnal nem kezdődik meg, késleltetés lép fel.

Az egyidejűleg aktív források számát jelöljük most is  $x$ -szel. Késleltetés fellépésének, azaz  $x \geq n$ -nek a valószínűsége:

$$P_D = \frac{A^n}{n!} \cdot \frac{n}{n - A} \cdot P(0), \quad (6.1)$$

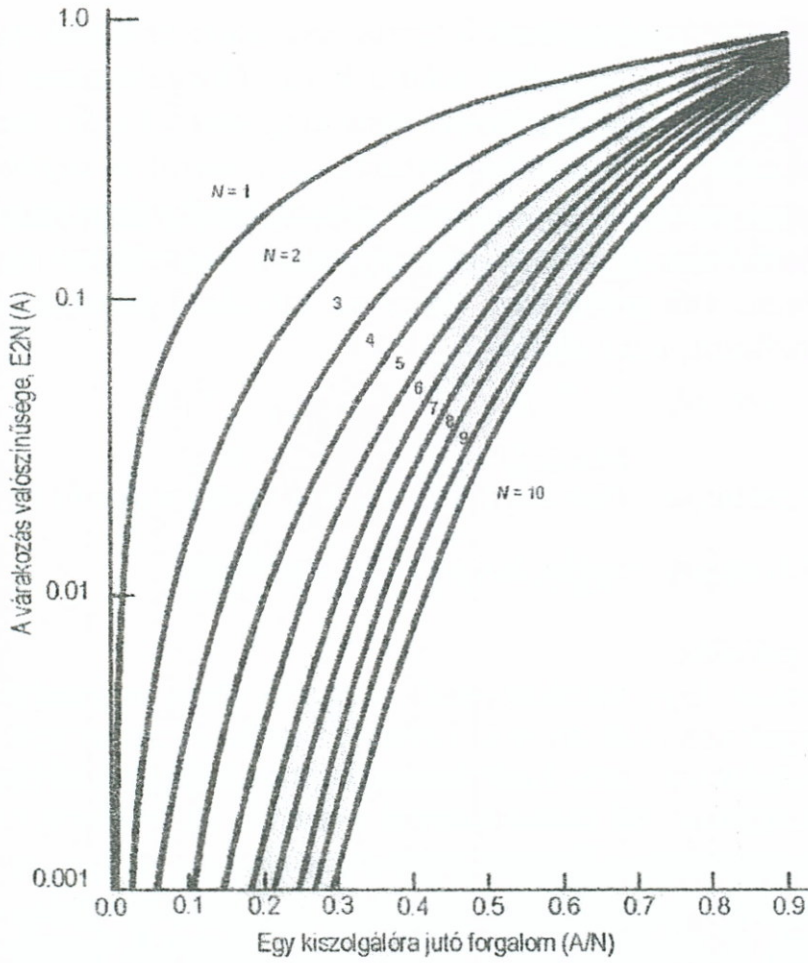
ahol  $P(0)$  jelöli annak a valószínűségét, hogy egyetlen forrás sem aktív:

$$P(0) = \left[ \frac{nA^n}{n!(n - A)} + \sum_{x=0}^{n-1} \frac{A^x}{x!} \right]^{-1}. \quad (6.2)$$

A fenti formula levezetése az F.III. függelékben megtalálható.

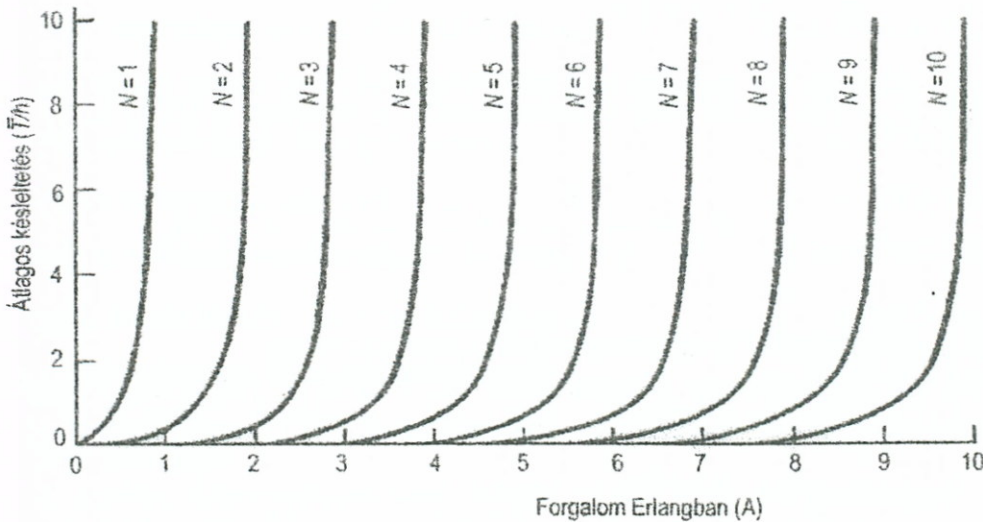
A késleltetés valószínűségét a 6.6. ábra mutatja a kiszolgálók relatív terhelése függvényében. Érdeemes megjegyezni, hogy míg a veszteséges rendszerekben kis, néhány vagy néhány tized százalék veszteséget engedünk meg, a késleltetés *fellépésének* a valószínűsége várakozásos rendszerekben viszonylag nagy is lehet és az átvitel még jelentősen nem károsodik. Általában, ha az átlagos késleltetés még nem jelentősen haladja meg a forrás aktivitásának az időtartamát (az átlagos hívási időtartamot), fellépte alig észrevehető.





6.6. ábra. A várakozás valószínűsége

A 6.7. ábra az átlagos késleltetési idő és az átlagos hívási idő hányadosát mutatja a forgalom függvényében  $n = 1 \dots 10$  kiszolgáló esetére (feltéve, hogy mindig a legrégebben érkezett hívást szolgálják ki). Látható, hogy akár 80...90%-os terhelés esetén sem nagyobb a relatív érték 1...2-nél.



6.7. ábra. Sorbaállásos rendszer átlagos késleltetése



Elméletileg, a végtelen számú forrás esetén nem nulla valószínűséggel felléphet az egyidejűleg végtelen számú hívás (forgalmazási igény) is, ami véges hosszúságú sor alkalmazásával nem elégíthető ki. Ez azonban csak az elmélet. A gyakorlatban már véges hosszúságú sorral is olyan ritkán lép fel túlsordulás, hogy annak valószínűsége elhanyagolhatóan kicsi.  $Q$  hosszúságú (azaz  $Q$  számú üzenet/hívás teljes egészének a tárolására szolgáló) tárolót alkalmazva, annak valószínűsége, hogy az egyidejű hívások száma meghaladja a feldolgozhatót, azaz elvész,

$$P(x \geq Q + n) = \left(\frac{A}{n}\right)^Q \cdot P_D,$$

amiből  $Q$  megkívánható értéke közvetve számolható.

### 6.3.3-hoz példák:

**6.3.3.1. példa.** Egy kézi-kezelésű alközpontban egyidejűleg 3 operátor dolgozik. A forgalmas órában 400 hívás érkezik. A beérkező hívások várnak a kiszolgálásra, ami beérkezésük sorrendjében történik. Egy hívás kiszolgálása átlagosan 18 másodpercet igényel. (A hívások beérkezése véletlenszerű, megfelelően a Poisson-eloszlásnak.)

1. A hívások hány százaléka kényszerül várakozásra?
2. Mekkora az átlagos várakozási idő, a hívások összességére, illetve a várakozni kénytelen hívások számához viszonyítva?
3. A hívások hány százaléka vár többet, mint 30 másodpercet?

#### Megoldások:

1. Az operátorok összes forgalma,  $A=400 \cdot 18/3600=2$  E.

A (6.2) formulából:

$$\frac{1}{P_0} = \frac{3 \cdot 8}{3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1} + 1 + \frac{2}{1} + \frac{4}{2} = 4 + 1 + 2 + 2 = 9,$$

amiből:  $P_0=1/9$ . Most már számolható  $P_D$  értéke, a (6.1) formulából:

$$P_D = \frac{8}{3 \cdot 2 \cdot 1} \cdot \frac{3}{1} \cdot \frac{1}{9} = \frac{4}{9} = 0,44,$$

azaz a hívások 44%-a kényszerül várakozásra.

2. Ha van várakozás (használva az F.III.3.3. pontban megismert összefüggéseket) az átlagos értéke (idézett pont, 3(i) összefüggése):

$$\bar{T} = \frac{h}{(n - A)} = 18/(3 - 2) = 18 \text{ másodperc.}$$



Valamennyi hívásra átlagolva (idézett pont 3(ii) összefüggése):

$$\bar{T} = \bar{T} \cdot P_D = 18 * 4/9 = 8 \text{ másodperc.}$$

3. A késleltetések exponenciális időbeni eloszlást mutatnak. A legalább 30 másodperces érték valószínűsége, feltéve, hogy van várakozás (idézett pont 4(i) összefüggése):

$$P(T_D \geq t) = e^{-t/\bar{T}} = e^{-30/18} = 18,9\%.$$

Valamennyi hívásra átlagolva (idézett pont 4(ii) összefüggés):

$$P(T_D \geq 30) = 18,9 * 0,44 = 8,3\%.$$

### 6.3.4. Egy kiszolgálós rendszerek

Az F.III. függelékben néhány, a sorbaállásos rendszerek méretezéséhez használható további összefüggés található. Ezek közül kiemeljük az *egy kiszolgálóval* üzemelő várakozásos rendszerre érvényeseket, mivel ez a változat igen gyakori. Elég csak a legegyszerűbb számítógép hálózatokra gondolni, de hasonló a helyzet valamennyi egy processzoros adatfeldolgozó hálózatnál stb.

A rendszerben a nulla hívás valószínűsége:	$P(0) = 1-A,$
a késleltetés fellépésének a valószínűsége:	$P_D = A,$
$x$ számú egyidejű hívás valószínűsége:	$P(x) = A^x \cdot (1-A),$
$z$ -nél több egyidejű hívás valószínűsége:	$P(x \geq z) = A^z,$
az egyidejűleg jelen levő hívások átlagos száma:	$\bar{x} = A/(1-A),$
a késleltetett hívások átlagos száma:	$\bar{x}' = 1/(1-A),$
a sor átlagos hossza, ha van sor:	$\bar{q}' = A/(1-A),$
a sor teljes időtartamra átlagolt hossza:	$\bar{q} = A^2/(1-A),$
az átlagos késleltetés, ha van késleltetés:	$\bar{T}' = h/(1-A),$
a teljes időtartamra átlagolt késleltetés:	$\bar{T} = A \cdot h/(1-A).$

#### 6.3.4-hez példák:

6.3.4.1. *példa.* Üzenetkapcsoló központ 33 kb/s sebességgel továbbítja az üzeneteket. A (Poisson-eloszlásnak megfelelő) üzenetek átlagos hossza 250 byte. Hány üzenet továbbítható másodpercenként, ha a (minden üzenetre átlagolt) késleltetés nem lehet hosszabb 0,5 másodpercnél?



Az egy kiszolgáló esetére érvényes (fenti) összefüggésekből:

$$\bar{T} = A \cdot h / (1 - A), \text{ illetve: } A = \bar{T} / (h + \bar{T}).$$

most:  $h = 8 \cdot 250 / 33\,000 = 0,0606$  másodperc.

$A = 0,5 / (0,0606 + 0,5) = 0,88 = C \cdot h$ , ahol  $C$  a másodpercenkénti üzenetek átlagos száma,

$$C = 0,88 / 0,0606 = 14,5.$$

**6.3.4.2. példa.** Az előző példában használt késleltetés-értékkel továbbított üzenetek átlagosan mekkora késleltetéssel érkeznek célhoz? (Tekintsünk el az átviteli rendszeren a terjedési időtől, tekintsük azt nullának, illetve, ha indokolt, additív tényezőként utólag is figyelembe vehetjük!)

Az üzenet keletkezése és megérkezése között átlagosan az üzenetek  $h$  hosszának megfelelő idő telik el. A továbbítási késlekedés miatt ez megnő  $\bar{T}$ -vel, tehát a keletkezés és a késleltetéses továbbítás között átlagosan eltelt idő:

$$A \cdot h / (1 - A) + h = h / (1 - A).$$

Az előző példa esetén az érték:  $0,0606 / (1 - 0,88) = 0,5606$  másodperc.

**6.3.4.3. példa.** Tegyük fel, hogy a várakoztatás hatására az üzenetek átlagos beérkezési ideje kétszerese a várakozás nélkülihez képest. Mekkora lenne a veszteség, ha az üzeneteket nem várakoztatnánk, hanem azokat az átviteli vonal foglaltsága esetén eldobnánk?

A most érvényes  $h / (1 - A) = 2h$  összefüggésből számolható az átlagos forgalom,  $A = 0,5$ . A veszteség értékét (F.III.1) képletből  $n = 1$  helyettesítéssel kapjuk:

$$B = \frac{A}{\sum_{r=0}^1 \frac{A^r}{r!}} = \frac{A}{1 + A} = \frac{0,5}{1 + 0,5} = 0,33.$$

Vagyis az üzenetek várakoztatása nélkül minden harmadik üzenet elveszne.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Erlang, A. K.: Solution of some problems in the theory of probabilities of significance in automatic telephone exchanges. Post Off. Electr. Eng.J. 10. 189-197. (1918)
- [2] Flood, J. F.: Telecommunications Switching, Traffic and Networks. Prentice Hall. London. 1995.
- [3] Bear, D.: Principles of telecommunication-traffic engineering. Peter Peregrinus Ltd. Stevenage. 1976.



## 7. NYILVÁNOS KAPCSOLT TÁVBESZÉLŐ HÁLÓZAT

### 7.1. Felépítése

#### 7.1.1. Az előfizetői hálózat



A több mint egy évszázada kialakult távbeszélő hálózat felépítése sokáig viszonylag lassan és megfontoltan fejlődött. Fokozatosan növekedett fel a világot átfogó és a társadalom valamennyi résztvevője szolgálatára álló nyilvános kapcsolt távbeszélő hálózat (public switched telephone network, PSTN). Napjainkban viszont sok vonatkozásban gyors változásokat él meg, amik, ha létét nem is veszélyeztetik, de szerepét erőteljesen alakíthatják. [1]

Hosszú ideig természetes volt, hogy a távbeszélő előfizető szimmetrikus felépítésű légvezetéken, majd kábelben vezetett réz érpáron csatlakozott a helyi központhoz. Egy-egy ilyen központ a tápterületéhez tartozó előfizetők számára távbeszélő szolgáltatást biztosított.

A tápterület méretét három tényező határozta meg: az előfizetői hurok ohmos ellenállása, az érpár beszédfrekvenciás tartományban mérhető csillapítása, végül a központ kapacitása. Mindhárom jellemző értelmezése és fontossága az idő folyamán módosult.

Az elektromechanikai központok nem működtek kevesebb, mint 15–25 mA hurokárammal. Az elektronikai központok esetén ez a határolás eltűnt és helyes működésükhöz mindössze olyan értéket kell biztosítani, ami a zavar szintből eléggé kiemelkedve biztosítja a hurok zárásának egyértelmű indikálását.

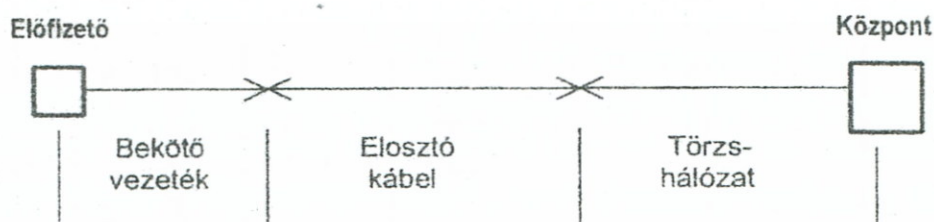
Időállóbb a csillapítás-korlát. Amíg az előfizetői érpáron analóg jelet viszünk át, a csillapítást a teljes összeköttetésre érvényes előírás, az átviteli terv rögzíti. A megfelelő hangosság melletti összekapcsolhatóságát szem előtt tartva, az előfizetői érpárra mintegy 8 dB-nél nem nagyobb csillapítást 'osztottak ki', hogy a központokat összekötő 2-huzalos szakaszok csillapítása még betervezhető legyen. Bár az idők folyamán a központokat összekötő hálózat csillapítása jelentősen csökkent és ma majdnem kizárólagosan 6–7 dB érték biztosítható, az előfizetői érpár csillapítását nem engedik megnöni, vagyis amit nyertek a trónkökön, azt a hálózat átlagos hangosságának az emelésére fordítják.

A központhoz csatlakoztatható előfizetők száma sűrűn lakott, nagy fajlagos forgalmú helyeken a meghatározó. A mai korszerű központok kapacitása oly nagy, hogy ez a határolás éppen fordítottan jelentkezik: a csillapítás elfogadható szinten tartása nem teszi lehetővé akkora tápterület kialakítását, amiről a beérkező forgalom azt teljességgel igénybe venné. Éppen az ellenkezője jelentkezik: egy központhoz több, egymással szomszédos tápterület



csatlakozik oly módon, hogy a központ dekoncentrálódik és *kihelyezett fokozatai* kapcsolják –rövid, kis csillapítású vezetékkel felhasználásával – ezeket az anyaközponthoz.

A méretezés részletezése nélkül, emlékezetbe idézzük, hogy – hazánkban – az előfizetői hálózatban 0,4, illetve 0,6 (esetleg 0,8) mm érátmérőjű vezetékkel tartalmozó kábelt használnak. A teljes hosszúság általában nem haladja meg a 3,5, illetve 5 (esetleg 8) km-t. Fontos viszont a hálózat hármast osztását megjegyezni (7.1. ábra). A központból (kihelyezett fokozattól) indul a *törzskábel*, ez folytatódik az *elosztó kábellel*, míg az előfizető *bekötő vezetékkel* van csatlakoztatva. A közbenső csatlakozó pontokon olyan műtár- gyak találhatók, amelyekben a kábelkötések elhelyezhetők. Ezek a műtár- gyak alkalmasak elektronikai berendezések elhelyezésére is, amelyek szükségessé válhatnak, ha a hálózat egyes szakaszain a rézvezetőjű kábel helyett más átviteli módot szándékozunk a jövőben alkalmazni.



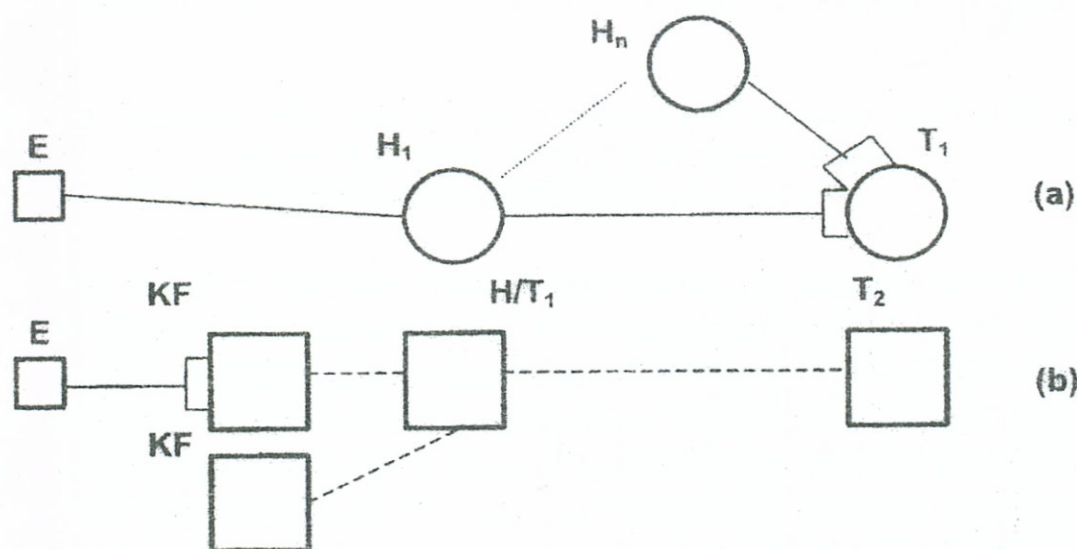
7.1. ábra. Az előfizetői hálózat kábeles kialakítása

### 7.1.2. A központok rendszere

Az elektromechanikai központok világában több helyi központ szolgált egy-egy *körzet* előfizetőinek a kiszolgálására. Egy-egy körzet területe 1–2000 km<sup>2</sup>, lélekszáma 1–200 000 fő. A helyi központok mindegyike koncentrált forgalmat szállító *körzeti áramkörökkel* csatlakozik a körzet forgalmát összefogó, a hierarchiában a primer jelzővel ellátott *tranzit* központhoz. Ez az áramkör sokáig rézvezető volt, analóg jelátvitellel és az ezzel együtt járó csillapítással. A csillapítást csökkentendő, érátmérője legalább 0,9 mm volt. Az erősítés beiktathatósága érdekében a tranzit központ bemenetén a jelfolyamot *négyhuzalosították*. A világ bármely két tranzit központját összekötő négyhuzalos hurok csillapítása, hosszától függetlenül 6, illetve 7 dB. A hívó és a hívott előfizetőt összekötő átvitelben így járulékosan csak a helyi központokat csatlakoztató körzeti áramkörök csillapítása jelentkezik, egyenként 3–5 dB-nél nem nagyobb értékkel. A körzetre jellemző csatlakozásokat a 7.2. ábra mutatja, ezen belül az (a) részlet vonatkozik a fent tárgyalt esetre.



A digitális központok megjelenése átformálta a körzetek felépítését (7.2.b. ábra). Általában a körzet teljes forgalmának bonyolításához elegendő egyetlen központ, amely legfeljebb *kihelyezett fokozataival* közelíti meg a több tápterületet képező előfizetőket. Az egyetlen helyi központ ellátja a tranzit központi teendőket is, azaz továbbítja a körzetből kimenő forgalmat a további tranzit központok irányába. A központ egyes részei között az átvitel digitális, értelemszerűen négyhuzalos, a 2/4-huzalos átalakítás átkerül az előfizetői érpár központ oldali végére, és ezzel megszűnik a helyi áramkör által eddig beiktatott csillapítás.



7.2. ábra. A helyi központok csatlakoztatása, (a) analóg, (b) digitális környezetben (a központokat esetlegesen összekötő hálózat feltüntetésével).

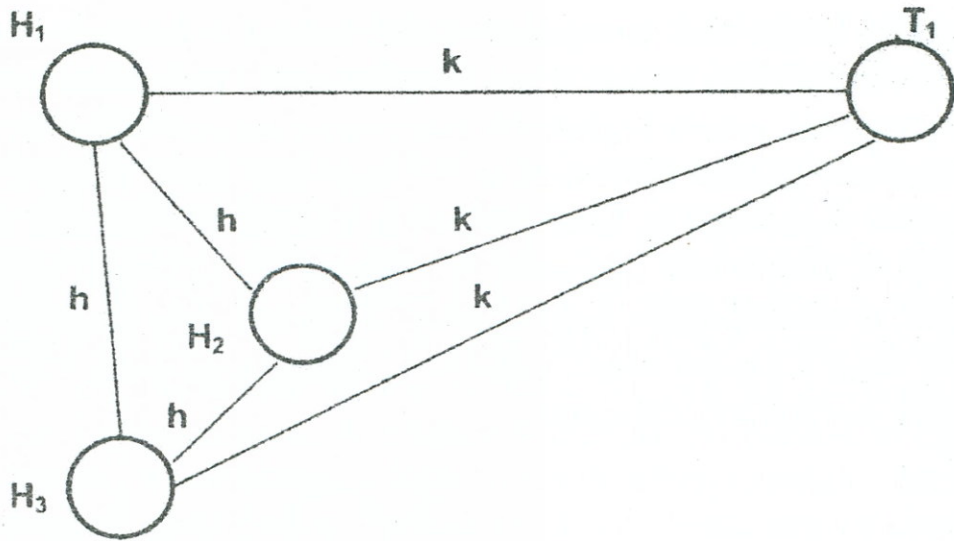
Jelölések: E előfizető, H helyi központ, T tranzit központ, KF kihelyezett fokozat, H/T<sub>1</sub> kombinált helyi és primer (tranzit) központ

### 7.1.3. Több központos helyi hálózatok



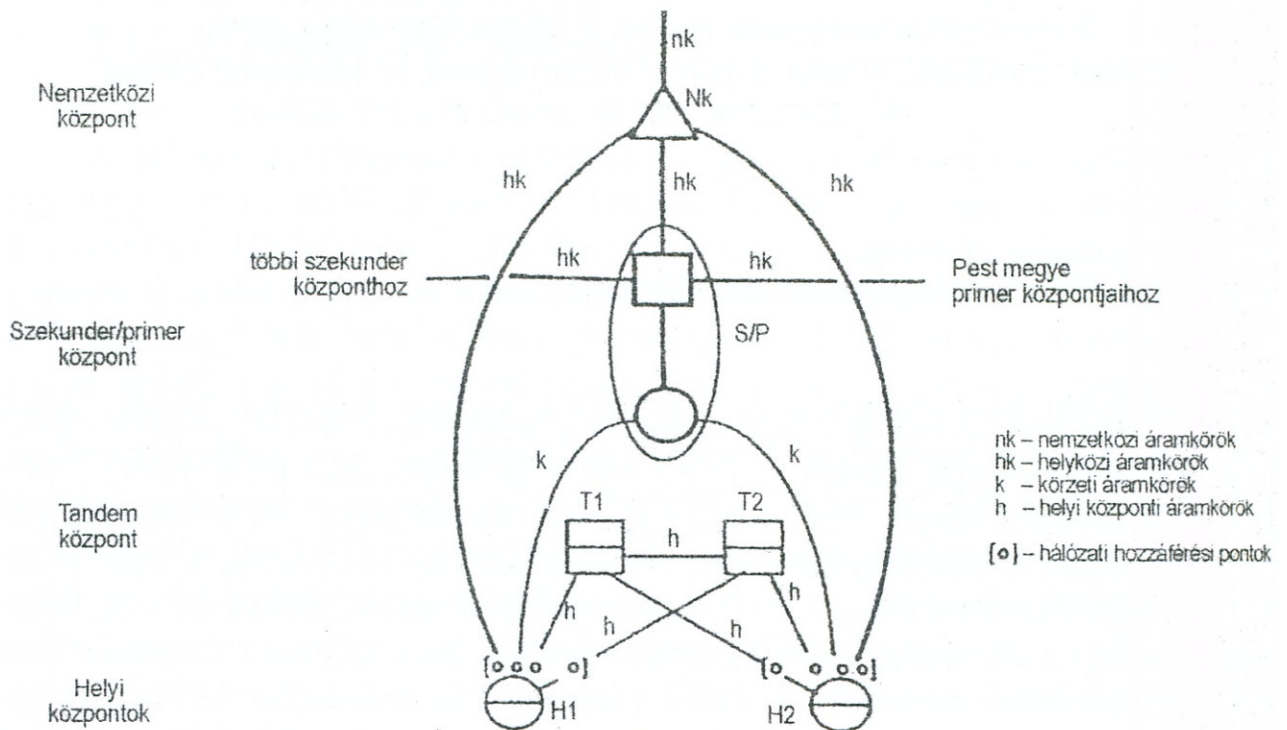
Nagyobb helyiségekben az előfizetők száma nagyobb annál, amit egyetlen helyi központhoz lehetne csatlakoztatni, így szükség szerint, több központot kell telepíteni. Célszerű lenne viszont, a forgalom irányát követve, a helyi forgalmat a tranzit központ megkerülésével, a helyi központok között telepített, ún. *helyi központközi áramkörökkel* lebonyolítani (7.3. ábra). A legegyszerűbb megoldás az, ha ezeket az áramköröket valamennyi központ között kiépítik. Az ilyen *szövevényes hálózat* megoldja, hogy bármely helyi beszélgetés egyetlen áramkör közbeiktatásával lebonyolítható.





7.3. ábra. Több központos helyi hálózat, a helyi forgalom lebonyolítására szolgáló szövevényes és a helyközi forgalmat bonyolító csillag hálózatba rendezett áramkörökkel

A helyi körzet központjai számának növekedésével a szövevényes hálózat (helyi központközi) áramköreinek a száma nő, mégpedig négyzetes arányban. A megoldás előnytelen. Jobb lenne több hierarchia síkot kiépíteni, a helyi központok csoportjainak a központokból kimenő helyi forgalmát egyegy (itt *tandem* központnak nevezett) tranzit központ felé irányítani és a tandem központok között építeni csak ki a szövevényes hálózatot. Az ilyen két-síkú elrendezések gyakoriak a világ nagyvárosaiban.



7.4. ábra. A budapesti központ- és áramkör hálózat



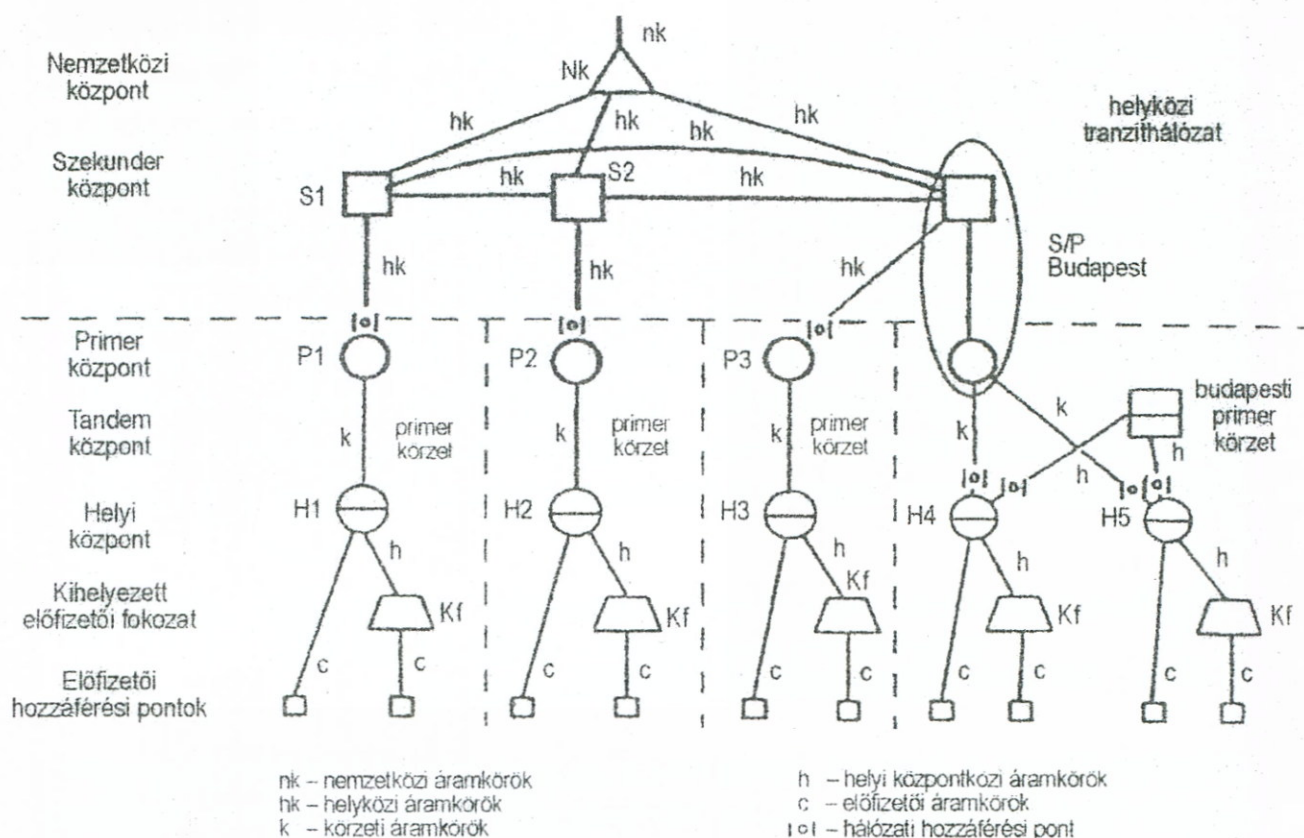
Budapesten már csak a nagy digitális központok megjelenése és a digitális átviteli utak elterjedése után alakították ki a többsíkú forgalomirányítást. Az áramkörök fizikai hossza itt már nem befolyásolja az összeköttetések minőségét, tehát ezek csökkentésére nem kellett tekintettel lenni. Két tandem központot alakítottak ki, természetesen egymással összekötve. Valamennyi helyi központot *mindkét* tandem központhoz csatlakoztatták. Eredőben, bármely két központ között így három lehetséges összekötő út között lehet választani, kiválasztva a pillanatnyi forgalmi viszonyok között a legmegfelelőbbet. Bármely másik központ elérhető a két tandem központ valamelyikének a közvetlen közvetítésével, illetve a tandemek közötti (helyi központközinek tekintett) áramkör felhasználásával.

#### 7.1.4. Az országos távhívó hálózat

Minden körzet a kimenő forgalmát a primer tranzit központ közvetítésével bonyolítja le. Egy-egy ország (primer) körzeteinek a száma általában nagyobb annál, mintsem gazdaságosan ki lehetne kötöttük egyetlen szövevényes hálózatot alakítani. Ezért az országos távhívó hálózatok mindig *többsíkúak*: egynéhány primer központ csillag áramkör kiépítésével csatlakozik egy-egy szekunder tranzit központhoz, ezek hasonlóan, egy-egy tercierhez, s.i.t. Nagy területű országoknál és a viszonylag kisebb kapacitású elektromechanikai központok korában a hierarchiasíkok száma célszerűen nagyobb volt. Ugyanakkor, miután kialakultak a nagy kapacitású digitális központok, a síkok száma elkezdett csökkenni. Magyarországon jelenleg kétsíkú rendszer üzemel: a primer központok csoportonként 9 szekunder központ valamelyikéhez csatlakoznak, amelyek között viszont szövevényes hálózat van kialakítva (7.5. ábra).

Gyakran előfordul, hogy egymáshoz közeli körzetek között jelentősen nagy forgalom alakul ki. Bár minden forgalom lebonyolítható a hierarchikus irányítás mellett, ilyenkor előnyös lenne – a magasabb rendű központ megkerülésével – a két primer központ között létesített közvetlen áramkörre irányítva, átkapcsolás közbeiktatása nélkül lebonyolítani azt. Abban az időszakban, amikor – a megfelelően nagy kapacitású – átviteli utak kiépítése költségesebb volt, mint a szükségszerűen bonyolultabb forgalomirányítás megvalósítása, előszeretettel alkalmaztak ilyen megkerülő átviteli utakat. A hierarchikus forgalomirányításhoz nem szükséges ilyen átviteli utakat *haránt* áramkörnek, illetve *haránt* iránynak nevezték, és az ezeket is használó hálózat gazdaságos kialakítása jelentős költségcsökkentést eredményezett. Ma minden forgalmat a hierarchia szerinti útvonalakon bonyolítanak és *haránt* irányokat nem alkalmaznak.





7.5. ábra. Az országos távhívó hálózat felépítése



### 7.1.5. Az országos hálózat kiviteli kérdései

Láttuk, hogy a belföldi távhívó hálózatban előforduló hálózat típusok a szövevényes, a csillag és a több hierarchiasíkú irányításhoz illeszkedő fa (más elnevezés szerint többszörös csillag) struktúrájú hálózatok. Ezeket már az 1. fejezetben megismertük.

A fenti hálózat típusokhoz illeszkedő forgalomirányítási mechanizmus és a hierarchikus jellegű, az 5. fejezetben megismert szinkron multiplexálási megoldások közül az FDM és a PDH rendszerek jól illeszkednek egymáshoz.

A nagy kapacitású rendszerekkel kiépített korszerű átviteltechnika előszeretettel használja az SDH rendszert, együtt az ehhez jól illeszkedő gyűrűs hálózatokkal. (A kettő előnyös tulajdonságai kifejezetten csak együttes alkalmazás esetén jelentkeznek.) Jelen pillanatban a teljes magyar távhívó hálózat ilyen gyűrűkből áll. Egy nagysebességű (STM-16) gyűrű köti össze a szekunder központokat és az erre felfűzött (Budapest nélkül számított) nyolchoz egy-egy közepes sebességű (STM-4) további gyűrű csatlakozik, amelyek hordozzák a primer és szekunder sík közötti forgalmat.



### 7.1.6. A nemzetközi forgalom bonyolítása



Az országot elhagyó (és a külföldről bejövő) forgalom a belföldi távhívó hálózat útvonalát követve halad. A legfelső forgalmi sík egyik központja a *nemzetközi kilépő pont*. Ez *nemzetközi* áramkörökön keresztül kapcsolódik a nemzetközi hálózathoz. Bár belföldön a nemzetközi forgalom a belföldi útvonalát követi, soha nem azzal *azonos* áramkörnyalábban halad, azaz a nemzetközi forgalom számára mindig elkülönített áramkörök szolgálnak.

### 7.1.7. A nemzetközi távhívó hálózat



A nemzetközi távhívás kialakítása abban az időszakban történt, amikor az átviteli, különösen a nagytávolságú átviteli utak kiépítése igen költséges volt, ezért úgy tervezték, hogy a jobb kihasználás érdekében a forgalom koncentrálására minden lehetőséget kihasználnak. A belföldihez hasonlóan, annak mintegy szerves folytatásaként, többsíkú, nevezetesen háromsíkú nemzetközi távhívó hálózatot terveztek, amikor is az egymáshoz közeli országok csillaghálózatban egy felsőbb síkú központba vinnék a forgalmat, majd ezt megismételve, a harmadik síkon kiépítendő szövevényes hálózat bonyolítaná le a teljes forgalmat.

Ez a háromsíkú nemzetközi távhívó struktúra lényegében soha nem épült ki. Néhány, kis területű ország számára előnyös, ha a forgalmát nem közvetlenül, hanem valamely szomszédos nagyobb ország hálózatához csatlakozva bonyolítja, de általában nem ez terjedt el. A 90-es évek *tényadata*, hogy a nemzetközi forgalom mintegy 95%-a a célországok közötti közvetlen összeköttetéseken folyik. Ez egy közepesen költségigényes megoldás: bár nem kell önálló nyomvonalon az áramköröket mindenkinek kiépítenie, (ami nem is lenne lehetséges idegen országok területén keresztül,) a nemzeti szolgáltatóktól bérelt nyalábok forgalmi kihasználtságát a bérlőnek kell a kimenő forgalma megfelelő irányításával megoldania.

## 7.2. Jelzések és jelzésrendszerek

### 7.2.1. Bevezetés



A távközlő hálózatok ugyanolyan lényeges része a jelzésrendszer, akár csak az átvitel és a kapcsolás. Jelzéseket kell küldeni az előfizető/felhasználó és a központ között, amelyek lehetővé teszik az összeköttetések

- felépítését,

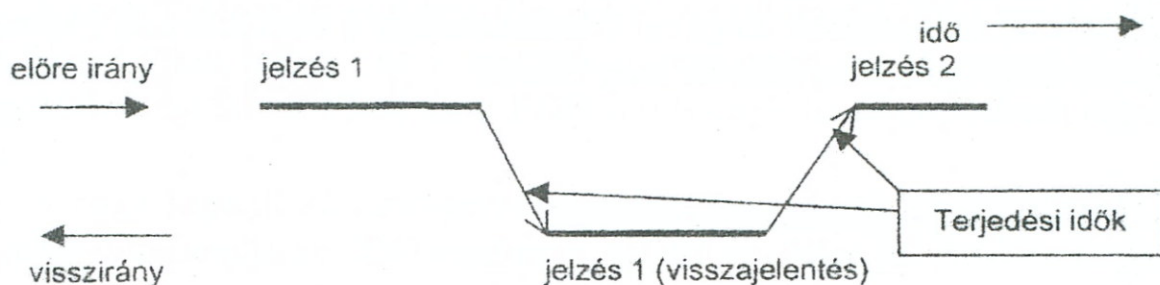


- felügyeletét,
- bontását és
- bizonylatolását.

Hasonlóképpen, több központ közvetítésével létrejött hívások esetében, jelzésváltás történik a központok között. A hívásokkal közvetlen kapcsolatban nem lévő, de a jelzések kategóriájába tartozó üzenetváltások szükségessé a hálózat biztonságos működését biztosítandó.

A jelzésrendszer értelemszerűen igazodik részben az alkalmazott átviteli rendszerhez, részben a központ típusához, műszaki hátterét ezek fejlettségi állapota biztosítja. A fejlődés minden fokozatában illeszkedő jelzésrendszer alakult ki.

Az átvitt jelzések hibátlan értelmezése alapfeltétele a hálózat hibátlan működésének. Az értelmezési hibák kiszűrésére gyakran alkalmazzák a *viszszajelentést* (acknowledgement), ami vonatkozhat csak a jelzésküldés tényére vagy a jelzés tartalmára is. Az utóbbi nyilvánvalóan tökéletesebb, sok esetben viszont a tudomásulvétel egyszerű rögzítése is elegendő. Folyamatos jelek küldésénél használják (használták) a *kényszerkapcsolt* (compelled) üzemmódot (7.6. ábra), ami azt jelenti, hogy a jelzést addig adják, amíg a visszajelentés meg nem érkezik, illetve a visszajelentő jelet addig küldik, amíg a jelzés meg nem szűnik. Ez, különösen nagy átviteli távolságoknál, igen lelassítja az üzemet (műholdaknál soha nem került alkalmazásra).



7.6. ábra. Az R2 és a No5 rendszerben alkalmazott kényszerkapcsolt jelzési mód idődiagramja

A központok közötti átviteli csatornákat lehet egy vagy két irányból használni. Ez nem az átvitelre vonatkozik, az mindig kétirányú, hanem a vezérlésre, a lefoglalás módjára. Ha a csatorna mindkét irányból igénybe ve-



hető, megtörténik, hogy egyidőben kezdeményezik mindkét végén a használatát és mindkét kezdeményezés emiatt sikertelen lesz. Kétirányú csatorna viszont jobban kihasználható lenne, különösen, ha a forgalom a két irányban nem egyforma vagy időszakosan változik. Amíg a *csatornához rendelt* jelzésrendszer használata általános volt, ez a kérdés megnyugtatóan nem oldódott meg.

A tárolt program vezérelt hálózatban a szolgáltatások köre folyamatosan bővül, ami a jelzésváltásokat egyre gyakoribbá és sokszínűbbé teszi. Ezeket a jelzéseket a központ *processzora* állítja elő és küldi a másik központ processzora felé, megszűnik az átviteli csatorna és a jelzés közvetlen kapcsolata és szerepét a processzorok közötti *üzenetváltás* veszi át. Érdekes volt a processzorok közötti üzenetátviteli csatornát létesíteni és kialakult a *közös csatornás jelzésrendszer* (common-channel signalling, CCS), ami széleskörűen alkalmaznak mind a belföldi, mind a nemzetközi forgalomban.

### 7.2.2. Előfizetői jelzésrendszerek

Az analóg előfizetői csatlakozásra szorítkozva összefoglaljuk a ma használatos jelzéseket. A központ üzeme, pontosabban a kapcsolatteremtés módja automatikus (*operátor* nem vesz részt a hívások bonyolításának a normál folyamatában) és a rendszer az emberi beszédet nem tudja feldolgozni, tehát egyéb jelzéseket kell alkalmazni.

Az előfizetői hurokban folyó egyenáram, mint ismeretes, jelzi a kézibeszélő letett vagy felvett állapotát. Letett kézibeszélő mellett a központ kizárólag a csengetőjellel tudja hívás fogadására alkalmassá tenni az előfizetőt. Ezek az ún. *sávon kívüli* előfizetői jelzések visszajelentés-nélküliek, bár küldésüket követően a hívás felépítettségi állapota megváltozik, és ez további építésre indító utasítást jelent, aminek a végrehajtása azután lényegében visszajelentésnek, pontosabban *nyugtázásnak* tekinthető.

Amíg a központok úgy voltak kialakítva, hogy az előfizető hívási szándéka jelzésekor még nem létesítettek beszédsávi csatlakozást, a hívott kapcsolási számának közlése csak *tárcsaimpulzusokkal* történhetett, ami abban áll, hogy névlegesen 100 ms gyakorisággal a vonalon folyó egyenáramot megszagatják a tárcsázandó digit értékének megfelelően (a 0 tízszeri megszakítást jelent). A *megszakítás* általában az impulzusidő nagyobb hányadát teszi ki, mivel a vonal kapacitása által okozott jeltorzítás az árammentes szakaszokat inkább rövidíti. Az egyes digitek között hosszabb szakaszokat (legalább 400 ms) iktatnak be, ami elegendő a vevőben alkalmazott jelfogócsoportok működésének a szétválasztására, azaz a digitek egymásutániségének hibátlan érzékelésére.



Hz	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	–
770	4	5	6	–
852	7	8	9	–
941	★	0	#	–

7.7. ábra. A nyomógombos hívómű által kapcsolt jelek frekvenciái

Azoknál a központoknál, ahol a hívási szándék fogadására azonnal hangfrekvenciás kapcsolatot létesítenek az előfizetővel, alkalmazható a hangfrekvenciás jelzésadóval ellátott előfizetői készülék. Ez bármely gomb lenyomásával két, különböző frekvenciájú jel kombinációját küldi a vonalra (7.7. ábra). Az egyes frekvenciákat úgy választották meg, hogy ne legyenek egymás harmonikusai és a beszédben ne legyenek leutánozhatók. Ezt a két hangos többfrekvenciás (dual-tone multifrequency, DTMF) jelzésrendszert a hívott szám közlésén kívül, a hívás tartama alatt bármikor lehet alkalmazni (a tárcsaimpulzusok megszakítják az egyenáramot és ez a hívó előfizető bontási szándékát jelzi, tehát a beszédkapcsolat alatt nem alkalmazhatók!).

Az 1 és 0 közötti digiteken kívül a nyomógombos telefon a ★ és # szimbólumok adására is alkalmas, amelyekkel, mint start, illetve stop jelekkel a számjegyes üzenetek tagolhatók és további szolgáltatások kezelhetőségének teremtik meg az alapját. (Eredetileg a DTMF jelzésrendszer a 4 sor mellett 4 oszlopot is tartalmazott, a negyedik oszlop a jelenlegi hívóműveken nincs kiépítve.)

A központból az előfizető felé menő jelzések, a sávon kívüli csengetőjelen kívül, sokáig csak egyszerű hangfrekvenciás jelek voltak, mint amilyen a tárcsázási, a foglaltsági hang, a csengetés visszajelzése stb. Amióta kialakultak a tárolt program vezérelt központok és a tárolt szöveg érthető hangon történő beolvasása mindennapivá vált, széles körben kezdték el alkalmazni. Az előfizető egyelőre csak a nyomógombok segítségével tud válaszolni, de így is bonyolult műveletek vezényelhetők le.

Ha a hívó partnere nem egy beszélő személy, hanem valamilyen digitális jellel vezérelhető berendezés, kiterjedt nem-beszéd jellegű kapcsolat tartható fenn az analóg vonalon, a digitális jelek továbbítására alkalmas *modem* közbeiktatásával. Ezt a forgalmazást azonban már nem tekintjük jelzésváltásnak, így tárgyalásuk az alkalmazások ismertetéséhez tartozik.

Digitális előfizetői csatlakozás esetén az előfizető és a központ közötti jelzésváltás másként alakul, ezt később tárgyaljuk.





### 7.2.3. Jelzések alapsávi trönkökön

Ma már aligha találkozunk kétvezetékes alapsávi trönkökkel, csupán történeti érdekességként érdemes néhány szóban megemlékezni az ott használt jelzésrendszerekről.

Az alapvető előfizetői jelzést: a hurokzárást a központok közötti át-kérő vonalaknál is alkalmazták, akárcsak a szaggatással történő szám-jegy-átvitelt. Az utóbbi már nem volt olyan egyszerű, mint a viszonylag rövid előfizetői vonalaknál. Mivel a hurok megszakítása az impedancia viszonyokat jelentősen megváltoztatta, a vonali kapacitás más időállan-dóval sült ki, mint ahogy töltődött és ez a vonali impulzusok erőteljes torzulását eredményezte. Hamar rájöttek, hogy ha a megszakítás helyett a telep polaritását cserélték meg, az áttöltődés szimmetrikus marad és a torzítás jelentősen csökken. Másik, hasonló eredményt adó megoldásként, az egyenáram helyett 50 Hz-es váltakozó áramot használtak, ami szintén jó impulzus-átvitelt tett lehetővé.

### 7.2.4. FDM átviteli rendszerek



A sokcsatornás analóg átviteli rendszerben mind a sávon kívüli, mind az átviteli sávon belüli jelzéseket alkalmazzák. Sávon kívüli jelzés átvitelére a 3,4 és 4 kHz közötti sávban választottak jelet (a nálunk használt rendszerekben 3,85 kHz-et), ami azután az alapsávi csatornára való csatlakozásban egyenáramú jelzéssé transzformálódik, és alapját képezi a csatorna lefoglalá-sát biztosító jelzésváltásnak.

Az állomás-választó digitek átvitele sávon belüli jelzésekkel történik. Egyfrekvenciás jelzőhangot alkalmaznak. A beszéddel való összetévesztést elkerülendő, a frekvenciát 2000 Hz fölött választották meg, ami a beszéd-ben már csak kis amplitúddal jelenik meg, viszonylag hosszan adják és ami a legfontosabb, kettős szűrő alkalmazásával vételkor különválasztják a jelzőhangot és a jelzőhang nélküli beszédjelet. A vett jelet csak akkor te-kintik jelzésnek, ha egyidejűleg jelen van a jelzőhang és nincs jelen beszédsávban jel.

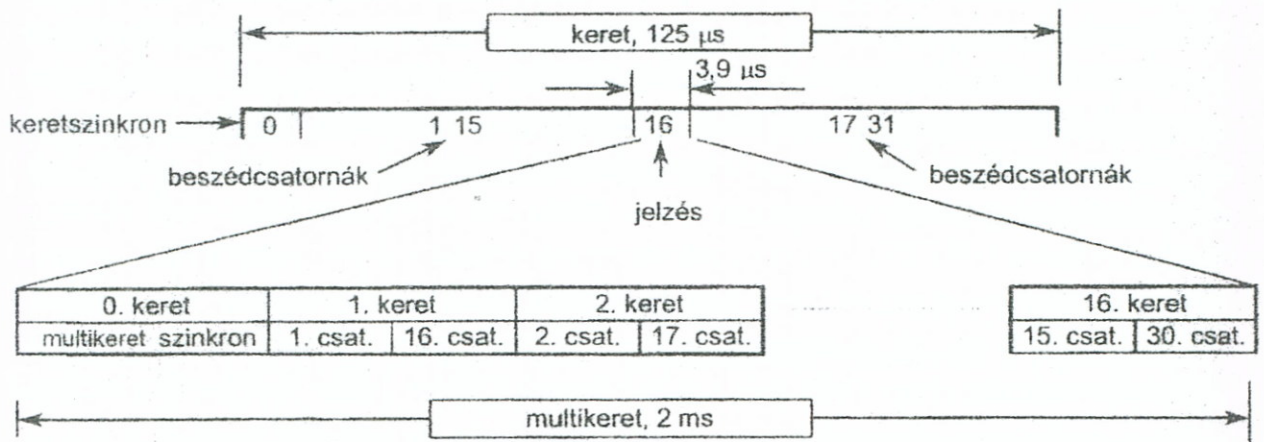
### 7.2.5. PCM átviteli rendszerek



A (primer) PCM átviteli rendszer kidolgozásakor célul tűzték ki a be-szédsávon kívüli jelzések szélesebb választékának a kialakítását. Hogy ez azután soha nem lett teljességében kihasználva, az az időközben tért hódító közös csatornás jelzésrendszer kialakulásának köszönhető.



A 30/32 csatornás rendszerben az egy-egy csatornához rendelt jelzőcsatorna kapacitása (a lehetséges 16-ból a szinkronjelnek megfelelő állapot kizárásával) 4 bit és a jelváltási sebessége 500 Hz. Mint adatátviteli csatorna, ez majdnem 2 kb/s átviteli sebességet jelent, ami egyetlen összeköttetés alakítása számára irdatlanul nagy. A jelzőcsatorna kialakítása úgy történik (7.8. ábra), hogy 16 keretet multikeretté fognak össze és jelzésátvitelre a 16-os csatornákat használják. Így a keretidő 16-szorosának megfelelő 2 ms-onként rendelkezésre áll  $16 \cdot 8 = 128$  bit. Ebből 8-at használtak volna a multikeret szinkronizálásához, a maradó 120 bitet pedig a 30 beszédcsatornához rendelve, csatornánként 4-esével.



7.8. ábra. Csatornához rendelt jelzésrendszer a PCM 16-os csatornájában, 16 keretet tartalmazó multikeret képzésével

### 7.2.6. Regiszterközi jelzések

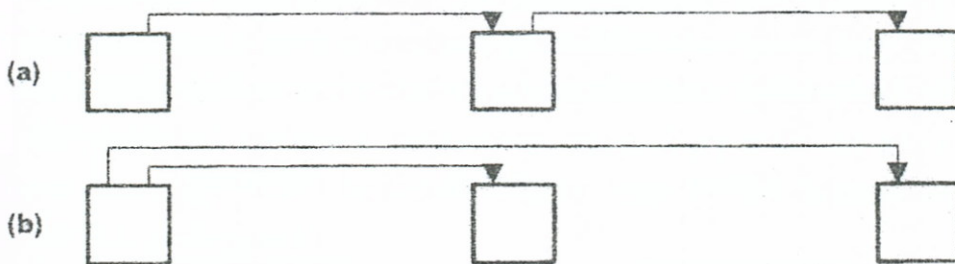
Regiszter-vezérelt rendszerekben, amikor az összeköttetés létrehozása csak több központ közvetítésével lehetséges, a hívót csatlakoztató központ regisztere az előfizetőtől veszi a cím-információt, majd annak *egy részét* továbbítja a közbenső központok felé, amit azok továbbadnak mindaddig, amíg el nem érik a hívott előfizető helyi központját. A többszörös áttételnek megfelelően, a keresett központ ilyenén elérése hosszú időt vett igénybe, amíg a központok között a tárcsaimpulzusok ütemét követő jelzéseket használtak. A folyamat meggyorsítására később sávon belüli *többszörös* (multifrequency, MF) jelzésrendszert dolgoztak ki.

A száminformáció átvitele során vagy megvárják valamennyi digit beérkezését, mielőtt a továbbításba kezdenének (en-bloc signalling), vagy megkezdik a továbbítást, mielőtt továbbítandó digit a rendelkezésre áll (overlap signalling).



Az információ továbbítható úgy, hogy azt minden közbenső központban feldolgozzák (link-by-link signalling), de átvihetők a jelzések a két végződő központ között közbenső feldolgozás nélkül (end-to-end signalling). A tömbvázlatokat a 7.9. ábra mutatja.

Az elsődlegesen alkalmazott jelzésrendszer a CCITT (most ITU-T) által ajánlott R2 rendszer (R=regional). Mind előre-, mind vissz irányban 6-6 frekvenciát használnak, ezek közül mindig kettőt egyszerre. Legalább 15 különböző jelzés küldhető így egy irányban (ha az egyik jelkombinációt táblatorként használják, még több is). A kettős kódok *jelentése* országról-országra eltérhet, ami általános, az az átviteli biztonságot fokozó kényszerkapcsolt üzemmód.



7.9. ábra. Központok közötti jelzésátvitel közbenső feldolgozással (a) és végződő feldolgozással (b)

### 7.2.7. Közös csatornás jelzésrendszer

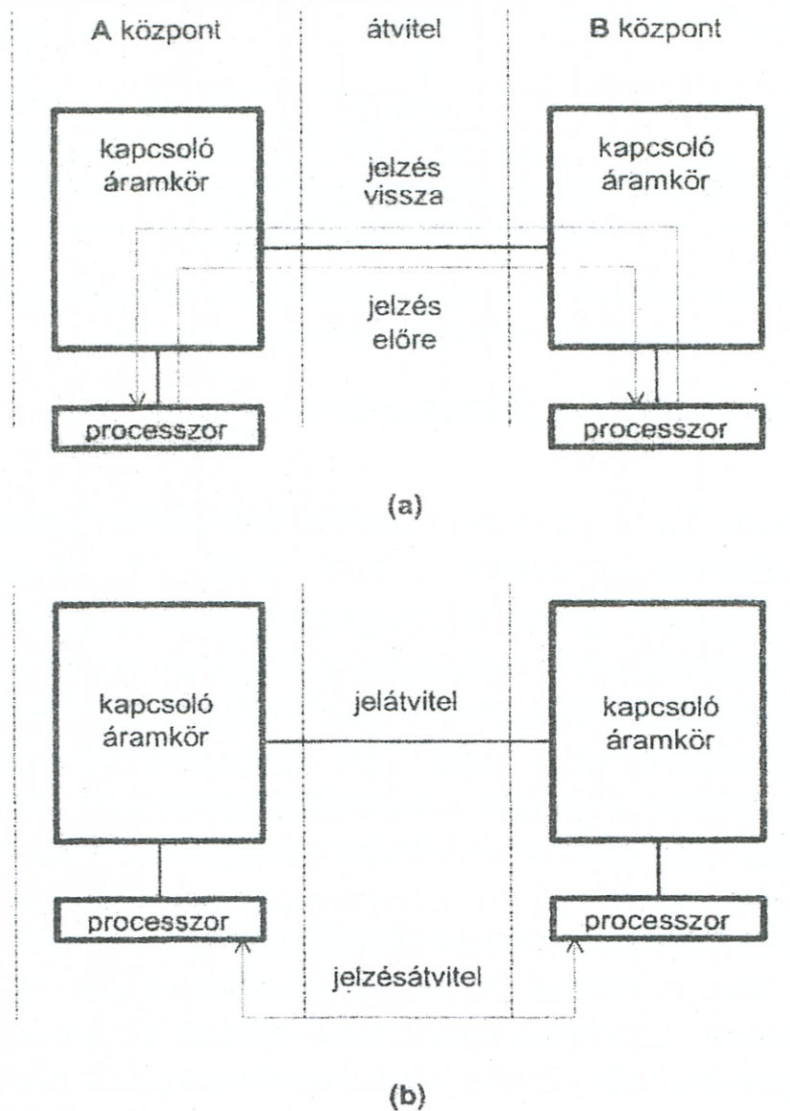


**Alapfogalmak.** Tárolt program vezérlés és átviteli csatornához társított jelzésrendszer alkalmazása esetén a hívó oldali (A) központ központi processzora a hívott félre vonatkozó információt a hívott oldali (B) központ felé kiválasztott beszédátviteli csatornán küldi annak processzorához és hasonlóképpen, a B központból a processzor jelzései a beszédátviteli csatorna ellenkező irányán jutnak vissza A-ba (7.10. ábra, a. részlet). Ez gazdaságtalan megoldás, egyrészt a csatornák kihasználása a kapcsolat felépítés időszakában rossz, másrészt az üzenetek küldésének az útvonala feleslegesen bonyolult.

Ha a központok processzorai között létesítenénk közvetlen adatátviteli csatornát (7.10. ábra, b. részlet) és azon küldenénk minden üzenetet és nem csak egyetlen, hanem a csatorna kapacitását teljesen kihasználható, sok összeköttetésre, közösen, előnyösebb jelzésátviteli megoldáshoz jutnánk. Ez a *közös csatornás jelzésátvitel* (common-channel signalling, CCS) a következő előnyökkel rendelkezik:



- a processzorok közötti jelzészváltás gyors,
- jelzések és szolgáltatások széles választéka alakítható ki,
- új szolgáltatások szoftver módosítással hozhatók létre,
- a csatornához társított jelzésrendszer, költségkímélően, elhagyható,
- a jelcsatornák bármely irányból lefoglalhatók, így kihasználtságuk nő,
- a hívásra vonatkozó bármely információ az összeköttetés ideje alatt is küldhető, a konfiguráció bármikor módosítható (például harmadik fél vonható be az összeköttetésbe stb.)
- a processzorok között nemcsak a hívásokkal közvetlen kapcsolatban lévő üzenetek válthatók, hanem a közös jelzőcsatorna fenntartási és áramkör-menedzselési feladatokra is felhasználható.



7.10. ábra. Átviteli csatornához kapcsolt (a) és közös csatormás (b) jelzésátvitel a központok processzorai között



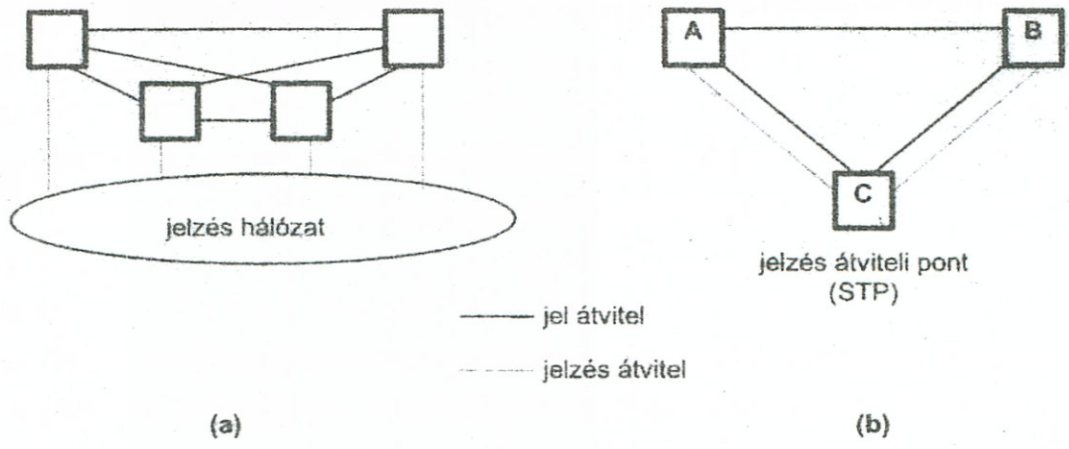
Előnyös tulajdonságai miatt a közös csatornás jelzésrendszer használata széles körben, versenytárs nélkül terjed. Jellemzően a közös jelzőcsatornának nagyon megbízhatónak kell lennie, mivel meghibásodása nem egy, hanem egy *csoport* összeköttetéseit veszélyezteti.

A CCS rendszer *üzeneteket* továbbít, amelyeknek magukban kell foglalniuk egy *áramkör azonosító kódot* (circuit identity code, CIC), amely jelzi, melyik beszédáramkörhöz, melyik híváshoz tartozik az üzenet. ugyanakkor nincs szükség beszédáramkör előzetes lefoglalására. Több központon átmenő hívások esetén a jelzésváltás processzorról-processzorra történik (vagyis a link-by-link jelzésváltás a jellemző).

CCS rendszerben az átviendő üzenetek, igaz, hogy csak korlátozott ideig, de *várakoznak* az átvitelre. Az egy rendszer által lebonyolítható hívások számát (végső soron az átviteli kapacitás, de a gyakorlatban inkább) a várakozás elfogadható mértéke határozza meg. Egyetlen 64 kb/s sebességű jelzéscsatorna mintegy 1000 beszédáramkör kapcsolási-üzemeltetési feladatainak az ellátására elegendő.

**Jelzeshálózatok.** A közös jelzéscsatornák *hálózatot* alkotnak. Ez a *jelzeshálózat* ugyanúgy összeköti a hálózat központjait, mint a jelátviteli csatornákat koncentráló jelátviteli hálózat. A jelzéscsatorna céljára általában az átviteli (primer) PCM rendszerek 16-os csatornáját használják (nem valamennyi ilyen csatornára van szükség, így egy részük jelet szállíthat). Ugyanakkor, nem szükségszerű, hogy a szóban forgó PCM rendszer jelcsatornáira vonatkozó jelzések annak *saját* 16-os csatornájában menjenek. Még az sem szükséges, hogy azonos útvonalon menjenek a jelek és a jelzések. A jelzeshálózat önálló életet él. Létezik jelátviteli csatornával *társított* jelzésátvitel, amire példát a 7.10. ábra b. részlete mutat, de alkalmazhatnak *nem-társított* jelzeshálózatot (7.11. ábra a. részlet) is, amikor a hálózat önálló (lényegében egyfajta *csoomagkapcsolt*) hálózatként működik. A gyakorlatban az üzenetek legfeljebb egy közbelső ponton mennek át (7.11. ábra b. részlet), ekkor a jelzeshálózat *kvázi-társított* és azt a pontot, amelyen csak átmennek a jelzések, *jelzésátviteli pontnak* (signal transfer point, STP) nevezik. Ilyen hálózatokban az üzeneteknek tartalmazniuk kell az *eredet-meghatározó kód* mellett *rendeltetési hely meghatározó kódot* is, amelyek alapján a hálózat azokat a megfelelő helyre irányítja.

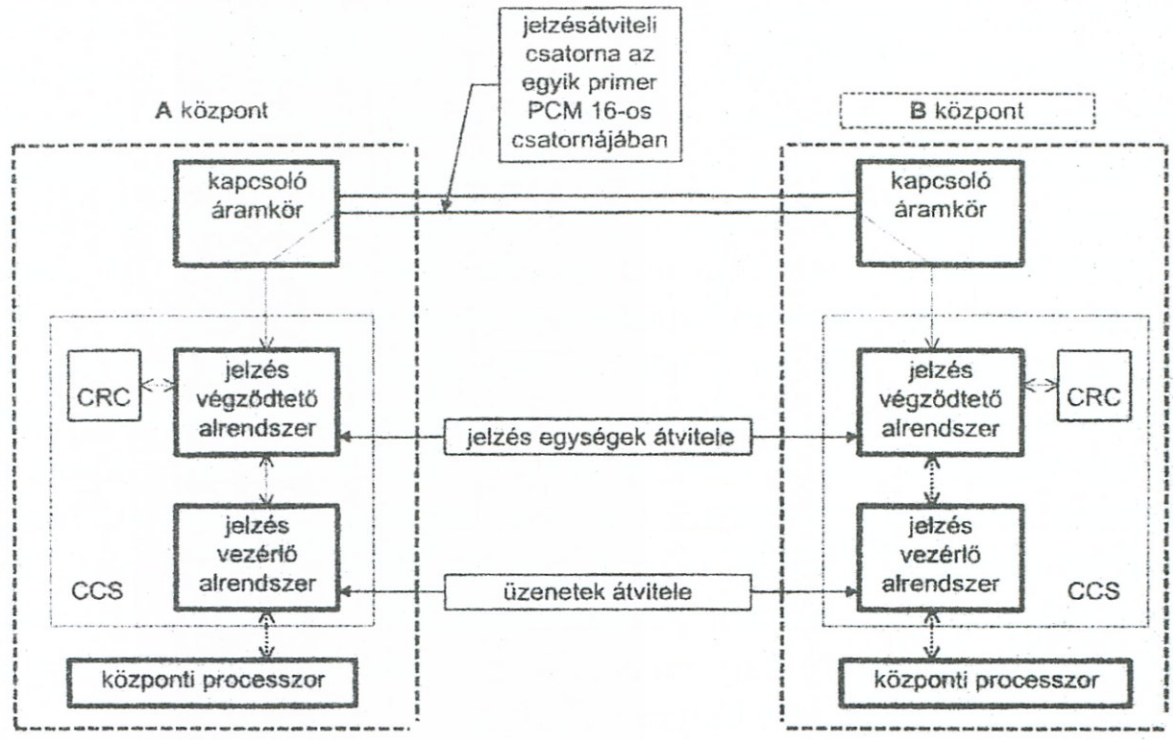




7.11. ábra. Önálló (a) és jelátviteli csatornával társított (b) közös csatornás jelzésátviteli hálózat

A közös csatornás jelzésrendszer már az analóg sokcsatornás átviteli hálózatokkal párhuzamosan kezdett kifejlődni. Ez volt a CCITT 6-os jelzésrendszere. Analóg átviteli csatornán modemek segítségével létesített 2,4 kb/s sebességű adatátviteli csatornán üzemelt.

**A 7-es jelzésrendszer.** Egyszerű tömbvázlatos felépítés az ITU-T által ajánlott 7-es számú jelzésrendszerről a 7.12. ábrán látható. Jelzés-üzeneteket, például, az A központ központi processzora állít elő és ezeknek a célállomás, például B központ központi processzora felé történő továbbítása a jelzésrendszer feladata.



7.12. ábra. A 7-es jelzésrendszer felépítése



A rendszer végállomása három, mikroprocesszor-vezérelt részből:

- a jelzés-vezérlő,
- a jelzés-továbbító alrendszerből és
- az átviteli hibákat kiküszöbölő, illetve észlelő alrendszerből

áll. A jelzés-vezérlő alrendszer formálja meg az üzeneteket és állítja be azokat az átviteli sorba. Üzenet hiányában helykitöltő (üres) üzeneteket generál, hogy aktív állapotban tartsa az összeköttetést. Az üzenetek ezután a jelzés-továbbító alrendszerbe kerülnek, ahol kialakulnak a teljes *jelzés-egységek* (signal unit, SU):

- az üzenetek megkapják a sorszámukat és
- kiegészülnek az átviteli hibák észlelésére szolgáló redundáns kóddal (CRC).

A rendszer modellezhető, mint protokollok halmaza, amelyben négy *szintet* (level) különböztetnek meg, ezek:

1. A fizikai szint
2. Az adat-kapcsolati szint
3. A jelzés-hálózat szintje és
4. A felhasználói rész (user part).

Az OSI 7 rétegével a kölcsönös megfeleltetés a 7.13. ábrán látható. Az első három szint közel azonos, az OSI modell 4-7 rétegeinek lényegében a 4. szint felel meg.

Az 1. szint a központok közötti átvitelt biztosító PCM rendszer 16-os időrésében történő fizikai átvitelt jelenti.

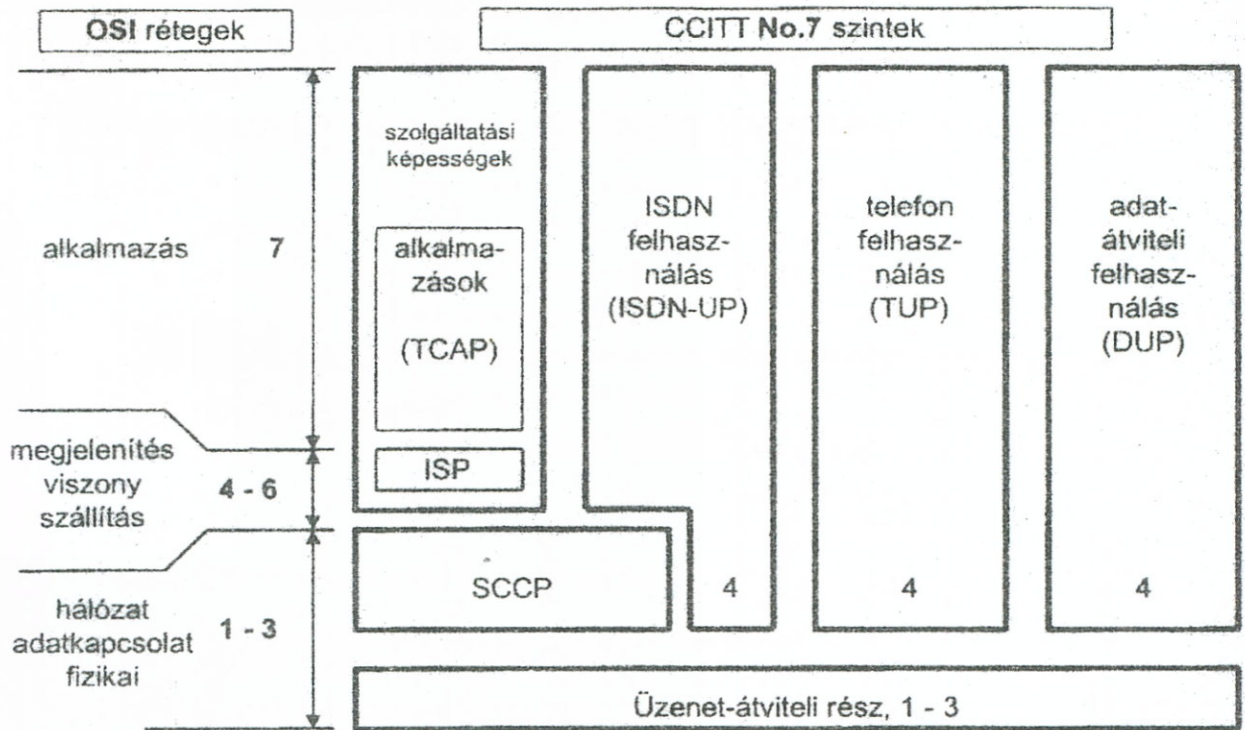
A 2. szint elvégzi a hiba-ellenőrzés, az átviteli út kiválasztás és az üzenetek összeállításának a feladatát.

A 3. szint végzi a címzést és biztosítja az üzenetnek a megfelelő helyre történő továbbítását. A hálózat minden pontja (node) 14 bites címmel rendelkezik, és minden üzenet tartalmazza mind a küldő, mind a célállomás címét.

Az első három szint együtt képezi az *üzenet-továbbító részt* (message-transfer part, MTP). A 4. réteg a *felhasználói rész* (user part, UP). Az MTP univerzális, alkalmas különböző UP-k kiszolgálására. Az elsőként definiált felhasználói részek: a távbeszélő (telephone-user part, TUP), az adatátvitel (data-user part, DUP) és az ISDN-t kiszolgáló (ISDN-user part, ISDN-UP).



(Az utóbbi két programrészhez kapcsolódó hálózat típusok tárgyalása későbbi fejezetekben következik!)



7.13. ábra. A 7-es jelzésrendszer és az OSI rétegek közötti kapcsolat

A közös csatornás jelzésrendszer felhasználható – a hívások bonyolításán kívül – általános adatátviteli szolgáltatásokhoz, mint amilyen például a hálózatban elhelyezett adatbankok lekérdezése, a forgalom menedzselése, továbbá az üzemvitel általános feladatainak a megoldása. Mivel ezek az alkalmazások, célszerűen, összhangban vannak az OSI 7-rétegű felosztásával, az MTP-t kiegészítették egy *jelzéshez csatlakozó vezérlő résszel* (signalling-connection control part, SCCP), hogy annak kimenete teljes kompatibilitást biztosítson az OSI modell 3. rétegével, amire azután a további alkalmazások már az OSI-vel összhangban szervezhetők. Elkészült az OSI 4-6 rétegeinek a funkcióit ellátó *közbenső szolgáltatói rész* (intermediate service part, ISP), amire azután az *átviteli alkalmazások* (transaction-capabilities application part, TCAP) épülhetnek.

## 7.3. Számozási terv

### 7.3.1. A hívószám szerepe



A kézi kezelésű központok korábban hívószámot nem alkalmaztak. A hívott *személyét* a hívó közölte az operátorral, aki azután, esetleg még megtu-



dakolva, hogy hol, milyen szolgáltatónál található a keresett személy, azt név szerint kapcsolta. A hívás felépítésének része volt a *fogadókészség* tisztázása is, amikor is az operátor megtudakolta, vajon a hívott óhajt-e hívóval beszélgetni és csak pozitív válasz esetén hozta létre a kapcsolatot.

Az előfizetők számának az emelkedésével nehézkessé vált a név alapján történő megkeresés. A hívószám alkalmazását persze nem ez, hanem az automatikus hívásfelépítés (az automata távbeszélő központok) megjelenése tette szükségesszerűvé.

A hívószám szerepe általánosságban a következőkben foglalható össze:

- Lehetőséget ad automatikus hívásfelépítésre.
- Kellően egyszerű, bárki megtanulhatja.
- Illeszkedik a kapcsoló berendezésekhez (ez a szempont a proceszszálás fejlődésével háttérbe szorul).
- Lehetővé tesz, a távbeszélésen túlmenően, egyéb szolgáltatásokat is.

A hívószámok rendszerét, mint a hálózat más jellemzőit, meg kell tervezni. A tervezési időszak, amelyen belül, jó lenne, ha nem változna egy-egy előfizető hívószáma, legyen *hosszú*. Az elektromechanikai, lassan változó korszakban azt mondtuk, legyen ez akár 50 év. Ma persze a fejlődés oly mértékben felgyorsult, hogy erről szó sem lehet, de e tekintetben nem haszontalan a konzervatív szemlélet mellett a lehetőséghez mértén kitartani. A már megtanult, jó öreg hívószám nagy érték az előfizetők azonosításában.

A hívószám kapcsolódik a hálózat körzetbeosztásához. Célszerű megvalósítani, hogy a körzet egy konzekvens számozási egységet képezzen, önálló hívószám rendszerrel, de ugyanakkor biztosítandó, hogy bizonyos különleges célra fenntartott hívószámok az ország (a földrész?) egészére azonosak legyenek.

Konkrétan ez mit jelent? Világszerte meghonosodott, hogy az egyéni hívószám 0-val ne kezdődjön, ez ugyanis ország-, illetve körzetválasztó funkciókra van fenntartva. A Strowger-központokban az 1-gyel kezdődő számmal az operátort lehetett hívni. Ezt a mezőt ma sem osztják ki előfizetőknek, fenntartják különleges, általában operátor által vezérelt szolgáltatásokhoz való hozzáférésre.

Egy szolgáltatási környezet (általában ország) számára előnyös, ha *valamennyi* körzet egyéni hívószámainak a hossza azonos. Ugyanakkor célszerű minél rövidebb számokat alkalmazni. Az a cél, hogy a körzetek egyformák legyenek

- méretre,
- előfizető számra és forgalomra,



- a helyi központok számára, ami biztosítaná az egyforma hosszúságú hívószámok alkalmazását. A körzetek viszont óhatatlanul különböznek egymástól és ez nem megoldható. Például Magyarországon pillanatnyilag a körzeteken belül a hívószám 6 jegyű, ugyanakkor a Budapesti helyi körzetben 7.



### 7.3.2. A hívószám felépítése

A távbeszélő hívószámok felépítése világszerte egységes, mégpedig a következő:

1. nemzetközi prefix,
2. ország kódja,
3. távolsági hívás prefix,
4. körzet kódja,
5. helyi központ kódja,
6. előfizető kódja.

Az előforduló változatok:

1. Nemzetközi hívásnál a fenti sorrendet teljességgel be kell tartani, de 3. kimarad.
2. Távolsági hívásnál 3-mal kezdve a sorrendet betartjuk.
3. Helyi hívásnál 5-tel kezdünk.
4. Különleges szolgáltatások esetén általában 1-es szám tárcsázással kezdve, általában max. 3 számjegyet tárcsázunk.

Nemzetközi előírás korlátozza az összességgel előfordulható digitek számát és erre méretezhető a regiszterek kapacitása, a tárolójának a hossza.

A körzeten belül az előfizetők hívószáma összetevődik 5. és 6.-ból. Általában nem választjuk ketté, tehát nem tartjuk nyilván külön a központ és külön az előfizető kódját.

A távolsági prefix ajánlottan 0 (nálunk 06), a nemzetközi 00.

Az ország kódja 1–3 digit hosszú. Ezen belül az első földrészt jelöl a következő értelmezésben:

- 1 USA, Kanada
- 2 Afrika
- 3 és 4 Európa
- 5 Dél-Amerika



6 Ausztrália

7 FÁK

8 Ázsia

9 Közel-Kelet.

Az ország kódja kis országoknál 3, nagyoknál 2 digit, ugyanakkor a szám belföldi része általában ellenkezően alakul.

A körzetek kódja általában 2–3 digit hosszúságú. Nálunk például a budapesti kód csak egy jegyű (1-es), ami kiegyenlíti a budapesti és egyéb körzeti hívószámok hossza közötti különbséget.

Angliából indulva elterjedt a 10 tárcsázható számjegy felhasználásával a betűk megfeleltetése. Az eredeti jelölés:

2: ABC

3: DEF

4: GHI

5: JKL

6: MNO

7: PRS

8: TUV

9: WYZ.

Ez azonban idővel módosult, a kihagyott Q és X betűk beillesztésével, amit többféleképpen oldottak meg. Tehát manapság rá kell tekinteni a hívóműre, mielőtt a betű-szám megfeleltetést kihasználnánk.

Végül, meg kell említeni, hogy a már tárgyalt operátoros rövidített hívás mellett egyéb különleges esetek is előfordulnak. Gondolunk itt, többek között, a mellékközponti (PABX) betárcsázás esetére, vagy a mobil hálózatokkal való csatlakozás esetleg a fenti szabálytól eltérő kezelésére (nálunk ilyen probléma nincs, a mobil hálózatok önálló körzetszámmal rendelkeznek és a távhívás mintájára hívhatók).

Amennyiben, a számjegyeken túlmenően, felhasználjuk a hívómű \* és # karaktereit is, kombinálva a számjegyekkel, számos egyéb szolgáltatást el tudunk érni az intelligens központon keresztül.

## 7.4. Tarifálás

### 7.4.1. A díjszabási terv feladata



A távközlési szolgáltatás igénybevétele esetén általában díjat kell fizetni. A szolgáltatók ehhez *díjszabási tervet* készítenek, ami, ha sikeres

- Biztosítja az előfizetők megalégedését
- Biztosítja a beruházás megfelelő megtérülését



- Megfelelő jövedelmet biztosít a szolgáltatónak
- Biztosítja a berendezések hatékony kihasználását
- Megvalósítása nem ütközik műszaki akadályba, végül, konkrétan
- Lehetővé teszi a hívásszám és/vagy időtartam és/vagy rendeltetési hellyel arányos díjazást.



#### 7.4.2. A díj meghatározásának a szempontjai

A díj mértékének meghatározása előtt egyértelmű álláspontot kell kialakítani számos kérdésben. A lényegesebbeket a következőkben soroljuk fel:

1. A távközlés milyen mértékben közszolgálat, azaz milyen mértékben kell biztosítani az állampolgárok számára a (szabad?) hozzáférést?
2. Milyen mértékben kell kielégíteni a jelentkező igényeket?
3. Legyen-e és mire terjedjen ki az ingyenes vagy támogatott szolgáltatás?
4. Legyen-e külön egyéni és közületi díjszabás?
5. A szolgáltató bevételei milyen mértékben fedezzék az amortizációt?
6. Milyen mértékben irányítsa-befolyásolja az állam az üzleti oldalt?
7. Legyen-e megkülönböztetés a társadalom egyes rétegei között?
8. Milyen legyen az egyszeri/havi/hívásarányos díjrészek aránya?
9. Legyenek-e megkülönböztetve a nyilvános (pénzbedobós) készülékek és a különleges szolgáltatások díjai?
10. Költség- vagy értékarányos legyen-e a díj?
11. Legyen-e napszak/nap/havi kedvezmény?
12. Ki fizesse a díjakat?
13. Mi legyen a díjszámlálás kezdete és vége?
14. Hogyan függjön a díj a körzetek távolságától (illetve, nemzetközi összeköttetések esetén, az országok távolságától) és milyen legyen az arány a bel- és a külföldi összeköttetések díjai között?

Az egyes szempontok néha egymással ellentétes irányba mozdítják el a szemléletet. Ilyenkor a megoldások kompromisszumos jellegűek. A műszaki lehetőségek mára oly mértékben fejlődtek és a szolgáltatások egyre inkább



hozzáférhetővé váltak, hogy nem jelenthet többé nehézséget az alapvető igények kielégítése. Ez azt eredményezi, hogy az állam szerepe egyre inkább visszaszorul, és átadja helyét a szabad vállalkozási alapon történő szolgáltatás-szervezésnek. A szűkös műszaki háttér és a széleskörű igény megkövetelte, hogy a rendelkezésre álló eszközöket és hálózatokat igyekezzenek maximális hatékonysággal a lehető leggazdaságosabban kihasználni. Ez a szemlélet ma háttérbe szorul, hogy átadja helyét az eladható szolgáltatások maximális jövedelmezőséggel való kielégítése koncepciójának.

### 7.4.3. A díjszabások jellemzői



Amint már a díjazás szempontjainak kialakításával kapcsolatosan megemlítettük, az előfizető számára a költség lényegében 3 összetevőből áll össze:

1. Egyszeri (belépési) díj + berendezés bérlet
2. Átalánydíj
3. Hívások díjazása a hívások száma,  
a hívások időtartama,  
a díjővezet és  
a napszak függvényében.

A díjazás tényének a megjelenése hatással van a hálózatra. Régebben, az elektromechanikai berendezések és a *huzalozott program vezérlés* világában ténylegesen, járulékos berendezéseket kellett a hálózatba beépíteni, mint amilyenek az előfizető hívásszámlálója, díjmegállapító (tarifa-impulzus generátor stb.), valamint a díjazással kapcsolatos jelzéseket kellett a központokon belül és a központok között átvinni. A mai korszerűnek tekintett, *tárolt program vezérelt* rendszerek világában, a processzorokhoz kapcsolt tárolók a hívások annyi adatát rögzítik, hogy ezekből a tarifa előállítására, tárolására, a kívánt helyekre való továbbítása nem jelent nehézséget.

A nemzetközi összeköttetések esetén a költségek mindig megoszlottak legalább két ország szolgáltatói között. Ha országon belül egynél több szolgáltató létezik, szintén hasonló helyzet áll elő. A hívásban résztvevők, közönségesen a hívó fizeti a díjakat, a bevétel pedig megoszlik a szolgáltatók között. Ez általában nem is olyan egyszerű művelet és pontosan megfogalmazott szerződések szabályozzák.



## 7.5. Forgalmazás, szolgáltatások



### 7.5.1. A távbeszélő szolgáltatás protokollja

Mint már említettük, a távbeszélés *alapszolgáltatás*. Ez azt jelenti, hogy a távbeszélő készüléknek minden járulékos energiaforrás felhasználása nélkül üzemképesnek kell lennie. A hívásfelépítés protokollja tehát azzal az állapotjellemzéssel indul, miszerint a készülék kapcsain olyan egyenfeszültségű energiaforrás érzékelhető, ami a kézibeszélő felemelését követően a készülék számára az üzemeléshez szükséges elektromos teljesítményt szolgáltatja.

A tényleges beszélgetés a szándék bejelentésével kezdődik: a hívó előfizető kézibeszélője felemelésével (az angol nyelvű leírásokban 'off hook', azaz a horogról való lekasztás szerepel) a központ számára jelzést ad. Az előfizetői hurok zárásáról a központ a meginduló áram indikálásával szerez tudomást. Ezt követően a központ regisztert bocsát a hívás rendelkezésére, aminek megtörténtét a hívó felé a T- (tárcsázási) hang küldésével jelzi.

A T-hang vételét követően hívó közli a központtal a keresett előfizető hívószámát. Ennek – részbeni vagy egészbenei – vétele után a központ megkeresi a hívott előfizetőt csatlakoztató helyi központot, átadja számára a hívott megtalálásához szükséges hívószám-részletet. Annak alapján az megvizsgálja, hogy a keresett állomás szabad-e és ha igen, mindkét előfizető számára jelzést küld (csengetőjel, illetve csengetési visszhang formájában).

Ha a hívott elérhető, a kézibeszélője felemelésével jelzi a fogadási szándékát és kezdetét veszi a beszélgetés. Ennek folyamán a központok hívás-felügyeleti tevékenységet végeznek, azaz folyamatosan figyelik a kézibeszélők állapotát. Ha ebben változás következik be, azaz bármelyiket 'leteszik', a központok elkezdik a felépített összeköttetés lebontását.

A távbeszélő forgalom lebonyolítása *veszteséges*, ami azt jelenti, hogy ha a hívás felépítése folyamatában bármely időközben szükséges berendezés az adott időpontban nem áll a rendelkezésre, a hívás felépítésének a folyamata megszakad és a hívó előfizető *foglaltsági hangot* kap, ami számára azt jelzi, hogy kézibeszélőjét tegye le (az angol szóhasználatban: on-hook). Ha továbbra is fenntartja hívási szándékát, ismételt felvétellel kezdeményezzen új hívást, vagyis kezdjen mindent előlről.

Ez az, amit az előfizető a hívás folyamán érzékel, hang által tudomásul vesz. A háttérben továbbiak is végbemennek. Ezek közül emeljük ki a központ által végzett *jogosultság vizsgálatot*. A hívási szándék vételét követően a központ megvizsgálja, vajon a hívó jogosult-e a szolgáltatásra, a hívószám beérkezését követően, összekapcsolható-e a hívottal.



A mai elektronikai központok a hívási folyamat egészéről naplót vezetnek, ami az esetlegesen szükséges hibaelhárítási tevékenységtől kezdve a hívás minden lényeges jellemzőjének utólagos ellenőrzéséhez lehetőséget ad. Rögzítésre kerül a hívó száma (az **A** szám), a hívott száma (a **B** szám), a hívás időpontja, tartama, végkimenetele stb. Ezek, többek között, lehetővé teszik a hívás költségének a meghatározását. A hívás-rekordok megsemmisítése csak azután történik, hogy azokra bizonyosan már szükség nem lehet, lehetőséget adva az utólagos előfizetői panaszok széleskörű kivizsgálására is.

Az adatátvitel dominanciájának a korában, célszerű megvizsgálnunk a távbeszélő összeköttetés lefolyását az OSI-rétegszerkezet vetületében. Az alsó két réteg egyenértékű azzal, hogy rendelkezésre áll a beszédsvárra kiterjedő analóg összeköttetés kiépítésének a lehetősége (mégpedig a két irányban egyidejűleg és azonos átviteli jellemzőket biztosítva). A harmadik réteget – bár nem kizárólag számítógépes program formájában – a hívás felépítésének a folyamata reprezentálja. A magasabb rétegeknek megfelelő protokoll alapvetően a beszélgetés alatt, a résztvevők közös tevékenysége eredményeként alakul ki. Kivétel talán a hívás-felügyelet és a bontás, amiben a berendezések is részt vesznek. Egyebekben, úgy szokás megfogalmazni, hogy a távbeszélő esetében az alkalmazás *ad hoc* jelleggel, a beszélgetés keretében alakul ki.

### 7.5.2. Alközpontok



A távbeszélő szolgáltatás számos előfizetője nem egyetlen távbeszélő készüléket kíván a hálózatra csatlakoztatni, amelyek egyenként kis forgalmúak és nem célszerű valamennyi számára a megismert, ún. *fővonalis* szolgáltatást önállóan biztosítani.

A szükséges funkció lényegében forgalom koncentráció:  $N$  számú *mellékállomás* forgalmát kell  $n$  számú kimenő vonalra koncentrálni, feltéve, hogy  $n \ll N$ . A kimenő forgalom automatizálása egyszerű, csupán le kell utánozni a kapcsoló központok kereső és választó funkcióját. Ilyen elemi szinten az egyetlen további alközponti funkció a mellékállomások egyenárammal való – a fővonalis áramkörtől független – ellátása.

Az alközpontnak bejövő hívásokat is fogadni kellett, ami sokáig csak kezelő közbeiktatásával történhetett.

Ha már összegyűjtötték és keresőgépekre csatlakoztatták a mellékállomások vonalait, igen egyszerű továbbfejlesztést jelentett egy belső vonalválasztó telepítése, ami lehetővé tette, hogy a mellékállomások *egymás között* forgalmazzanak. Ez a forgalom nem terhelte a fővonalis csatlakozásokat, értelemszerűen a helyi központot sem. Általában tarifálásra sem került.

Az így kialakult *alközpont* (privat branch exchange, PBX) idővel a hálózat szerves részévé vált. Továbbmenően, lehetővé tette, hogy a mellékál-



lomások számára olyan szolgáltatások is elérhetők legyenek, amelyek a helyi központokon keresztül nem voltak. Az alközpont a fejlesztésnek a forrását jelentette: a csatlakozó előfizetők szűk és közös érdekeltségű csoportja számára helyi érdekeltségű alkalmazásokat lehetett biztosítani, amely esetleg a későbbiekben a fővonalai csatlakozású előfizetők számára is megvalósul, mint nyílt szolgáltatás.

A bejövő hívások automatikus irányítása nemcsak az alközpontok fejlettségének volt a függvénye. Az alközpontba behívó előfizető ugyanis – a fővonalai csatlakozás hívószámának a közlése után, amit követően a hívott alközpont jelentkezik be – nem tudott további, a mellékállomás hívószámát tartalmazó információt közölni mindaddig, amíg számjegyeket csak a vonaláram szaggatásával tudott jelezni. A vonalválasztási folyamat lezajlása után a vonaláram megszakadása a következő forgalmi lépést, nevezetesen a hívás befejezésének a szándékát jelentette.

Az automatizált alközponti *beválasztás* csak a DMTF (a 'tone' üzemmódú) tárcsázás megjelenésével vált lehetségessé. E tekintetben kétféle megoldás terjedt el. Ha a mellékállomás hívószáma a főközponti számmező részét képezi, a teljes hívószámot a helyi központ regisztere vételezi be és feldolgozás után a választáshoz szükséges digiteket elküldi az alközponthoz. Csak az alközpont tudja bevételezni és felhasználni az adatokat, ha a mellék hívószáma a fővonalai szám *kiterjesztéseként* jelenik meg, ilyenkor a hívott teljes számát két részletben: először az alközpont választásához a fővonalai számot, majd az alközpont jelentkezése után a kiterjesztést kell tárcsázni.



### 7.5.3. Adatátvitel

A PSTN előfizetői végberendezései – az analóg üzemű távbeszélő készülék mellett – egyre inkább adatátvitelt igényelnek. Mivel az előfizetői érpárból és a hozzá csatlakozó kapcsolt átviteli hálózatból álló rendszer a 0,3-3,4 kHz tartományba eső frekvenciájú analóg jelek átvitelére alkalmasak, adatátviteli végberendezés üzemeltetéséhez a bemeneti pontokon modemet kell csatlakoztatni, amely elvégzi az adatjeleknek az átviteli sávba történő transzformálását, illetve a visszatranszformálást.

A modem, legalábbis az analóg-digitális, illetve a digitális-analóg funkció, önmagában nem végzi el a távbeszélő összeköttetés felépítésével, tartásával és lebontásával kapcsolatos lépéseket. A végberendezés általában *számítógép*, valamely alkalmazás ellátására alkalmassá tett változatban. Ezzel kell megvalósítani a hívási funkciók ellátását, tehát a kapcsolatteremtés első lépéseként megfelelő ellenálláson keresztül zárni kell a hurkot, a T-hang megérkezése után közölni kell a hívott állomás kapcsolási számát, s.í.t.



A kapcsolat felépülte után lépnek működésbe a modemek, (pontosabban a modem-funkciók, mivel lehet, hogy maga a modem *berendezés* közvetlenül is el tudja látni az áramkör felépítéssel stb. kapcsolatos feladatokat) és építik fel egymással a kapcsolatot, ami például a megfelelő átviteli sebesség megválasztását és egyéb, a digitális átvitelt zökkenőmentessé tévő mozzanatokból áll.

#### 7.5.4. Távmásoló szolgáltatás



Régi igény, hogy a távbeszélő hálózaton lehessen *állóképeket* továbbítani. Mivel ilyenkor az átvitt kép minőségét nem befolyásolja az átviteléhez szükséges idő, belátható, hogy bármilyen sok pontból is rakjuk össze a képet és bármilyen sok világosság-fokozatot is akarunk megkülönböztetni, az átvitel kisebb vagy nagyobb időfelhasználással megoldható.

Az elektronikai megoldások fejlődésével a '90-es évekre jött el az idő, amikor a távmásolás ugrásszerűen kezdett elterjedni. Akkoriban a technika már 2 változatban volt kialakítva. A tömeges elterjedés a 3. változat (Group-3 vagy röviden G-3) kidolgozásával esett egybe és ez azután néhány év alatt írott szövegek PSTN felhasználásával történő továbbítását általános, mindennapi gyakorlattá tette. A végberendezés akár önálló, akár távbeszélővel egybeépített változatban az előfizetők asztalán közönséges, mindennapi eszközzé vált.

#### 7.5.5. Bérelt vonalak, bérelt összeköttetések



Számos felhasználó saját távközlő hálózatot épít fel, kizárólag saját igényeinek a kielégítésére. Ennek a teljes kiépítése és üzemben tartása költséges és általában nem gazdaságos, különösen akkor, ha kis kapacitású és hosszú átviteli utakról van szó.

Ilyenkor előnyös lehet az általános távközlési szolgáltatótól vonalakat *bérelni*. Ez azt jelenti, hogy a szolgáltató egyes érpárokát, amelyek amúgyis fölös számban telepítésre kerülnek a hálózatok kiépítése során, hogy a majdan jelentkező igényeket folyamatosan ki lehessen elégíteni, bérbe ad kizárólagos használatra a jelentkező magán felhasználónak. A bérleti díj ilyenkor magában foglal bizonyos fenntartási kötelezettséget, illetve garanciát a vonal hibátlan működését biztosítandó.

A bérelt vonalak két olyan pont összekötésére alkalmazhatók, amelyek azonos tápterületen belül helyezkednek el. Ezek folytonossága a központon belül de-facto átkötéssel biztosítható. Más a helyzet, ha a kívánt két végpont távolabb esik egymástól. Központok között ma már nem létezik galvanikus



kapcsolat, azaz érpáron üzemelő alapsávi trönk, ami a direkt átkötést egyáltalán lehetővé tenné.

Ilyenkor nem vonalat, de inkább *összeköttetést* kell bérelni, ami ebben az esetben a bérlő által kizárólagosan használható átviteli csatornát jelent. Ez a központokon a kapcsológépek megkerülésével megy át. A központok közötti átviteli utakon a multiplex (és általában digitális) átviteli rendszer egy-egy csatornáját foglalja le a bérelt időre permanens módon.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Távközlési hálózat tervezése. Közlekedési Dokumentációs Vállalat. Budapest, 1987.



## 8. INTEGRÁLT SZOLGÁLTATÁSÚ DIGITÁLIS HÁLÓZAT

### 8.1. A hálózat felépítése

#### 8.1.1. Történeti áttekintés

Az elektromechanikai elemekkel kapcsolt és analóg átviteli utakat tartalmazó PSTN átalakulásának kezdete a 70-es és 80-as évekre tehető. Gazdagabb és fejlettebb távközléssel rendelkező országokban előbb, egyébként később kezdődött és nem is pontosan egyformán, egyetlen recept szerint ment végbe a *digitalizálás*.

Egyes országokban a vállalati *alközpontok* körül kezdődött meg az átalakítás, mivel itt a vállalaton belül a (digitális) számítástechnikát, adatok vállalaton belüli mozgatását már egyébként is alkalmazták és természetesnek adódott a távbeszélést is hasonló alapra helyezni. Nevezhetnénk ezt a hálózat perifériájáról, *alulról* kezdődő digitalizálásnak.

A nyilvános hálózat digitalizálása az átviteli utak átalakításával kezdődött. Ezzel egy olyan átmeneti időszak vette kezdetét, ami – nagytávolságú átvitelnél – a többszörös A/D-D/A átalakítások és az ezzel járó minőségromlás jegyében telt el. A nagy digitális kapcsoló központok megjelenése azután ezt a problémát egy csapásra megoldotta, és kialakult a központok között az *integrált* digitális kapcsolat (átvitel és kapcsolás).

Most már csak az előfizetői érpár átvitele maradt analóg és kéthuzalos. Az ilyen hálózatot (nem szolgáltatást!) el is nevezték *integrált digitális hálózatnak* (integrated digital network, IDN) és megindult a széleskörű kiépítése. A központok cseréjét jószerével megelőzte az átviteli utak digitalizálása, ami elsősorban a körzeti áramköröket érintette. Így a digitalizálás mintegy *felülről* kezdődött.

Az IDN kezdetben igen drágának látszott (különösen a központok voltak drágák) és az egyébként is jó szolgáltatással rendelkező országokban a felhasználók úgy érezték, hogy nem javítja a szolgáltatásokat a szükséges befektetéssel *arányosan*. Továbbá, bizonyos adatátviteli szolgáltatások az analóg hálózatban is hozzáférhetők voltak (például a fax, modem integrálható volt!).

Kellett tehát valami olyan *pluszt* felmutatni, ami indokolttá teszi a költségek kezdeti fajlagos növekedését. Ez pedig csak *többlet szolgáltatások* bevezetésének az ígéretével volt lehetséges. Kidolgozták tehát a távbeszélő hálózat (és szolgáltatás) fejlesztésének olyan modelljét, ami a *szolgáltatások* integrálását (vagyis egységes hálózati szolgáltatás melletti bővítését) eredményezi. Ezt a *tervezett* hálózatot nevezték azután *integrált szolgáltatású digitális hálózatnak* (integrated services digital network, ISDN).

!



Alapvető felépítésbeni eltérést a PSTN-hez képest az jelentett, hogy a digitális (és természetesen négyhuzalos jellegű) átvitelt kiterjesztették egészen az előfizetőig, amivel kialakult az előfizetőtől az előfizetőig terjedő teljes digitális *átláthatóság* (transparency), mégpedig irányonként egymástól függetlenül.

Egyidejűleg létrehoztak a jelcsatornáktól független *jelzés-csatornát*, ami lehetővé tette a jelcsatorna felhasználtsági állapotától független mindenkori jelzésváltást, vonatkozzon az a klasszikus áramkörkapcsolás felépítésére, felügyeletére, bontására és bizonylatolására, valamint ezen túlmenően bármely egyéb, az üzemmel és szolgáltatásokkal kapcsolatos kérdésre. Ez a lehetőség messze túlmutat a PSTN-jellegű forgalom-lebonyolításon.

### 8.1.2. Az n-ISDN fogalma

Az ISDN szervezésekor abból indultak ki, hogy nem akarnak újabb hálózatot *kiépíteni*, hanem a PSTN *meglévő* hálózatának a felhasználásával igyekeznek önállóan új hálózatot – a hozzá kapcsolható szolgáltatásokkal – kialakítani. Mivel mind az átvitel, mind a kapcsolat alapeleme a 64 kb/s sebességű digitális csatorna, ezt, mint alapegységet megtartva, többszörözve biztosítanak az ISDN előfizetők [akiket itt elkezdtek *felhasználónak* (user) nevezni] számára. Ekkor a PSTN teljes (digitalizált) kapcsoló és átviteli rendszere, hálózata változtatás nélkül használható lenne. [46]

A 64 kb/s sebességű csatornát B-vel jelölték (a bearer angol szó kezdőbetűje után). A következő multiplikációs egység a T1, illetve az E1 méret, ami 23, illetve 30 darab B-csatornát jelent (az USA/Japán, illetve az európai gyakorlatnak megfelelően).

Az ISDN előfizető alapszolgáltatásként 2 B-csatornát kapott. Szóba jöhet, például zenei minőségű átvitel céljaira néhány-B sebességű szolgáltatás. Alközponttal rendelkező előfizető (Európában) 30 B csatornát (ezt nevezik primer sebességnek), esetleg ennek többszörösét használhat fel. Az ezen sebességhatáron belül működő ISDN szolgáltatást – utólag – *keskenysávúnak* nevezték el és az n-ISDN jelölést kapta (n=narrow). Minden, ami ezen túl van, a B-ISDN (B=broad) fogalomkörbe fog tartozni.

Az integrálandó többlétszolgáltatások némelyike nem valósítható meg a fenti átviteli sebesség-határokon belül. Ezek azonban még ma is eléggé kialakulatlanok, nem várható gyors és széleskörű bevezetésük. Kivételek persze vannak. Ilyen például a különböző szervezetek igénye a gyors és egyszerű adatátvitelre. Ez az igény nem kerülhető meg, mihamarabb ki kell elégíteni, bár nem biztos, hogy az erre szolgáló hálózatot közhasználatúnak, nyilvánosnak, ezen belül ISDN-nek kellene majd nevezni. És persze az sem biztos, hogy egyáltalán áramkörkapcsolt hálózatnak kell-e majd lennie.



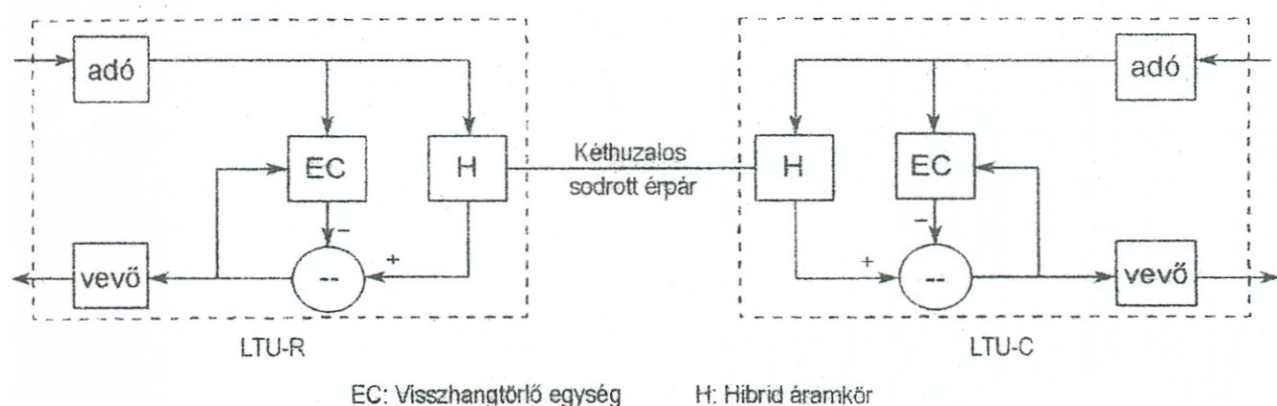
### 8.1.3. Az alapsebességű hozzáférés kiépítése

A minden előfizetőnek (minimálisan) biztosítandó sebességet – egyéb próbálkozások után –  $2B+D_{16}$  formában határozták meg. Az ekkora átviteli sebességet biztosító csatlakozást *alaphozzáférésnek* (illetve *alapsebességű hozzáférésnek*) nevezik és szokásosan BRA-val jelölik (basic rate access).

Ez tehát a fentiekben definiált módon, egyidejűleg rendelkezésre álló 2 darab, egyenként 64 kb/s sebességű *jelátviteli csatornát* ( $B$ =bearer) és egy 16 kb/s sebességű, a jelzések számára kialakított, ún. *adatcsatornát* (data,  $D$ ) jelent, összesen  $2 \cdot 64 + 16 = 144$  kb/s sebesség mellett. (A  $D_{16}$  csatorna szükségtelenül nagy kapacitású a  $2B$  csatorna jelzéseinek az átvitelére, ezért elhelyezhető benne egy 9,6 kb/s sebességű jelátviteli csatorna is, amely kapacitás a  $2B = 128$  kb/s jelátviteli kapacitáshoz hozzáadható.)

Az egyetlen érpáron megvalósítható kétirányú átvitel kialakítása több évtizedes fejlesztés eredménye. A mindenkori műszaki fejlettséggel összhangban, felvetődött a két átviteli iránynak frekvenciabani szétválasztása, továbbá, az alapsávi átvitelt megtartva, a kétirányú átvitelnek időben történő szétválasztása. Mindkét megoldás olyan széles sávú átvitelt igényel, ami nem biztosítható valamennyi, már meglévő előfizetői érpárra.

A ténylegesen elterjedő átvitel, az analóg beszédátvitelhez hasonlóan, az egyidejű, kétirányú alapsávi átvitel lett. A kétirányú digitális jel-folyam, természetesen, négyhuzalos jelleggel keletkezik és így is viendő át, az érpárok elején és végén a 2/4-huzalos átalakítást hibrid transzformátorokkal meg kell oldani, amelyek a hangátvitelben megszokott elrendezéshez képest most „fordítva” helyezkednek el: kéthuzalos oldaluk mutat az átviteli vonal, négyhuzalos végződésük pedig a jelforrás, illetve a -nyelő felé (8.1. ábra).



8.1. ábra. Kétirányú alapsávi adatátvitel egyetlen érpáron, kiegyenlítő alkalmazásával



Mivel az érpárok illesztett lezárása általában nem biztosítható, a visszafordulás jelentős. Ez most azt eredményezi, hogy a vett jelben (analóg értelemben) additíve megjelenik az adásoldal jele, ami jelentős zajt és gyakori jeltévesztést eredményez. Megszüntetésére a visszhang elnyomó áramkört használnak (a 8.1. ábrán: EC), amelyik az átvitelre bocsátott jelből éppen akkora, de ellentett polaritású hányadot vezet a kimeneti irányba, hogy az eredő kimeneti jelnek az azonos oldali adójelből származó része eltűnjön. A visszhang elnyomó áramkör ehhez szükséges átviteli mértékét a tényleges jelátvitelt megelőzően, egy élesztési fázisban állítják be, minden összeköttetés felépítési fázisában, hiszen a tényleges átviteli vonal, illetve a paramétere az előző összeköttetés lebontása óta megváltozhattak.

A teljességhez hozzátartozik, hogy a szokásos tápterület méretek mellett a vonalak csillapítása olyan értéket érhet el, hogy szükség lehet közbenső regenerálásra. Egy darab regenerátor esetleges alkalmazását a használatos megoldások magukban foglalják.

Az alaphozzáférés 144 kb/s átviteli kapacitása mellé kapcsolat-felépítési és felügyeleti feladatok ellátására 16 kb/s sebességű szolgálati csatornát alkalmaznak, így a szokásos vonali adatsebesség 160 kb/s. Az előfizetői érpárok frekvenciafüggő csillapítása és a hálózat zajviszonyai együttesen azt sugallják, hogy érdemes többállapotú vonali kódot alkalmazni. Az elterjedt megoldások: háromállapotú kód (pozitív, nulla és negatív jel) használata 120 kBaud jelváltási sebesség mellett, illetve négyállapotú kód (+3V, +1V, -1V és -3V) használata 80 kBaud sebességen.

Az első megoldás úgy működik, hogy a bináris jelfolyam 4 bitjét kódolják 3 ternáris szimbólummá. A szükséges 16 állapot kifejezésére így  $3^3=27$  kódszó áll a rendelkezésre. A redundanciát az egyenszinttel rendelkező kódszavak váltakozó felhasználásával az eredő egyenszint eltüntetésére használják fel, az e célra kialakított MMS43 kódolási szabály szerint. A megoldás részletes ismertetését mellőzzük, mivel a hazánkban elterjedő be rendezések inkább a négyállapotú kóddal üzemelő megoldást alkalmazzák.

A 2B1Q négyállapotú vonali kód mellett adódó 80 kBaud sebességű átvitel 40 kHz Nyquist-sávzélességet igényel. Az előfizetői érpárok csillapítását ezen a frekvencián mérik, és a mérés eredményétől függően döntenek a közbenső regenerátor beépítéséről.

8.1. táblázat

bináris	kvaternáris
10	+3
11	+1
01	-1
00	-3



A bináris állapotok és a kvaterner szintek közötti megfeleltetést a 8.1. Táblázat mutatja. Az átvitel 1,5 ms időtartamú *keretek*be szervezeten történik. Az ez alatt továbbított 120 szimbólumból 9-et a keret szinkronizálására,  $12 \cdot (8+8+2)/2=108$ -at pedig a B és D<sub>16</sub> csatornák jeleinek az átvitelére használnak. A fennmaradó 3 szimbólum, azaz 1,5 ms-ként 6 bit képezi az üzemviteli csatorna alapját. Az átvitel, a szinkronszó kivételével, bitkevert.

Az üzemvitel céljára a keretenkénti 6-6 bitből *multikeret* szervezésével alakítják ki a C<sub>L</sub> (control channel, vezérlő csatorna) jelű csatornát. A multikeret 8 keretet tartalmaz. Szinkronizálása minden nyolcadik szinkronszó invertálásával történik. Az így adódó, 12 ms-ként  $8 \cdot 6=48$  bitből 24-et használ fel az ún. EOC csatorna (embedded operational channel, beágyazott üzemeltetési csatorna). 12 bit szolgál az átviteli hibák jelzésére (CRC). A fennmaradó, csak részben felhasznált 12 bit szolgál a vonal aktiválásának, az átvitel meghibásodásának, táplálásmódjának stb. a jelzésére.

A fent ismertetett vonali átvitelt felhasználva a kapcsoló központ V és az előfizető/felhasználó S/T interfésze között alakítják ki az *alaphozzáférést*. Ez magában foglalja az előfizetői érpárat (esetleg közbenső regenerátort), a központban elhelyezett LT jelű (line terminal, vonali végződés), valamint az előfizetőnél telepített NT jelű (network terminal, hálózati végződés) berendezéseket.

A teljes átviteli rendszer különböző *állapotokban* lehet. Ezek a következők:

1. **Total activation:** teljes aktiválás. Az aktiválás szó itt a teljes bekapcsolási folyamatot foglalja magába.
2. **Start-up:** bekapcsolás. A bekapcsolás egy master-slave módú kiépítésben a vevők szinkronizációját, a kiegyenlítők és a visszhangtörlők beállítását eredményezi, hogy az összeköttetés a kétirányú átvitel követelményeinek megfeleljen.
3. **Warm start:** meleg indítás.
4. **Cold start:** hideg indítás.
5. **Cold start only:** csak hideg indítás.
6. **Full operational status:** Az adó-vevők teljes működési állapota azt jelenti, hogy
7. NT és LT számára a bit-időzítés fázishelyesen van beállítva
8. A bejövő keret és multikeret szinkronizáció megtörtént
9. A visszhangtörlők és a kiegyenlítők együtthatóinak a pontos beállítása megtörtént.
10. **Deactivation:** deaktiválás.
11. **Turn off:** lekapcsolás. A teljes üzemű adó-vevő párt RESET állapotba viszi.
12. **RESET** Megkülönböztetnek Vétel RESET és Teljes RESET állapotokat.
13. **Full RESET** Az adó-vevő a távolvégről jelkimaradást észlel és nem küld semmit.





**14. Receiving RESET** Tranziens állapot, amelyben NT a távolvég felől jelkimaradást észlelve nem küld semmit. NT ebben az állapotban nem kezdeményezhet indítást, de indításkezdeményezésre válaszolnia kell.

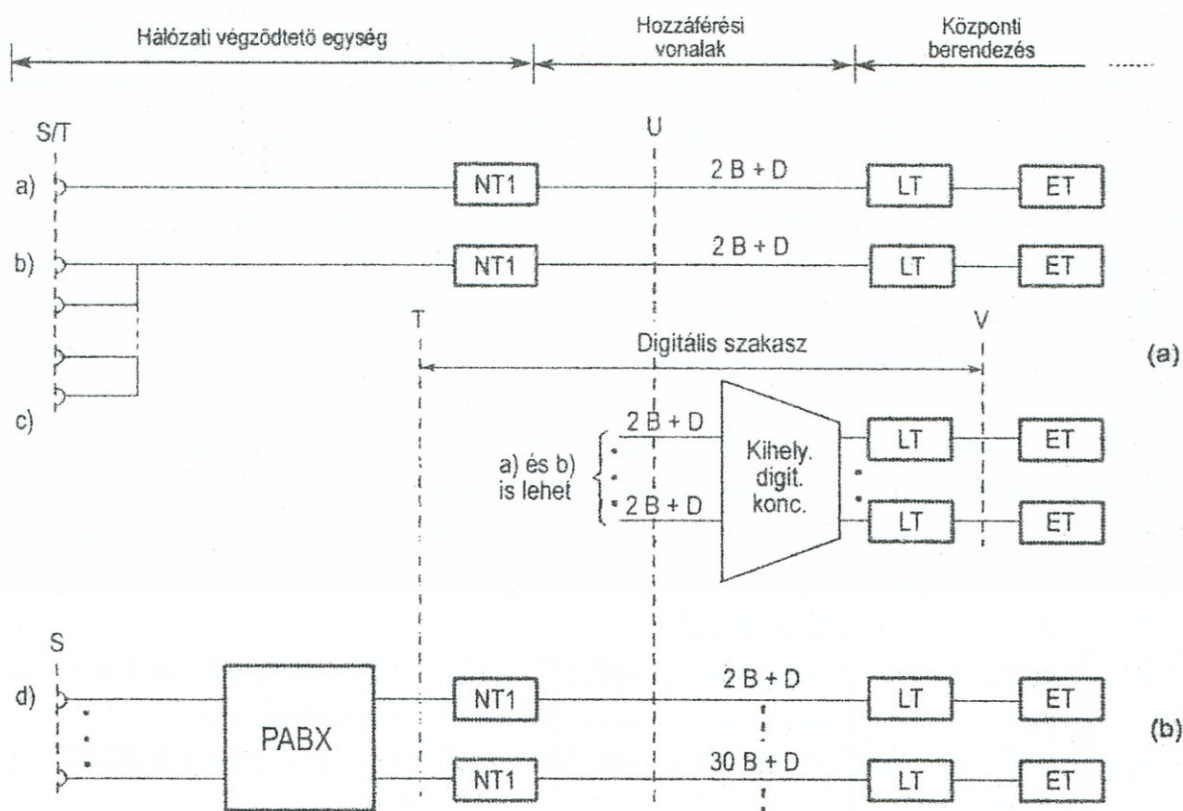
**15. Power down mode:** táplálás kikapcsolva.

**16. Transparency:** Az adó-vevő a B és D csatornáknak a hálózattól vett bitjeit NT egy az egyben továbbítja LT felé.

Az állapotok részletesebb ismertetését itt nem adjuk meg, csak utalni kívántunk a működésre.

Nyugalmi állapotban, ha sem hívás nincs a felhasználó felé, sem onnan nincs híváskezdeményezés, nincs aktivált állapot, de a rendszer a (max. 15 s időt igénylő) hideg-indításon túl van. Hívás esetén az aktiválás max. 320 ms (regenerátorral max. 640 ms) időt vehet igénybe, ami elfogadhatóan rövid a hívás felépítésének az idejéhez képest. Figyelmet érdemel a 12. állapot, ami akkor áll elő, amikor az ISDN üzem nem lehetséges, de a felhasználó számára egyetlen PSTN (analóg) távbeszélő működtetését biztosítani kell (többek között vonali feszültségnek és analóg üzemi távbeszélő jelei és jelzései fogadásának a biztosításával).

Az NT és LT által határolt U interfész – külső utasításra – el tudja végezni saját tesztelését mind a regenerátort magában foglalva, mind attól a felhasználó irányában.



**8.2. ábra.** Az ISDN csatlakozás referencia konfigurációja, alaphozzáférés (a) és primer hozzáférés (b) esetén. (Az interfészek indexelése a jelzettől eltérő is lehet.)



Az alaphozzáférés teljes referencia konfigurációja a 8.2. ábra (a) részletén látható. A fent ismertetett elemeken túlmenően a központban elhelyezett ET (exchange terminal, központi végződés) gondoskodik a B csatornának a kapcsoló mátrix felé, a D<sub>16</sub> csatornának a vezérlő processzorok felé (valamint, ha a D<sub>16</sub> csatorna jel-üzenetet is szállít, annak a megfelelő, például a csomagkapcsolt hálózat felé) történő csatlakoztatásáról. A két egység, az LT és az ET egyetlen kártyán van kivitelezve és a PSTN-nél használt vonali végződő egység helyébe van dugaszolva.

A felhasználó telephelyén telepített NT kimeneti oldalára, az S/T interfészre közvetlenül helyi sín csatlakozik az ISDN végberendezések fogadása céljából. Ennek ismertetése azonban már a következő alfejezet témája.

### 8.1.5. A primer sebességű hozzáférés kiépítése



Egyes felhasználók több (általában 3-30 közötti, illetve  $n \cdot 30$  darab) B csatorna kapacitású csatlakoztatást igényelnek. A 30 alatti csatornaszám sajátos átviteli igény (például 6B a nagyhanghűségű zenei átvitelhez stb.) kielégítésére jöhet szóba, míg (Európában) a 30B kapacitású egység ISDN alközpontok csatlakoztatásához használatos. [Ilyenkor a jelzésátviteli csatorna (jele: D<sub>64</sub>) 64 kb/s sebességű és nyilvánvalóan, a primer PCM 16-os csatornájában helyezhető el.] A 30B+D<sub>64</sub> átviteli és jelzési kapacitást biztosító csatlakozást *primer sebességű hozzáférésnek* (PRA, primary rate access) nevezik.

A nagyobb sebességű hozzáférések közös jellemzője, hogy az átvitel egyetlen érpáron nem valósítható meg. Ezzel összhangban az átvitel mindig négyhuzalos: irányonként más érpárat vagy átviteli csatornát alkalmaznak.

Néhány B csatorna átviteléhez elegendő irányonként 1-1 érpárat felhasználni az előfizetői kábelekből. A teljes primer PCM rendszer átvitelére használatos megoldások irányonként 2 (a 24-csatornás rendszerben), illetve 3 érpárat igényelnek.

Az előfizetői kábel érpárainak a felhasználásán túlmenően, főként, ha egymás közelében több felhasználót kell csatlakoztatni, akik esetleg egynél több primer rendszert is igényelnek, indokolt egyéb átviteli közeget, ma az esetek túlnyomó részében optikai kábelt kiépíteni.

### 8.1.4. A digitális szakasz kialakítása



Ha az ISDN-felhasználók száma nő, az igények kielégítésére *ISDN alközpontot* célszerű telepíteni. Ez átveszi a 8.2 ábra a) és b) részletében megismert NT szerepét. Pontosabban, ilyenkor, a 8.2. ábra (b) részletének meg-



felelően, NT két részre bontódik: NT1 a vonali átvitel funkcióit látja el, NT2 pedig az alközpont, amely bemenetén (T interfész) fogadja a központ felől érkező jelfolyamot, és kimenetén (S interfész) biztosítja a felhasználói ISDN szolgáltatásokat. A V és a T interfészek között primer PCM használható (8.2. ábra d) részlet). Ezt *digitális szakasz*nak nevezik. Az LT és az NT1 egységek felépítése eltér az alapsebességű csatlakozáshoz használtétól, és persze ET is másként csatlakozik, ha nem is a kapcsolómezőhöz, de a processzorokhoz feltétlenül, hiszen most  $D_{16}$  helyett  $D_{64}$  a jelzescsatorna.

A primer PCM jelfolyam 0. csatornájának a kihasználása eltér az átviteltechnikai alkalmazásbani szinkronizációs szereptől. Itt más lehetőség nem lévén, az alaphozzáférés  $C_L$  csatornáját a 0 időrésben kell elhelyezni. E célból 16 darab 125  $\mu$ s-os keretből multikeretet képeznek és a 0. csatornának a keretszinkronizáláshoz nem használt, keretenként átlagosan 4 bit-jéből oldják meg egyrészt a multikeret szinkronizálását, másrészt három-funkciós vezérlő csatornát képeznek az alaphozzáférésnél megismert feladatok ellátására.

## 8.2. A hálózat szolgálatai

Annak ellenére, hogy a jelcsatornák egyértelműen digitálisak és átviteli kapacitásuk  $n \cdot 64$  kb/s, a központokon való átvezetésük és tartalmuk feldolgozása nem egyértelmű. Ezért szokásos különböző ISDN *szolgáltatásokat* definiálni, hogy az átvitel során a bitfolyamban csak olyan módosítások történhessenek, ami nem akadályozza a szolgáltatra épített *szolgáltatás* helyes működését.

A szolgáltatók, természetesen, létrehozhatják a jól ismert áramkörkapcsolást, ezek az *áramkörmódú* szolgáltatók. Az ISDN-ben használt végberendezések viszont lehet, hogy az üzenetkapcsolt jellegű alkalmazásokat igénylik, ennek megfelelően beszélhetünk *csomagmódú*, illetve *keretmódú hordozószolgáltatásról* is. Az ezeket felhasználó hálózatokkal a következő fejezetekben ismerkedünk meg.

Az áramkörmódú hordozó szolgáltatók tehát mindig kétirányú szimmetrikus összeköttetést hoznak létre, azaz a szolgáltató jellege mindkét irányban azonos. Megkülönböztetünk  $1 \cdot 64$  kb/s, illetve  $n \cdot 64$  kb/s átviteli kapacitású változatokat, ahol  $2 \leq n \leq 30$ . Valamennyi áramkörmódú szolgáltató 8 kHz strukturált, azaz 125  $\mu$ s-os keretszervezéssel rendelkezik. Legfontosabbak a

**64 kb/s sebességű, nemkorlátozott,**

**64 kb/s sebességű, beszédüzemű** (A- vagy  $\mu$ -karakterisztikával),

**64 kb/s sebességű, 3,1 kHz hang** (modemes átvitelhez is használható),



**64 kb/s sebességű, beszéd/nemkorlátozott,**

**6\*64 kb/s sebességű, nemkorlátozott,**

**24\*64 kb/s sebességű, nemkorlátozott,**

**30\*64 kb/s sebességű, nemkorlátozott,**

**64 és 6\*64 kb/s sebességű, többcélú,**

**Többsebességű, nemkorlátozott** hordozószolgálat kategória.

Az egyes kategóriák látszólag részben átfedik egymást, mindegyiknek megvan azonban a megfelelő ITU-T ajánlással meghatározott alkalmazási területe.

Léteznek még az üzenetkapcsolt szolgáltatások alapját képező szolgáltatások, mint a

**Virtuális hívás** (virtual call, **VC**) és az

**Állandó virtuális áramkör** (permanent virtual circuit, **PVC**) a csomagkapcsolt hálózati szolgáltatásokhoz, az

**Összeköttetésmentes** (connectionless, **CL**) hordozószolgálat helyi számítógép-hálózatok összekapcsolásához, illetve a

**Kerettovábbítás** hordozószolgálat, értelemszerűleg a kerettovábbítás (frame relay, **FR**) szolgáltatás megvalósításához.

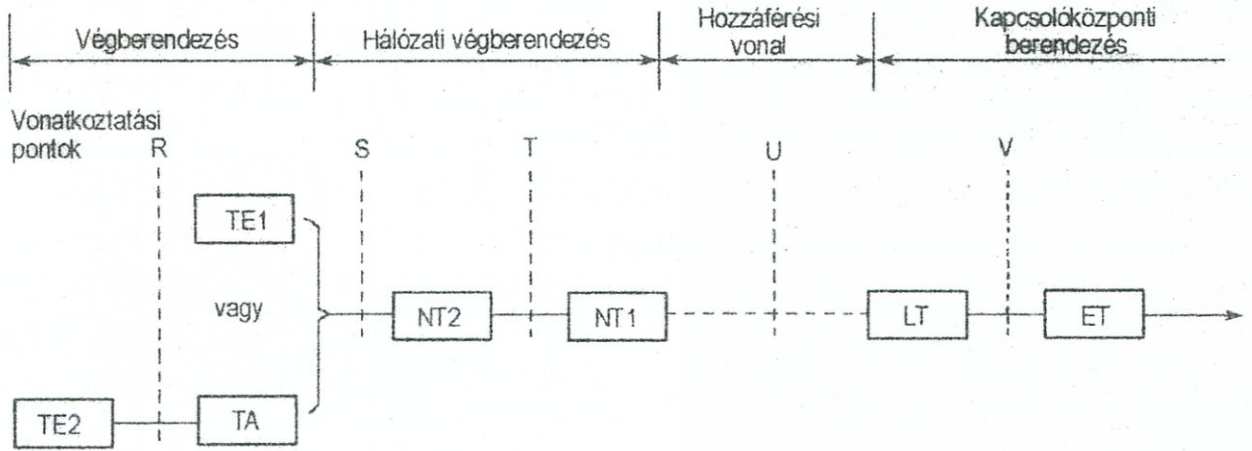
## 8.3. Az összeköttetések felépítése

### 8.3.1. Végberendezések csatlakoztatása

A műszaki kiépítettséget illetően a 8.2. ábra kapcsán értelmezett T interfészen ér véget a digitális hálózat, pontosabban itt állnak rendelkezésre a központhoz csatlakoztatott B jel- és D jelzescsatornák. A felhasználói végberendezések (terminal equipment, TE) számára a T és S interfészek közötti kapcsolatot biztosító (NT2) funkciót vagy az alközpont látja el és kimenetein állnak rendelkezésre az ISDN szolgáltatásai. Ez a felépítés ismert és megszokott, a PSTN hasonló funkciójától formailag nem különbözik. Az ISDN kapcsán megjelenő új csatlakozásmód az alapsebességű hozzáférés (BRA) elrendezése, amivel itt ismerkedünk meg és tárgyaljuk kissé részletesebben.

Az alaphozzáférés S interfésze tulajdonképpen egy olyan miniközpontként fogható fel, amelyet az ISDN kapcsoló központból vezérelnek. Ehhez külön jelzésrendszert dolgoztak ki, a DSS1-et (digital subscriber signaling system, No.1, digitális előfizetői jelzésrendszer, 1. változat), ami nagyban hasonlít a központok közötti közöscsatornás, 7-es rendszerhez, de hatásköre a felhasználó és a csatlakozó központ közötti jelzésváltásokra szorítkozik.

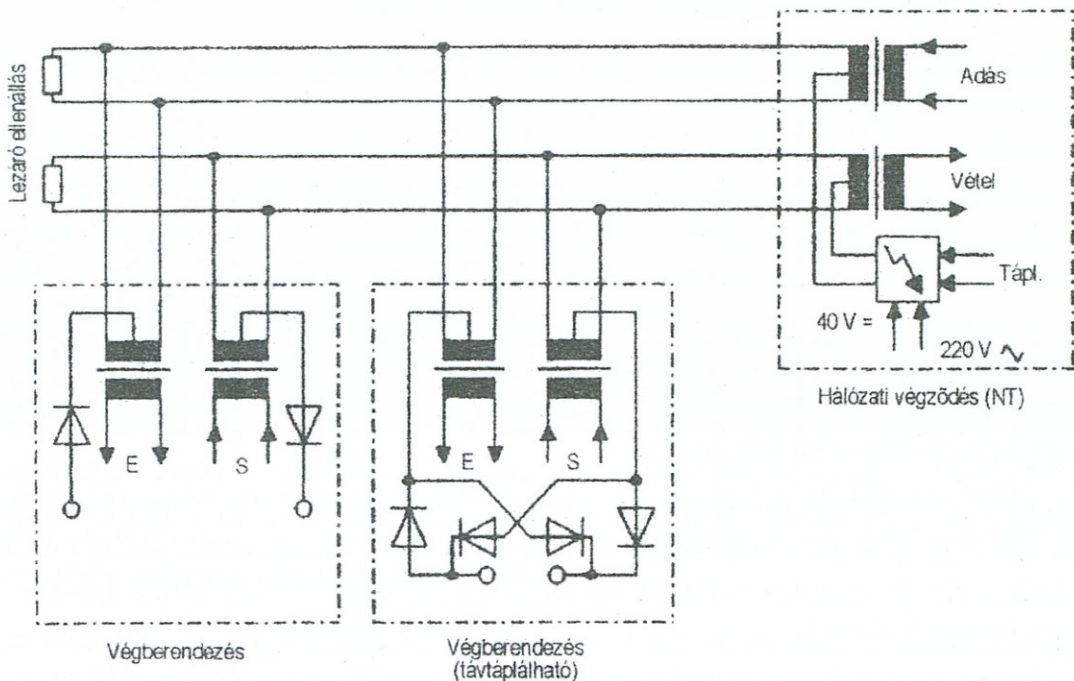




8.3. ábra. Végberendezések csatlakoztatása az S interfészre

Az S interfészre csatlakozó berendezések (8.3. ábra) egy része közvetlenül tud a D csatornához hozzáférni. Ezeket TE1-gyel jelöljük (terminal equipment, végberendezés). Léteznek viszont olyan, TE2-vel jelölt végberendezések is, amelyeket nem az ISDN hálózathoz fejlesztettek, mint például a PSTN telefonok, továbbá a különféle üzenetkapcsolt szolgálatok termináljai, valamint a számítógépek. Ezek illesztő egység közbeiktatását igénylik (TA, terminal adapter), hogy az ISDN hálózaton forgalmazni tudjanak.

Az NT és TE közötti kapcsolatot létesítő S interfészen, a *használó-hálózati interfészen* (user-network interface, UNI) sajátos átviteli rendszert alakítottak ki. Az átvitel négyhuzalos, átviteli sebessége mindkét irányban 192 kb/s. Szolgáltatásai az OSI modell első réteg funkcióival összhangban: a 2B+D<sub>16</sub> csatornák jeleinek átvitele, szinkronizálás, aktiválás/deaktiválási eljárás, D-csatorna hozzáférési eljárás, fenntartási funkciók és állapotjelzés.



8.4. ábra. Az S-sín fizikai felépítése



Az UNI fizikai kiépítése, a 8.4. ábrán látható módon, két érpárból kialakított sínrendszerrel történik. A megengedett maximális hossz 0,6 mm érátmérő esetén, pl. meghaladhatja az 1000 métert, de biztosítani kell, hogy a sínre csatlakozó berendezések (amelyek száma 8-12 lehet) egymáshoz oly közel legyenek elhelyezve, hogy az NT-től NT-ig mért teljes jelterjedési idők *különbsége* oly kicsi legyen, ami biztosítja az egymásnak megfelelő impulzusok szinkron vételének a lehetőségét. (A készülékek közötti távolság, a sín hosszától függően, nem lehet több 50-100 m-nél.)

A sínen alkalmazott vonali kód az AMI módosított változata, amikor a logikai 1-nek megfelelő vonali feszültség nulla, míg a 0-át alternáló előjelű feszültség jelöli. Az átvitel keretszervezésű, a keretidő 250  $\mu$ s. TE az NT felől érkező keretet a vételt követően 2 bitnek megfelelő késleltetéssel indítja vissza. A keretidő alatt továbbított 48 bitből 36-ot foglal el a  $2B+D_{16}$  átvitele. TE $\rightarrow$ NT irányban a további 12 bit szolgál a szinkronizálásra, valamint a fent említett egyéb funkciók megvalósítására. NT $\rightarrow$ TE irányban e célra csak 8 bit használható el.

A fennmaradó 4 bitből képzett, ún. E csatornában NT a TE-k felől érkező D csatornák jelét küldi vissza. Az E csatorna bitjeinek értéke 1, ha valamennyi TE 1-et ad a D csatornában 0, ha *bármelyik is* 0. Ez az elrendezés lehetőséget ad arra, hogy, amennyiben több végberendezés egyidejűleg akar hívást kezdeményezve – a D csatornához hozzáférni, csak egyikük tudja azt lefoglalni. E célból, az a TE, amelyik használni akarja a D csatornát, figyeli, hogy az E csatornában az általa a D csatornára adott jel jön-e vissza. Ha eltérést észlel, azonnal abbahagyja az adást és mindaddig vár, amíg a D csatorna fel nem szabadul, majd akkor kezdi újra a kapcsolatfelvételt a központtal. (A fennmaradó TE nyilvánvalóan az, amelyiknek a D csatornára adott jelében *először* fordul elő 0.) Ez a védelmi rendszer, nyilvánvalóan, csak a központ felé szükséges, ha a központ akar kapcsolatot felvenni bármelyik végberendezéssel, a D csatornában üzenetet küld.

### 8.3.2. Az adatkapcsolat kialakítása



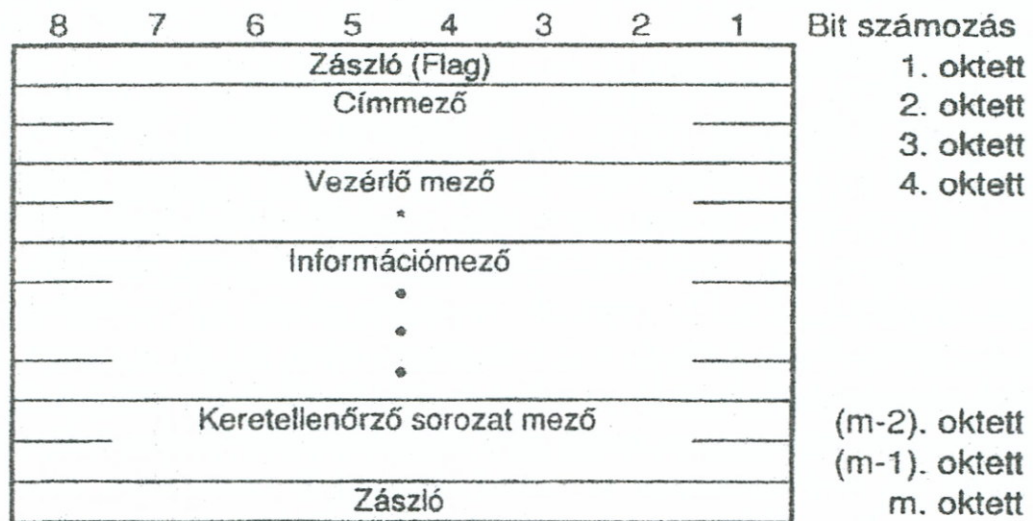
Az ISDN végberendezések az ISDN központtal, mint már említettük, a DSS1 jelzésrendszert felhasználva tartanak egymással adatkapcsolatot ( az OSI második rétegének megfelelő funkciókat ellátva). A protokoll az ISO szabványokban rögzített HDLC (high level data link control, magas szintű adatkapcsolat vezérlés) eljárás-család egyik tagja, a LAP-D (link access procedure on the D channel, összeköttetés hozzáférési eljárás a D csatornán). Ez a következőket nyújtja:

- Egy vagy több 2. rétegű összeköttetés létesítése a BRA-hoz csatlakozó végberendezések és 3. réteg funkciók számára.



- Keret kialakítása a 3. réteg információk transzparens átviteléhez.
- Keretek sorrendjének a megőrzése.
- Átviteli hibák felismerése és javítása ismétléskéréssel.
- Protokoll-hibák feljegyzése.
- Adatfolyam-vezérlés.
- A 2. réteg funkcióinak az adminisztrációja.

A D csatornán küldött üzenetek, a LAP protokollnak megfelelően, a 01111110 bitmintájú zászlóval kezdődnek és végződnek. (A zászlónak a szövegbeni megismétlődését elkerülendő, az üzenet belsejében minden 5. egymás utáni 1-es után beiktatnak egy 0-át. Ezt vételkor automatikusan kiiktatják.)



8.5. ábra. A 2. rétegű keret felépítése információs mezővel és a nélkül

Az üzenetek feloszthatók utasításokra (command, C) és válaszokra (response, R). Általános felépítésüket a 8.5. ábra mutatja.

A címmező, vezérlő bitektől eltekintve, kétfajta címet tartalmaz. Ezek közül az egyik a *szolgáltatás-elérési pont azonosító* (service access point identifier, SAPI), amely 6 bitet tartalmaz. A lehetséges 64 közül jelenleg 4 bír jelentéssel, ezek:

- 0 jelzés,
- 1 csomagkapcsolt adat
- 16 csomagkapcsolt adat (a 9. Fejezetben tárgyalt X.25 összeköttetés felépítési eljárásaihoz).
- 63 2. rétegű fenntartási funkció (TEI kiosztás vezérlése).



A címmező másik összetevője a *végberendezés azonosító* (terminal equipment identifier, TEI). 8 bitet tartalmaz és az S sínre csatlakoztatható berendezések egyedi megkülönböztetésére szolgál. A 0...63 értékeket a felhasználó rendeli hozzájuk, ha ezzel nem él, a központ automatikusan rendel hozzá a 64...126 tartományból értéket. A 127-es kód *körözvény* (broadcasting) címzésére szolgál.

A vezérlőmező jelzi a küldött üzenet típusát. A 3. rétegbeni információt hordozó ún. I (information) keretek sorszámozottak és nyugtázottak, az átviteli biztonság növelése érdekében. Továbbításra kerülnek még U (unnumbered) keretek, amelyek, nyugtázatlan és sorszámozatlan módon, vezérlő utasításokat tartalmaznak, továbbá S (service) üzenetek fenntartási céllal. (Az U és S keretek információmezőt nem tartalmaznak.)

A 16 bites keretellenőrző sorozat mező [itt *keretellenőrző sorozatnak* (FCS, frame control sequence) nevezett] CRC kódot tartalmaz az átviteli hibák észlelését megkönnyítendő.

A végberendezések kiválasztása és a küldendő adatok feldolgozási módjára, értelmezésére utaló információ tehát a TEI és SAPI címek továbbításával történik, amelyeknek a központból való megérkezése után a kapcsolat a kívánt berendezéssel a kiválasztott üzemmódban lehetővé válik.

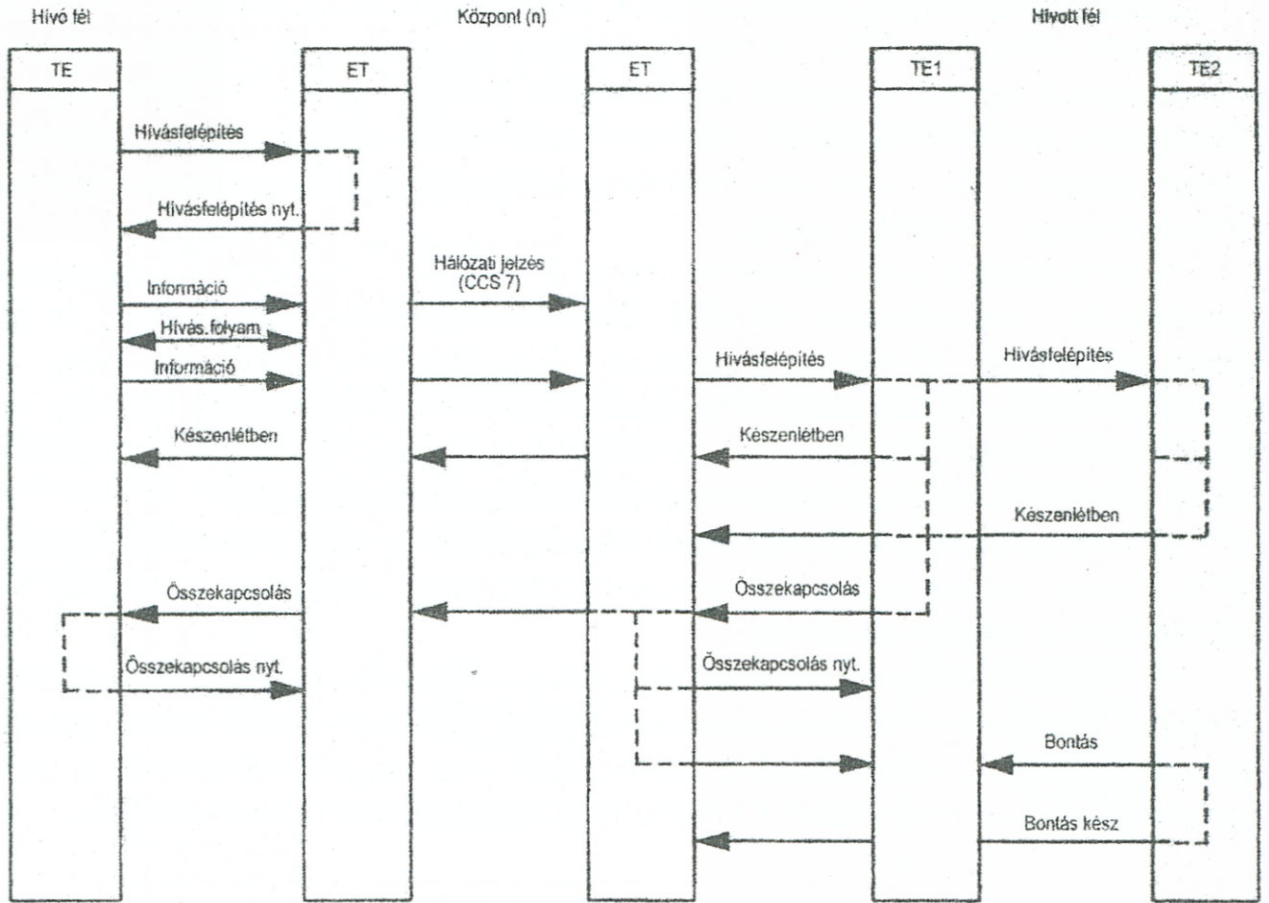
### 8.3.3. Üzenetek az összeköttetés felépítéséhez



A hálózati réteg funkciókat ellátó, tehát az összeköttetést ténylegesen létrehozó (DSS1) üzenetek az I keretek információmezőjében helyezkednek el. Szerepük a kiválasztott végberendezés és a központon keresztül csatlakozó, ellenkező oldali párja között az összeköttetés felépítése, annak felügyelete, bontása és bizonylatolása a PSTN-nél megismerteknek megfelelően.

Az üzenetek formai felépítése azonos, de terjedelme eltér egymástól az alapsebességű és a primer sebességű hozzáférés esetén. Fejrészüket tartalmaz egy protokoll-azonosító oktettet, amelynek a funkciója, a SAPI mellett, a hívásfelépítéshez használandó protokoll kiválasztása. Tartalmaz továbbá, egy hívásreferencia értéket, amely a hívásfelépítés kezdetétől a lebontás és bizonylatolás befejezéséig változatlan és jelzi az egy híváshoz tartozó üzeneteket. A hívásreferencia hossza eltérő alap- és primer hozzáférés esetén. A szintén egy oktett terjedelmű üzenettípus kiválasztó kód jelzi az üzenetnek a hívás felépítése folyamatában betöltött szerepét. Végül az üzenetek tartalmazzák az érdemi információkat az összeköttetés során felhasználandó szolgálat kijelölésére, a hívószám típusára, hosszára stb. vonatkozóan, valamint hívás felépítése esetén, magát a hívószámot.





8.6. ábra. A hívásfelépítés és bontás folyamata

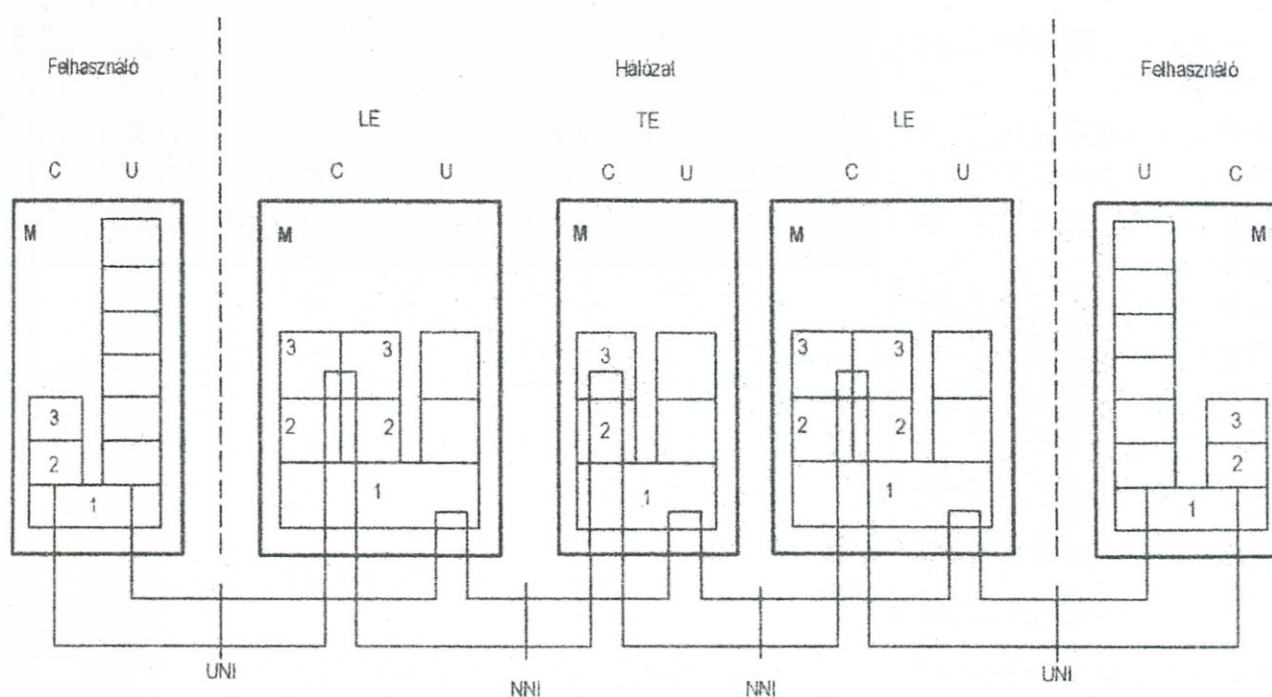
Az üzenetek tartalmi felépítése részletezése helyett, befejezőként a 8.6. ábrán bemutatjuk az egy hívás kapcsán váltott üzenetek szekvenciáját, vázlatosan.

## ! 8.4. A hálózat szolgáltatásai

### 8.4.1. A referenciamodell

Az ISDN a szolgáltatásait egyértelműen áramkörkapcsolt jelleggel nyújtja, ami tehát annyit jelent, hogy az összeköttetés felépülésétől a bontásig kétirányú, azonos átviteli kapacitású átviteli csatorna áll rendelkezésre. A hálózat egésze, amint azt megismertük, felhasználói csatlakozásokból, átviteli utakból és kapcsoló berendezésekből épül fel. Ehhez csatlakoznak a működtető szoftverek. Az egész együttesen a 8.7. ábrán bemutatott referenciamodellben foglalható össze.





8.7. ábra. Az n-ISDN referenciamodellje

Ha az azonos célra rendelkezésre bocsátott eszközöket és működtető szoftvereket *entitásnak* nevezzük és – az elnevezés értelmének megfelelően – elkülönült egységnek tekintjük, három ilyen egységet (más szóhasználatban: síkot) tudunk különválasztani. Ezek a *vezérlés* (C, control), a *használat* (U, usage) és a *menedzselés* (M, management).

A vezérléshez tartozik minden entitás és protokoll, amely a használói sík összeköttetéseinek a vezérléséhez (létrehozásához, fenntartásához, bontásához és bizonylatolásához) szükséges információ továbbítását végzi. A használói sík magában foglal minden olyan blokkot, amely a felhasználói információ transzparens átvitelét végzi. A transzparencia itt szemantikai értelemben jelentkezik és függ az igénybevett szolgáltatástól. Adatátvitelnél például a bitfolyam sértetlen átvitelét jelenti (bittranszparencia), míg beszédátvitelnél jelfeldolgozó eszközök (A/μ átkódolás, visszhangtörő, ADPCM rendszerek stb.) beiktatása megengedett.

A menedzselési sík elemeit a 8.3. alfejezetben megismertük, bár teljességében nem tárgyaltuk. Itt is csak a fontosabb funkciók felsorolását adjuk, a részletek tárgyalása nélkül. Ide tartoznak a rétegspecifikus menedzselőfunkciók, a rétegpármeterek karbantartása, a réteggommunikáció minőségének a figyelése, hibajelentések küldése a rendszermenedzselés felé, a kommunikáció állapotának a figyelése, a rétegek tevékenységének és állapotának az összehangolása stb.





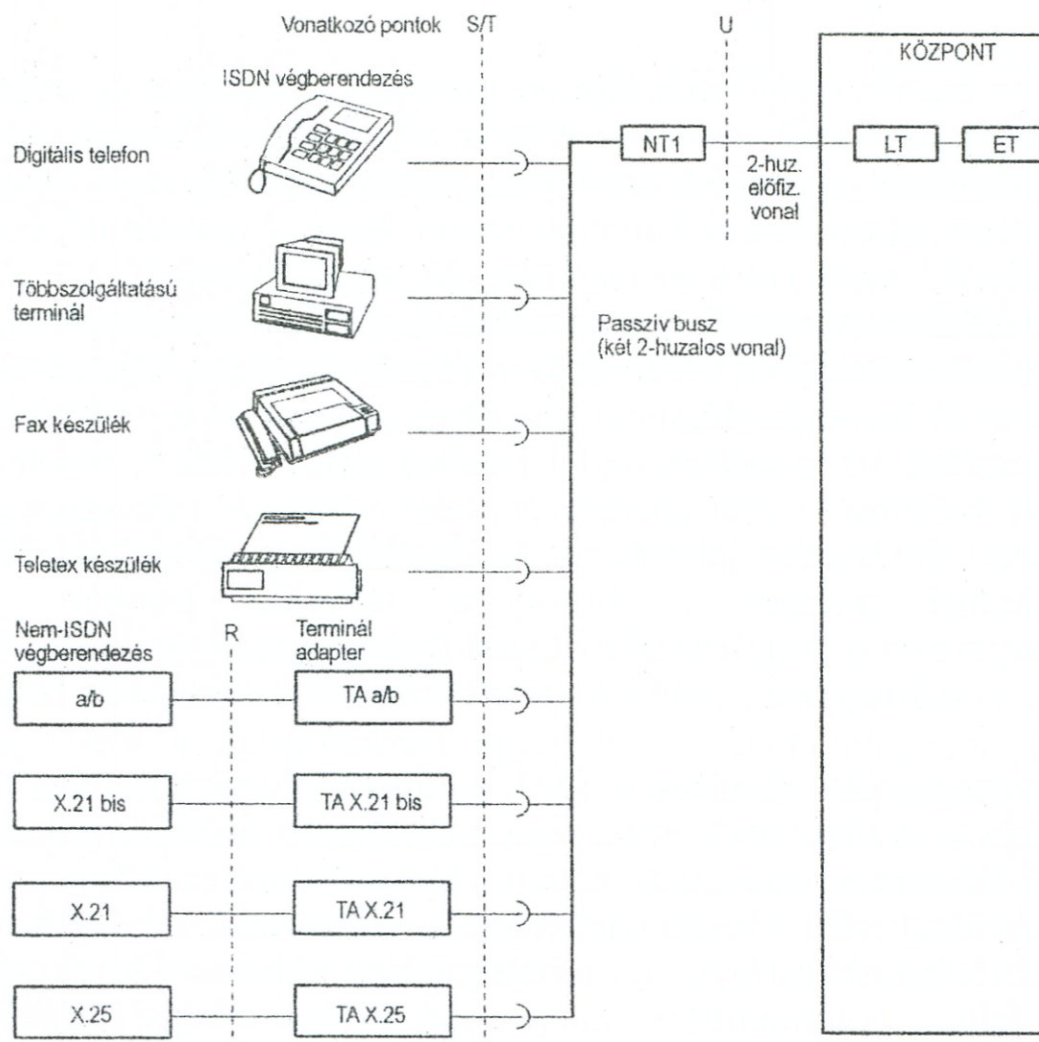


## 8.4.2. ISDN szolgáltatások

Az N-ISDN által nyújtott szolgáltatások:

- távbeszélő (a felhasználó ugyanolyannak találja, mint a PSTN esetében),
- telefax (G4 szabvány szerint. A PSTN keretében elterjedt G3 szabványúhoz képest nagy felbontással, fejlettebb kétdimenziós kódolással és hibavédelemmel rendelkezik és gyorsabb annál.),
- videotex,
- 7 kHz sáv szélességű távbeszélő,
- képtelefon,
- videokonferencia.

A felsorolásból önkényesen kihagytuk a hazánkban bevezetésre nem tervezett változatokat és nem is bizonyos, hogy minden felsorolt hozzáférhető.



8.8. ábra. ISDN alaphozzáféréshez csatlakoztatható végberendezések



A szolgáltatások további csoportját képezik azok az alkalmazások, amelyek adapter (TA) beiktatásával teszik a hálózatot alkalmassá más hálózat végberendezéseinek a fogadására. Ezek közül elsőnek említendő a személyi számítógép, amelynek az adapterét szokás *digitális (vagy ISDN) modem*nek is nevezni. Ide tartoznak a csomagkapcsolt hálózati végberendezések, valamint a kerettovábbító szolgálat végberendezése, bár ez utóbbi csatlakoztatása sajátos, röviden a 9. fejezetben erre ki fogunk térni. Végül, adapterrel csatlakoztathatunk bármely, a PSTN-ben alkalmazott végberendezést, ha az ún. a/b- végződést nyújtó adaptert használjuk. Az alaphozzáféréshez csatlakoztatott berendezések közül a fontosabbakat a 8.8. ábrán mutatjuk be.

### 8.4.3. ISDN hívószámok



Mivel a két áramkörkapcsolt hálózat, a PSTN és az ISDN alapvetően azonos berendezéssal rendelkezik, természetesnek tűnik, hogy a végberendezéseik azonos felépítésű hívószámmal legyenek hívhatók. Az ISDN hívószám tehát felépül egy 1...3 digitos ország kijelölő kódból, körzet kijelölő kódból és előfizetői hívószámból. A nemzetközi hívószám maximális hossza 12 digit, ami várhatóan 15-re emelkedik, ha a felhasználók volumene ezt indokolja. A PSTN-hez hasonlóan, az ISDN hívószám is bővíthető alcímmel, ami nem része a hívásfelépítés elején közölt hívószámnak és az alközponton belüli irányítást szolgálja.

Ami alapvetően eltér a PSTN-nél megszokottól, az a többszörös hívószámok használatának a lehetősége. Közönségesen, az ISDN hívószám a T interfészt azonosítja, legyen a hozzáférés akár alap-, akár primer sebességű. Ha a T interfészre alközpont csatlakozik, a mellékállomást további alcímmel lehet megtalálni. Az alaphozzáférés estén a T interfészt címezve, nem tudjuk eldönteni, hogy melyik a keresett végberendezés. A T interfész címezése egyébként történhet akár egyetlen, akár több hívószámmal.

Az ISDN-ben a címezés irányulhat az S interfészre is. Alkőzponti elrendezésben ez eredményezi a közvetlen beválasztást, amikor a normál hosszúságú hívószám a hívás felépítése kezdetén tárcsázandó és az egyetlen mellékállomást azonosítja, legyen az közvetlenül vagy adapterrel csatlakoztatva. Alaphozzáférés S sínjén a csatlakoztatott különböző típusú és egyedileg eltérő berendezések önálló hívószámmal is hívhatók. (Elképzelhető, hogy egy hívott berendezés adott pillanatban nincs is a sínre csatlakoztatva, de önálló hívószámmal rendelkezik.)

Általános gyakorlat tehát, hogy egy ISDN felhasználó több hívószámmal rendelkezik, ami érzékelhetővé teszi a hívószámok iránti nagyobb igényt és indokolja a jövőbeni kiterjesztést.





#### 8.4.4 A távbeszélő szolgáltatások bővítése

Az ISDN szolgáltatások széles köre a távbeszélő szolgáltatásainak a kiterjesztését célozza. Ezeket érdemes külön tárgyalni, még akkor is, ha nem fogunk kitérni valamennyi – megvalósított és megvalósítható – változatra, mert a bevezetésük nemcsak az ISDN-re csatlakozó felhasználók körében történt meg.

A 12 gombos, DTMF hívóművel felszerelt, a digitális központokkal kiépített PSTN-re, tágabb értelmezésben a kiépített IDN-re csatlakozó távbeszélő készülékek ugyanis alkalmasak arra, hogy az új szolgáltatások széles körét megvalósítsák. A hívóművön szerepel két gomb, a \* (csillag) és a # (hashmark), amelyek 'emelőként' használhatók és az utánuk (vagy közöttük) beadott számjegyek általános kódként való alkalmazását és így a központ felé a járulékos szolgáltatások be- és kiiktatását lehetővé teszik.

Az előfizetői többlétszolgáltatások feloszthatók:

- **hívószám azonosító szolgáltatásokra**, mint a
  - közvetlen beválasztás (direct dialling-in, DDI),
  - többszörös előfizetői hívószám (multiple subscriber number, MSN),
  - hívó vonal azonosítása (calling line identification presentation, CLIP),
  - hívó vonal azonosítás tiltása (calling line identification restriction, CLIR),
  - kapcsolt vonal azonosítása (connected line identification presentation, COLP),
  - kapcsolt vonal azonosítás tiltása (connected line identification restriction, COLR),
  - rosszakaratú hívás azonosítása (malicious call identification, MCID),
  - alácímzés (sub-addressing, SUB),
- **hívásfelajánlási szolgáltatásokra**, mint a
  - hívásátadás (call transfer, CT)
  - hívásátirányítás foglaltság esetén (call forwarding busy, CFB),
  - hívásátirányítás nem felel esetén, CFNR),
  - hívásátirányítás feltétel nélkül (call forwarding unconditional, CFU),
  - híváseltérítés (call deflection, CD),
  - vonalkeresés (line hunting, LH),
  - közvetlen hívásátadás, explicit call transfer, ECT),
  - egylépéses hívásátadás (single step call transfer, SCT),



- **hívásfelépítési szolgáltatásokra**, mint a
  - hívásvárakoztatás (call waiting, CW),
  - hívástartás (call hold, HOLD),
  - hívásteljesítés foglaltság esetén (completion of calls to busy subscriber, CCBS),
  - hívásteljesítés nem válaszol esetén (completion of calls on no reply, CCNR),
  - végberendezés hordozhatóság (terminal portability, TP),
- **több résztvevős szolgáltatásokra**, mint a
  - konferenciahívás (conference calling, add-on, CONF),
  - három résztvevős hívás (three party service, 3PTY),
  - lekötött konferencia (meet me conference, MMC),
- **érdekközösségi szolgáltatásokra**, mint a
  - zárt felhasználói csoport (closed user group, CUG),
  - magán számozási terv (private numbering plan, PNP),
  - prioritáskezelés (priority service, PRI),
  - kimenő hívások korlátozása (outgoing call barring, OCB),
- **díjazási szolgáltatásokra**, mint a
  - hitelkártyás hívás (credit card call, CRED),
  - díjazási információk közlése (advice of charge, AOC),
  - hívott fizet (reverse charging, REV),
  - zöld szám (freephone, FPH), valamint
- **egyéb szolgáltatásokra**, mint a
  - használók közötti üzenettovábbítás (user-to-user signalling, UUS) és a
  - hívás közbeni módosítás (incall modification, IM).

Ezek egyrésze tehát a nyomógombos hívóművel ellátott PSTN telefonok részére is rendelkezésre áll, a csatlakozó központok felkészítésétől függően. Másrészüket csak ISDN előfizetők érhetik el. Megjegyzendő, hogy a felsorolt teljességükben talán soha nem állnak a rendelkezésre. Végül megemlítendő, hogy a fenti többletszolgáltatások általában csak külön megrendelésre és általában többletdíjazás mellett használhatók, nem függenek az átviteli úttól, hanem csak a (CCSS 7) jelzésrendszertől.

#### 8.4.5. Intelligens hálózatok

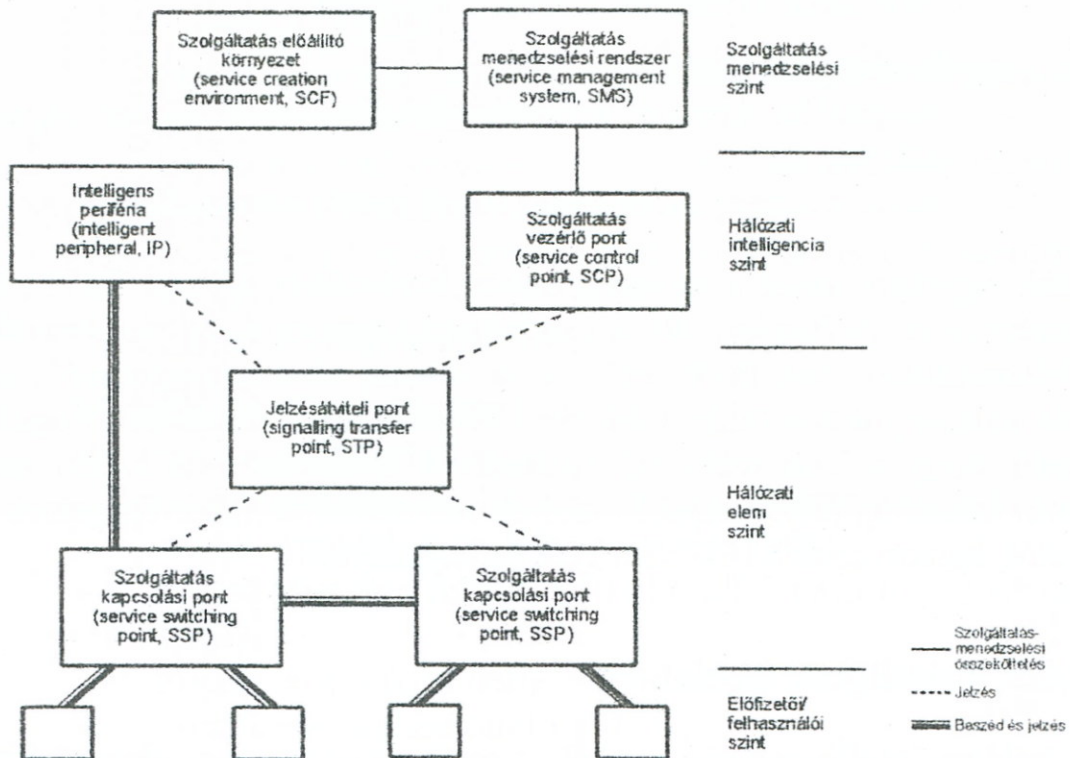
A hálózat intelligenciáját járulékos szoftver és hardver elemek biztosítják. Ezek segítségével olyan szolgáltatásokat lehet az előfizető számára





nyújtani, amelyek nincsenek beépítve az előfizetőt csatlakoztató és alapvetően kiszolgáló központba. (Ha úgy tekintjük, hogy a kézi kezelésű központ operátora 'minden' feladatot meg tudott oldani, az intelligens hálózat fogalma csempészi vissza a kezelő személyét a tárolt program vezérelt, automatizált világba.) A fejlődés igénye a szolgáltatások körét folytonosan bővíteni igyekszik, ezeket nem lehet azonnal valamennyi központba beépíteni, de gondoskodni kell azok hozzáférhetőségéről. A helyileg koncentrált telepítés – a gyorsaságán kívül – lehetővé teszi a szolgáltatás folytonos bővítését, módosítását is, ami további előnyt biztosít.

Az *intelligens hálózat* (intelligent network, IN) rendszerének a kiépítése tehát csökkentheti az egyszerű hívásokat kiszolgáló központok bonyolultságát azzal, hogy a bonyolultabb funkciókat központilag jól hozzáférhető helyre telepíti, ahonnan azok igény esetén 'lehívhatók', és elvégzik az ezeket felhasználó összeköttetések vezérlését. Bevezetését a központok között kiépített közös csatornás jelzésrendszer teszi lehetővé, amely azon túlmenően, hogy a központok között szállítja az átmenő hívásokkal kapcsolatos üzeneteket, alkalmas arra is, hogy a különleges igényeket az ún. *szolgáltatásvezérlő pont* (service control point, SCP) felé továbbítsa, amint ez a 8.9. ábrán látható. (Az ábrán, a szokástól eltérően, a félreértést elkerülendő, kizárólag az angol feliratokat szerepeltetjük, mivel nem minden fogalomra alakult ki magyar kifejezés.)



8.9. ábra. Intelligens hálózati rendszerterv



Az SCP közvetítésével történik gondoskodás egyrészt a különleges szolgáltatásnak az üzembe helyezéséről. Ezt a *szolgáltatásmenedzselő rendszer* (service management system, SMS) végzi, oly módon, hogy a már meglévő különleges szolgáltatást, amely az *intelligens periférián* (intelligent peripheral, IP) áll rendelkezésre, az igénylő felhasználó rendelkezésére bocsátja. Másrészt, ha ilyen nincs, gondoskodik a kidolgoztatásáról, azaz aktíválja a *szolgáltatás kidolgozó rendszert* (service creation environment, SCE).

A teljes rendszer, az egyszerű hívásokat bonyolító *hálózati rétegen* kívül, felépül a különleges szolgáltatásokat az előfizető felé közvetítő *hálózati intelligencia* és az azokat előállító *szolgáltatásmenedzselési rétegből*. Szerepe dinamikusan változik. Amíg egy szolgáltatás különlegesnek tekinthető, célszerűen csak ezen keresztül hozzáférhető, míg ha közönségessé válik, elemei bekerülnek valamennyi kapcsoló központba. Léteznek olyan szolgáltatások is, mint például az operátor csatlakozását igénylők, amelyek mindig is az intelligens hálózat részeként, külön kiépítésben funkcionálnak.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Dr. Papp S. – Dr. Réthy Gy. – Balogh T. – Bartucz J. – Horváth T.: ISDN műszaki ismeretek I. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatóság. Budapest. 1995.







## 9. CSOMAGKAPCSOLT ADATHÁLÓZATOK

Az elektronikai berendezések világában a szövegek megjelenítési sebessége megnőtt, valamint lehetővé vált az ideiglenes tárolás is, ami az átviteli utak gazdaságosabb kihasználása tehát az átviteli sebesség növelése irányába mutatott. Az átvitt anyag alapvetően karakteres szerkezete mellett megjelent egyéb tartalmú digitális jelfolyam, az általános értelemben vett *adatátvitel* megvalósításának az igénye is.



Az adatátviteli hálózat optimális üzeme egyáltalán nem a valós idejű társalgásával egyezik. Adatokat általában egy időben csak egy irányba küldünk és nem szükséges, hogy az átvitel sebessége megegyezzen az adatok felhasználásának a sebességével. A kiépíthető adatátviteli hálózat, nyilvánvalóan, a távbeszélő hálózathoz hasonlóan, átviteli szakaszokat és kapcsoló berendezéseket tartalmaz. A kapcsolók *irányítják* a jelet, amihez ismerniük kell az üzenet rendeltetési helyét, a címzett *címét*. A címzett viszont tudni akarja, kitől is kapta az üzenetet, amelynek tehát így tartalmaznia kell *mindkét* végállomás címét.

A tetszőleges belső felépítésű hálózaton átbocsátott *datagram* tehát tartalmazza a teljes üzenetet, a küldő és a címzett címét. Terjedelme igen változó, így az átviteléhez szükséges időtartam is különböző lehet. Mivel a vonali átviteli sebesség és az üzenet felhasználásának a természetes időtartama nincs egymáshoz illesztve, elég lenne az üzenet *részeit* vinni át megszakítás nélkül, majd a hálózatot további felhasználók rendelkezésére lehetne bocsátani, akik szintén az üzeneteik prompt felhasználható részeit vinnék át, szakaszosan felszabadítva az átviteli vonalat további címzettek üzenetrészeinek az átvitelére.

Az üzenetek *csomagokra* bontásának fenti megindoklása az egyik lehetséges szempont. Hasonlóan lényeges egy további is, amely az átviteli hibák fellépésének a gyakoriságával van kapcsolatban. Az adatok hibamentes átvitelének ellenőrzésére gyakran járulékos biteket visznek át. Ezek *jelzik* a hibát, amit kiküszöbölendő, a címzettnek – vagy a közbelső kapcsolónak – egyetlen lehetősége a hibát tartalmazó üzenetrész adásának a megismételtetése. A gyakori ismétlés-kérés lelassítja az átvitelt, rontja az átviteli kapacitás kihasználhatóságát, tehát célszerűtlen. Ilyen szempontból a *rövid* csomagok alkalmazása előnyös. Ekkor viszont a szükségeszerű fejrész viszonylag hosszú lesz a csomag informatív szakaszához képest, az átviteli határfok emiatt romlik. A csomag hossza tehát kompromisszumos elven alakul ki. Az információt hordozó rész szokásos maximális hosszát valahol a mondjuk 128 és a 4K byte között határozzák meg.



## 9.1. A csomagkapcsolt nyilvános adathálózat



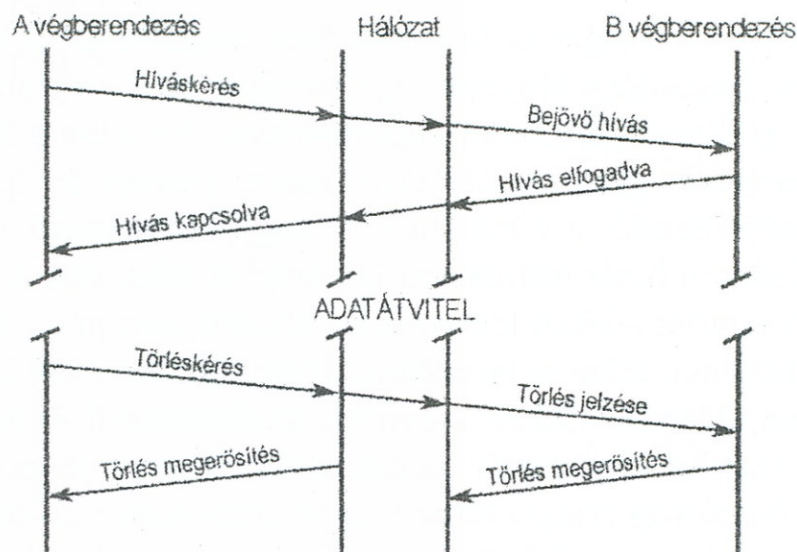
### 9.1.1. Az X.25 ajánlás

Az első csomagkapcsolt hálózat az 1969-ben az USA-ban üzembe helyezett ARPANET volt, amelyen a csomagkapcsolás alkalmazásának alapkísérleteit elvégezték. Ez a hálózat az elkövetkező években fokozatosan az Internet, azaz az összekapcsolt hálózati technika irányába fejlődött. A későbbiekben a *csomagkapcsolt nyilvános adat(átviteli) hálózattá* fejlődő technikát az (akkor még) CCITT X.25-ös ajánlása publikálta, alapozva a fenti kísérletek eredményeire. Az eredeti változat 1976-ban látott napvilágot, a következőkben az 1984-es, már az OSI 7-rétegű modell szellemében felépített szöveget ismertetjük. Ez egyértelműen virtuális összeköttetésen továbbított csomagokban gondolkozik. A virtuális áramkör lehet permanens (PVC), amelyet, szerződés alapján, a hálózati szolgáltató épít fel és folyamatosan üzemben tart az adatátvitel ideje alatt vagy kapcsolt (SVC), amely felépül az adatátvitelt megelőző jelzést váltásokkal és lebontódik annak végeztével. [1]



### 9.1.2. Virtuális áramkör felépítése és bontása

A virtuális áramkör felépítése céljából a hívó CALL REQUEST (híváskezdemenyezés) csomagot küld a hálózatba. A csomag tartalmazza a hívott terminál (később megismert felépítésű) teljes címét. A hálózat ezt a hívott felé továbbítja, amíg meg nem érkezik, mint INCOMING CALL (bejövő hívás). A hívott erre válaszként CALL ACCEPTED (hívás elfogadva) csomagot küld vissza a hívó irányába, ahová CALL CONNECTED (hívás kapcsolva) tartalommal érkezik vissza (9.1. ábra). Ennek vétele után a virtuális hívás felépült és megkezdődhet az adatátvitel.



9.1. ábra. Virtuális áramkör felépítése és bontása az X.25 ajánlás szerint



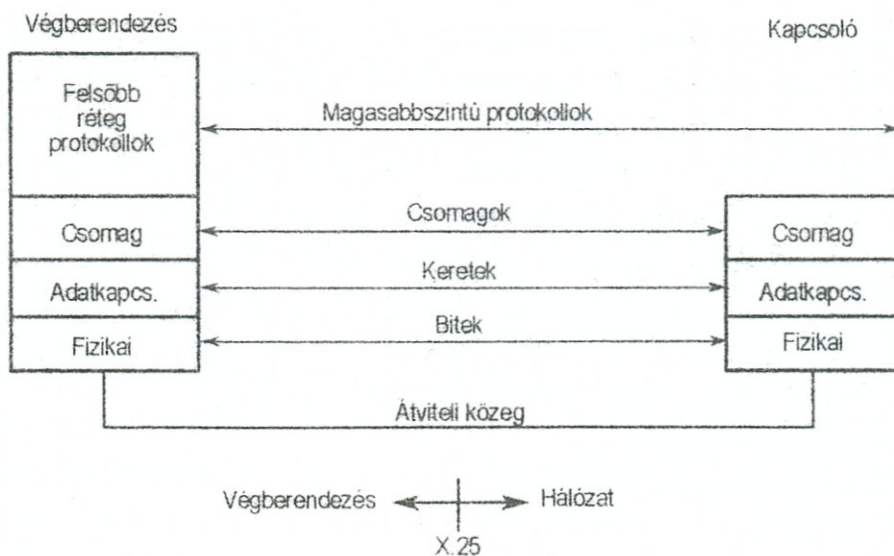
A virtuális áramkör fennállása idejére egy *azonosító* kapcsolódik a híváshoz, az ún. *logikai csatorna azonosító* (logical channel identifier, LCI) és minden további küldött csomag ezt fogja tartalmazni a többi hívástól való megkülönböztetés céljából. Nem szükséges tehát, hogy a teljes cím a további csomagokban is szerepeljen.

A hívás tartama alatt bármelyik terminál kezdeményezheti annak befejezését. A 9.1. ábrán azt az esetet tüntettük fel, amikor ezt a hívó kezdeményezi. E célból CLEAR REQUEST (bontás kérés) csomagot küld a hálózatba, ami a hívotthoz CLEAR INDICATION (bontási szándék jelzése) tartalommal érkezik. Erre a megfelelő válasz a CLEAR CONFIRMATION (bontási szándék megerősítése) csomag, amelynek a hívóhoz azonos tartalommal való megérkezésével a virtuális összeköttetés lebontódik.

### 9.1.3. A csomagszintű adatátvitel



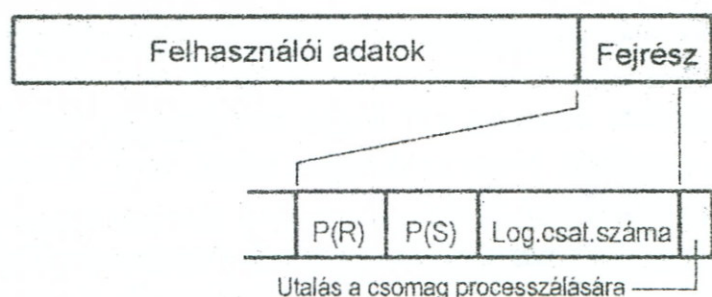
Az X.25 ajánlás az alkalmazások számára adatátvitelt alakít ki, amely magában foglalja az OSI rétegszerkezet alsó szintjeinek funkcióit (9.2. ábra). A szokásos elnevezések, történelmi okból, részben különböznek, a hálózati réteget itt *csomag szintnek* nevezik.



9.2. ábra. Protokollverem az X.25 ajánláshoz

A felhasználói adatok továbbítása tehát csomagokban történik. (Szokásos maximális mérete 1024 byte.) A virtuális áramköri hívás lényeges jellemzője, hogy megőrzi a csomagok helyes sorrendjét. Ezt elérendő az adatot tartalmazó minden egyes csomag *adási sorszámot* [send sequence number, P(S)] tartalmaz.





9.3. ábra. Az X.25 ajánlás adat-csomag formátuma

A *forgalomszabályzási eljárás* az adatok átvitele során vezérli a csomagok küldési gyakoriságát. Az eljárás az átvitel két irányában egymástól függetlenül működik a – szokásos magyar fordítás szerint – *csúszóablakos* (sliding window) mechanizmusnak megfelelően. Ennek lényege, hogy minden virtuális hívásra irányonként meghatároznak egy számot, ahány csomag küldhető a hibátlan vétel visszaigazolása nélkül.

A csúszóablaknak megfelelő számú csomag elküldése után az adás szünetel mindaddig, amíg a már elküldött csomagok hibátlan vételének a visszaigazolása nem történik meg. Ez *vételi sorszám* [receiving sequence number, P(R)] küldésével történik, ami a vett csomagok sorszámánál eggyel nagyobb R számot tartalmaz, mint felszólítást a következőnek a küldésére.

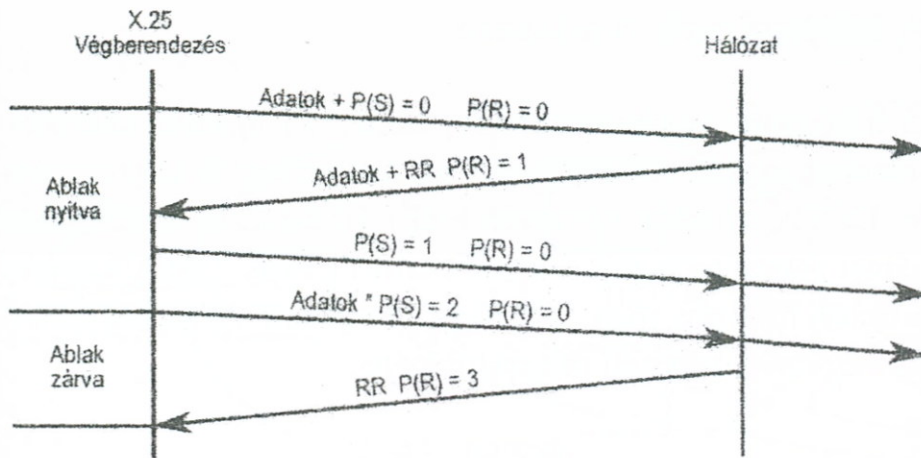
Az ablakméret tehát mutatja azt, hogy hány csomag küldhető egymás után a visszajelentést nem megvárva. Az ablakméret nagyobbra állítása gyorsítja az átvitelt, mivel a visszajelentés ritkább, a visszajelentésre való várás rövidebb lesz. Gyakori hibák esetén viszont a hibásat követő további és feleslegesen küldött csomagok adása növeli meg az átvitel idejét. A gyakorlati érték megválasztása függvénye az átviteli hibák gyakoriságának. A csomagszintű adatátvitel fent leírt szekvenciáját a 9.4. ábra mutatja.

A vezérlési folyamat részeként az adatot tartalmazó csomagok, az I (informatív) keretek mellett rövid (3 byte) S (supervisory, felügyeleti) keretek is küldhetők. Ezek adatot nem tartalmaznak. Típusaik:

1. RR (receive ready),
2. RNR (receive not ready) és
3. REJ (reject).

A két első feladata a forgalom szabályzása. Adásukkal megállítható vagy újraindítható a csomagok küldése. Ezen túlmenően, az elsőt nyugtázásként küldjük olyankor, amikor nincs elküldendő adat (I keret). A harmadikat újraadás kérésére használják, a benne elküldött sorszámtól kezdődően. (Létezik még egy RESET folyamat, amely komolyabb átviteli hibák után minden sorszámot nullára állít és újraindítja az adatátvitelt. Durvább beavatkozást jelent a RESTART (újraindítás), amely töröl valamennyi, a terminálon felépített SVC-t és újraindít minden PVC-t, azaz újra kezdeményezi a terminál teljes csomagtovábbítási funkcióját.)





9.4. ábra. Az X.25 ajánlás csomagszintű adatátviteli szekvenciája

Az S keretek általában számozottak, tartalmazzák a továbbításra várt csomag sorszámát. Néha szükség van egy terminálnak üzenetet küldeni, tekintet nélkül az adási folyamat állapotára. Erre szolgálnak az ún. U (unnumbered, számozatlan) keretek, amelyből egyszerre csak egy létezhet elintézetlenül és semmi hatásuk nincs a normál adatátvitelre. Ilyenek szolgálnak a kapcsolat-felépítés kezdeményezésére, illetve megszakítására, mint utasítások, illetve a fenti parancsok elfogadó vagy elutasító nyugtázására.

### 9.1.4. Az adatkapcsolati réteg



Az X.25 csomagok megbízható átviteléhez az adatkapcsolati réteg funkciók teremtik meg az alapot.

Az adatkapcsolat megteremtése jelenti az összeköttetés fent említett felépítését, tartását és bontását. Az adatátvitelt az adatkapcsolati protokoll szabályozza. Ez itt is a HDLC programnyelvből származtatott vonalhozzáférési protokoll. A LAP-B elnevezést viseli. (A B itt a balanced mode, kiegyenlített mód kifejezés kezdőbetűjeként szerepel és a vezérlési folyamatnak a végpontok közötti kiegyenlítetttségére utal. Egyébként a LAP-B üzenetek felépítése nagyon hasonlít az ISDN-nél megismert D-csatorna hozzáférési LAP-D protokolléhoz.)

A LAP-B üzenetekben a csomagok, pontosabban az informatív tartalom továbbításának helyes sorrendjét a nyugtázáshoz használt P(S)-P(R) számpáros átvitele biztosítja. Ezt mindkét irányban egymástól függetlenül alkalmazzák (innen a kiegyenlített mód jelző!).

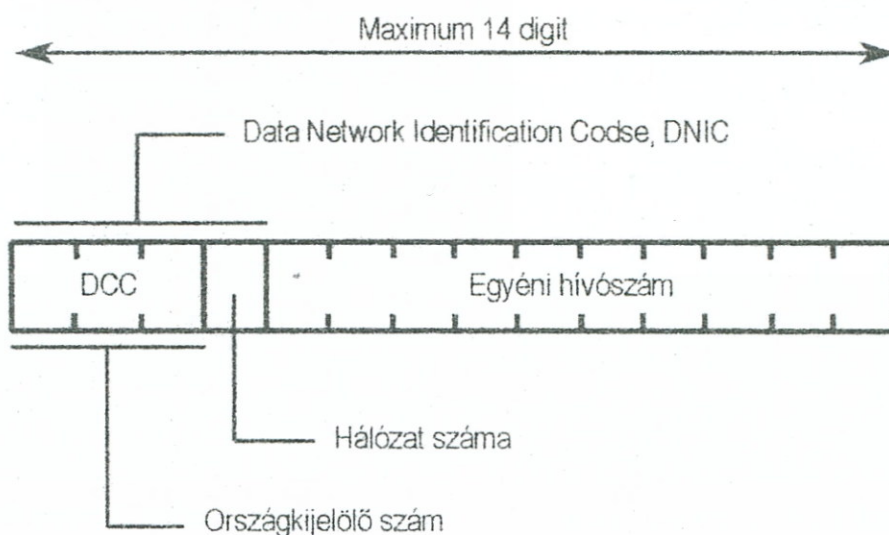
Az adatkapcsolati réteg gondoskodik az átviteli hibák jelzéséről. Minden egyes, az információs mezőben átvitt X.25-ös csomaghoz hozzákapcsol CRC kódot, amelyet a vétel után, ismert módon, újra előállítva és a küldötttel egybevetve ellenőrizhető az informatív bitek sértetlensége.





### 9.1.5. A hívószámok rendszere

Az X.25 hálózatok végberendezései az X.121 ajánlás szerinti egyéni hívószámmal rendelkeznek. Ez definiál egy háromjegyű *körzetszámokat* (data country code, DCC), minden körzeten belül 10 *hálózat* különböztethető meg a negyedik digit (data network identification code, DNIC) segítségével. A hálózatokon belül további max. 10 digit (network terminal number, NTN) használható a végberendezések megjelölésére.



9.5. ábra. A csomagkapcsolt hálózatok előfizetői hívószámainak a felépítése

Körzetszámból egy ország esetleg többet is igényelhet (például az USA 7-tel rendelkezik). Ha viszont egy országban csak egyetlen adathálózat van, a hálózat-digittal bővített körzetszámból előálló négyjegyű számot *nemzeti hívószámnak* (national number) nevezik.

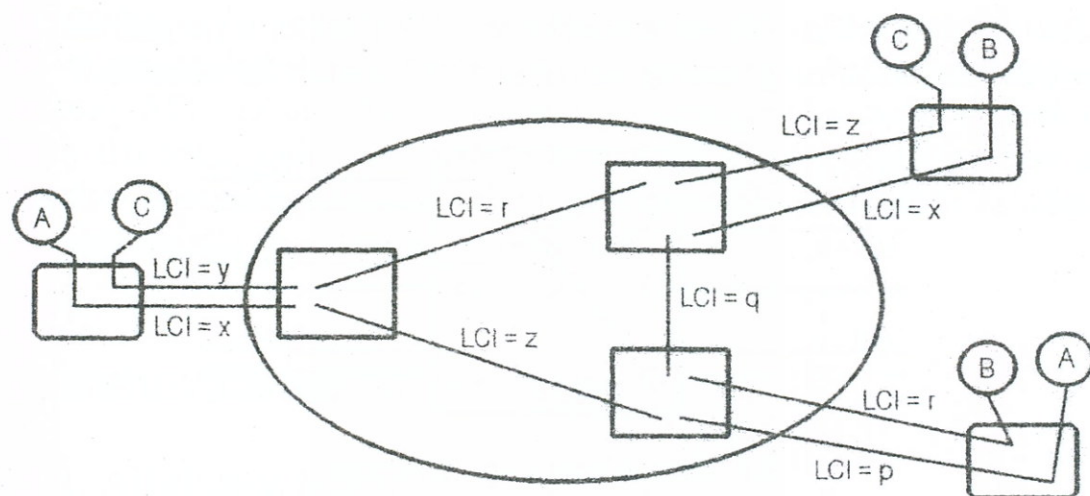


### 9.1.6. A nyilvános csomagkapcsolt hálózat felépítése

Az X.25 protokoll szerint különböző jellegű hálózatok üzemeltethetők, felépítve statisztikai multiplexerként viselkedő csomagkapcsoló gépekből és – általában digitális – bérelt jellegű, azaz a hálózat által kizárólagosan használt átviteli áramkörökből.

A magánjellegű hálózatok mellett kiépült *nyilvános* hálózat szokásos elnevezése: *csomagkapcsolt nyilvános adathálózat* (packet switched public data network, PSPDN). Az ilyen jellegű nemzeti hálózatok voltak az elsők, amelyek – a fizikai réteget illetően – teljesen digitális gerinchálózattal rendelkező adatátviteli hálózatként kiépültek.





9.6. ábra. A csomagkapcsolt hálózat felépítése

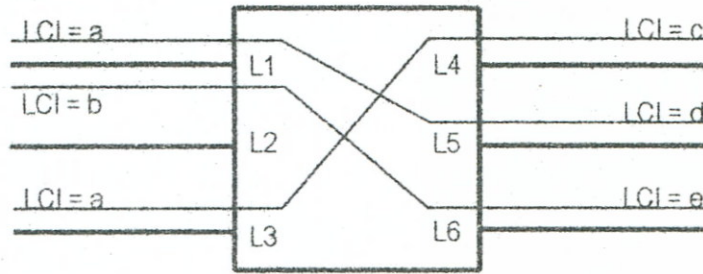
A hálózat tehát átviteli utakból és statisztikai multiplexerként működő központokból épül fel (9.6. ábra). A kapcsolók egyrészt fogadják az előfizetői forgalmat, másrészt továbbítják azt a hívott előfizető felé. A központok közötti gerinc áramkörökön virtuális áramkörök létesíthetők. A különböző összeköttetésekhez tartozó csomagokat az eltérő LCI alapján lehet megkülönböztetni. Az összeköttetések egy-egy szakaszán – a virtuális áramkör fennállásának teljes tartama alatt – az LCI állandó. A különböző szakaszokon ugyanahhoz az összeköttetéshez általában más LCI tartozik, mivel ezek egy-egy szakaszra érvényesek, és a hívás szempontjából véletlenszerűen kerülnek kiosztásra. Az előfizetői csatlakozáson is az LCI felhasználásával vezérlik a csomagok továbbítását. Természetesen, ha egy előfizető egyidőben több másik felé forgalmaz, minden virtuális áramköréhez más-más LCI áll a rendelkezésére.

A bérelt jellegű PVC útvonalának kijelölése statikus jelleggel, akár kézi beállítással történhet. A csak a csomagok küldésének időtartamára felépített SVC csomagtovábbítási útvonalának a felépítése a forgalmazást megelőzően, de dinamikusan történik, akár úgy, hogy az indító központ jelöli ki a legcélszerűbbnek látszó, mondjuk, a legkevesebb szakaszból alakított útvonalat és vezérli annak kiépítését a hívás felépítése stádiumában. Célszerűbb viszont azt a megoldást választani, amikor minden központ csak egy szakaszt jelöl ki, olyan irányban, ami a hívott megközelítéséhez optimális és ez addig ismétlődik, amíg a hívotthoz nem jutnak el. Az így választott útvonal a hívás tartama alatt módosítható és a továbbításra a mindenkor legkevesebb leterhelt átviteli út választható. A szakaszonkénti, *adaptív* útvonalválasztás persze átviteli hurkok kialakulásához is vezethet, ha megfelelő kiválasztási szabályokkal nem együtt alkalmazzák.

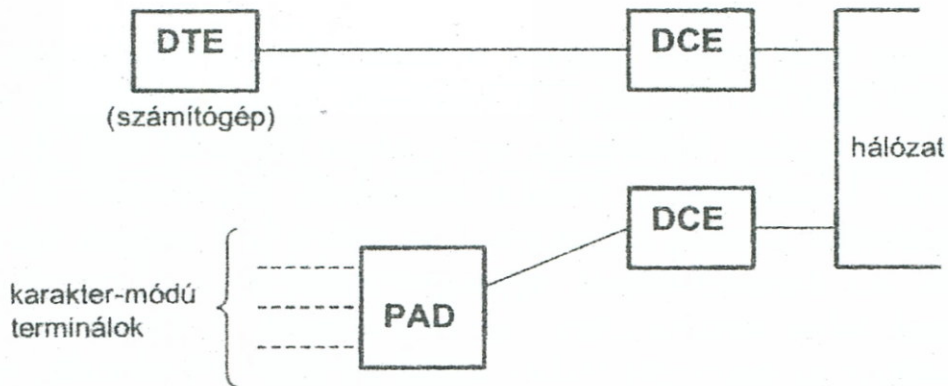
Az átmenő forgalmat bonyolító központok szerepe – a virtuális áramkör fennállása alatt – az érkező csomagok vétele és a kívánt irányba történő to-



vábbítása. A továbbítás irányát a beérkező LCI alapján a *forgalomirányítási táblázatból* határozza meg, amely az *összes VC* adatait tartalmazza.



9.7. ábra. A kapcsolás folyamata



9.8. ábra. Az előfizetők csatlakoztatása

A csomagok továbbítása, természetesen, csak egymás után, sorrendben történhet. Ha valamely irányba egy csomag továbbítása folyik, a beérkező új csomag átvitelével *várakozni* kell, amíg az út fel nem szabadul. Az ezzel együtt járó probléma kettős: egyrészt átmeneti tárolókra, mint járulékos hardver elemekre van szükség. Ezekből mindig véges mennyiséget építenek be és ez magával hordozza az esetleges csomagvesztés lehetőségét. A bizonytalan idejű várakoztatás másik velejárója a csomagok teljes átviteli idejének a bizonytalansága, szórása, ami egyes alkalmazásoknál (például beszéd átvitelénél) zavart okozhat. Az átmeneti tárolók, egyébként, elhelyezhetők akár a kapcsoló be-, akár a kimenetén, sőt, többfokozatú kapcsolók alkalmazása esetén, a közbenső fokozatokban is.

Az előfizetőknek a hálózathoz való csatlakoztatása (9.8. ábra) általában a PSTN előfizetői hálózatának a felhasználásával történik. (Ez a 9.8. ábrán DTE és DCE között foglal helyet.) A digitális adatfolyamot adó/vevő előfizetői végberendezést DTE-nek (data terminating equipment), a fogadó központra csatlakozó berendezést DCE-nek (data circuit terminating equipment) nevezik. Ha a kettő között analóg átviteli út van, ezek mindegyike magában foglalja a modemet. A DTE általában számítógép vagy jellegre nézve ha-



sonló berendezés. Ez képes a csomagok összeállítását a megfelelő program értelmében maga elvégezni. Aszinkron jellegű, karakteres kommunikációval jellemezhető DTE (az ún. DTE-C) esetén a csomagok összeállításáról, illetve karakteres üzenetté való visszaállításáról a DCE-hez csatlakozóan az ún. PAD (packet assembler/disassembler) gondoskodik. Ez utóbbi feladatát képezi a hívásfelépítés és a címzés vezérlése is.

## 9.2. A kerettovábbítás (frame relay)

### 9.2.1. Általános jellemzés



Ahogy a PSTN átalakul ISDN-né, érdemes lesz az X.25 szabványon alapuló csomagkapcsolt adatátvitelt továbbfejleszteni, magasabb átviteli igények kielégítése irányában. Az új szolgáltatás a csomagkapcsolástól eltérő elnevezést kapott, belekerült a csomag szinonimájaként is felfogható *keret* (frame) kifejezés, amit kiegészítettek az átvitelre utaló *továbbítás* (relaying) szóval. Az új szolgáltatás, a *kerettovábbítás* (frame relay, FR) kialakítását ugyan az ITU kezdte, az ISDN-hez illeszkedő ajánlások kidolgozásával, de a munkát meggyorsítandó, a gyártók önálló szervezet (az FR Forumot) hoztak létre az új szabványok gyors megteremtése érdekében. [2]

Az ISDN kifejlődésével az eredetileg távbeszélő hálózat gyorsabb és nagyobb megbízhatóságú adatátvitelt tett lehetővé. Ezzel feleslegessé vált az X.25 ajánlás kapcsán kidolgozott átviteli mód több, az átviteli minőséget fokozó eljárása. Az FR kidolgozása kapcsán célul tűzték ki

- az áteresztő képesség növelését és
- az átviteli késleltetés csökkentését.

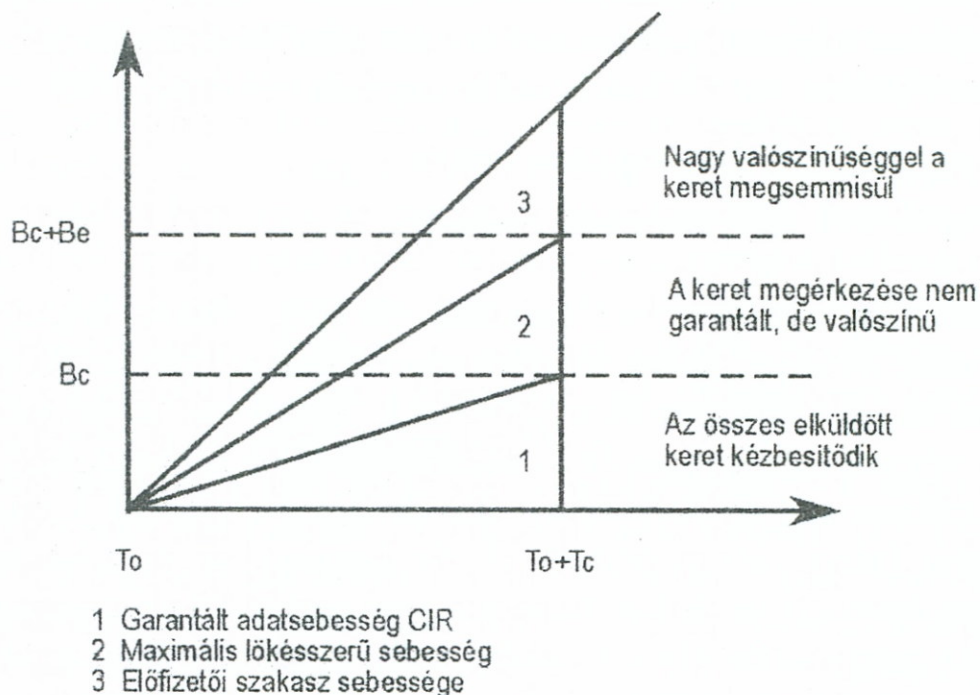
Számokban kifejezve, ez legalább 64 kb/s, illetve legfeljebb 20-40 ms értéket jelentett. Ennek az eléréséhez felhasználták az ISDN jelzésrendszerét és egyszerűsítették a protokollt. Kiiktatták az átviteli szakaszokként végzett hibajavítást és a csúszóablakos forgalomszabályzást. Az átviteli szakaszokon rendelkezésre álló átviteli sebességet a mindenkori felhasználói igény szerint osztják el, de ugyanakkor nem használnak a hálózatban átmeneti tárolókat, hanem a nem továbbítható csomagokat *el-dobják*. Az adatvesztés ellen másként védekeznek: szabályozzák a hálózatba beengedett forgalmat az előfizetők és üzeneteik "átviteli osztályokba" sorolásával és az X.25-től eltérően, *torlódásvezérlést* alkalmaznak.



## 9.2.2. Az adatkapcsolat kialakítása

Az adatkapcsolat kialakításához, mint a csomag-jellegű átvitel esetén mindenütt, a HDLC protokoll, most LAP-F protokollnak nevezett, változatát használják. Az előzőekben megismert módon alkalmazzák a virtuális áramköröket a kapcsolat létrehozására. Az áramkör azonosítót itt DLCI-nek nevezik (data link connection identifier), amely ugyanúgy helyi érvényességű, mint megismertük.

Adatkapcsolati szinten történik az esetleges torlódás menedzselése. Torlódás akkor lép fel, ha a felhasználók nagyobb adatmennyiséget generálnak, mint amennyit a csomópont továbbítani képes. Általában az egyes felhasználók és a kapcsoló közötti vonali (maximális) átviteli sebesség (az ún. *előfizetői sebesség*, access rate) kisebb a közös átviteli út sebességénél, tehát a kapcsoló több felhasználót képes kiszolgálni. Az egyes felhasználók általában nem folyamatosan adnak. Az *átlagos* adási sebességüket szokásosan szerződésben szabályozzák, ez a *garantált adatsebesség* (committed information rate, CIR) (9.9. ábra). Amennyiben az így meghatározott mennyiségnél a felhasználó többet nem ad, a szolgáltató köteles azt veszteség nélkül továbbítani. Az ábra szerint ez  $T$  idő alatt  $B_C$ . Ezen felül még egy *többlet adatmennyiség* (excess burst size,  $B_E$ ) az átlagos forgalomtól függően esetlegesen továbbításra kerül, e fölött nagy valószínűséggel eldobják.



9.9. ábra. Szolgáltatási osztályok meghatározása



Az esetleges forgalmi torlódásokat a továbbított üzenetekben a *torlódásjelző bit* (explicit congestion notification, ECN) átállításával jelzik. Ebből létezik egy előre (forward, F) és egy vissz irányú (backward, B) jelzőbit. A FECN értéke a torlódás helyén átállítódik és a célállomást értesíti arról, hogy a beérkezett keret terjedési irányában adatvesztés jelentkezik, átállított BECN pedig arról értesíti a felhasználót, hogy a beérkezett keret irányával ellentétes irányban torlódásos erőforrás van. Ilyenkor az abba az irányba indított adatmennyiséget csökkenteni kell. (A BECN vételével kapcsolatosan gondot okozhat, ha az adó irányába hosszú időn keresztül nem küldenek keretet, hiszen visszajelentés nincs az FR-ben.)

A torlódásos esetek felszámolásában segít még a DE (discard eligible, eldobás engedélyezve) bit használata is. Ezt az üzenetben (az adó által) 1-be állítva jelezhető, hogy az adó *nem* szeretné, hogy a szóban forgó üzenet elveszzen. (Ennek  $B_C$  és  $B_C+B_E$  közötti sebességgel való adás esetén van jelentősége.)

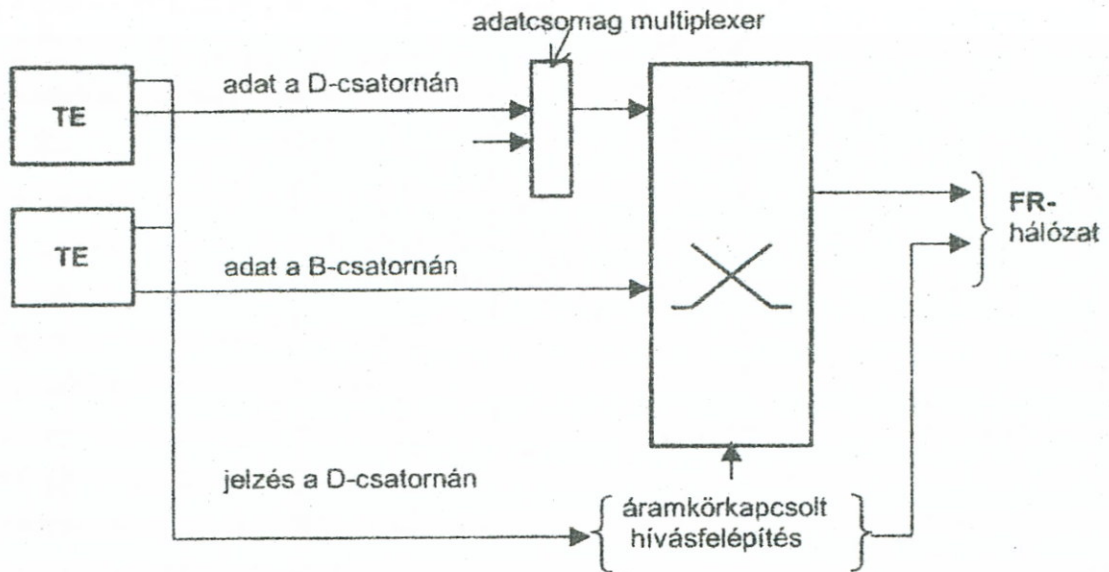
### 9.2.3. A hálózat kialakítása



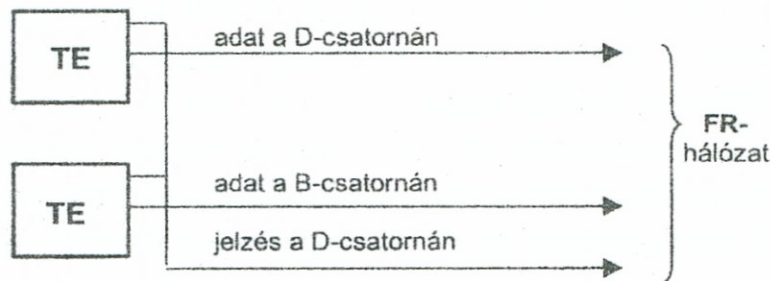
Formálisan az FR hálózat nagyon hasonlít a PSPDN kapcsán megismerthez. Egyik változatában az FR hálózatot teljes egészében az n-ISDN-be ágyazva alakítják ki. Ilyenkor az ISDN végberendezések közé sorolódik be a kerettovábbítást igénylő végberendezés. A multiplexáló berendezést szokásosan a bérelt vonali hálózat digitális rendezőjének (DXC, digital cross connect) egyik multiplex kártyájaként valósítják meg, az átviteli utak pedig digitális csatornák.

A kerettovábbító szolgáltatást az ISDN-be *minimálisan* integráltnak tekintjük, ha a jelzései a D-csatornán, adatai akár a B-, akár a D-csatornán továbbítódnak, de a csomagkapcsolási funkció nincs beintegrálva az ISDN kapcsoló gépbe. Ilyenkor a terminál először egy vonalkapcsolt csatornát épít fel az önálló FR kapcsoló géphez, majd a csomagkapcsoló központ a hívott csomagterminál felé csomaghálózati hívást (virtuális csatornát) épít fel. A B-csatornán érkező adatok közvetlenül, a D-csatornán érkezők adatcsomag multiplexeren keresztül jutnak az ISDN kapcsoló mátrixra, amely azokat az FR hálózatra továbbítja. Ugyanide jutnak a jelzés-üzenetek megfelelő részei is. A hívás ebben az esetben két hívószám, először egy ISDN, majd egy csomaghálózati hívószám felhasználásával, két lépésben épül fel.





9.10. ábra. FR szolgálat minimális integrációja



9.11. ábra. FR szolgálat maximális integrációja

Maximális integráció esetén a csomagkapcsoló funkció az ISDN kapcsolóközpont egyik szoftver modulja. Az így bekapcsolt terminálok egyetlen hívószámmal rendelkeznek. A központ a beérkezett hívást a D-csatornán küldött jelzések alapján építi fel, az ISDN hívásokhoz hasonlóan, de azt közvetlenül az FR hálózathoz csatlakozó *csomagkezelő* (packet handler, PH) berendezéshez irányítja, az (áramkör)kapcsoló mátrix megkerülésével. A PH, mint az FR hálózat csatlakozó pontja, végzi a hívott szám esetleges translációját, az irányítást, a statisztikai multiplexálást stb.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Atkins, J. – Norris, M.: Total Area Networking. John Wiley & Sons. Chichester, 1995.
- [2] Balogh T. – Bartucz J. – Horváth R. – Horváth T. – Nagygyörgy I. – Dr. Réthy Gy. – Tóth G.: ISDN műszaki ismeretek II. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatóság. Budapest. 1995.



## 10. SZÁMÍTÓGÉP HÁLÓZATOK

### 10.1. Média-átalakítók

#### 10.1.1. A számítógép, mint végberendezés



Az áramkörkapcsolt hálózatoknál, mint amilyen a PSTN és az ISDN, természetes, hogy végberendezésnek a két fél közötti folyamatos társalgásra használt távbeszélő készülékeket tekintettük. Ha más célra használtuk a hálózatot, az egyéb alkalmazást hozzáillesztettük az áramkörkapcsolást kialakító hálózati protokollhoz: a távbeszéléshez optimalizált összeköttetés felépítési, felügyeleti, bontási és bizonylatolási megoldást alkalmaztunk és az átvitelre is az – akár analóg, akár digitális – beszédátviteli sávot használtuk. Egyúttal belenyugodtunk, hogy a hálózat kihasználása nem optimális, nincs mindkét irányú átvitel folyamatosan és egyenletesen kihasználva.

Adatok átvitelével operáló, processzorjellegű végberendezések *időszakosan* aktív hálózatot igényelnek. A kétirányú átvitel mennyiségileg általában nem kiegyenlített, és az aktív szakaszokban sem szükséges az időben szigorúan folyamatos átviteli jelfolyamot biztosítani. Erre már régen felfigyeltek és megkezdték az átviteli csatornát bizonyos értelemben csak egyirányban és időben nem folyamatosan bocsátani az adatátvitel rendelkezésre

Az első ilyen alkalmazások közé sorolhatók a mérésadat-gyűjtő, illetve vezérlő rendszerek. Itt több berendezést működtetnek egymással kapcsolódva, amelyek közül az egyik áttekinti a rendszerben jelentkező adatok összességét, azokon esetleg bizonyos processzálást is végez, a többiek vagy adatot szolgáltatnak, illetve felhasználnak. Az ilyen rendszerek elemeinek az összekapcsolásához sajátos hálózatot, az adatok cseréjéhez megfelelő protokollt alakítottak ki. Ezek az RSxxx protokollok és hálózatok, amelyek a saját területükön ma is hatékonyan használhatók.

Már a számítástechnikához kapcsolódnak az olyan típusú hálózatok, amelyek egy központi processzor kapacitásának a jó kihasználásához több terminált, illetőleg közösen használható berendezéseket, mint szkennert vagy nyomtatót tartalmaztak.

Ma elsődlegesen a személyi számítógépekből és a hozzájuk kapcsolódó, közösen használt berendezésekből felépülő hálózatokat tekintjük számítógép hálózatnak. Itt a gépek bizonyos értelemben egyformáknak tekinthetők és összekapcsolásuk a gépek által hozzáférhető szolgáltatások körének a bővítését célozza meg. A hálózatba kapcsolt gépek processzálási képessége összegezhető, adatforrásaik mindannyiuk által hozzáférhetők és így kiegészítik egymást.



### 10.1.2. Multimédiás terminál

A számítógép, mint végberendezés a szolgáltatások körét alapértelmezésben behatárolja. Hiába rendelkezik színes képernyővel, amelyen a képek egymásutánja a mozgókép követelményeinek megfelelő ütemben következhet, nem tekintjük azt televíziós készüléknek. A korszerűbb gépek zenei hangot adnak, mégse tekintjük a távbeszélő hallgatójának. Ami az ellenkező irányú átalakítást illeti, egyáltalán nem szokás a számítógépet mikrofonnal és képfelvevő kamerával ellátni, így az nem is képes a karakteres jelindításon túlmenő alkalmazások ellátására.

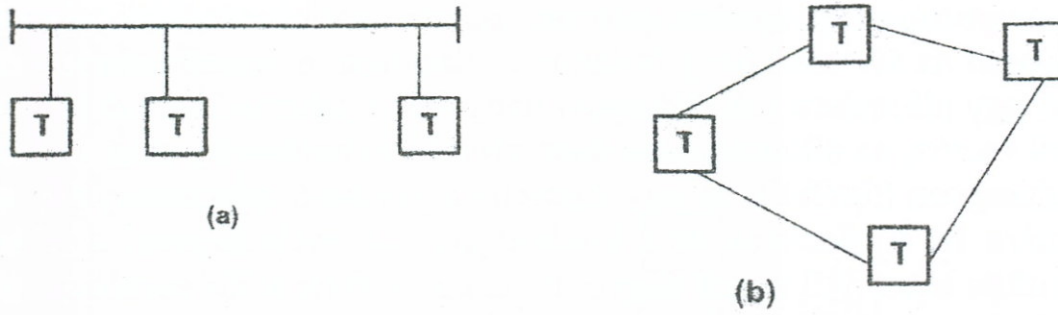
Ha igény van, márpedig ez a tendencia, az audiovizuális, vagy mai szóhasználattal (kissé átértelmezett tartalommal) multimédiásnak nevezett alkalmazások széles körét a távközlési hálózathoz kapcsolódó egységes berendezés összeállítással ellátni, hozzáférhetővé tenni, a fent körvonalazott teljes átalakító-választékot a számítógép részeként kell értelmezni. A jelrögzítő és -visszajátszó funkciókkal, azaz a "konzerv" funkciókkal bővített értelmezés ma megkívánja a szokásos mágneses tárolók mellett például a CD (DVD) lejátszó és író telepítését is. Az átalakítókon kívül természetesen gondoskodni kell a processzási képességek megfelelő kibővítéséről is, a szükséges szoftverbővítések és illesztő kártyák alkalmazásával.

## 10.2. Hozzáférési hálózatok

### 10.2.1. Egy kiszolgálós hálózat-szegmensek

Közönségesen egymáshoz közeli végberendezéseket (számítógépeket) kívánunk hálózatba kapcsolni. [1] Ennek a legegyszerűbb módja, amint az 5. Fejezetben megismertük, közöttük elektromos vezetékkel kapcsolatot létesíteni (10.1. ábra). A közös vezetékre kapcsolt számítógépek valamennyiük adását veszik, de csak a nekik címzettet használják fel. Ekkor beszélünk közös sínre kapcsolt berendezésekről. Az ilyen áramkörök szokásos elnevezése (a jelátvivő közegre utalva) **Ethernet**, a szokásos jelölés a Manchester-kódot alkalmazó alapsávi átvitelrel üzemelő változatokra az **XBASE-y**, ahol X a sín (maximális) jelátviteli sebessége Mb/s egységekben (szokásos értékek X=5; 10; 100 és 1000), y pedig a sín maximális hossza 100 m egységekben (y=1 helyett szokásosan T szerepel). Optikai szálhoz közvetlenül csatlakoztatható változatoknál az y helyén a lézer típusára történik utalás: SX jelöli az 1300 nm, LX pedig a 850 nm hullámhosszon működő lézert.





10.1. ábra. Számítógéphálózati szegmensek kialakítása  
(a) sín, illetve (b) gyűrű elrendezésben

A berendezéseket sorosan egy-egy közbeiktatott vezetékkel összekötve jutunk a gyűrű elrendezéshez, amikor is azok egymás adását szigorúan egymás után veszik és továbbadják, feldolgozva a nekik szóló üzenetet. Többfajta szervezésű gyűrű létezik, ezek felsorolásával nem foglalkozunk. Az egyik korai változat volt a **Cambridge** gyűrű, amelyen egy rövid keret járt körbe címmezővel, adatmezővel és a keret állapotát jelző üres/tele bittel. Ha az érkezett keretet az adni szándékozó állomás üresnek találta, azt feltöltötte címmel és adattal, majd az üres/tele bitet beállítva továbbadta. A megcímezett állomás a neki szóló üzenetet vette és továbbadta. A keret üresbe állítása csak a feladóhoz visszaérkezve történt meg és újbóli feltöltésére csak az előző adót *követő* állomásnak volt joga, hogy egyetlen állomás se zárhassa ki a többi a forgalmazásból.

A gyűrűs számítógép hálózatok gyakrabban alkalmazott változatánál (ilyen például a **proNET-10** kereskedelmi nevű változat) *vezérjelet* (*token*) továbbítanak és mindig csak az az állomás adhat, amelyiknek a vezérjel a birtokában van. Ha az adás megengedett hosszát maximáljuk, aminek lejártával a vezérjelet is tovább kell adni, biztosítható, hogy egyetlen állomást se zárjunk ki a forgalmazásból.

Nem ilyen egyszerű az adási rend biztosítása a sín elrendezés esetében, ha nincs sorban továbbadott vezérjel. Forgalmazás közben a végberendezések az átviteli utat felváltva veszik igénybe. Ekkor megtörténhet, hogy egy-nél több végberendezés időben közel egymáshoz kezd adni és így egymást kölcsönösen megzavarják. Ennek elkerülésére alkalmazzák az 5. Fejezetben szintén megismert **CSMA/CD** technikát. Ez adási szünetek kényszerű közbeiktatását eredményezi. Ha az üzenetek hossza és a vonali terjedési idő összemérhető, a vonali átviteli kapacitás jó kihasználtsága biztosítható. A terjedési időnél rövidebb üzenetek esetén viszont az ütközés-elkerülési technika esetleg nem működik, tehát az átvihető üzenetek hossza minimálva van. A vezérjeles rendszerben ütközés nem lép fel, itt csak a vezérjel vételéhez és továbbításához szükséges idő mehet veszendőbe, főleg azon állomások szekvenciális lekérdezése miatt, amelyeknek nincs adásra kész üzenetük.



A szegmens megengedett méretét, az arra csatlakoztatható végberendezések számát az átviteli közeg fajlagos csillapítása, a vonali sebesség, illetve annak az egy állomásra jutó (átlagos) hányada, a jelterjedési idő (és vezérjel-les gyűrű esetén, az alkalmazható címtartomány) határozza meg. A méretekkel összhangban kiadódik az egy üzenetben átvihető adatmennyiség alsó és felső határa is. A részletek és a konkrét értékek mellőzésével a sínszakasz hossza ritkán lehet 500 m-nél nagyobb, az egy információs mezőben átvihető csomag hossza (nem számítva a fejrész és egyéb nem produktív részek hosszát), mondjuk 64 és 5000 byte között választott értékű lehet. Gyűrű esetén a teljes vezeték hossz elvben a fenténél nagyobb lehet, de ezt a megoldást ritkán alkalmazzák a kevésbé megbízható működés miatt. (Az egyszerű felépítésű gyűrű teljességgel használhatatlan lesz *bármely* állomás meghibásodása esetén.)



### 10.2.2. Terminálok címzése

Egy hálózaton, illetve egy szegmensben belül a csatlakoztatott terminálok fizikai címmel rendelkeznek, így adatkapcsolati szinten címezhetők. A címek felépítése eltérő az Ethernet sínek és a gyűrűs hálózatok esetében.

Az Ethernet címek [MAC-címek (media access control, közeg-hozzáférés vezérlő)] 48 bit hosszúak és minden terminál egyszer s mindenkorra kiosztott címmel rendelkezik. A proNET-10 terminálok címzésére 8 kétállapotú kapcsoló szolgál, amelyek segítségével 254 különböző cím állítható be manuálisan a hálózat konfigurálásakor. Mindkét változatban a csupa 1-est tartalmazó cím *valamennyi* állomás együttes címzésére szolgál (ezzel a címmel érkezik az ún. *broadcast* üzenet). Ha a hálózatra új állomást csatlakoztatunk, az először broadcast üzenetet ad ki, felszólítva a már csatlakoztatott állomásokat a bejelentkezésre. A beérkező címeket az új állomás tárolja, és a továbbiakban csak a létező címekre irányuló üzeneteket továbbítja.



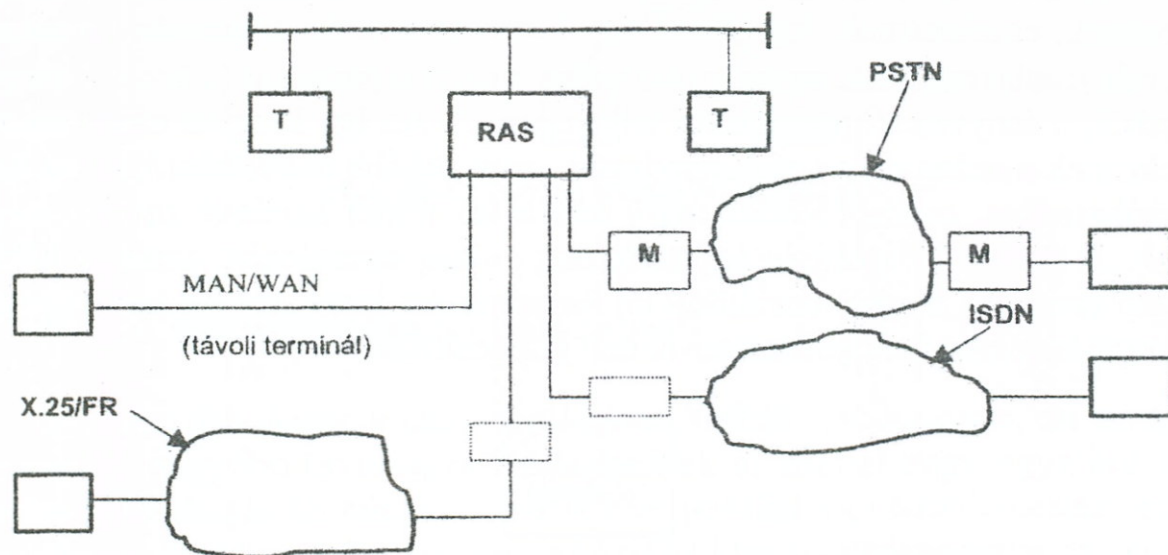
### 10.2.3. Távoli terminálok csatlakoztatása

Az egy szegmens átviteli kapacitását közösen használó számítógépek csak akkor képezhetnek forgalmi egységet, ha fizikai közelségük ezt megengedi. Így jönnek létre a *helyi hálózatok* (local area network, LAN).

Távoli gépek csatlakoztatását a fentitől eltérően kell megoldani. A szokásos elrendezés a 10.2. ábrán látható (sínhez való csatlakozásra szorítkozva). A hálózathoz az ún. *távoli hozzáférés kiszolgáló* (remote access server, RAS) csatlakozik, bármelyik többi számítógéphez hasonló módon. Feladata: veszi a távoli gépnek szóló üzeneteket, majd a távoli gép felé továbbítja azo-



kat, illetve a hálózati keretformátumnak megfelelően, a hálózatra adja a távoli géptől érkezőket.



10.2. ábra. Távoli számítógépek csatlakoztatása a lokális hálózat szegmenséhez

A kiszolgáló és a távoli gép között kétirányú adatátviteli összeköttetést kell létesíteni. Ez lehet a hálózati csatlakozás céljára kiépített átviteli út, de gyakrabban bérelt adatátviteli vonal, esetleg csak bérelt átviteli kapacitás. Az így kialakuló, most már nem helyi jellegű hálózatot szokás *nagy területű* (wide area network, WAN), illetve *nagyvárosi* (metropolitan area network, MAN) *hálózat*nak nevezni.

Másik változatában, a számítógép hálózathoz bármely adatátviteli – vagy adatátvitelre alkalmassá tett – hálózathoz csatlakozó előfizetőt/felhasználót csatlakoztathatunk. Az egyetlen kikötés, hogy a csatoló hálózat legyen *átlátszó*, azaz bithelyes átvitelt tudjon biztosítani. A PSTN előfizetők ehhez mind az előfizetői, mind a távoli hozzáférés kiszolgáló csatlakozó oldalon modem beiktatását igénylik. Az ISDN előfizetők a kapcsolt hálózat kimenetén digitális jelfolyamot produkálnak. Hasonló a helyzet az X.25, illetve a kerettovábbító csomagkapcsolt hálózaton keresztül csatlakozó felhasználókkal is, de itt is szükség lehet (lásd 10.2. ábrát!) RAS-oldali illesztő interfészre, a kétirányú megfelelő adatfolyam biztosítása érdekében.

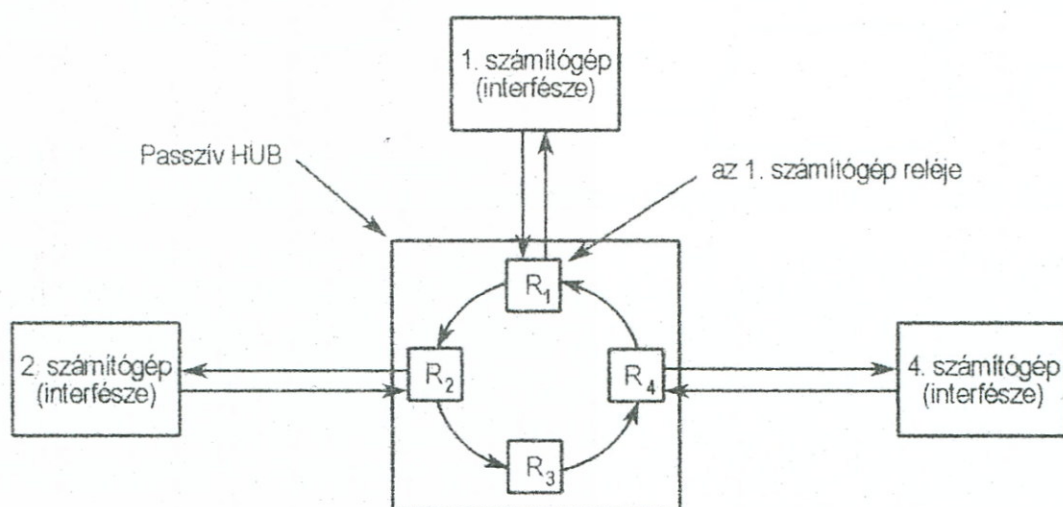
#### 10.2.4. Hálózat-kialakítási technikák

A számítógép-hálózati szegmensek eddig bemutatott fizikai elrendezése, nevezetesen, a sín – akár koaxiális kábel, akár sodort érpár – olyan kialakítású, amelyre ténylegesen sorban csatlakoznak a berendezések, illetve a gyűrű kábelszakaszainak a géptől-gépig vezetése előnytelen. A gyűrű bár-



melyik elemének a hibája, mint már említettük, teljességgel megszakítja a működést.

Terjednek az olyan kábelezési technikák, amikor térszakaszoknak (épület-részeknek, emeleteknek) kijelölnek egy közös pontot és valamennyi munkahelyet oda csatlakoztatnak, egyre gyakrabban sodort érpárrakkal (a koax 'kimegy a divatból', a fényvezető pedig talán felesleges...). Az így létrejött elrendezésben igyekeznek minden egyes végberendezést egyre inkább önállóként kezelni, hogy meghibásodása, csatlakoztatása vagy kiiktatása minél kevésbé zavarja meg a többit. A kialakult topológia így fizikailag *csillag* elrendezést mutat, a hálózat viszont továbbra is szekvenciálisan ad forgalmazási jogot, amiről természetesen központi berendezések beiktatásával kell gondoskodni.

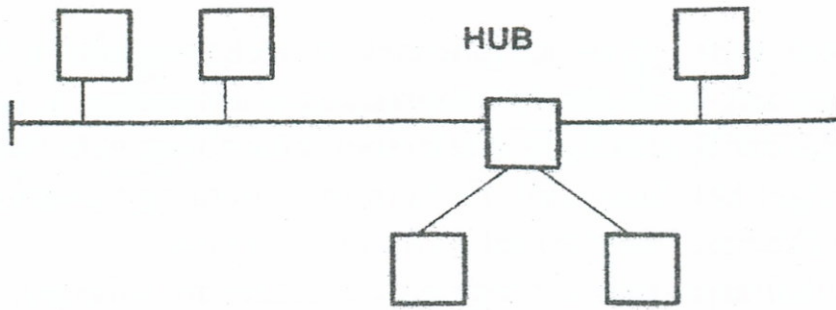


10.3. ábra. Hub alkalmazása a gyűrű áramkör üzembiztonsága fokozására

Az első ilyen 'központosító' berendezés a gyűrű áramkörök *kerékagya* (hub) volt (10.3. ábra). *Passzív* változatában ez egy a végberendezések felől folytatott egyenárammal működtetett jelfogós szerelvény, amely gondoskodik az állomásnak a gyűrűbe való beiktatásáról, ha az üzemel. Ha pedig – kikapcsolás vagy meghibásodás miatt – megszűnik az egyenáram, a szóban forgó állomást kiiktatva hozza létre a gyűrű folyamatosságát. Az *aktív hub* (bizonyos változataira szokásos elnevezés: *többállomásos csatlakozó egység*, multistation access unit, MAU) egy olyan processzor, amelynek portjaira csatlakoznak a végberendezések és gondoskodik a vezérjeles hozzáférésük vezérléséről. Meghibásodott végberendezés nem bénítja meg az üzemet, persze a hub kiesése végzetes.

A csillag-sín kombináció felépítése gyakorlatilag a csillag-gyűrű változatával azonos, üzemében különbözik attól: az állomások kiszolgálása a CSMA/CD protokoll szerint történik, ellentétben a tokenessel. Az ütközésetekciós rendszer kombinált változata (10.4. ábra) is használatos, amikor a sínre egyes állomások közvetlenül, mások hub közvetítésével csatlakoznak.



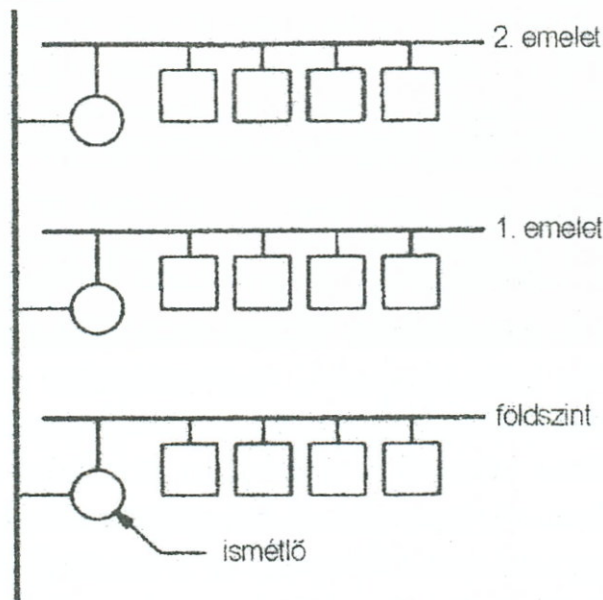


10.4. ábra. Vegyes csillag-sín topológia

### 10.2.5. Többszegmensű hálózatok



Gyakran felesleges a nagy-területű technikák alkalmazása, de az egyes terminálok nagyobb távolságra helyezkednek el ahhoz, hogy egyetlen szegmensre felfűzhetők lennének. Tipikus eset például egy több emeletes épület behálózása. Emeletenként egy-egy koaxiális kábelt végigvezetve az ott telepített gépek sorosan felfűzhetők (10.5. ábra), de az egyes emeletek között a megfelelő jelátvitel már nem biztosítható. Ilyenkor telepítünk egy további, függőleges kábelt, amihez a szegmenseket *jelismétlők* (repeater) közbeiktatásával kapcsoljuk hozzá, amelyek feladata a kétirányú bithelyes átvitel. Az egyik oldalon érkezett – csillapított és zajos – jelet a másik oldalon regenerálva – megfelelő szinten, alakhelyesen és zajmentesen – adják tovább. A jelismétlő nem szelektál, minden, a vonalon levő jelet továbbít és így az összes csatlakozó állomás számára csak az egy szakasz átviteli kapacitását biztosítja. A rendszer két ismétlő sorba kapcsolását engedi meg, így a teljes hálózat mérete az egy szegmensének legfeljebb a háromszorosa lehet.

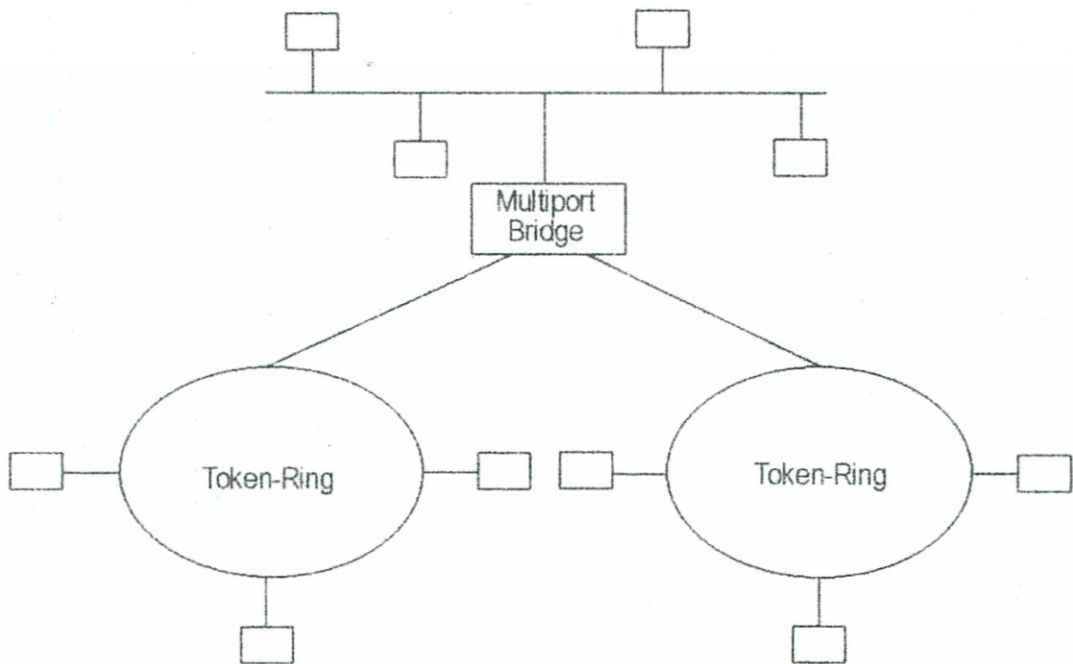


10.5. ábra. Ethernet szegmensek összekapcsolása jelismétlőkkel



A jelisméltő csak olyan szegmensek összekapcsolására használható, amelyeknek nemcsak az üzenetformátuma, de a sebessége is azonos. Ha a csatolandó szakaszok között ilyen értelemben különbség van, összekapcsolásukra *híd* (bridge) kell használni. Ez nem más, mint egy gyors számítógép, két (vagy több) Ethernet interfésszel és fix programmal.

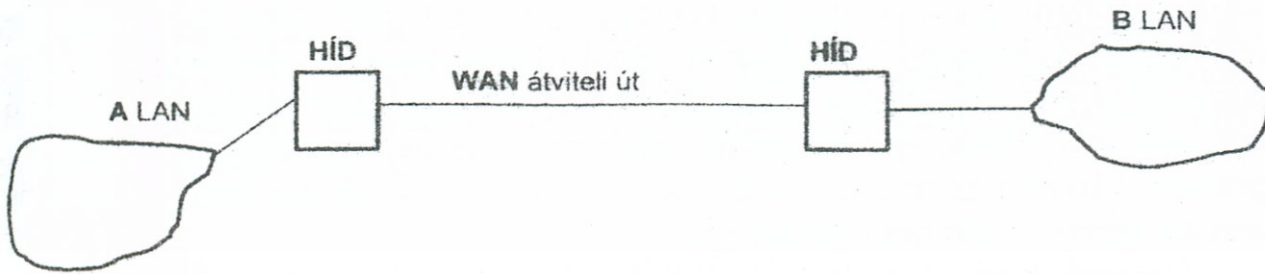
A hidak alkalmasabbak a szegmensek összekapcsolására, mint az isméltők. Egyrészt azért, mert az egyik szegmensről a másikra csak azokat a kereteket teszik át, amelyek oda vannak címezve, másrészt az ütközéses, hibás kereteket kiszűrik. Több interfészes változatuk (multiport bridge) több szegmens összekapcsolására alkalmas. Ez megtanulja, hogy melyik terminál melyik szegmensen tartózkodik és a megcímezett keretet a megfelelő kimenetre irányítja.



10.6. ábra. Különböző protokollt alkalmazó szegmensek összekapcsolása híddal

A hidak további változataival megoldható különböző adatkapcsolati protokollal rendelkező szegmensek összekapcsolása (10.6. ábra). Így például egy Ethernet szegmens közös hálózatot alkothat egy gyűrűvel. A híd mindkét hálózatban a többivel egyenrangú terminálként szerepel, a gyűrűről érkező – és a sínre címzett – keretet az ütközést elkerülve továbbítja, és a sínről érkezőt a sorrakerülését megvárva elhelyezi a gyűrű jelfolyamába. Az egyetlen, amire nem képes, az a csomagok átrendezése, azaz eltérő maximális hosszúságú információs mezőkkel rendelkező szegmensek esetén a legrövidebbet kell valamennyinél alkalmazni.





10.7. ábra. Hidakkal és nagytávolságú átviteli szakasszal összekapcsolt helyi hálózatok

A hidak általában közvetlenül csatlakoztatják a hálózat részeket, illetve a hálózat szegmenseket, feltéve, hogy azok földrajzilag közel helyezkednek el egymáshoz. Ha két távoli hálózat között WAN átviteli utat használva szeretünk összeköttetést, a hálózatok és az átviteli út között – az átviteli protokollok közötti különbség megszüntetésére – szintén hidakat kell alkalmazni (10.7. ábra).

Több szegmensenet összekapcsoló több híd alkalmazása esetén előfordulhat, hogy hurkok alakulnak ki és/vagy ugyanazon két terminál különböző útvonalakon is elérhető. Maga a jelenség hasznos is lehet. Gondoljunk arra, hogy valamelyik összeköttetés meghibásodása esetén így rendelkezésre áll további elérési útvonal. Keretek felesleges körbejárását elkerülendő, ilyen hálózatokban szigorú irányítási szabályokat kell meghatározni és azokat betartani, biztosítandó, hogy a fizikai topológiával ellentétben, a mindenkor aktív topológia mindig egyetlen átviteli utat engedjen meg.

### 10.2.6. Kapcsolt hálózatok

Mind a sín-, mind a gyűrű-szervezésű hálózatok alapvető jellemzője, hogy a csatlakoztatott állomások *együttes* forgalma nem haladhatja meg az összekötő kábelrendszerre meghatározott és a berendezéseken beállított értéket. (Gyakorlatilag a hálózat névleges sebessége soha nem használható ki teljesen, hiszen az átvitt kereteknek csak egy része a produktív adat és a síneknél, az ütközés-detekciós továbbítási technika is a hatékonyság csökkenését eredményezi.) [3]

A távbeszélő technikában használt kapcsolási elv alkalmazása a számítógép hálózatoknál is lehetővé teszi a forgalmazási sebesség olyan értelmű megnövelését, hogy egy-egy állomás kihasználhassa a vezetékek teljes átviteli sebességét.

A 10.8. ábrán a számítógép hálózatokban felhasználható kapcsoló mátrix elvi rajza látható. Bemeneteihez csatlakoznak az egyes végberendezések. A kapcsoló az érkező üzeneteket, kereteket átmenetileg tárolja, majd a cím analízisa alapján megállapítja, melyik másik végberendezés irányába kell

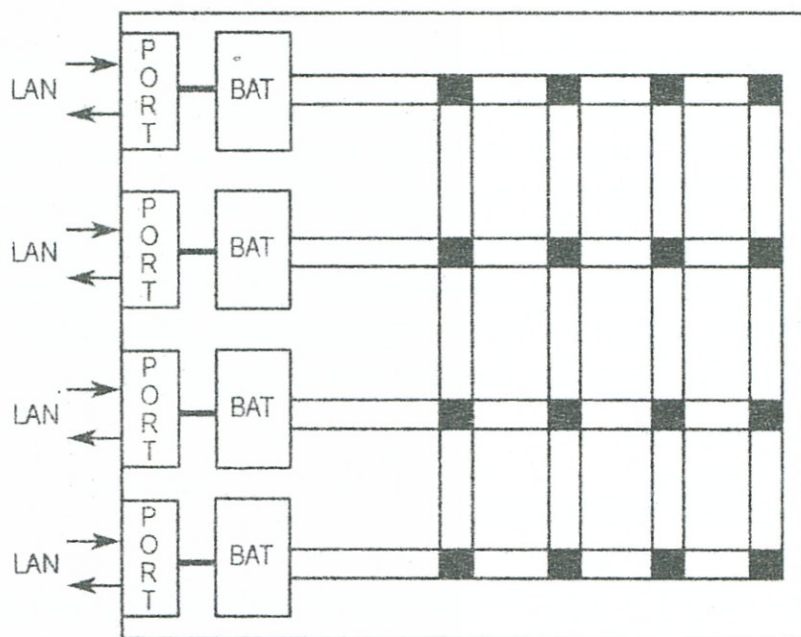
!



azt továbbítani. Ha a célállomás foglalt, a továbbítással várni kell annak befejezéséig. A kapcsoló az átmeneti tároló kapacitásának megfelelő megválasztásával erre oly módon képes, hogy közben a szóban forgó keretet küldő terminál már újabb, egy harmadik végberendezésnek szóló keret adását végezheti. Mivel a keretek a továbbítás megkezdéséig várnak, ütközés és emiatti keretvesztés nem fordul elő.

Látható, hogy ilyen kapcsoló elsősorban a sín áramkörökben alkalmazható. A keretek adását és vételét valamennyi végberendezés folyamatosan végezheti, a vonali átviteli sebességet mindegyikük külön-külön igénybe veheti, azon osztozniuk nem kell.

A kapcsoló alkalmazásával a sín fizikailag csillag elrendezéssé alakul át, de ez már a hub alkalmazásával is megtörtént. Természetesen, a hálózatban a kapcsoló, mint új költségtenyező jelent meg.



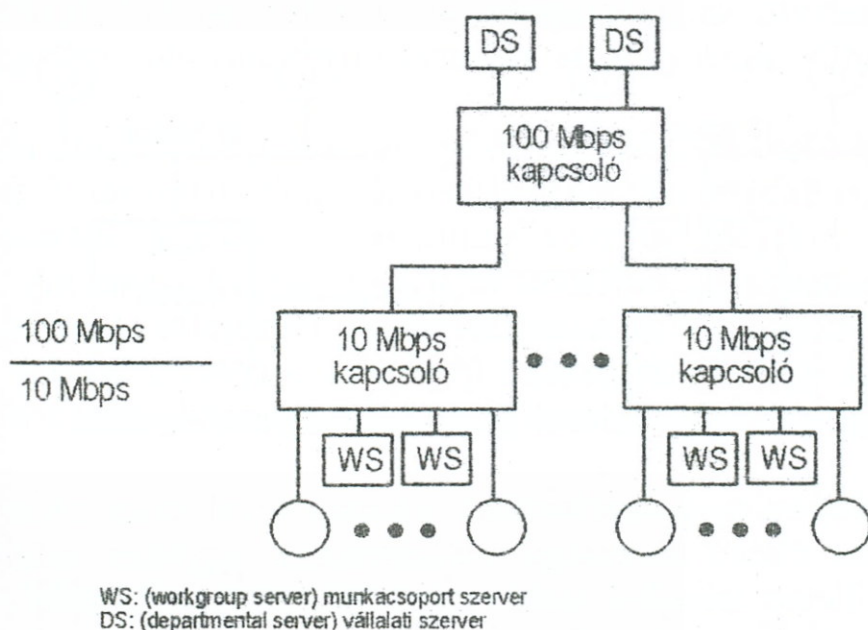
10.8. ábra. Intelligens kapcsoló mátrix számítógép hálózatok kialakítására

A kapcsolás technikáját illetően, létezik olyan megoldás, amikor a cím beérkezése és az irány meghatározása után azonnal megkezdődik a továbbítás (cut-through switching) és olyan, amikor a kapcsoló bevételezi a teljes keretet, megvizsgálja sértetlenségét és csak azután kezdi továbbítani (store and forward switching). Címezhetők az egyes végberendezések, de a gyorsabb továbbítás érdekében történhet az átkapcsolás hálózat-szegmensek között.

A kapcsoló berendezés (switch) a hub helyére kerül beépítésre és biztosít magasabbrendű szervezetséget a hálózat számára. Segítségével megoldható közös erőforrások [kiszolgálók (server), nyomtatók stb.] jobb hozzáférhetősége és végül, felhasználásukkal képezhetők többsíkú hálózatok, pél-



dául *gerinc áramkör* (backbone) a különböző sebességű hálózatrészek összekapcsolására. Ez utóbbira példát a 10.9. ábrán láthatunk, ahol például a 10 Mb/s sebességű szegmensekhez a kiszolgálók 100 Mb/s sebességű hozzákapcsolását mutatjuk be.



10.9. ábra. Nagysebességű kapcsoló, mint gerinc áramkör

A LAN kapcsolót, a 10.8. ábrán bemutatott mátrix-kapcsoló változaton kívül egyre gyakrabban valósítják meg *ATM kapcsoló* formájában. Ezt majd az aszinkron átviteli mód tárgyalása kapcsán, a 12. fejezetben ismerjük meg.

## 10.3. Együttműködő hálózatok

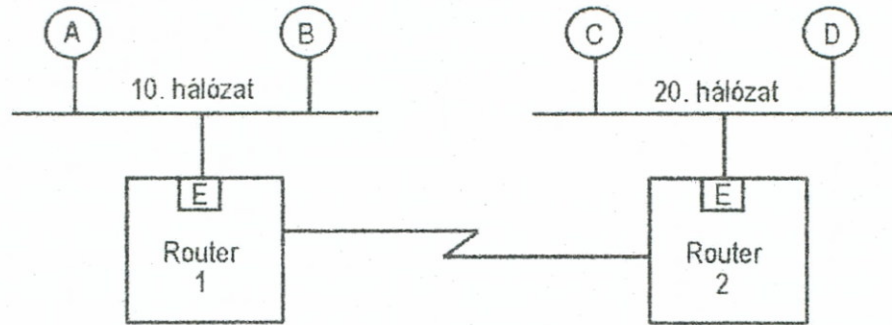
### 10.3.1. Helyi hálózatok közvetett összekapcsolása

A helyi hálózatokra a térbeni korlátozottság a jellemző (érvényes ez azokra is, amelyek csoportjába kapcsolódó néhány végberendezés esetleg a többiek környezetétől elkülönülve, távoli pontokon helyezkedik el). Fizikai összekapcsolásuk általában nem oldható meg a híd jellegű berendezésekkel, amelyek közvetlenül, átviteli rendszer közbeiktatása nélkül csatlakoznak egyszerre legalább két hálózati szegmenshez. Az összekapcsolás rendszer-technikailag (10.10. ábra) úgy oldható meg, hogy a csatlakoztatandó hálózatok mindegyikének egyik végberendezését *útválasztónak* (router) alakítjuk ki és ezek között átviteli utat létesítünk.

Az útválasztók jellemzője, hogy gyakran egynél több kimenettel rendelkeznek, és anyahálózatukat egyidejűleg több további hálózattal kapcsolják



össze. Ennek eredményeként a 'router' nemcsak el tudja küldeni (illetve fogadja) az üzenetet a másik hálózat felé, hanem az útválasztók és az összekötő áramkörök *hálózatán* keresztül több, különböző útvonal között válogatva részint optimális útvonalat tud *választani*, részint forgalom-kiegyenlítést tud biztosítani, továbbá torlódás esetén kerülő útvonalat tud választani.



10.10. ábra. Hálózatok összekapcsolása útválasztókkal

(Az előzőekben megismerkedtünk a kapcsolóval, mint olyan eszközzel, amely alkalmas eltérő sebességű hálózatrészek együttes működésének a biztosítására, illetve lehetővé teszi részáramkörök számára az átviteli utak teljes átviteli sebességének a felhasználását. A helyi hálózatoknak a belső forgalma általában jelentősen nagyobb az útválasztók, a routerek által abból kivezetettnél. Ez azt jelenti, hogy a legnagyobb sebességű átviteli szakasz általában a helyi hálózat belsejében helyezkedik el. Így az ezen hálózatokat összekapcsoló hálózat, mondhatni, egyértelműen a routerekről indul és ritkán a kapcsolókról. Ilyen értelemben a kapcsoló inkább a helyi hálózatok 'belső' eleme és esetleg nem is hálózati, hanem csak adatkapcsolati szinten működik.)



### 10.3.2. Az átviteli hálózat üzeme

Hálózatok összekapcsolásakor a végberendezések közvetlen (MAC-címmel történő) címzése áttekinthetetlen, kusza helyzetet teremtene, tekintettel azok nagy számára. Célszerűen a *hálózatokat magukat* kell címmel ellátni. Az átvienő keretek irányítása ezek felhasználásával úgy történik, hogy valamennyi útválasztó minden általa ismert lokalizációjú címhez tárolja a választható útvonalakat, és igény esetén ezek közül választ.

Az útválasztók nem adatkapcsolati, hanem hálózati szinten működnek. A keretek továbbítását hálózati címek felhasználásával végzik, és gondoskodniuk kell az eltérő protokollal üzemelő hálózatok közötti hibátlan információcsere megvalósításáról. Mind datagramok, mind összefüggő, több keretre osztott információ mennyiség csomagkapcsolt átvitelét kell biztosítani,



ez utóbbi esetben virtuális összeköttetés kialakításával egyetemben. Az útválasztók elvégzik az üzenetek csomagokra bontását, illetve a sorrendhelyes visszarendezést, beleértve az esetleges átviteli hibák kiszűrését is.

Az egymáshoz csatlakozó, egy hálózatot képező útválasztók, célszerűen, közös hálózati rétegbeni protokollal működnek. Ha eltérő hálózati protokollal rendelkező hálózatokat kell összekapcsolni, az útválasztók sajátos, protokollfüggetlen változatát kell használni, amit gyakran a hidak csoportjába sorolnak.

Előfordul, hogy az átviteli láncba nem az OSI-modellt követő protokollal üzemelő hálózat-szakaszok kerülnek be. Pontosabban, a hálózatok összekapcsolásakor egészen az alkalmazás szintig meg kell valósítani az egyeztetést. Az erre alkalmas kapcsoló eszközre alkalmazzák manapság az *átjáró* (gateway) kifejezést. Átjárónak nevezik azt az eszközt is, amely kapcsolatot teremt a helyi számítógép hálózatok és nagy számítógépek, illetve egyéb csomagkapcsolt hálózatok, mint a PSPDN vagy az FR között.

### 10.3.3. Többsíkú átviteli hálózatok



A sokforrású és sokirányú forgalom bonyolítására a távbeszélésben jól bevált a többsíkú forgalomirányítás. Ezt természetesen az adatátvitelben is alkalmazzák. A helyi hálózatok egyenként nem generálnak extrém nagy kimenő forgalmat. Az útválasztók jelfeldolgozó és átviteli sebessége nem éri el a nagykapacitású átviteli utakét. Hozzájuk közepes sebességű átviteli rendszerek illenek, és több ilyen átviteli nyaláb forgalmát érdemes extrém nagy sebességű statisztikai multiplexerekkel a nagysebességű utakra koncentrálni. Ha még ezen a nagysebességű síkon szövevényes jellegű kapcsolt rendszert alakítunk ki, alkalmas hálózati elrendezéshez jutunk az adatátvitelben várható extrém nagy átviteli igény kielégítésére.

Ebből a ma még szinte elképzelhetetlenül nagy átviteli sebességű hálózatból egyes részek mára kialakultak. Az átvitelt szinte kizárólag fényvezetős összeköttetésekkel oldják meg, amelyek átviteli kapacitása a hullámhossz multiplexelési (DWDM) technika fejlődésével sok nagyságrenddel meghaladja az eddig rendelkezésre állót. A kapcsolás helyzete nem ilyen rózsás. Az elektronikai eszközökkel elérhető sebesség a 10 Gb/s határon ma még megáll. A fejlesztés alatt álló optikai kapcsolók nem az egyedi bitek gyors átkapcsolását, sokkal inkább a DWDM jel folyamainak vivőfrekvencia szerinti egyszerű átkapcsolhatóságát fogják megoldani. A jövő fejlődési útja még csak körvonalazható.



## 10.4. Az Internet

### 10.4.1. Igény az internetre

Amilyen mértékben a számítástechnika alapvető részévé vált az adatátvitel, úgy merült fel az igény a helyi hálózatok összekapcsolására. [4] Így általánosságban az 'internet' nem egy konkrét hálózatot, sokkal inkább egy törekvés irányt jelez. Számos alkalmazás kívánja világméretű adatforgalom megvalósítását és a forgalmi igény ugrásszerűen nő.

Beszélünk az **információs társadalomról**, mint ami megállíthatatlanul közeledik. Az ezt kiszolgáló rendszer bizonyosan nem a távbeszélő jellegű kapcsolt, hanem egyértelműen az általános adatátvitelre optimalizált hálózat lesz. Ennek alapját a helyi számítógép hálózatok alkotják, amelyek *nyitottak* az összekapcsolásra: adatokat várnak a széles környezetükből és adatokat szolgáltatnak bárki számára. Ezen túlmenően, lehetővé teszik, hogy a rendszerbe kapcsolt bármely két számítógép kölcsönösen használhassa egymás erőforrásait.

Az igények kielégítésére alkalmas hálózatnak nem szabad egységes be rendezés-választék és azonos rendszer kialakításának az igényével fellépnie. Cél az, hogy minden *meglevő* hálózat és megoldás az összekapcsolás után továbbra is használható maradjon, ugyanakkor maximálisan megvalósulhasson a gépek egymás közötti információcseréje, közös működése.

A hálózatra vonatkozó egyetlen kikötés az önálló részeknek a legalább két irányba kapcsolatot teremtő útválasztókkal, routerekkel megvalósított összekapcsolása. (A hálózat periferiáján elhelyezkedő részekre még ez sem követelmény, természetesen az egyetlen összeköttetéssel csatlakozó hálózat nem vesz részt a nem neki szóló üzenetek továbbításában.) Egyértelmű igény viszont, hogy a hálózat valamennyi összetevője olyan protokollal rendelkezzen, ami az egyes gépek közötti üzenetváltást lehetővé teszi.



### 10.4.2. A TCP/IP Internet

A 60-as években az USA-beli Advanced Research Projects Agency (ARPA) végezte az első kísérleteket információs, adatátviteli világhálózat kialakítására. Ebből nőtt ki egyrészt a csomagkapcsolt technikán alapuló PSPDN, mint hálózati szolgáltatás a távbeszélő hálózathoz kapcsolódó (első sorban nem-számítógép alapú) felhasználók számára. Másrészt kifejlődött egy egységes protokollal forgalmazó világhálózat, az *Internet*.

Az Internet úgy lett kialakítva, hogy – lehetőleg – semmi megkötöttséget ne tartalmazzon az alkotó részarámkörökre, elsődlegesen azok fizikai



mibenlétét, berendezés-választékát illetően. Kivéve, mint már tisztáztuk, hogy rendelkezniük kell routerrel, amelyik felelős az üzeneteket – vagy üzenet részeket – tartalmazó csomagoknak egyik hálózatról a másikra való eljuttatásáért. (Vegyük észre, nem egyik gépről a másik gépre, mivel ez nagyságrendekkel nagyobb címzési feladatot jelentene.) Számos, az adatkapcsolati szinten különböző protokollal üzemelő hálózat képezi az Internet fizikai alapját.

Ami viszont közös, az a csomagok célba juttatásáért felelős *protokoll*. Elnevezése: TCP/IP. [1] A betűszó tartalma: transmission control protocol/internet protocol, fordítása: átvitelvezérlő protokoll/hálózatkialakító protokoll. Ezen belül a hálózati szinten működő IP feladata a felső rétegektől érkező csomagokat a meghatározott címre továbbítani. Szükség esetén az üzenetet csomagokra darabolja, majd a fogadó oldalon helyreállítja azt. Összeköttetés-mentes, visszajelentéses hibakorrekció lehetőségét nem tartalmazó protokoll, tehát nem tartalmaz semmiféle biztosítékot arra nézve, hogy a csomagok helyes sorrendben vagy egyáltalán megérkeznek-e a célba.

A TCP a felhasználók között *megbízható* kapcsolatot létesít, megfelelően a transzport réteg követelményeinek. Összeköttetés-orientált és hibajavításra alkalmazza a visszakerdezést. Az átvitel sorszámozott csomagokban történik, miután az összeköttetés (virtuális áramkör formájában) létrejött. A forgalom szabályzását csúszó ablakos módszerrel végzi és gondoskodik az esetleges torlódás elkerüléséről.

Transzportra használatos továbbá, elsősorban a kapcsolat felépítésének folyamatában, a *felhasználói datagram protokoll* (user datagram protokoll, UDP), amely nevének megfelelően, összeköttetés-mentes és egymással kapcsolatban nem lévő egyedi üzeneteket, datagramokat szállít át a hálózaton. Továbbításuk a legjobb út megkeresése módszerével történik, mindig azon az útvonalon, ami rendelkezésre áll.

### 10.4.3. Címzés az Interneten

Az Internetre csatlakozó számítógépek, illetve hálózatok egyedi azonosító *névvel* rendelkeznek, amely az angol *abc* betűit tartalmazó szavakból és mnemonikokból épül fel. [2] [4] A hálózat önálló egységeit *domainnek* nevezik, amelyeket hierarchikus rendbe próbáltak szervezni. Ennek megfelelően a teljes *domain-név* több, egymástól ponttal elválasztott részből áll össze. Az utolsó, legáltalánosabb tag egy néhány betűs rövidítés, ami az általános tematikai besorolásra, ennek hiányában a hálózatot magában foglaló országra utal. Az országnevek két betűs rövidítések (például Magyarországra: .hu), míg néhány tematikus rövidítést a 10.1. Táblázat tartalmaz. A megcímzett hálózatot ezen belül esetleg több lépésben lehet megközelíteni, az egyre

!



pontosabban lokalizáló, mindig ponttal elválasztott cím-összetevők egymást mindig megelőzve az általános meghatározó domain-név *elé* kerülnek.

Egyes alkalmazások további név-kiterjesztéseket is igényelnek. Ezek általában *követik* a domain-nevet. Talán egyetlen kivétel az elektronikus levéltovábbítás (e-mail), amelynél a hálózaton belüli címzett személy neve (az angol *abc* betűivel írva) a domain-név *elé* kerül, attól az @ jellel elválasztva.

10.1. táblázat

Domain-név	Tartalma
.com	Kereskedelmi szervezet
.edu	Oktatási szervezet
.gov	Kormány szerv
.net	Hálózati szervezet
.org	Nem-profit szervezet
.firm	Üzleti/kereskedelmi vállalkozás
.store	Megvásárolható termék
.web	World wide web-bel kapcsolatos tevékenység
.arts	Kulturális/művészeti szervezet
.rec	Szórakozás/üdülés
.info	Információs szolgáltatók

A hálózatok tényleges megkeresése nem név, hanem *cím* alapján történik. Az Internet-címek a jelenleg használatos, 4-es változatú protokoll (IPv4) alapján üzemelő rendszerben 32 bit hosszúságúak [ez a bevezetés előtt álló 6-os (IPv6) változatban, az igények növekedése miatt, 128 bitre fog nőni].

Egy hálózat jelenleg 3 különböző osztályú címet kaphat. Ha sok host-tal rendelkezik, hálózat-azonosítónak **0**-val kezdődő, összesen 1 byte hosszúságú (A-osztályú) címet kap, majd ezen belül 3 byte-ot használhat fel az alhálózatai megkülönböztetésére. Ilyen címből (világszerte) összesen 128 áll a rendelkezésre. Kisebb hálózatok számára rendelkezésre állnak a B-osztályú, **10**-val kezdődő, összesen 2 byte, illetve a C-osztályú, **110**-val kezdődő, összesen 3 byte hosszúságú hálózat-azonosítóval rendelkező címek. Ezek rendre 3, illetve 2 byte hosszúságú címmezővel rendelkeznek alhálózataik megkülönböztetésére. Az Internet-címeket 4, pontokkal elválasztott, 0-255 terjedelemben változó számmal szokás megadni.

A hálózat használója az Internet neveket ismeri (vagy kitalálja). Ennek alapján azonban nem tud kapcsolatot teremteni. Az összetartozó nevek és címek a hálózat különböző pontjain elhelyezett tárukban, a *név-szerverek*ben található. Ezeket felhasználva a név ismeretében a címeket a hálózatnak kell, megfelelő protokoll segítségével, megtalálnia. A címezéssel kapcsolatos



feladatokat az IP szintjén működő *címkereső protokoll* (address resolution protocol, ARP) látja el.

#### 10.4.4. A hálózat kialakítása



A helyi számítógép-hálózatok (LAN-ok), amint azt már megismertük, fizikailag úgy váltak alkalmassá világméretű adatátviteli hálózat részévé válni, hogy útválasztó, router felhasználásával ahhoz hozzákapcsolódtak. Magát a hálózatot pedig azok az átviteli utak alkották, amelyek legalább két irányban alakítottak ki routeres kapcsolatot. Az összekötő utak gyakran kis-kapacitású, WAN-összeköttetések voltak. Ezekre jelentős mértékű forgalmat terelni nem lehetett. A szükséges, a (várható) forgalom által indokolt irányokba megfelelő kapacitású átvitelt kellett (kell) biztosítani. Erre a célra eleinte távközlési, elsősorban a PSTN/ISDN szolgáltatóktól bérelt átviteli kapacitást használtak fel. [5]

De mi történik akkor, ha az Internet forgalma a távközlésen belül meghatározóvá válik? Jelentős forgalom egyrészt az igénybevett átviteli kapacitás jó hatásfokú kihasználását követeli meg (a költségek alacsonyan tartása érdekében), másrészt más szolgáltatók tartalékának a bérlésével az igény nem elégíthető ki. Így előtérbe kerülnek az *általános* átviteli (nem is pusztán transzmissziós, de inkább transzfer, tehát belső kapcsolókat is tartalmazó) szolgálatot nyújtó vállalkozások, mint átviteli szolgáltatók és várható, hogy az Internet saját gerinchálózattal is rendelkezni fog.

A TCP/IP protokoll általános térhódítása, többek között, abban is nyilvánul, hogy nagyobb helyi hálózatokban is alkalmazzák, mint általános átvitel-irányítási megoldást. Kialakulnak az Intranetek. Ha pedig azonos protokollal forgalmaznak mind a belső, mind a kifelé menő hálózatban, a világhálózat valamennyi résztvevője 'belelát' a helyi hálózat belső dolgaiba. Ez általában nem kívánatos. Szűrőt kell az Intranet és az Internet közé beiktatni, hogy illetéktelenek ne férhessenek hozzá a védett információkhoz. Így a router funkciója kibővül. A külső hálózat felé menő és onnan érkező forgalom átmeneti tárolón, az ún. proxy-szerveren megy keresztül, ami egyúttal *tűzfal* (firewall) funkciót is ellát a nem kívánt kapcsolatok és hozzáférések létrejöttének a távoltartásával.

Az Internet alkalmazások térhódításával egyre több, helyi hálózatokhoz nem sorolható, mondjuk úgy, egyéni felhasználó is kapcsolatba akar kerülni a hálózattal. Erre mód van, mégpedig az *Internet szolgáltató* (Internet provider) igénybevételén keresztül. [6] A nehézséget a szolgáltató és az egyéni felhasználó közötti kapcsolat, a megfelelő kapacitású adatátviteli összeköttetés kialakítása jelenti.



Jelenleg nem áll rendelkezésre olyan megoldás, ami a meglévő, áramkörkapcsolt távbeszélő szolgáltatás megkerülésével lehetővé tenné az egyébként kevéssé használt, de nagy beruházási értéket képviselő, vezetékes előfizetői hálózat IP célokra való közvetlen felhasználását. [7] Ez csak úgy lehetséges, hogy az IP felhasználó szabályszerű távbeszélő kapcsolatot alakít ki a szolgáltatóval, aki azután számára hozzáférhetővé teszi az Internet szolgáltatásait. Mivel a PSTN előfizetői csatlakozás analóg, adatátvitel csak modem-pár beépítésével valósítható meg. Jobb helyzetben van az ISDN csatlakozással rendelkező felhasználó, akinek csak (a gyakran ISDN modemnek nevezett) illesztő kártyával kell rendelkeznie, de az összeköttetés áramkörkapcsolt jellegű felépítése miatt a hálózat rossz hatásfokú kihasználása reá is érvényes. Az Internet-kapcsolat üzenetkapcsolt-jellegű (és a forgalom általában irányonként aszimmetrikus) terhelést jelent, tehát hosszú időszakokra, amikor az áramkörkapcsolt összeköttetést szükségszerűen fenntartjuk, az átviteli kapacitás nincs kihasználva.

A fenti megoldás előnytelen tulajdonságai, továbbá a nagyobb átviteli sebesség igénye miatt más kapcsolatteremtési módokat keresnek. Lehetősként jelentkezik az előfizetői vonalon xDSL átvitelt kialakítva, a távbeszélőtől független IP kapcsolat létrehozása. Továbbá, rendelkezésre állnak egyéb meglévő, az egyéni felhasználót más célból megkereső átviteli hálózatok, mint a kábeles televízió hálózat (KTV), esetleg a műholdas (műsor-szóró vagy esetleg kizárólag az Internethez hozzáférés céljából kialakított) hálózat adatátviteli célra történő felhasználása. Ez főleg 'letöltő' jellegű felhasználást jelent, kivéve a már kétirányú átvitelre kibővített KTV hálózatokat. Az utóbbi teljes értékű Internet csatlakozást tesz lehetővé, míg a letöltésekhez létre kell hozni távbeszélőn a kapcsolatot a felhasználó és a szolgáltató között.

Újabban jelent meg az Internet-szolgáltatás a mobil telefóniában. Ennek jövője és felhasználási területe még kiforratlan, de a mobilitás jellegéből adódó jellemzők, például a kisméretű kijelző a teljes értékű kihasználhatóságát kérdésessé teszik, bár sajátos felhasználási területek alakulhatnak ki, éppen a mobilitásból adódóan.



#### 10.4.5. Alkalmazások

Az Internet megvalósított és lehetséges alkalmazásait felsorolni sem lehet. Ma még nem eldönthető, hogy az áramkörkapcsolt távbeszélő korszakát az Internet vagy kissé általánosabban, az IP protokollt használó alkalmazások és hálózatok korszaka követi-e, a kettő együtt fog élni, vagy egy harmadik hálózat veszi át. Az bizonyos, hogy a felfutás látványos és elgondolkoztató. Bizonyos megfontolások [8] az információs társadalom és az Internet elterjedésének a kapcsolatát vetik fel.



A szolgáltatokat illetően alapvető, az egyszerűek között van a *fájlvitel*, megvalósító protokollja, az *ftp* (file transfer protocol) a TCP-re épülve működik. Akárcsak a világméretű hálón (a World Wide Web-en) információt kereső protokollok vagy a *telnet*, amelyik IBM számítógépek távoli hozzáférhetőségét teszi lehetővé. Ezek számos alkalmazás alapját képezik. A hálózattal szemben magasabb igényekkel lépnek fel a csak szigorúbban személyes (megbízhatóan titkos, kizárólagos) összeköttetés mellett kielégítően üzemelő alkalmazások, mint az elektronikus levelezés, a kereskedelmi, pénzügyi rendszerek. A sort követik az összefoglalóan *multimédiásnak* nevezett alkalmazások, amelyek szívesen megkívánják a viszonylag nagy sebességű átvitelt, bár van olyan tendencia is, amely szerint ezeket a szolgáltatásokat 'skálázhatóan', az éppen rendelkezésre álló átvitel mellett, változó minőséget biztosítva célszerű nyújtani, hogy a hozzáférhetőség minél szélesebb körű legyen.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] A protokollok leírását lásd: RFC791: Postel, J., Internet Protocol. 1981 szept., RFC793: Postel, J., Transmission Control Protocol – DARPA Internet Program Protocol Specification, STD 7, DARPA, 1981 szept., RFC1180: A TCP/IP Tutorial, 1991.
- [2] G. Held: Data communications networking devices. (4<sup>th</sup> Edition.) John Wiley & Sons. New York. 1999.
- [3] Implementing the Routing Switch. (White Paper.) Bay Networks. 1998.
- [4] W. Goralski: TCP/IP applications and protocols. Computer Techn. R. C. Charleston, N. C. 1995.
- [5] Cisco Advantage products enhance key dimensions of Intranet and Internet communications. PACKET Cisco Systems Users Magazine. 8. 3. 2–4. (Third Quarter 1996)
- [6] B. Furht (ed.): Handbook of Internet and multimedia systems and applications. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida. 1999.
- [7] Dr Házman István: Digitális központjaink jövője. 12. Távközlési és Informatikai Hálózatok Szeminárium és Kiállítás. Sopron. 2000.
- [8] Supporting the Information Society. EUROSCOM .1997.





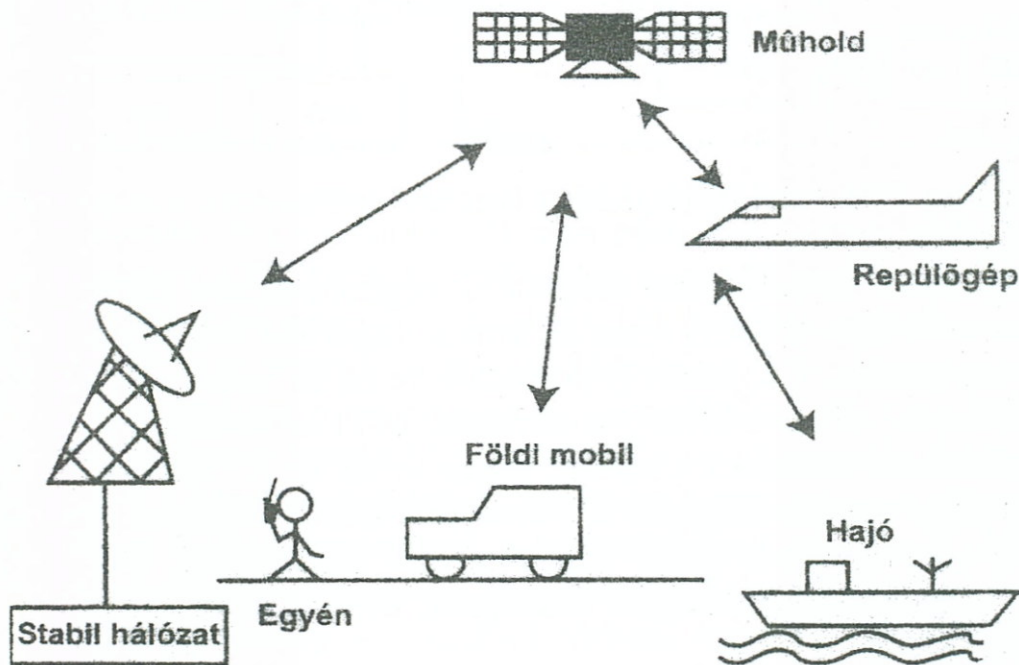


## 11. MOBIL TÁVKÖZLŐ HÁLÓZATOK

Az elektromágneses hullámok felhasználása rádiófrekvenciás jelátvitelre magában hordozza a mobilitást. A kapcsolat létrehozásához nincs szükség a végpontokat csatlakoztató összekötő vezetékre, elegendő az adó- és/vagy a vevőberendezés mozgathatóságát biztosítani. A hálózat kialakításával nem kell foglalkozni: ha szabad tér áll rendelkezésre a hullámok terjedéséhez a kapcsolat létrehozható az adó és a vevő antennája között.

Nagyon sokféle, mozgó állomásokkal működő rádiós rendszer alakult ki. Ezekkel általánosságokban nem foglalkozunk. A távközlési alkalmazásokra szorítkozva, itt csak azokat a rendszereket ismertetjük, amelyek nyilvánosak, és a felhasználók közötti pont-pont jellegű kapcsolat létrehozására alkalmasak.

Két ilyen hálózati megoldás létezik. Az egyik a földi mobil hálózat, (bizonyos megkötöttségekkel) szabadon mozgó felhasználókkal, amelyek között a kapcsolat létrehozására fix helyen telepített adó-vevő állomások – és a közöttük kialakított transzfer (átviteli és kapcsoló) hálózatok – szolgálnak.



11.1. ábra. A műholdas mobil rendszer

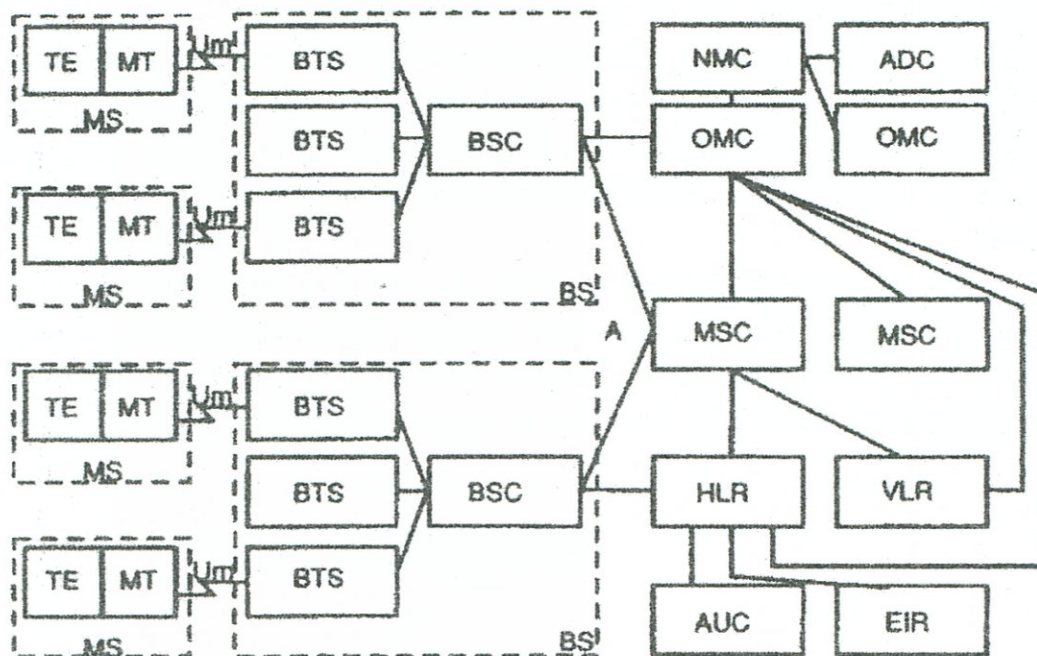
A másik az olyan műholdas rendszer, amelynél az – akár mobil, akár stabil – felhasználói berendezések között a rádiós kapcsolat a föld körül keringő műholdakon telepített adó-vevők közvetítésével jön létre (11.1. ábra).



## 11.1. A földi hálózat kialakítása

### 11.1.1. Rendszertechnikai felépítés

A nyilvános földi mobil hálózat (public land mobile network, PLMN) elemei mára eléggé kikristályosodtak. A hálózat funkcionális felépítése nagyon hasonló a vezetékes hálózatéhoz (11.2. ábra). [1]



11.2. ábra. Földi mobil (rádiós) hálózat felépítése (jelöléseket l. a szövegben)

A távbeszélő készüléknek megfelelő végberendezés szerepét a *mobil állomás* (mobile station, MS) veszi át, ami a szigorúan vett végberendezésen (terminal equipment, TE) kívül processzáló részt és rádió adó-vevőt magában foglaló *mobil terminált* (mobile terminal, MT) tartalmaz.

A hozzáférési hálózatot a szabad légtér veszi át. A "szabad" jelzöt soha nem lehet teljes általánosságban értelmezni. Mindig kialakul egy olyan lokális környezet, amelyen *belül* kell a mobil terminálnak elhelyezkednie, vagy adott maximális sebességgel mozognia, hogy a hálózattal a kapcsolata biztosítható legyen.

A felhasználóval kapcsolatot teremtő első központi elem a *bázisállomás* (base station, BS). Ez általában több (nagyteljesítményű) *adó-vevőt* (base transmission station, BTS) és forgalmukat adatátvitel szintjén összefogó *bázis kapcsoló központot* (base station controller, BSC) tartalmaz. A mobil szolgáltatásokat alapvetően a *mobil kapcsoló központok* (mobile switching center, MSC) biztosítják mind a mobil előfizető, mind a további távközlő hálózatok irányában. Ennek megfelelően a bázisállomások – koncentrált for-



galmat szállító átviteli rendszerek felhasználásával – az MSC-hez csatlakoznak, és kívülről csak ezeken keresztül érhetők el.

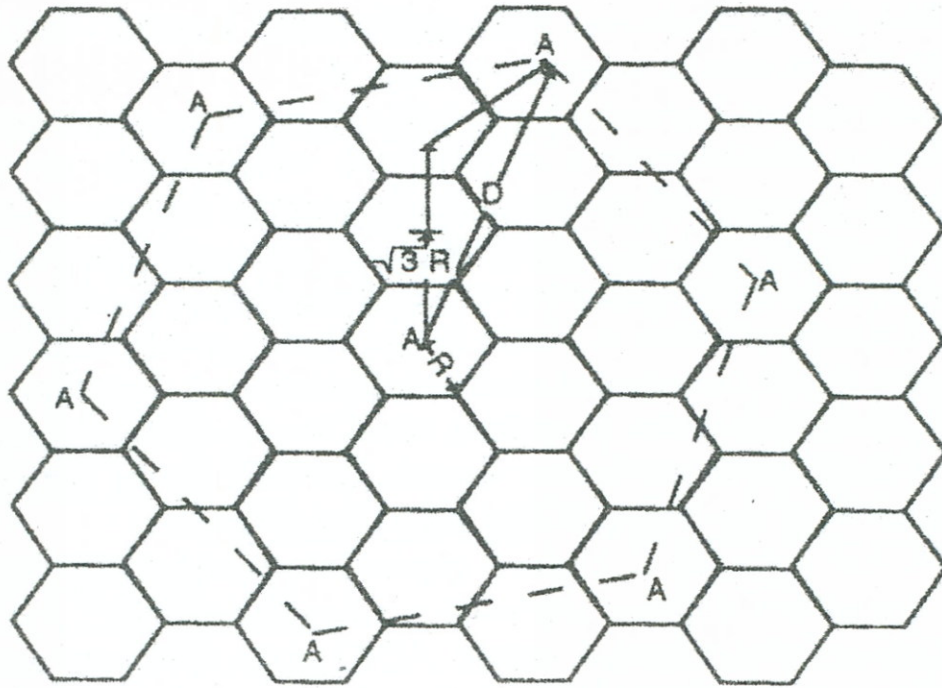
A bázisállomással kapcsolatot teremtő mobil állomás azonosításához a BSC-nek, illetve, általánosabban az MSC-nek információra van szüksége. Ezek az adatok nagyméretű tárhelyekben, *regiszterekben* találhatóak. Ilyenek: a HLR (home location register, honos előfizető azonosító), a VLR (visitor location register, az MSC területén vendégként jelentkező előfizető azonosító), az AUC (authentication center, a használatra jogosult személyt azonosító), valamint az EIR (equipment identification register, az MS-t azonosító) adattár. További információra is szükség lehet, mint például a beszélgetések tarifájának a meghatározása, ezeket további, az ábrán nem feltüntetett, az MSC-vel adatátviteli kapcsolatban álló tárhelyek szolgáltatják.

Az MSC-ket a *fenntartó központ* (operations and maintenance center, OMC), az *üzemeltető központ* (network management center, NMC) és a *könyvelő központ* (administration center, ADC) tartja üzemben, munkájukat összehangolja és felügyeli. Az MSC-k összekötése teszi lehetővé nagyobb területen szétszóródott mobilok közötti forgalmazást, illetve ezek csatlakoznak a PSTN és ISDN hálózatokhoz (általában tranzit központok szintjén), továbbá a nyilvános adathálózatokhoz, például az Internethez (ezek a csatlakozások az ábrán nincsenek feltüntetve).

### 11.1.2. A lefedettség biztosítása

Ha azt akarjuk, hogy a mobil állomás bárhol is tartózkodjék, kapcsolatot tudjon teremteni a BTS-sel, az utóbbiakat a legcélszerűbb egy hatszögletű sejt szerkezet szerint telepíteni (11.3. ábra). [2] A sejtek oldalának a hosszát  $R$ -rel jelölve, ekkor az állomások közötti távolság  $1,73R$ . Ebben a szerkezetben  $R$  jelöli egyúttal azt a távolságot is, ameddig az MS és a BTS között megfelelő rádiós összeköttetés biztosítható. Ez az elrendezés felettébb definiálatlan, hiszen a kapcsolattartáshoz szükséges térerősség, az adóteljesítmények, továbbá a BTS antennájának a kialakításával növelhető. Túl nagyra nem célszerű az adó-vevők közötti távolságot választani, hiszen a vevő antennájára jutó teljesítmény – a szabad térbeni terjedésre érvényes elmélet szerint – ennek a négyzetével csökken. A valóságban az energia terjedését közbenső tereptárgyak: hegyek, fák, épületek, illetve a légtér állapota: ionizáltsága, nedvességtartalma stb. befolyásolják. A gyakorlati tervezés során így általában a távolság harmadik-negyedik hatványa szerinti csökkenéssel szoktak számolni. Korlátként jelentkezik, továbbá, az egyszerű eszközökkel előállítható adóenergia korlátos volta is. Szemléletileg, kb. 30 m magas antenna-tornyokat alkalmazva, tekintsük  $R$  értékét 10–20 km-nek mezőgazdasági jellegű sík területen és ennél kisebbnek városokban.





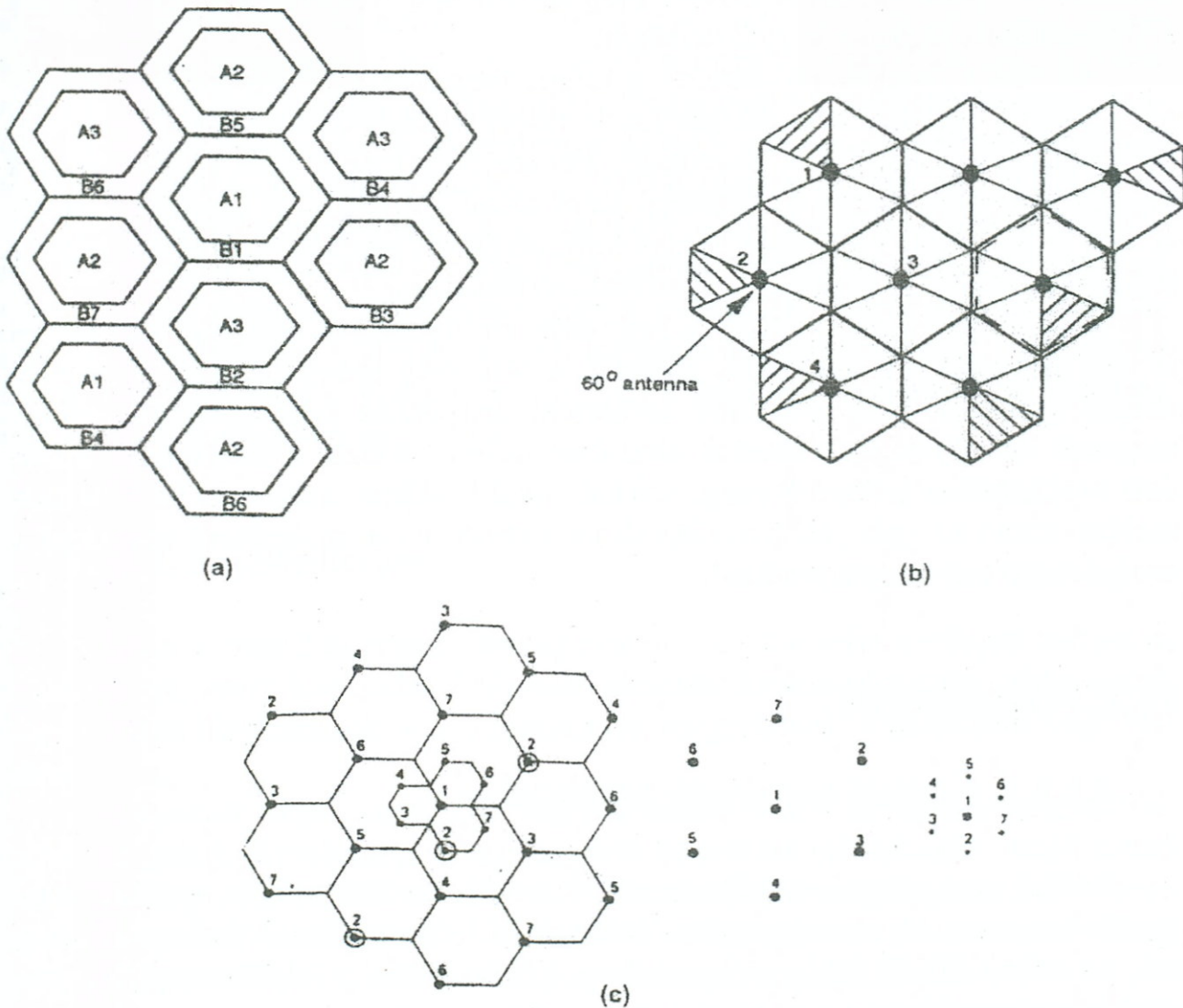
11.3. ábra. Az adó-vevőket (BTS) magukban foglaló sejtek (cells) és csoportok (clusters) kialakítása

Ha minden egyes sejtben – a zavartatás elkerülése érdekében – *egymástól eltérő* frekvenciájú vivőt használunk, a sejtben egyidejűleg csak anynyi összeköttetést tudunk fenntartani, ahány csatornát az egyetlen vivő felhasználásával ki tudunk alakítani. Erre van mód akár TDMA, akár CDMA kialakításával. Az utóbbi esetben, most nem részletezve, viszonylag sokszoros osztásra van lehetőség, amit csak az egy-egy csatornára jutó átviteli sebesség csökkenése limitál. Az Európában eddig használt TDMA esetén jelterjedési idő bizonytalanságok miatt az alkalmazható időrések száma igen csak korlátos (az elterjedt GSM rendszerben például 8). És mivel a rendelkezésre álló vivők száma is korlátos, nem is lehetne nagy területet lefedő hálózatot kialakítani a frekvenciák egyszeri felhasználásával.

Olyan rendszert kell tehát kialakítani, amelyben megvalósítható a frekvenciák *többszöri* felhasználása. Erre a legegyszerűbb módszer egy sejtből és az azt körülvevő további 6 sejtől csoportot (cluster) létesíteni. A rendelkezésre álló rádiós csatornákat 7 csoportra osztva, a csoport minden sejtjében felhasználunk egyet-egyet, majd azonos rend szerint ezt minden további csoportban megismételjük. A módszert szokás SDMA-nak (space division multiple access, térbeni többszörös hozzáférés) nevezni. Az ugyanazon frekvenciát felhasználó területek egymással nem érintkeznek és megfelelően zavarérzékenyen modulációs rendszert használva a zavartatás kellő kis szinten tartható.



A 11.3. ábrán A-val jelöltük azokat a sejteket, amelyekben a 7-es osztású rendszerben ugyanazon frekvenciák megjelennek. Ha az így biztosított zavar-mentesség nem elegendő, választhatjuk csoportnak az ábrán szaggatott vonallal határolt 21 sejtet is. Ekkor az azonos frekvenciájú adók távolsága az előbbinek az 1,73-szorosára nő – az egymás zavarásának a jelentős csökkenése mellett. Viszont a rendelkezésre álló vivőfrekvencia-készletet 21 felé kell szétosztani, azaz egy sejtre kevesebb csatornát használhat fel. A mobilok és az adó-vevők között mind jel-, mind (közös) jelzescsatornákra szükség van a forgalom szervezéséhez és a jelátvitel lebonyolításához. A jelzescsatornák nagyobb védettsége például úgy biztosítható, hogy a 21-es variációt használjuk, míg a jelátviteli csatornák kiosztása a 7 csoportra bontott rendszerben történhetik.



11.4. ábra. A forgalmi képesség növelése

(a) eltérő teljesítményszinten sugárzott vivőkkel, (b) nem-körsugárzó antennák alkalmazásával, illetve (c) a cellaméret csökkentésével



A fenti módon kialakított mobil hálózat forgalmi képességének a növelése csak úgy lehetséges, ha nagyobb területi sűrűséggel tudjuk a frekvenciákat újra felhasználni. Erre három lehetőséget mutatunk be a 11.4. ábrán. Az (a) szerinti megoldásban a vivő-készletet két részre bontva, az egyikből 3 (A1, A2, A3), a másikkból 7 csoportot (B1-B7) képezünk. A 3-részre bontott készletnél az adóteljesítményt *csökkentve* biztosítjuk a megfelelő zavartatás-védettséget, míg a 7 részre bontott készlet felhasználása megegyezik az előzőével. A (b) szerinti megoldásban irányított (például  $60^\circ$  szögben sugárzó) antennákat és kisebb (például 4 csoportra történő) frekvencia-osztást alkalmazunk. A gyakrabban ismétlődő frekvenciájú adók kölcsönös zavarását úgy csökkentjük, hogy az azonos frekvenciájú vivőket más-más irányba sugározzuk (az ábrán ezt a szektorok vonalkázásával érzékeltettük). A (c) szerinti megoldás pedig a cellaméret (mikro és piko cellák) – és egyúttal az adóteljesítmény – csökkentésével növeli meg az azonos frekvenciájú vivők újbóli felhasználhatóságának a gyakoriságát.

Az eddig tárgyalt módszerek a lefedettség biztosítására olyan körülmények között használhatók jól, ahol a domborzati/beépítettségi viszonyok nem befolyásolják a hullámok terjedését. Persze még ekkor sem biztos, hogy a kijelölt helyeken valóban telepíteni lehet az adó-vevőket. A konkrét telepítési terv a tényleges viszonyok figyelembevételével készül és alkalmazkodik a települési, preferált közlekedési elrendeződéshez is.

Különleges helyzetekben a reguláris elhelyezéstől teljesen függetlenül is kell adó-vevőket telepíteni. Ilyenek, a teljesség igénye nélkül, a hegyek, magas épületek által árnyékolt területek, árnyékoló falú épületek belseje, alagutak stb. Ilyen finomítások általában nem a hálózat telepítésének a kezdeti szakaszában jelennek meg, sokkal inkább akkor, amikor a hálózat üzemelése során az igények nyilvánvalóvá válnak, és a szolgáltató igyekszik a szolgáltatás minőségét javítani.

## 11.2. Forgalmazás

### 11.2.1. Átviteli csatornák kialakítása

Mobil szolgáltatások céljaira a 450, a 900, az 1800 MHz, továbbá a nagyobb frekvenciák tartományában jelöltek ki felhasználható frekvenciasávokat, általában 20-50 MHz szélességben, külön-külön a fel- illetve lefelé történő forgalmazásra.

A rendelkezésre álló frekvenciasávban csatornákat alakítanak ki, amelyek közül mindig egyet bocsátanak a rendelkezésre egy-egy összeköttetés jeleinek átvitele céljára. Valamennyi adó-vevőn legalább egy csatornát kizá-



rólág jelzések átvitelére különítenek el, ez szolgál az előfizetők bejelentkezésére és valamennyi, az összeköttetés felépítésével, tartásával, bontásával és bizonylatolásával kapcsolatos további feladat lebonyolítására.

A csatorna-kijelölés kizárólag a frekvencia-tartomány felosztásával (FDMA) történik a még üzemben lévő néhány analóg modulációval üzemelő rendszernél. Az alkalmazott moduláció soha nem AM. Mindig arra törekszenek mind az analóg, mind a digitális rendszerekben, hogy a kisugárzott jel amplitúdója állandó legyen, a vevőben alkalmazható jel-limitálással megkönnyítendő a zavaró jelek távoltartását.

A digitális moduláció esetén a sávokra osztott frekvencia-tartományokban egynél több hozzáférést tesznek lehetővé időosztás (FDMA+TDMA) alkalmazásával. Terjed a sávok többszörös kihasználása kódosztásos rendszerekkel (CDMA) is. Míg kizárólag beszédüzemű alkalmazásoknál minden összeköttetés ugyanakkora átviteli sebességet igényel, a járulékos adatátviteli alkalmazásoknál előnyös az olyan modulációs rendszer, amelyik megengedi, hogy igény esetén egyes összeköttetések, a többi rovására, időnként viszonylag nagyobb sebességgel forgalmazhassanak. Például egyszerre egynél több időrésben a TDMA esetén, illetve nagyobb sebességet megengedő kód birtokában a CDMA rendszerekben.

A kétirányú átvitelre szolgáló csatornák – az áramkörkapcsolás szokásos alkalmazása hatásaként – páronként vannak kiválasztva. (A 900 MHz-es tartományban dolgozó GSM rendszerben például 45 MHz a kettő közötti frekvencia különbség.) Mindig a jobb terjedési tulajdonságokkal rendelkező kisebb frekvencián megy a jel "felfelé" és a nagyobb frekvenciát használja adásra a stabil elhelyezésű adó-vevő.

### 11.2.2. Bejelentkezés



Amikor a mobil állomást "bekapcsolva", azt üzembe kívánjuk helyezni – akár azért, mert kapcsolat-felépítést akarunk kezdeményezni, akár azért, hogy minket hívhassanak – automatikusan megtörténik a hálózatba való bejelentkezés.

A folyamat azzal kezdődik, hogy a mobil veszi az adó-vevők jelzés-csatornás jeleit. Kiválasztja a legnagyobb térerővel jelentkezőt, majd azzal felveszi a kapcsolatot. Jelzésváltások eredményeként megtörténik a (34 bites egyéni számmal rendelkező) bejelentkező készülék és az azt üzemeltető személy azonosítása. Az ezt követő jogosultság-vizsgálat eredményeként jön azután létre a forgalmazást lehetővé tevő kapcsolat a bázisállomás közvetítésével az MSC és a mobil állomás között. Jogosultságot jelenthet az, ha a felhasználó az MSC saját előfizetője. Jelentkezhet, mint más MSC-től, vagy akár az üzemeltetővel kapcsolatban álló egyéb társaság előfizetőjeként érke-



ző vendég. Az utóbbi esetben csak akkor lesz eredményes a bejelentkezés, ha a társaságok között előzetes megállapodás jött létre a vendégek fogadására. Országon belül ilyen helyzet a lefedettség javítása érdekében, általában meghatározott ideig való érvénnyel jön létre. Nemzetközi megállapodások viszont a mobil készülék külföldön való használatát teszik lehetővé. Ez a művelet az ún. *vándorlás* (roaming).

### 11.2.3. Átadás (handover)



A mobil állomás mozgása közben – folyamatosan figyelve a BTS-ek jelzőcsatornáit – azt veheti észre, hogy kikerül a kapcsolatot tartó adó vételkörzetéből, illetve egy másik adó-vevő jeleit veszi a legnagyobb térerővel. Ekkor javaslatot tehet a bejelentkezési állapot nyilvántartásának áthelyezésére.

Ugyanez az állapot tényleges forgalmazás közben is kialakulhat. Ekkor az átadásnak a fennálló összeköttetés *megzavarása* nélkül kell megtörténnie. A folyamat úgy zajlik, hogy a domináló jelű BTS "kioszt" egy szabad átviteli jelcsatornát a hívás számára, ezen felépül a kapcsolat, majd megtörténik az átadás. Az összeköttetés oly rövid időre szakad meg, hogy a társalgó felek általában nem veszik észre.

## 11.3. Mobil szolgálatok



### 11.3.1. Beszédüzemű szolgálat

A mobil állomásokról leggyakrabban távbeszélő kapcsolatot létesítenek mind a mobilok egymás közt, mind a PSTN/ISDN előfizetőivel. Ilyen igény kielégítésére kétirányú, áramkörkapcsolt szolgálatot alakítanak ki.

Analóg rendszereknél keskenysávú FM adást használnak, ami még ki-elégítő zavarvédeltséget biztosít. Digitális rendszereknél soha nem használják átvitelre az ISDN 64 kb/s sebességét. A rádiós kapcsolatnak megfelelően, az adatátviteli sebességgel takarékosan kell bánni, és nem szabad elfelejteni a vételt zavaró környezeti zajok hatását és az ezzel járó magas bithiba arányt sem. Az első szempont kis átviteli sebességet igénylő kódoló alkalmazását sugallja (a meghonosodott sebesség 13 kb/s), a második nagy hibavédeltségű vonali kód (konvolúciós kódoló) alkalmazását helyezi előtérbe. A beszédérthetőség általában jó, zenei átvitel nem lehetséges.

A mobilnál rendelkezésre álló kiterjedt központi processzálási kapacitást hasznosítva kiépítenek központi üzenetrögzítőt. Ezt a hívó igénybe ve-



heti, ha a hívott állomás foglalt vagy nincs bejelentkezve; üzenet érkezéséről a címzett értesítést kap, ha szabaddá válik, illetve bejelentkezik, majd az egy meghatározott tárolási időn belül bármikor meghallgatható.

### 11.3.2. Adatátviteli lehetőségek



Az adatátviteli lehetőség kialakítása értelemszerűen növeli a szolgálatok értékét, elterjedését. Az analóg beszédüzemű, de a digitális átviteli szakaszon hullámforma kódolást alkalmazó szolgálatoknál szokásos, modemes adatátvitel itt szóba sem jöhet, a forráskódolók ugyanis nem alkalmasak a modem jelének átvitelére. (Ez persze csak a digitális rendszerekre érvényes.) Ugyanakkor, közvetlenül rendelkezésre áll a digitális átvitel, amit kihasználva külön adatátviteli szolgálato(ka)t kell kialakítani. Szóba jöhet telefax átvitel, valamint számítógépek terminálként való alkalmazása. Elterjedt rövid szöveges (karakteres) üzenetek továbbítása, újabban mobil hálózaton keresztül is megvalósítják az Internethez való hozzáférést.

Az adatátviteli alkalmazások nem igénylik az áramkörkapcsolást. A rendelkezésre álló szűk átviteli kapacitás jobb kihasználása érdekében többfajta üzenetkapcsolt átviteli szolgáltatást dolgoztak ki, amelyek megvalósítják az átviteli csatorna, egyrészt csak egyirányban, másrészt csak a tényleges igénybevétel idejére történő rendelkezésre bocsátását.

## 11.4. Szolgáltatások

### 11.4.1. Földi mobil szolgáltatás



A köznapi szóhasználattal egyszerűen mobil telefonnak nevezett szolgáltatás alapszolgáltatásként funkcionál. A távbeszélőnél szokásos kezelőszervek felhasználásával ugyanazon készülék használható, például rövid, szöveges üzenetek küldésére és fogadására. Megfelelő csatoló áramkör közbeiktatásával, a mobil készülék rádiós részét és processzorát felhasználva elérhetők a további adatátviteli lehetőségek is. Az Internetes alkalmazásokhoz persze célszerű karakteres billentyűzetet vagy esetleg nagyobb méretű kijelzőt csatlakoztatni, de ennek részletezésétől eltekintünk.

### 11.4.2. Stabil kiépítésű előfizetői egység

Bár, úgymond, átmeneti alkalmazásként elterjedt a mobil rendszer szerint kiépített hálózatnak a PSTN keretébeni használata. Igen kis előfizető-



sűrűségű (úgynevezett *rurál*) környezetben tartós használata is szóba jöhet. [3]

Ha a mobil rendszer előfizetői berendezéseit fixen, állandó helyre telepítjük, olyan hálózati megoldáshoz jutunk, ami nagyban hasonlít a PSTN-hez, de nem kell az előfizetői hálózatot vezetékkel kiépíteni. A készülékek lényegében állandó jelleggel mindig ugyanazon bázisállomáshoz csatlakoznak, amit megfelelő számú (rádiós) csatornával látunk el. Az egy készülékre jutó kapacitás a területen telepített stabil mobilok számával arányosan csökken, de méretezhető.

A rendszer elnevezése, a megoldásra utaló kifejezés kezdőbetűiből, szokásosan RLL (radio local loop) vagy WLL (wireless local loop). Előnyösen alkalmazható hozzáférési hálózattal ki nem épített területeken jelentkező igények gyors kielégítésére. Hátrányának szokták tekinteni, hogy adatátvitel csak modemmel alakítható ki, továbbá azt, hogy működéséhez helyi energiaforrásra van szükség.

## 11.5. Egyéb rádiós rendszerek



### 11.5.1. Műholdas távközlési rendszerek

A műholdak [4] minden földi telepítésű rendszernél nagyobb területet látnak, és ez nagyon alkalmassá teszi azokat földi állomások közötti rádiós kapcsolat megteremtésére, legyen ez akár távközlési, akár egyéb, mint például meteorológiai, navigációs alkalmazás, földi tárgyak és struktúrák felismerése, követése stb. Mobil rendszer bázisállomásának a szerepét is betölthetik és akár az egész földet átfogó hálózat alakítható ki. A műholdak közötti összeköttetések akár közvetlenül létrehozhatók, bár ma úgy látszik, hogy egyszerűbb az egy-egy hold által összegyűjtött forgalmat koncentráltan lehozni a földre és a hívott állomással kapcsolatot tartó hold felé – megfelelő földi feldolgozás és átvitel után – koncentráltan továbbítani.

Ami a változatokat illeti, különböző helyzetű műholdak, különböző elrendezésű műhold-rendszerek ismeretesek. A földről legnagyobb távolságra helyezkednek el a földet pontosan egy nap alatt megkerülő, *geostacionárius* pályán keringő holdak. Ezek az egyenlítő felett 35 786 km magasságban, körpályán keringenek és így a földről állni látszanak. Jellemzőjük, hogy legalább háromra van szükség ahhoz, hogy bármely szélességi körről láthatók legyenek és még így is csak a  $\pm 76^\circ$  hosszúság-tartományban emelkednek oly mértékben a horizont fölé, hogy távközlésre alkalmasak legyenek. A sarkokhoz közeli területek távközlési igényeit az egyenlítő síkjával  $63,4^\circ$ -os szöget bezáró síkban, elliptikus pályán keringő holdakkal lehet kielégíteni.



Ezek mintegy napi 8-12 órán át láthatók a föld egy-egy pontjáról, tehát teljes lefedettséget biztosítandó, ezekből is egyidejűleg többet kell alkalmazni.

A geostacionárius műholdaknál alacsonyabb pályán keringő holdak a föld egy-egy pontjáról annál rövidebb ideig láthatók, minél alacsonyabban keringenek. Teljes lefedettség igénye esetén ezekből többet, esetleg többször tized, százat kell egyidejűleg az űrben tartani. Csak a sűrűbben lakott földrészek távközlési feladatainak a megoldására jöhet szóba a csak részleges lefedettséget biztosító, viszonylag kevesebb műholdból alakított rendszer alkalmazása.

A műholdakhoz hasonló feladat ellátására alkalmasak az esetleg csak néhányszor 10 km magasságba felbocsátott ballonok. Ezek szinte már "magas" antenna tornyokhoz hasonlatosak, persze azoknál jelentősen nagyobb területet kiszolgálva.

Kijelenthető, hogy a földi antennákhoz képest valamennyi égi adóvevőnek a mobil készüléktől való távolsága nagyobb. Így a kapcsolat megteremtéséhez nagyobb adó-teljesítményre, és célszerűen nagyobb méretű antennákra van szükség. Ezek a műholdon létrehozhatók. A mobil készülék kialakítását viszont mindenképpen előnytelenül befolyásolják. Ezt elkerülhető, ha a műholdról csak információ-letöltés történik, a 'felfelé' menő kapcsolat létrehozásához a mobil készülék földi állomás felé továbbítja az üzeneteit. Ez az aszimmetrikus elrendezés főleg az Internet használatakor lehet előnyös.

### 11.5.2. Személyhívók



Egyirányú kapcsolat felépítésére képesek, mégis inkább távközlési, mintsem műsorszórási alkalmazásnak tekinthetők az ismeretlen helyzetű személyek *értesítésére* szolgáló *személyhívó (paging)* rendszerek. Az üzenet lehet csak egyszerű jelzés, hogy keresik, de esetleg rövid, általában szöveges közlemény is továbbítható az előfizető/felhasználó felé. A jelzés vétele után neki kell megtalálnia a lehetőséget arra, hogy felvegye az őt kereső személyvel az információ tényleges közlésére alkalmas kapcsolatot.

A személyhívó rendszer, nyilvánvalóan, rádiós kapcsolaton alapul. A keresett személy vevőkészüléket hord magánál, amely aktiváláskor hangjel, rezgéssel, esetleg vizuálisan hívja fel magára a figyelmet. A rendszer másik oldala, szükségképpen, rádió adóberendezést tartalmaz. Ez lehet kizárólag e célra telepített állomás, esetleg több egységből álló rendszer, de szóba jöhet a műsorszóró adók felhasználása is. Ilyenkor olyan, másodlagos modulációt kell személyhívó célra alkalmazni, amely biztosítja a műsorközlő és a személyhívó vevőberendezések kölcsönös zavartatás-mentességét.





### 11.5.3. Rádiós helyi számítógép-hálózatok

Ha időben a kezdetekre visszatekintve vizsgáljuk, az egyik első számítógépes hálózatot rádiós összeköttetésekkel építették fel [5] és az összeköttetések felépítéséhez, az átviteli csatorna megszerzéséhez az ALOHA-protokollt használta. Itt az állomások fizikailag nagy távolsága indokolta a rádiós kapcsolat alkalmazását.

A rádiós helyi hálózatok szokásos mérete a vezetékes rendszerekével összemérhető, bár egyes megoldások lehetővé teszik egy-egy távoli állomás csatlakoztatását is.

A rendszerhez újonnan csatlakozó állomás általában *automatikusan* keresi meg az összeköttetést a már üzemelő társaival. Erre műszakilag lehetőséget az ad, hogy a berendezések rádiós szempontból fel tudják venni a kapcsolatot, feltéve, hogy kölcsönösen egymás vételkörzetében tartózkodnak. Az alkalmazott csatorna hozzáférési technika célszerűen a CDMA, amikor a rendszer rendelkezésére bocsátott frekvenciasáv teljes szélességében egységként kezelhető és valamennyi vevőberendezés azonosan hangolható be. A sávban azután akár a CDMA kódosztásos, akár a frekvencia-ugratásos változata használható a rendelkezésre álló teljes átviteli sebességnek az állomások közötti szétosztására.

### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] J.D. Gibson: The mobile communications handbook. (2<sup>nd</sup> Edition). CRC Press. 1998.
- [2] A. Mehrotra: Cellular radio: analog and digital systems. Artech House, Inc. Norwood, MA. 1994.
- [3] G. Cayla: Towards the wireless local loop in rural areas. Philips Communications Systems. France.
- [4] M. Richharia: Satellite communication systems. (2<sup>nd</sup> Edition) MacMillan Press Ltd. London. 1998.
- [5] Miklós György: Nyílt verseny – Bluetooth és ad-hoc hálózatok. Ericsson Szakmai Nap. Budapest. 2000. április 26.



## 12. AZ ASZINKRON TRANSZFER MÓD

### 12.1. Átviteli módok összehasonlítása

#### 12.1.1. Az áramkörkapcsolt átvitel



A téma a szolgáltatásokhoz sorolódó fejezetben kerül tárgyalásra, talán elsősorban azért, mert mint szolgálat, univerzális, mindenféle alkalmazáshoz illeszthető szolgálatként kíván megjelenni. Ennek megfelelően a fejezet címében megjelenő *transfer* szó, amit a köznapi magyar szóhasználatban ugyanúgy *átvitelnek* fordítunk, mint a *transmissiont*, a felhasználótól-felhasználóig terjedő jelátvitelre utal. Magában foglalja mind a kapcsolást, mind a közbenső átviteli szakaszokon a (távolsági) átvitelt.

Az áramkörkapcsolt átvitel, amit alapvetően a távbeszélő szolgáltatás megvalósításához használnak, az összeköttetés teljes idejére mindkét irányban állandó átviteli kapacitású csatornát biztosít. A csatornában a késleltetést lényegében a futási idő határozza meg, amit a processzálás csak kis mértékben módosít. A késleltetés *ingadozásának* a mértékére szigorú előírások vannak. Pontosabban, a távbeszélő megenged oly mértékű ingadozást, ami még nem teszi lehetetlenné a beszéd folyamatos jellegének a visszaállítást, az áramkörkapcsolt átvitel nem. Ez az átviteli mód jellemzi a PSTN és az ISDN jellegű szolgáltatások alapját.

#### 12.1.2. Az üzenetkapcsolt átvitel



Adatátvitelnél az átviteli igény jellemzően kisebb-nagyobb szünetek közbeiktatásával jelentkezik és sem időbeni, sem mennyiségi kötöttség nincs a két átviteli irány között. Erre olyan átviteli módot alakítottak ki, ami ezt figyelembe veszi és mindig csak az üzenetek tényleges átvitele idejére bocsát rendelkezésre átviteli kapacitást.

Jellemzően az üzenetátvitel sem folyamatos. A teljes üzenet általában részekre, csomagokra van bontva. A csomagok átvitele alapvetően vagy teljesen önállóan történik, ekkor az üzenetet *datagramnak* nevezik és a sikeres átvitelhez tartalmaznia kell a teljes címet. Több csomagra bontott üzenetek továbbításához érdemes lehet a hálózatban állandó útvonalat kijelölni, de minthogy ezt a szóban forgó összeköttetés nem folyamatosan veszi igénybe, lekötése csak virtuálisan történik. A megoldásnak nagy előnye, hogy így az egyes átviteli szakaszokra és csak az összeköttetés idejére érvényes, rövid címeket lehet használni.



Üzenetkapcsolt átvitel esetén (még akkor is, ha a két felhasználó között mindkét irány virtuális kijelölése megtörténik) az átviteli csatornák csak a tényleges jelátvitel idejére vannak igénybe véve. A jelfolyam (fizikai értelemben) soha nem folyamatos, ha éppen egyetlen felhasználó sem forgalmaz, tényleges jelátvitel egyáltalán nincs.

Az átviteli mód elterjedése egyre szélesebb körű, az adatátviteli szolgáltatások, mint a PSPDN és a FR mellett ilyen az Internet átviteli rendszere.

### 12.1.3. Az ATM

Az előző kettőtől merőben különböző átviteli mód, amelyet annak a jegyében terveztek meg, hogy *mindenfajta* híryanag átvitelére alkalmas, nagy kapacitású rendszert hozzanak létre. Bizonyos értelemben ötvözi mindkét létező átviteli mód tulajdonságait, de inkább az üzenetkapcsolási alkalmazásokhoz illeszkedik.

Az ATM átviteli (transmission) vonalain a jelfolyam ugyanolyan folytonos, mint az áramkörkapcsolt rendszerekben. Az ott használt, már kiépített kapacitásokat (mint például az SDH átviteli rendszereket jeltovábbításra) tehát zökkenőmentesen fel tudja használni. Az egyes összeköttetésekhez tartozó (digitális) jelfolyam elemi részei azonban nem egyenlő időközönként, szinkronban kerülnek átvitelre, hanem statisztikusan, véletlenszerűen (*aszinkron* módon), mindig azután, hogy megjelentek és a már folyamatban lévő átviteli szakasz befejeződött. Ezeket az üzenetrészeket egymástól meg kell különböztetni, tehát címmel kell ellátni. Ez a cím csak helyi és időleges azonosító. De még így is igen rossz kapacitás-kihasználást eredményezne, ha az átviendő üzenet elemi részeit bit- vagy byte-hosszúságúra választanánk. A választott hosszúság: 48 oktett, ami elegendően hosszú az 5 byte-os kísérő fejrészhez képest, de még elegendően rövid késleltetést okoz. Valamennyi jelforrás jelei, ugyanis, nem kerülnek mindaddig átvitelre, összegyűjtésre várakoznak, amíg a 48 byte átviendő adatmennyiség össze nem áll.

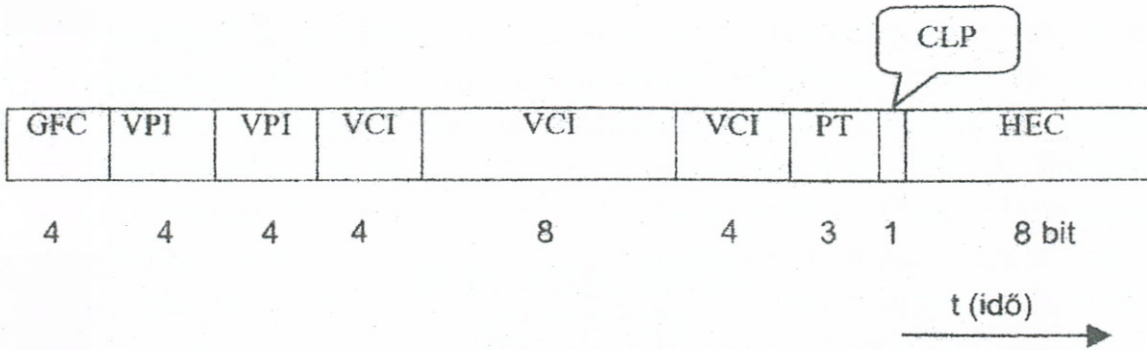
Ugyanakkor, az átviteli vonalakon (l. 5. fejezet) mindig folytonos a bitfolyam. Ha éppen egyetlen forrásból sincs átviendő információ, üres cellák továbbítódnak (01101010 tartalommal).

## 12.2. Az ATM felépítése

### 12.2.1. Az ATM üzenet formátuma

A folytonos ATM jelfolyam tehát 53 oktett hosszúságú cellákból (sejtekből) épül fel. Az 5 oktett tartamú *fejrészt* (12.1. ábra) 48 oktett informatív rész követi. [1]





12.1. ábra. Az ATM cella fejrészének a felépítése

Látható, hogy a fejrész jelentős részét, 24 bitet foglal el a cím, amely két részből tevődik össze: a 8 bit hosszúságú a VPI (virtual path identifier) mezőből, ami tehát 256 különböző, az ATM kapcsolóról kimenő irányt jelöl (12.3. ábra), és 16 bit VCI (virtual circuit identifier) mezőből a különböző forrásokból érkező és különböző tartalommal bíró jelfolyamok megkülönböztetésére.

A fejrész elején lévő 4 bit elnevezése: *általános folyamatvezérlő* (GFC, generic flow control). Ez a mező szolgál a többszörös hozzáférés-módok megkülönböztetésére és csak a felhasználó és a hálózat közötti szakaszon [(az UNI-n (user-network interface))] használják. ATM kapcsolók közötti szakaszokon, az NNI-n (network-network interface) használata szükségtelen, és ilyenkor ezzel a négy bittel bővíthet a VPI mező.

A 3 bites PT (payload type) mező az információs cellatartományt határozza meg. Első bitje 0-ból 1-be vált, ha a cella tartalma hálózat üzemeltetési információt tartalmaz. Második bitje 1-be vált, ha torlódás van az átvitelben. A harmadik bit a két végfelhasználó közötti jelzészváltás rendelkezésére áll.

A következő CLP (cell loss priority) bit 1 értéke azt jelzi, hogy torlódás esetén a cella inkább eldobható, mint a 0 értékű.

A fennmaradó 8 bit (HEC, header error control) nem más, mint a fejrész előző 4 oktettjére képzett CRC, ahogy azt a 2. fejezetben megismertük. Az átvitel során – átviteli szakaszonként – ellenőrzik a fejrész hibátlanságát, a hibásan vett fejrészű cellát, mivel az meghatározhatatlan rendeltetésű információt tartalmaz, eldobják. A fejrész átviteli hiba védelme oldja meg egyúttal a jelfolyam szinkronizálását is: amennyiben valamely 8 bit az előző 32-höz kapcsolható CRC-t adja, akkor ez a fejrész. Véletlen egyezések hatásának távoltartására, csak többszöri egyezés tudja befolyásolni a szinkron állapotát.

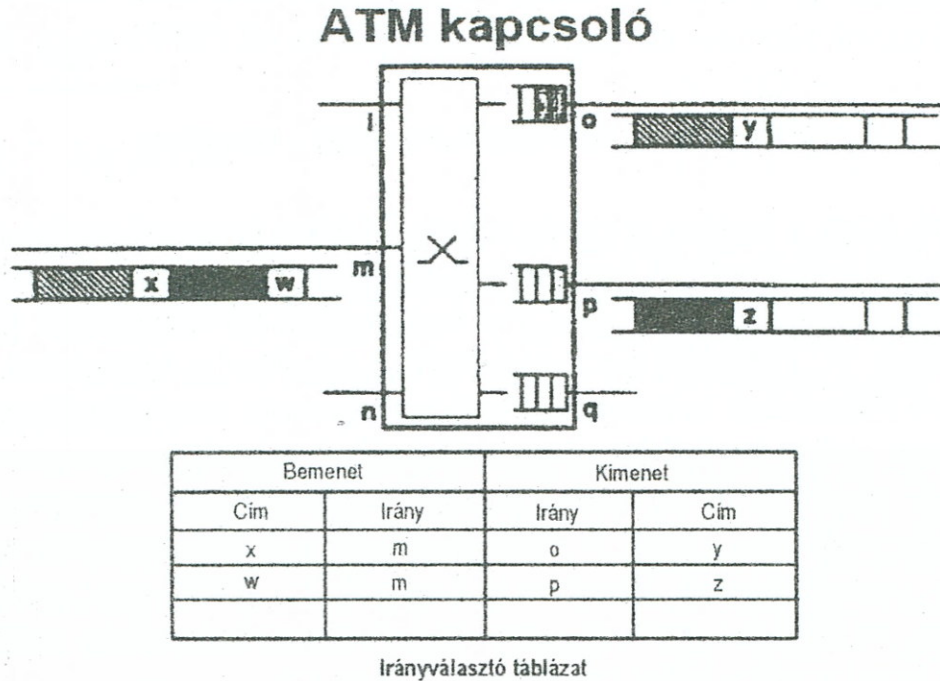
### 12.2.2. Az ATM kapcsoló

A cellakapcsolás fogalma és folyamata a 12.2. ábra alapján követhető. Az ATM kapcsoló egy statisztikai multiplexer, amely a bemeneteire érkező jelfolyamok celláit – esetleges közbenső tárolás után – a kimenetekre kap-





csolja át. Az átirányítás a fejrész *címe* alapján történik. A kapcsoló része az *irányítási táblázat*, amelyből kiolvasható, hogy melyik bemenetre milyen címmel érkező cellát, melyik kimenetre milyen módosított címmel kell továbbítani.



12.2. ábra. A cellakapcsolás

A cellakapcsolás alkalmazhatóságát a kapcsoló kivitele, teljesítőképessége határozza meg. A sebesség egyértelmű jellemző: minél gyorsabb a kapcsoló, annál több cellát képes adott idő alatt átirányítani. A kisszámú be- és kimenettel rendelkező kapcsoló jellegzetesen *tranzitálási* feladat ellátására alkalmas. Az egyik oldalon nagyobb számú irány megkülönböztethetősége teszi a kapcsolót alkalmassá a felhasználókhöz való csatlakozásra.

A cella méretének a meghatározásánál abból indultak ki, hogy egyetlen beszédüzemű felhasználó (a maga 8 kbyte/s átviteli igényével) is közvetlenül az ATM-hez csatlakoztatható legyen. A 48 byte-nyi cellatartalom  $48 \cdot 125 \mu s = 6 \text{ ms}$  idő alatt gyűlik össze, és ekkora többlet késleltetést az élő beszéd még elvisel.

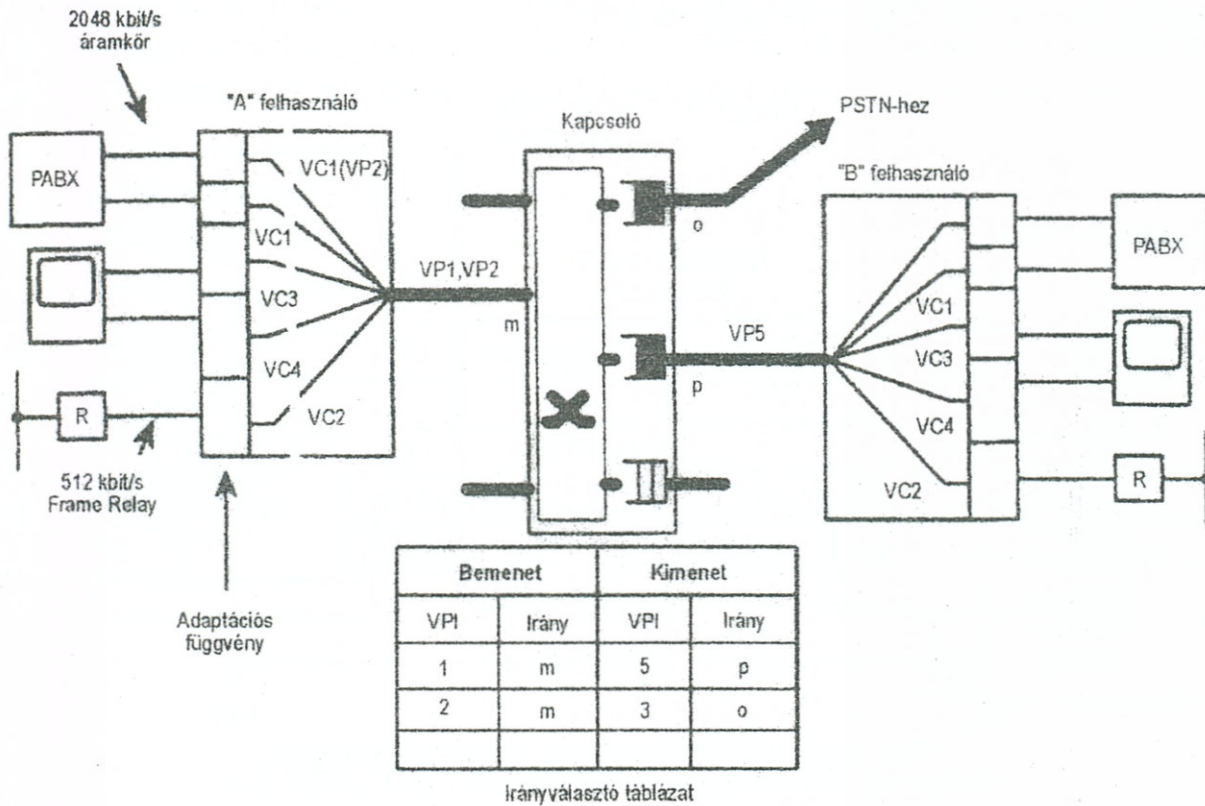
Olyan ATM kapcsolót, amelyik vetekedni tudna az időosztásos, digitális áramkörkapcsoló központokkal a lehetséges bemenetek számát illetően, mindmáig nem fejlesztettek ki. Ez viszont egyértelműen jelzi, hogy az ATM inkább azokon a területeken terjed, ahol már (több egyéni felhasználótól érkező vagy oda irányított) koncentrált forgalmat kell kapcsolni, vagy egy-egy felhasználó nagy forgalmi igénnyel jelentkezik.





### 12.2.3. Az ATM hálózat

A legegyszerűbb ATM hálózat (12.3. ábra) multiplexerből, kapcsolóból és demultiplexerből, valamint átviteli vonalakkból épül fel. A multiplexer különböző forrásokból gyűjti össze a (digitális) jeleket. Ezek adaptációja során az információt 48 byte-os csomagokba rendezi, majd azokat fejrésszel ellátva egymás után a kapcsolóra továbbítja. A címekben ugyanazon VPI értéket kapnak a kapcsolón az egy kimeneti irányba továbbadandó cellák, míg a hozzá tartozó VCI-k különbözősége jelzi, hogy a kimeneti irány jelfolyamának demultiplexelése során melyik felhasználó felé kell szétosztani azokat. Így a kapcsoló irányítási táblázata csak a VPI értékeket tartalmazza, az irányválasztása a szerint történik.



12.3. ábra. A hálózathoz való hozzáférés a VPI felhasználásával

Nagyobb kiterjedésű és értelemszerűen több irányba forgalmazó hálózat több ATM kapcsoló felhasználásával épül fel, amelyeket átviteli utak kötnek össze, amint azt az 1.10. ábra kapcsán megismertük.

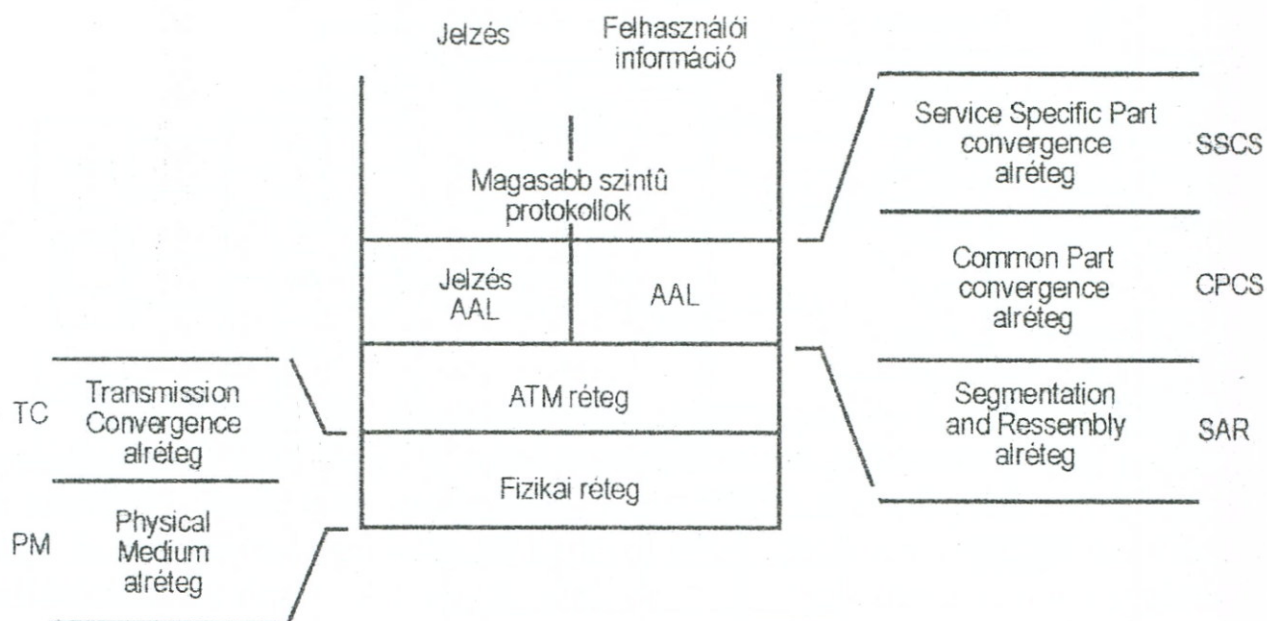
Az átkapcsolások elektronikai áramkörökkel történnek addig a határig, amíg az átviteli sebesség azt lehetővé teszi. A DWDM átviteli berendezések megjelenésével egy-egy átviteli út olyan jelmennyiséget szállít, hogy annak elektronikai feldolgozása lehetetlen. Párhuzamosan megjelennek az *optikai kapcsolók*. Ezek azonban nem bitenkénti átkapcsolást végeznek, szerepüket



úgy kell értelmezni, hogy már a kapcsolóhoz érkező jelfolyam azonos VPI-khez tartozó celláit a DWDM egy-egy hordozójához rendeli és ezek a jelfolyamok együtt is hagyják el a kapcsolót. Így nem zavaró az optikai kapcsolás esetleg csak ms-rendű, de a jelfolyam bit-időihöz képest lassú működése.

### 12.2.4. Referencia modell és protokollok

Az ATM szolgálat referencia modellje a 12.4. ábrán látható. Ez illeszkedik az OSI szabványhoz, de egyszerűbb, ha a rendszer működését jellemző logikai sorrendben ismertetjük a megoldásokat. (Az ábrán részben angol feliratokat használunk. Mivel az ábrából a betűszavak elhagyása nem célszerű, egyszerűbb, ha rögtön mellettük az eredeti angol kifejezés szerepel és a magyar csak a szövegben jelenik meg.)



12.4. ábra. Az ATM szolgálat referencia modellje

A fizikai réteg két alrétegre bontható, ahol a *fizikai hordozó* (PM) alréteg foglalkozik a közeg-függő feladatokkal, mint a vonali kódolás, míg az átviteli *összehangoló* (TC) alréteg feladata az ATM celláknak átvitelre alkalmas bitfolyammá való átalakítása.

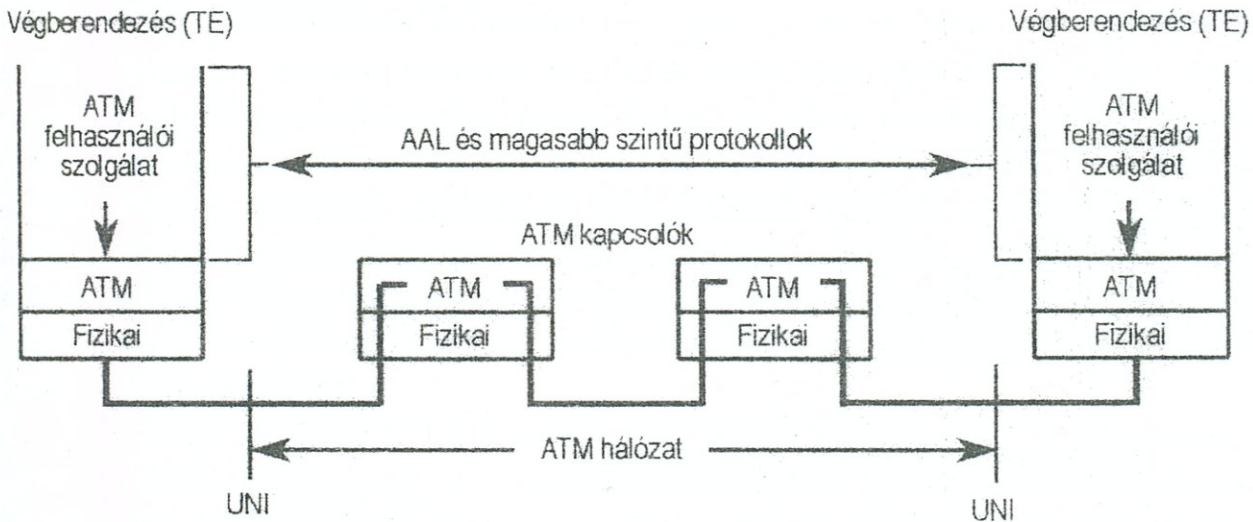
Az ATM réteg az, ahol a multiplexelés és a cellák kapcsolása megtörténik. Létrehozza a végpontok közötti *virtuális összeköttetést* és gondoskodik a felhasználóval kötött szerződésnek megfelelő szolgáltatás-minőség biztosításáról. Ez utóbbi keretében, az összeköttetés felépítése fázisában működik az *összeköttetés felépítési vezérlés* (connection admission control, CAC) protokollja, míg az összeköttetés folyamán szerepét a *hasz-*



nálói paraméterek ellenőrzése (usage parameter control, UPC) veszi át. Ezen két protokoll hivatott biztosítani a forgalmi szerződésben foglalt, a *szolgáltatás minőségére* (quality of service, QoS) vonatkozó előírásokat.

A különböző alkalmazásokhoz illeszkedő módon, a cellák kialakítását, illetve azokból az eredeti jelfolyam visszaállítását az *ATM adaptációs réteg* (ATM adaptation layer, AAL) végzi. Van egy, a kapcsolat-felépítés jelzéseivel foglalkozó része [arra az esetre, ha *kapcsolt* virtuális áramkör (SVC) épül fel; állandó, bérelt vonali kapcsolat (PVC) esetén erre nincs szükség]. A felhasználói AAL-ek tartalmaznak egy felhasználás-specifikus (SSCS), továbbá egy közös (CPCS) részt, a cellák kialakítását és a visszarendezést végrehajtó (SAR) alrétegen túlmenően. A két felső adaptációs alrétegben kell megoldani az olyan alapvető átviteltechnikai alapfeladatokat, mint az órajel kinyerése, a késleltetés-ingadozása és a cellavesztés hatásának a kompenzálása, stb.

Az AAL a felhasználói szolgálat része, így csak az ATM hálózat multiplexáló/demultiplexáló egységeinek a része. Az átviteli út további kapcsolóin a jelfeldolgozás csak az ATM réteggel bezárólag történik (12.5. ábra).



12.5. ábra. ATM felhasználói szolgálat referencia modellje

### 12.2.5. Szolgáltatások



Az egyes felhasználások eltérő átviteli igényekkel lépnek fel, tehát számukra eltérő adaptációs protokollon alapuló szolgáltatásokat kell kialakítani. Az igények áttekintése alapján négy különböző, A-D betűkkel jelölt szolgálatot különböztetnek meg.

Az A-szolgálat állandó bitsebességű (constant bit rate, CBR) átvitelt valósít meg. A kapcsolatfelépítési mód összeköttetés orientált (CO) és a két



végpont között kötött időkapcsolat (állandó késleltetés) van. Ez a szolgálat például a PCM-alapú beszéd-összeköttetés esetén használható.

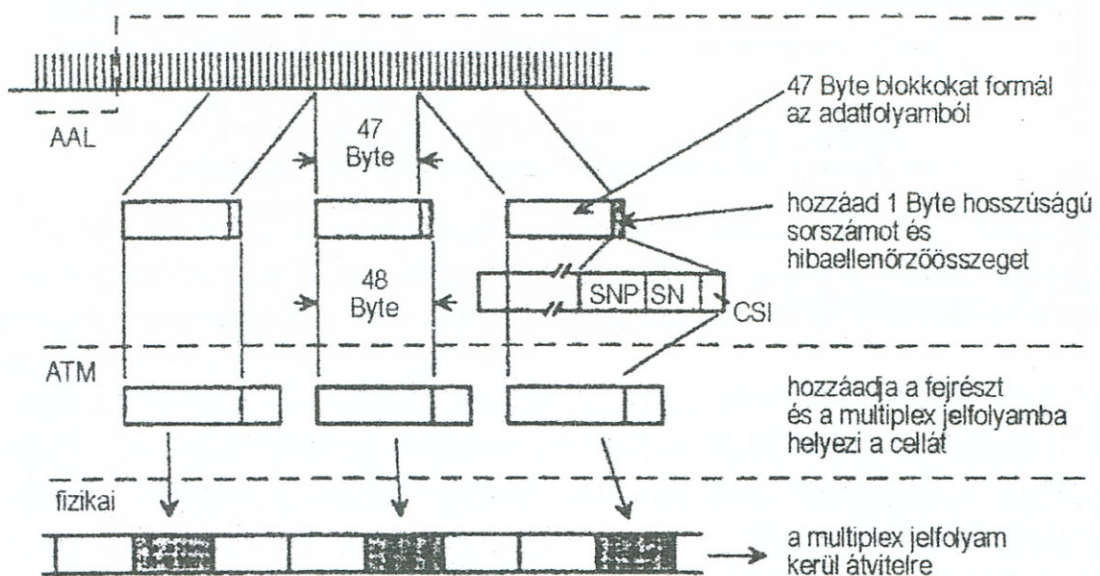
A B-szolgalat a fentivel szemben változó bitsebességet (variable bit rate, VBR) enged meg, ami például tömörített video átvitele esetén szükséges.

A C-típusú szolgálat szintén változó bitsebességű és összeköttetés orientált, de nem biztosít szigorúan kötött időkapcsolatot a be- és a kimenet között. Ez például FR és hasonló hálózatok jeleinek az átviteléhez illeszkedik, amikor az átvitt csomagok hossza eltérő.

A D-típusú ehhez hasonló, de összeköttetés-mentes. Változó hosszúságú datagramok átvitelére szolgál.

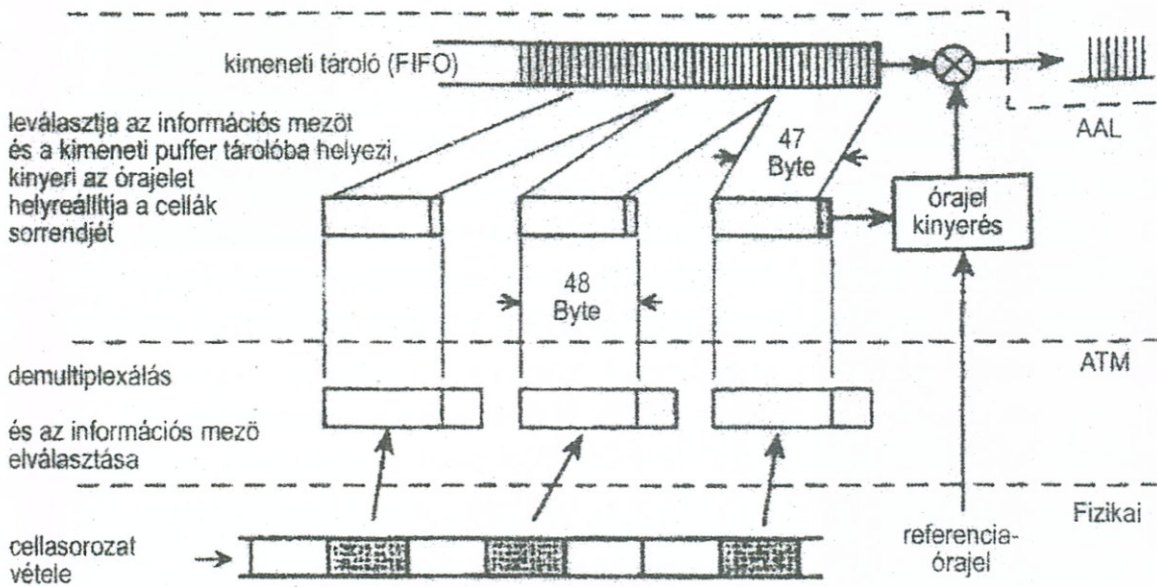
Az A-szolgalat protokollja az AAL1 jelölést viseli, a B-szolgalaté az AAL2-t. A két utolsóhoz közös protokoll készült, elsőként az AAL3/4, majd javított változatként az AAL5.

Itt csak az AAL1-et ismertetjük, azt is vázlatosan: két ábra kapcsán, feliratok formájában összefoglaljuk a feladatokat, amelyek megoldása felmerül egy állandó bitsebességű jelfolyamnak ATM hálózaton való átvitele során (12.6. és 12.7. ábra). Joggal merül fel a hallgatóban, vajon sokban különböznek-e a további AAL-ek az ismertetettől. Itt az egyszerű bitsorozat átvitelhez képest egyetlen módosulás az, hogy cellánként 47 informatív byte kerül átvitelre, míg a 48-dik egy sorszámot tartalmaz a helyes sorrend visszaállításához. A magasabb sorszámú AAL-ek "mindössze" abban térnek el, hogy az átvitel szervezésére több byte szolgál, amelyek az effektív átviteli sebességet (hatásfokot) csökkentik. Számos részletkérdés megoldása ilyen egyszerű különbséget eredményez, viszont a részletek jelentősen bonyolítanak a tárgyalást. Megjegyzésre érdemes, hogy a fejlesztés ezen a területen jelentős és minden előkészület megtörténik az ATM széleskörű elterjedésének az előkészítésére.



12.6. ábra. AAL1, adásirány





12.7. ábra. AAL1, vételirány

## 12.3. Az üzemeltetés jellemzői

### 12.3.1. Forgalm szabályzás

Az ATM, mint minden statisztikusan terhelt hálózat, érzékeny a túlterhelésre, hiszen azokat a cellákat, amelyek várakozásra kényszerülnek, időlegesen tárolni kell és a véges tárolókapacitás cellavesztést eredményezhet. A hálózat jó kihasználtságát biztosítandó, a hálózatra bocsátott cellák mennyiségét szabályozni kell.

Forgalmi szerződést kell létrehozni, amely tartalmazza a felhasználó ilyen értelmű jogain kívül a szolgáltató által biztosítandó átvitel-minőségi jellemzőket (amelyek az ATM és a fizikai réteg határfelületén, a fizikai réteg hozzáférési pontján értelmezhetők). A szerződésben, az adatforgalom aszimmetrikus jellege miatt, meg kell különböztetni az egyes átviteli irányokat.

Az ATM hálózaton a forgalmazás mennyiségi jellemzői az FR hálózattal azonos módon értelmezhetők. Ezeket a 9.9. ábra kapcsán már megismertük. A minőségi jellemzők a felhasználó számára alapvetően a cella-átvitel mennyiségi jellemzői: a szerződésben szereplő *átlagos információ átviteli sebesség* (committed information rate, CIR), a hálózatra bocsátható *maximális cellagyakoriság* (peak cell rate, PCR, vagy *maximal information rate, MIR*) és a hálózat által produkált *cella-késleltetés ingadozás* (cell delay variation, CDV) által vannak meghatározva. A szolgáltató garantálja, hogy amennyiben a felhasználó nem bocsát a hálózatra a meghatározottnál gyak-



rabban és a megengedettnél több adatot, ő azt továbbítja, mégpedig a meghatározott késleltetés ingadozás mellett.

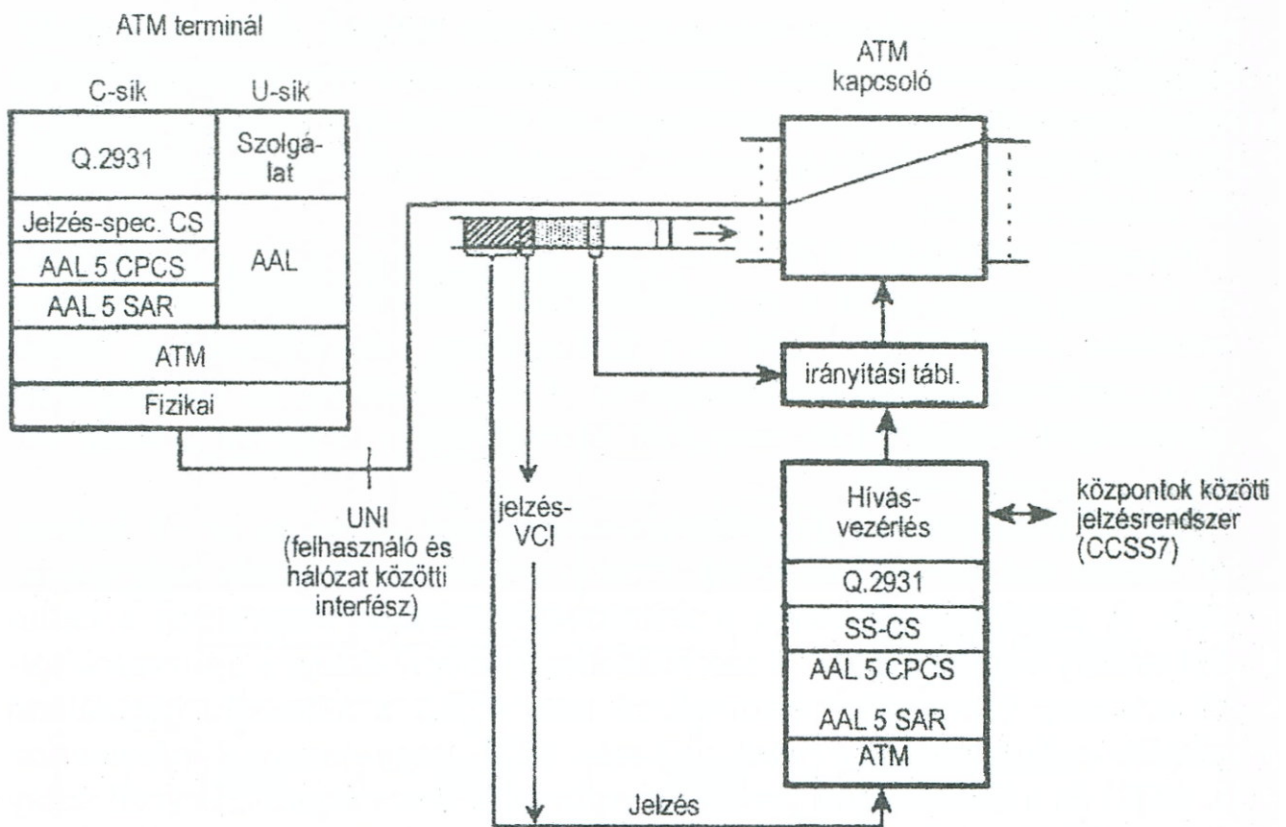
Minél szigorúbbak az előírások, értelemszerű, hogy a hálózat kihasználtsága annál rosszabb. Az állandó bitsebességű szolgáltatások ilyen értelemben előnyösebbek, hiszen 'előre lehet tudni' a hálózat terhelését. Ha viszont a változó bitsebességű alkalmazások vannak túlsúlyban, a forgalom statisztikus jellege miatt, a túlterhelés valószínűsége megnő és a cellavesztés gyakorisága csak az átlagforgalom alacsony szinten tartásával csökkenthető.



### 12.3.2. Jelzésrendszerek

Minden hálózat használhatóságát a megfelelően fejlett jelzésrendszer tudja biztosítani, ezért azt jó előre elő kell készíteni, ha jelentősebb felfutást akarunk biztosítani. Az ATM esetén ez meg is történt.

A jelzések, az informatív-közleményekhez hasonlóan, a felhasználó és a hálózat első csomópontja között magán a hálózaton, megfelelően címzett cellákban vannak továbbítva. A felhasználói protokollok mintájára, a kapcsolt virtuális hálózat (SVC) kialakítása folyamatában jelzési protokollok működnek, a 12.8. ábra szerinti rétegstruktúrában. A felhasznált protokoll az AAL5, hiszen a forgalom alapvetően összeköttetéses és nem állandó bitsebességű.



12.8. ábra. Jelzésrendszer az ATM hálózatban



A felhasználótól érkező jelzéseket a kapcsolt jelfolyamtól függetlenül, közvetlenül dolgozzák fel. A feldolgozás eredménye alapján az informatív cellák irányítását kell megoldani. Ez egyrészt a fogadó kapcsoló irányítási táblázatának a feltöltését jelenti, másrészt a további kapcsolók (központok) felé kell irányítási információt továbbítani. Ez utóbbi céljára a CCS (közös csatornás) 7-es jelzésrendszer központok közötti változatát használják.

Nem jelzési feladat a hálózat *üzemviteli és fenntartási* információinak a továbbítása, de az ATM műszaki ismertetését befejezendő, nem lehet nem megemlíteni, hogy ilyenekre is igen kiterjedten szükség van. A cellafolyamban 26 informatív cella után beiktatnak egy 27-diket, amely ilyen tartalmat hordoz. Emellett a 'beépített' átviteli lehetőségen kívül, fenntartási információk továbbíthatók megfelelően címzett további cellákban is. A téma részletezésétől itt eltekintünk.

## 12.4. Alkalmazások

### 12.4.1. Általános megfontolások



Az ATM, mint már említettük, bármilyen jel átvitelére (transzfer értelemben) szolgál. A jelek az átviteli utakon tetszőlegesen vegyíthetők egymással, a cellaszerkezet általános átviteli közegként minden alkalmazási területet fel tud dolgozni. A jelek érkehetnek távbeszélő hálózatból (általában multiplexelt adatfolyamként), hordozhatnak képi információt, stb. A 2,048 Mb/s feletti sebességet megvalósító, *szélessávú (B-)ISDN* kizárólag ATM-alapon szerveződik. És ha olyan mértékben kiépítik a nagysebességű ATM hálózatot, hogy az majdan megfelel az Internet gerinchálózati hordozójaként, szóba jöhet e célra a szinte kizárólagos használata is.

A **sebességet** illetően: a kialakítás időpontjában az ATM-et a 155,52 Mb/s (STM1/CT3) sebességű SDH/Sonet átviteli rendszerhez illesztették, mégpedig oly módon, hogy annak az átviteli kapacitását teljesen kitöltse. Az informatív cellák továbbítására, a fent említett 26/27 aránynak megfelelően 149,76 Mb/s átviteli sebesség jutott. Az SDH átviteli rendszerek sebessége gyorsan nőtt, 4-szeres lépésekben és mára közönséges a 2,5 Gb/s sebességű STM16-os, kereskedelmi forgalomban van az 5 és a 10 Gb/s átviteli kapacitású (STM32 és STM64) rendszer. Kísérletek folynak a 40 Gb/s elérésére. Az ATM kapcsoló a csatornát kitöltő sebességű jelfolyamokat kapcsol, az ATM multiplexer ilyen sebességű jelfolyamot állít elő (a demultiplexer pedig bont le). A viszonylag kis számú koncentrált forgalmi nyalábbal terhelt ATM kihasználtsága magas szinten tartható, mivel a mindenkori tényleges forgalom kevéssé ingadozik.



Az ATM hálózat alkalmazható a nyilvános távbeszélő hálózatok, mint a PSTN/ISDN, továbbá a nyilvános adatátviteli hálózatok, mint a PSPDN vagy az FR jelfolyamainak átvitelére, az Internet forgalmi nyálábjainak továbbítására, stb.



### 12.4.2. Számítógép hálózatok

A fentiek mellett jelentős az ATM megjelenése a helyi számítógép hálózatokban. A már amúgyis csillag elrendezésű hálózatokban a megosztott idejű működéssel szemben minden állomás számára a teljes vonali átviteli sebesség kihasználható, ha a hub helyett ATM kapcsolót alkalmazunk. Erre utaltunk a 11. fejezetben, a kapcsolt LAN-ok tárgyalásakor.

A számítógép hálózatokban nem mindig szükséges az olyan sebességű működés, mint amit az előzőkben ismertettünk. Ilyen célra kialakultak kisebb, 25-50 Mb/s sebességű ATM kapcsolók. A nagysebességű változatok szerepe is megvan, ezek alkalmazhatók a helyi áramkörök forgalmát nagy sebességű gerinc-hálózaton összefogó rendszerekben.

### 12.4.3. Internet az ATM-en

Az Internet és az ATM úgy tekint egymásra, mint kölcsönös segítőre a világ távközlésének a meghódításában. Az Internet, mint egyre univerzálisabbá váló adatátviteli hálózat, jelentős forgalom-növekedés előtt áll, ami már nem bonyolítható le a helyi hálózatokat a routerek felhasználásával összekapcsoló, viszonylag kis sebességű átviteli utakon. Nagy kapacitású és főleg olcsó transzport (gerinc) hálózatra van szüksége. [3]

Ugyanakkor az ATM is nagy forgalom lebonyolítására készül fel. Ehhez ma már rendelkezésre állnak az igen nagy, eddig el sem képzelhető sebességű átviteli hálózatok és a statisztikai multiplexálás elvén működő kapcsolók sebessége is túlhaladja az elektronikai megoldásoknál megszokottat. És még ott van az optikai kapcsoló, amelyik ugyan nem tud jelfolyamokat még nagyobb sebességen multiplexálni, mivel az ehhez szükséges átmeneti tároló képességgel nem rendelkezik, de a már összeállított, egy-egy irányba menő jelfolyamok hatékony irányítására képes a sokcsatornás DWDM segítségével.

Az ATM-et a fejlett átviteli hálózattal rendelkező áramkörkapcsolt hálózat csak forgalmának jelentős megugrása esetén igényelné. Más módon nem oldható meg video anyagok széleskörű továbbítása sem, de erre az igény csak lassan nő. Az ATM gyors elterjedését egyedül a nagy Internet-forgalom provokálhatja.



Amit a forgalom-lebonyolító képességen túl az Internet vár az ATM-től, az az igényhez illeszthető átviteli képesség (az ún. *scalability*, *skálázhatóság*), a jobb átviteli és üzemviteli tulajdonságok. Ami a hardvert illeti, várható az Internet (különösen a vállalati hálózatok, az ún. *Intranetek*) routereinek az eltűnése és a hálózat közvetlen csatlakoztatása az ATM kapcsolókhöz és ezzel párhuzamosan az útválasztó (IP), forgalom-lekötő stb. protokollok módosulása. Szélső esetben elképzelhető, hogy az Internet által használt átviteli közeg ATM-alapon fog szerveződni.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] J. Atkins – M. Norris: Total area networking. John Wiley & Sons. New York. 1995.
- [2] The ATM Forum Technical Committee: Traffic Management Specification. 1996.
- [3] J. Amoss – D. Minoli: IP Applications with ATM. McGraw Hill Co. New-York, 1998.







## FÜGGELÉK

### F.I. TRANSZFORMÁCIÓK



#### F.I.1. Alapfogalmak

Egyszerű értelmezésben a *transzformáció* egy művelet, amelynek eredményeként az információ más *tartományba* tehető át. Például a beszédjel az idő függvénye, a pillanatnyi hangnyomást kifejező elektromos jel az *idő* függvényében változik. A videojel szintén időfüggő, de ha valamely időpillanatban fennálló értékét, azaz egy képet tekintünk és az annak megfelelő elektromos jelet vizsgáljuk, az a *hely* függvényében változik, de ugyanúgy transzformálható a *frekvencia* tartományba, mint az időfüggő hangjel. Természetesen, az idő tartományban a frekvenciát Hertzben mérjük, míg térbeni értelmezésben a mértékegység például vonal (pont) per hosszegység, például milliméter lehet.

A frekvencia tartományban a jel a *spektrumával* jellemezhető, ami megadja a jel adott frekvenciájú energia összetevőjét. A spektrum lehet *follytonos*, amikoris végtelen sok összetevővel rendelkezik, illetve véges sok összetevőt tartalmazó *diszkrét*. Pontosabb jellemzésnél, elsősorban a diszkrét spektrummal kifejezhető jeleknél az egyes összetevők amplitúdóján kívül szükségünk lehet azok (relatív) fázishelyzetének az ismeretére is.

A frekvencia tartományba történő transzformációt általában *adattömörítés* céljából végezzük. Ez azt jelenti, hogy a transzformált jelet az eredetivel kevesebb adatmennyiséggel igyekszünk kifejezni (rögzíteni, átvinni, processzálni). Az eredeti jel a teljes értékű megismeréshez szükséges információ, az *entrópián* kívül *redundáns* részleteket is tartalmaz. A transzformáció célja az, hogy egyszerűbbé tegye a redundáns információ elhagyhatóságát, mégpedig azáltal, hogy az eredetivel kevesebb adatot viszünk át (rögzítünk, dolgozunk fel) és így *kódolási nyereséghez* jutunk. Általában az a helyzet, hogy mód van különböző mennyiségű adat elhagyására, aminek eredményeként a redundáns részleteken kívül a jel entrópiája is csökkenhet, azaz a kompresszió észrevehetővé válik, rontja az átvitel (rögzített, processzált anyag) minőségét.

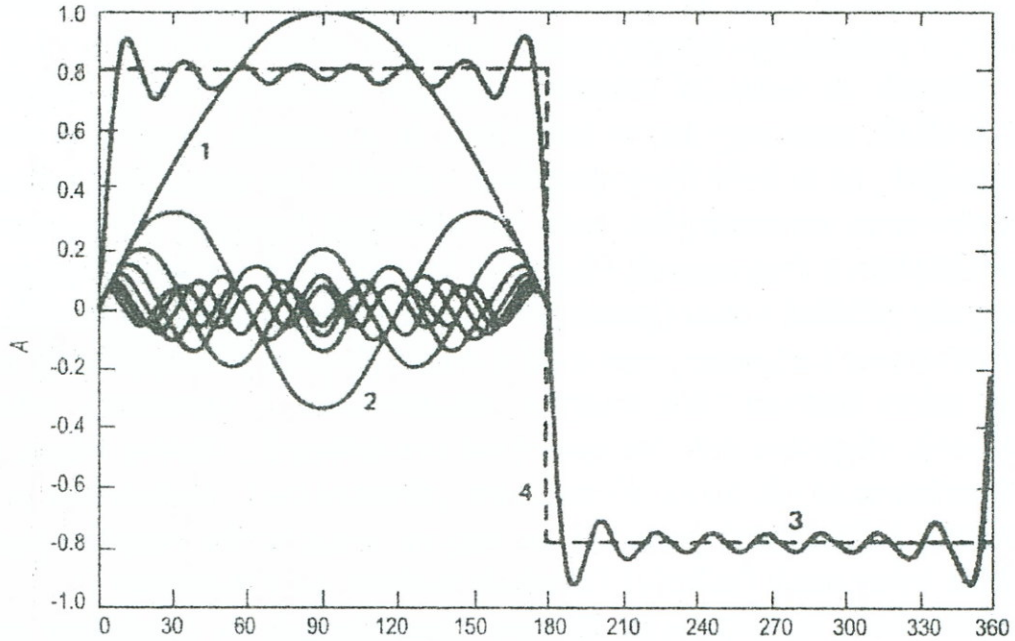
#### F.I.2. Folytonos jelek

##### F.I.2.1. Periodikus függvények

A frekvencia összetevők meghatározásához leggyakrabban a *Fourier-transzformációt*, illetve mintavett rendszerekben az ezzel egyenértékű *diszk-*



rét Fourier-transzformációt használjuk. Ennek fontos tulajdonsága, hogy minden periodikus jelforma közelítőleg megadható néhány, egymás egész számú többszöröseként adott frekvenciájú, megfelelően választott amplitúdójú és fázisú szinuszjel összegeként. Például az F.I.1 ábrán szaggatott vonallal rajzolt négyszögjel jól közelíthető szinuszjelekkel, amelyek frekvenciája a négyszögjelenek páratlan számú többszöröse és amplitúdóik fordítottan arányosak a frekvenciáikkal.



F.I.1. ábra. Négyszögjel és közelítése az első 15 Fourier-összetevőjével

Fourier tétele értelmében minden periodikus függvény megadható esetleg végtelen sok harmonikus függvény összegeként:

$$f(t) = B_0 + \sum_{i=1}^{\infty} (A_i \sin i\omega t + B_i \cos i\omega t), \quad (\text{F.I.1})$$

ahol  $B_0$  a függvény átlagértéke és  $\omega=2\pi/T$ , a periódus reciprokával arányos körfrekvencia.

Az együtthatók meghatározását az teszi lehetővé, hogy két szinuszjel szorzatának a két jel összegéből alkotott jel teljes periódusára vett integrálja nulla, kivéve, ha a két frekvencia azonos. Ez esetben az integrál a két jel amplitúdóinak a szorzatával egyenlő. Képletben:

$$\frac{1}{T} \int_0^T \sin i\omega t \cdot \sin j\omega t \cdot dt = 0, \text{ ha } i \neq j, \text{ illetve } = 1, \text{ ha } i = j.$$



Az  $f(t)$  függvény harmonikus összetevői amplitúdóinak a meghatározására szolgáló integrálok:

$$\frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin i\omega t \cdot dt = A_i, \text{ illetve } \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \cos i\omega t \cdot dt = B_i, \quad (\text{F.I.2})$$

az ún. *Euler-féle képletek*. [1]

Az origóra pontszimmetrikus, ún. páratlan (periodikus) függvények esetén  $B_i=0$ , míg a tengelyszimmetrikus páros függvényekre  $A_i=0$ . Általános esetben mind szinuszos, mind koszinuszos tagok szerepelnek az  $f(t)$  függvény (F.I.1)-gyel adott Fourier-sorában. Ekkor hasznos lehet az

$$f(t) = \sum_{i=1}^{\infty} C_i \sin(i\omega t + \varphi_i)$$

írásmód használata, ahol:

$$C_i = (A_i^2 + B_i^2)^{1/2} \text{ és } \varphi_i = \text{Arctg } A_i/B_i.$$

Az  $f(t)$  függvény *spektruma* alatt értjük a különböző frekvenciájú összetevők amplitúdóinak az összességét. Általában (a Dirac-delta sorozat kivételével minden függvényre) a spektrum növekvő frekvenciával eső jellegű.

A távközlésben soha nem használunk olyan értelemben periodikus jeleket, amelyek ténylegesen a negatív végtelentől a pozitív végtelenig periodikusak, hiszen ezek átvitele információ közlésével nem jár. Az információhordozók egy adott időpillanatban (illetve adott helyen) megjelennek, majd eltűnnek. Egy ilyen jelcsomag persze tekinthető periodikusnak, amelynek a periódusideje végtelen és amplitúdója csak egy időre tér el a nullától.

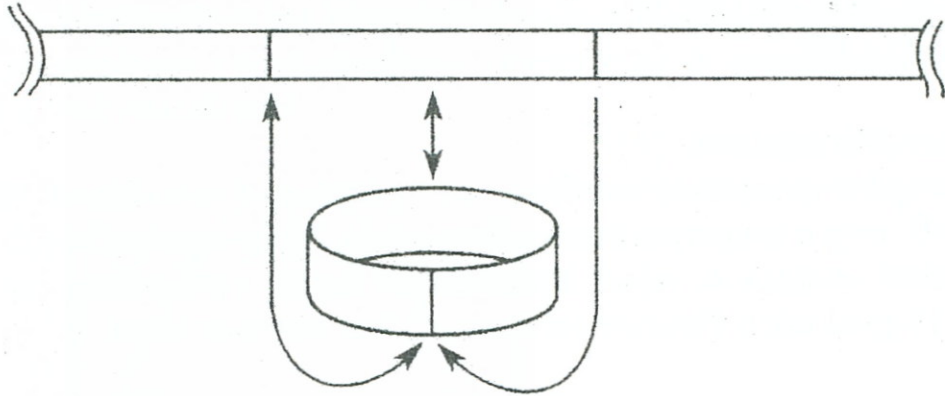
Végtelen periódusú ( $T=\infty$ ) jelek spektrumában az (F.I.1) kapcsán adott definíció szerint *végtelen sok* frekvencia-összetevő szerepel. Úgy mondjuk, a spektrum nem *vonalas*, hanem *folytonos*. Ilyenkor az együtthatók meghatározására szolgáló (F.I.2) egyenletek nem használhatók. Az ilyen függvényeknek nincs Fourier-sora, hanem *Fourier-integrállal* adhatók meg.

### F.I.2.2. Véges hosszúságú jelek

A távközlésben jelentkező jelek az idő (illetve a hely) függvényében folyamatosan változnak. Tehát nincs állandó amplitúdójú összetevőkkel megadható Fourier-soruk. Előnyös lenne azonban ezeket a jeleket is vala-



milyen módon, akár csak közelítően is, de az adott időpont környezetében a változásukra jellemző frekvencia-összetevőkkel megadni. Ennek jelentőségét a transzformált jelen végrehajtható esetleges adatkompresszió lehetősége adja.



F.I.2. ábra. Véges hosszúságú jelszakaszok Fourier-együtthatóinak meghatározásához

Ebben az esetben az eljárás a következő (F.I.2. ábra):

- Kijelölünk egy idő (tér) tartományt, amelyen belül, úgy véljük, a jel frekvencia-összetevői keveset változnak. Jelöljük ezt  $T$ -vel.
- Képezzünk egy olyan fiktív függvényt, amely  $T$  szerint periodikus.
- Határozzuk meg ennek a Fourier-sorát.
- Tekintsük az így kapott (harmonikus) összetevőket a  $T$  időtartam alatt (tértartományban) a jel jellemzőinek.

Az így nyert harmonikus jelösszetevők frekvenciája az  $1/T$  érték és annak többszöröse. Általában végtelen sok összetevő van, amelyekből néhányat (általában a kisebb frekvenciás tagokat) kiválasztva az eredeti jelnek  $T$  tartományban érvényes közelítését kapjuk meg.

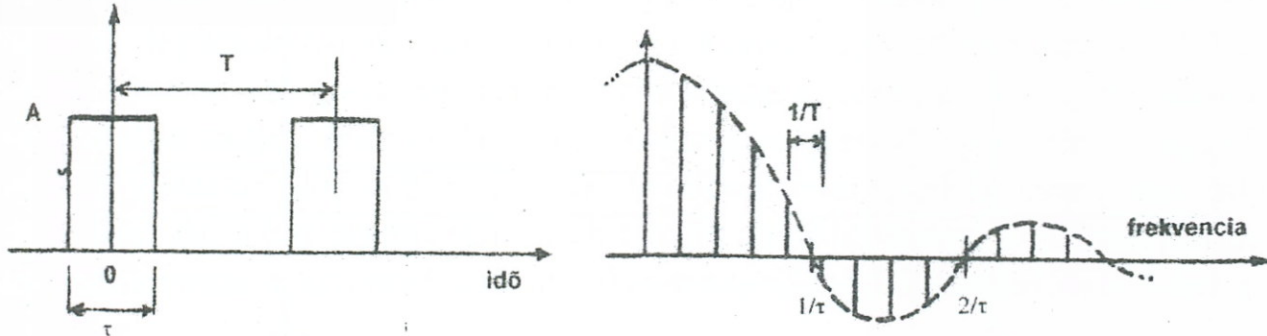
A  $T$  tartományon kívül nem a fenti harmonikusok közelítik a jelet. A tartományokra bontást és a fenti transzformációt folyamatosan végezve, mindig változó amplitúdókkal (és esetleg fázissal) rendelkező harmonikusok adják meg az eredeti jelet. A tényleges pillanatnyi értékekkel való jellemzés helyett így lehetőség van a pillanatnyi (harmonikus) összetevő-amplitúdókkal való jel megadásra.

#### F.I.2.4. Impulzus (sorozat) spektruma

Kitüntetett fontossága van a  $T$  időnként ismétlődő,  $\tau$  szélességű és  $A$  amplitúdójú impulzus-sorozat spektruma ismeretének, ezért az F.I.3. ábrán, a részletes számítás mellőzésével bemutatjuk. Ha a jelsorozat az ábra szerint



van a koordináta-rendszerben elhelyezve, azaz a függvény páros, csak koszinuszos összetevői vannak,  $k/T$  frekvenciával, ahol  $k$  0 vagy tetszőleges egész szám. Az amplitúdók a frekvencia függvényében  $\sin x/x$  függvény szerint változnak, ahol a zérushelyek távolsága  $1/\tau$ .



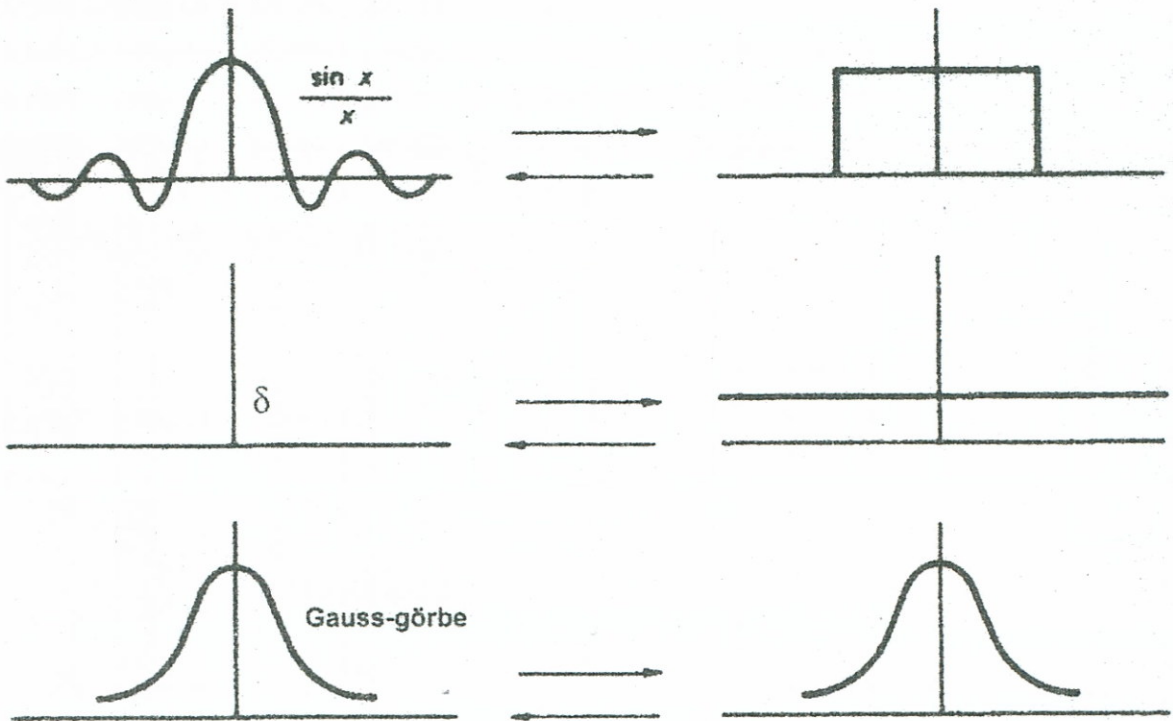
F.I.3. ábra. Impulzus(sorozat) és spektruma

Az ábrából látható, hogy egyetlen impulzus ( $T=\infty$ ) spektrumában az egyes összetevők távolsága 0, azaz a spektrum folytonos. Ha a  $\tau$  szélessége csökken, a zérushelyek távolodnak,  $\tau \rightarrow 0$ , de  $A\tau \neq 0$  (Dirac-delta impulzus) esetén a spektrum valamennyi összetevőjének az amplitúdója ugyanakkora.

Ha nem egyetlen impulzussal rendelkezünk, hanem az impulzusok véges  $T$  időközönként követik egymást, akkor a spektrum vonalas, a harmonikus összetevők az  $1/T$  frekvencia többszöröseinél jelentkeznek.  $T=2\tau$ , azaz négyzet impulzus sorozat esetén a spektrum – a zérus- és az  $1/T$  alapfrekvenciás összetevőn kívül csak az alapfrekvencia páratlan sokszorosait tartalmazza, a páros összetevők a  $\sin x/x$  függvény zérushelyeire esnek.

Az F.I.3. ábra kapcsán, bizonyítás nélkül, megjegyzésre érdemes, abból, hogy a négyzetjel spektruma  $\sin x/x$  alakú, következik, hogy egy szűrő, amelynek kimeneti jele négyzetimpulzus,  $\sin x/x$  alakú frekvencia-karakterisztikával rendelkezik. Fordítva is igaz, az ideális (négyzet alakú spektrummal rendelkező) aluláteresztő impulzusra adott válaszában időfüggése  $\sin x/x$  alakú. Ezeket a karakterisztikákat transzformációs pároknak nevezik: Az idő- és a frekvenciatengely egymással kölcsönösen felcserélhető. Hasonló párt alkot a Dirac-delta és az egyenszint. Kitéve a Gauss-görbe szerinti eloszlás, amikor is a pár mindkét tagja azonos karakterű. E három transzformációs pár egyébként az F.I.4. ábrán látható. Az ábra használatához kiegészítésként emlékeztetünk az időbeli periodicitás és a spektrumvonalak sűrűsége közötti, fent tárgyalt reciprok összefüggésre.





F.I.4. ábra. A frekvencia- és az időtartománybani transzformált párok dualitása

## F.I.3. Diszkrét jelek

### F.I.3.1. A diszkrét Fourier-transzformáció

Ma már ritkán találkozunk analóg jelekkel, amelyek minden időpillanatban pontosan értelmezettek. Ami rendelkezésre áll, az a digitalizálás eredménye. Most nem érdekes számunkra a pillanatnyi amplitúdó véges pontossággal kvantált értéke, kizárólag arra fordítjuk a figyelmet, hogy az analóg jel adott gyakorisággal történő *mintavételezése* azt eredményezi, hogy az eredeti jelet nem lehet a digitális jelből teljes pontossággal reprodukálni. A digitalizálás előtt ugyanis el kellett tüntetni az  $1/2T_0$  és ennél nagyobb frekvenciás jelösszetevőket. Ha a jelet harmonikus összetevőivel kívánjuk jellemezni, a spektrum levágott részébe eső tagokat a mintavett jelből meghatározni nem tudunk.

Számunkra nincs különösebb jelentősége a végtelen hosszú jelsorozat vizsgálatának. Az F.I.2.2. pontban értelmezett, véges,  $T$  hosszúságú jel digitalizált megfelelője  $T/T_0=k$  számú mintát tartalmaz, amelyből az eredeti jelre érvényes Fourier-összetevőket kell meghatározni. Ennek a műveletnek *diszkrét Fourier-transzformáció* (DFT) az elnevezése. Mivel  $k$  számú független értékünk áll a rendelkezésre,  $k$ -nál nem nagyobb számú jellemző érték



határozható meg. Ez általános esetben az  $i=0$  értékhez tartozó átlagérték,  $k/2$ -nél eggyel kisebb számú  $C_i$  együttható és ugyanannyi  $\varphi_i$  fázisszög. A meghatározható harmonikusok száma összhangban van az előző bekezdésben, a jel sávhatárolt jellegére vonatkozó megfontolással.

A gyakorlatban  $k$  értékét kettő egész számú hatványának szokás választani, legalább 8-nak vagy 16-nak. A Fourier-együtthatóknak az (F.I.2) képlet szerinti integrálással történő számításakor, természetesen,  $f(t)$  mintavett értékeit tudjuk felhasználni, amelyeket a megfelelő harmonikus függvények ugyanezen időpontban (helyen) érvényes értékeivel kell szorozni, míg  $dt$  helyett  $\Delta t$ , a két mintavételi érték között eltelt időtartam szerepel. Az integrálás szorzatok szummázásával helyettesítendő, amit például  $A_i$ -re felírva:

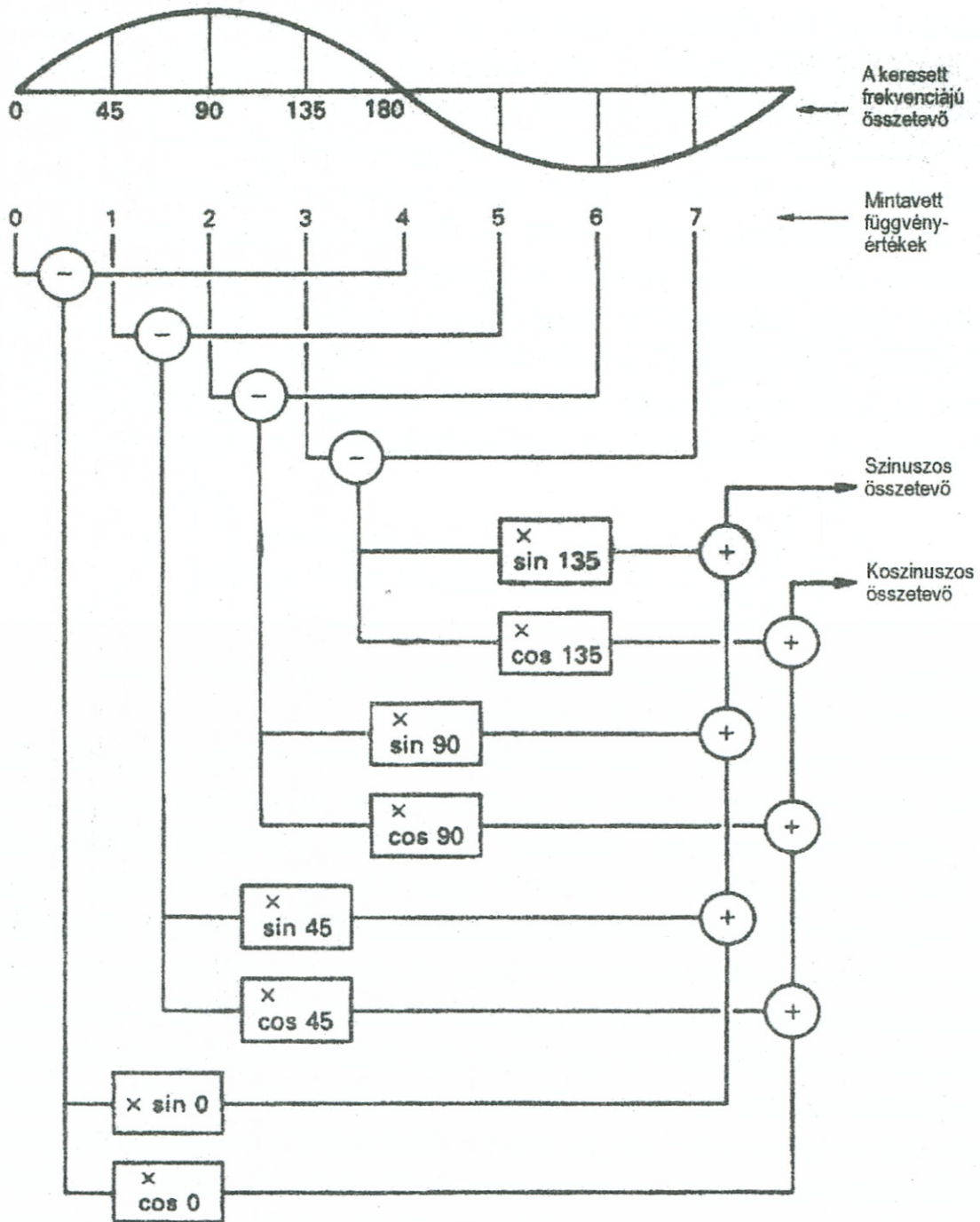
$$A_i = \frac{1}{T} \sum_{j=0}^{k-1} f(j\Delta t) \cdot \sin i\omega j\Delta t \cdot \Delta t, \text{ ahol } \Delta t = T/k. \quad (\text{F.I.3})$$

Hasonlóan számolhatók a  $B_i$  együtthatók is.

A Fourier-együtthatók fenti számításakor a harmonikus függvényeknek kitüntetett időpontokban érvényes, meghatározott szöghelyzetekhez tartozó értékei szerepelnek, amelyek ráadásul  $i > 1$  esetén ismétlődnek is, feltéve, hogy a fent javasolt módon,  $k$  értékét 2 egész kitevőjű hatványának választjuk. Az integrálást helyettesítő szummázásban így a szorzások a mintavett függvényértékeknek előre meghatározható, részben ismétlődő konstansokkal való szorzásává egyszerűsödnek. Nagyobb  $i$  értékek esetén a konstansok ismétlődése általában gyakoribb. Így lehetőség nyílik az együtthatók egyszerű, gyors meghatározására. A diszkrét Fourier-transzformált kiszámításának ez a módszere a *gyors Fourier-transzformáció* (fast Fourier transformation, FFT) a digitális technika megjelenésével szinte kizárólagossá vált.

Az F.I.5. ábrán bemutatjuk  $k=8$  esetére az  $A_i$  és  $B_i$  alapharmonikus amplitúdók FFT-vel történő számításának a vázlatos menetét. A szögfüggvények jellegéből következik, hogy minden negyedik minta egymásból kivonható, mivel a szorzó szögfüggvény értéke ezen pontokban éppen ellentétes. A különbségeket ezután olyan kitüntetett szögértékeknel érvényes szögfüggvény-értékekkel kell szorozni, ahol azok többször ugyanazt az értéket veszik fel. Az ábrán látható 8 szorzó tényező most éppen mindössze a 0, 0,707 és az 1 értékeket veszi fel, ami egyrészt a szorzások csoportosítására, illetve egyszerűsítésére vezet.

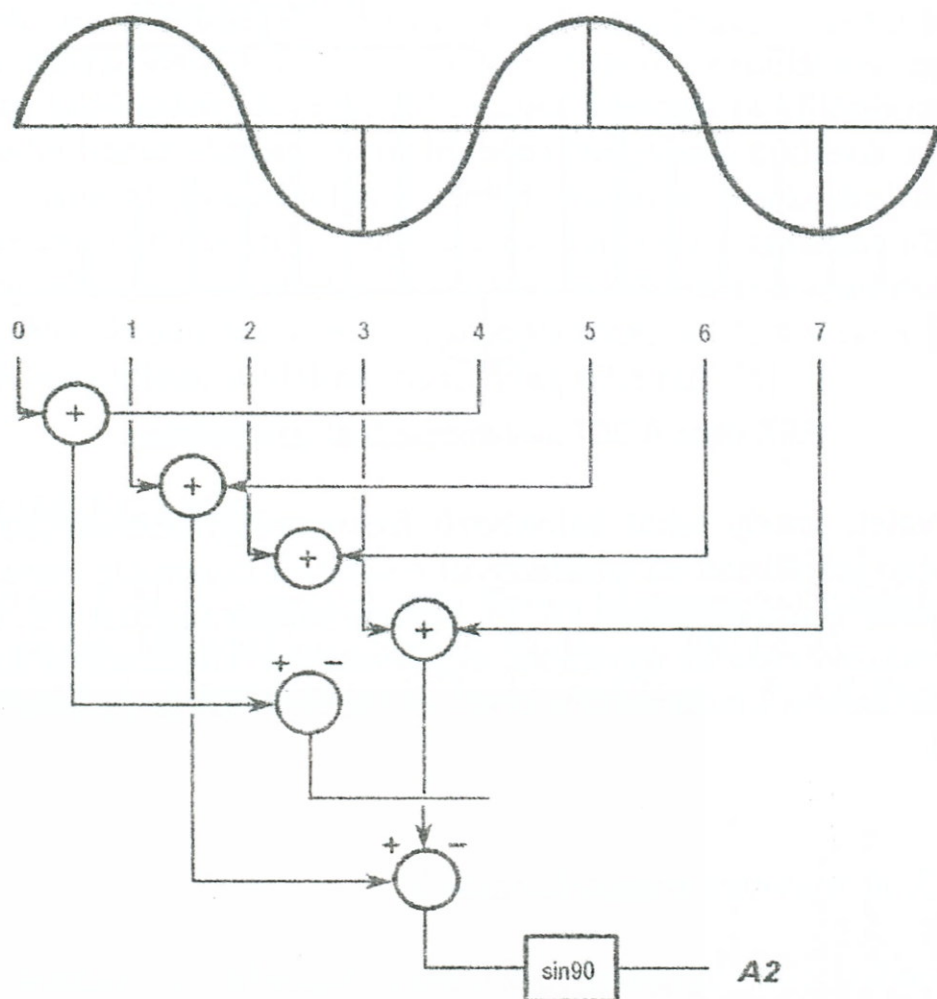




F.I.5. ábra. Nyolc mintával jellemzett idő- (tér)függvény alapharmonikusainak az FFT-vel történő számításához

Az FFT egyszerűségét különösen mutatja az erre az esetre érvényes  $A_2$  amplitúdó számításának a menete (F.I.6. ábra). Most a negyedik mintaértékeket össze kell adni és a párokat felváltva 0-val vagy 1-gyel szorozni. Az ábra bonyolultnak tűnő műveleti ábrája egyszerűsítve azt fejezi ki: vedd az 1 és 5 jelű, valamint a 3 és 7 jelű minták összegét és vond ki ezeket egymásból!



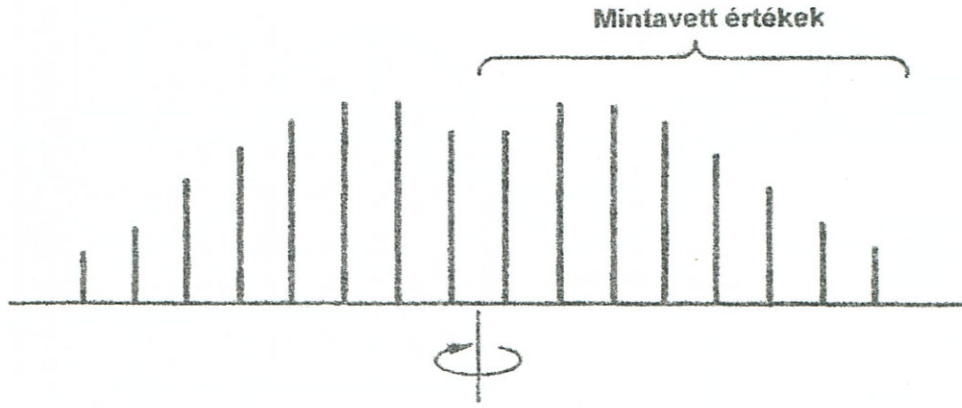
F.I.6. ábra. A fenti függvény  $A_2$  amplitúdójának a számítása

### F.I.3.2. A diszkrét koszinusz transzformáció

Az előző pontban tárgyalt frekvencia-analízis eredményeként frekvenciánként két összetevőt, illetve egy amplitúdót és egy fázishelyzetet kapunk. Néha előnyösebb lehet, ha kötött fázishelyzettel, de több frekvencia-összetevőt tudunk megadni, különösen akkor, amikor a nagyobb frekvenciás tagok erősen csökkenő amplitúdója esetleg jelzi, hogy elhanyagolásuk jelentős hibát nem eredményez.

Azonosan nulla fázishelyzetű *koszinusz* függvényekkel közelíthetjük a  $k$  mintával adott idő- (hely)függvényt (F.I.7. ábra), ha a minták számát a kezdeti időpont (helyzet) körüli tükrözéssel megkettőzzük, majd az így kapott  $2k$  mintát felhasználva kiszámítjuk a DFT együtthatókat. Az átlagszint mellett  $(k-1)$  koszinusz-amplitúdót kapunk. A szinuszos tagok amplitúdói valamennyien nullák, hiszen a  $2k$  pontból álló minta értékei az origóra szimmetrikusan azonosak. Az alapfrekvencia  $1/2kT$ , ahol  $T$  a minták közötti időkülönbség (távolság), a többi ennek növekvő egészszámú többszöröse.





F.I.7. ábra. A DCT mintahalmazának az előállítása

A művelet, amely tehát különböző frekvenciájú koszinuszos összetevőkkel történő jellemzést ad eredményül a *diszkrét koszinusz transzformáció* (discrete cosine transformation, DCT). Felhasználására példát a 2. fejezetben találunk, amikor is nem az egyszerű, egydimenziós változatával kell megismerkednünk, hanem kétdimenziós ponthalmaz frekvencia-összetevőit fogjuk kiszámítani.

### F.I.3.3. A wavelet transzformáció

A *wavelet transzformáció* céljában hasonlít a diszkrét Fourier-transzformációhoz: mintavett értékekkel adott függvényt kíván frekvencia-tartalommal rendelkező összetevők halmazával közelítően jellemezni. A transzformáció módszere is azonos: a mintáknak és egy jellemző függvénynek a minták időpontjában (helyén) érvényes értékei szorzatainak az integrálásával határozza meg az egyes jellemzők amplitúdóit.



F.I.8. ábra. Wavelet-transzformációs szorzófüggvények

Alapvető eltérés a jellemző függvények felépítésében van. Míg Fourier-transzformáció esetén ezek különböző frekvenciájú harmonikus függvények, ez esetben véges kiterjedésű hullám-vonulatok. A véges számú minta kiértékelése során itt nem kell akár a DFT, akár a DCT kapcsán értelmezett 'ablakot' kialakítani (amit  $k$  értéke megválasztásával végeztünk), mert a szorzó



függvények az értelmezési tartománytól távolodva nullához tartanak. Az egyes szorzó-összetevők frekvencia-jellegű oszcillációs gyakorisága (F.I.8. ábra) különböző, de egyúttal a teljes hosszuk is különböző. A függvényben (a 'hullámocskában', wavelet-ben) megjelenő ciklusok száma az állandó. Ez a transzformáció előnyös lehet mintavett értékekkel adott képek frekvencia-tartományba való transzformációja során: egyaránt jól jellemezhetők a nagyobb kiterjedésű, lassan változó részletek és a kis kiterjedésű, de határozott, éles átmenetet képező gyors változások. A módszer bevezetése most van folyamatban, irodalma viszonylag újkeletű. [2]

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Bronstejn, I. N. – Szemengyajev, K. A.: Matematikai zsebkönyv, 2. bővített kiadás. Műszaki könyvkiadó. Budapest. 1963.
- [2] Watkinson, J.: Compression in Audio and Video. Focal Press. Oxford. 1995.







## F.II. A VALÓSZÍNŰSÉGSZÁMÍTÁS ALAPJAI

### F.II.1. Definíciók



#### F.II.1.1. Valószínűség

Valószínűség alatt [1] [2] véletlen esemény előfordulásának relatív gyakoriságát értjük. Ha az  $A$  esemény átlagosan  $n_a$ -szor fordul elő az összes események között (amit  $n$ -nel jelölünk), azt mondjuk, hogy az  $A$  esemény előfordulásának a valószínűsége:

$$P(A) = n_a/n.$$

Ha  $A$  soha nem fordul elő, akkor,  $P(A)=0$ , ha pedig mindig az fordul elő, akkor  $P(A)=1$ . Egyéb esetekben:

$$0 \leq P(A) \leq 1.$$

#### F.II.1.2. Feltételes valószínűség

A  $P(A | B)$  feltételes valószínűség adja  $A$  előfordulásának a valószínűségét, feltéve, hogy  $B$  előfordul. Ha  $A$  és  $B$  egymástól független esemény,  $A$  előfordulásának a valószínűsége nem függ attól, hogy  $B$  előfordul-e:

$$P(A | B) = P(A), P(B | A) = P(B).$$

#### F.II.1.3. Kapcsolt valószínűség

Kapcsolt valószínűség alatt értjük, ha mind  $A$ , mind  $B$  előfordul:

$$P(A.B) = P(A | B).P(A).$$

Ha  $A$  és  $B$  független események, akkor:

$$P(A.B) = P(A).P(B).$$



### F.II.1.4. Egymást kölcsönösen kizáró események

Az események kölcsönösen kizáróak, ha soha nem lépnek fel egyszerre, azaz, ha  $P(A.B) = 0$ . Ekkor annak valószínűsége, hogy vagy az  $A$  vagy a  $B$  fellép,

$$P(A + B) = P(A) + P(B).$$

Ha egymást nem kölcsönösen kizáróak, akkor mind  $P(A)$ , mind  $P(B)$  tartalmazza  $P(A.B)$ -t, azaz:

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(A.B).$$

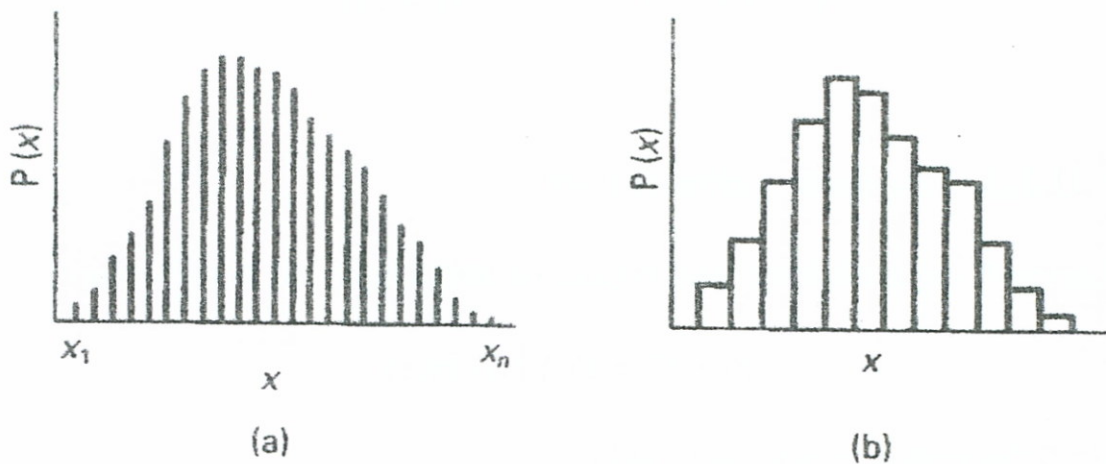
### F.II.1.5. Egymást kiegészítő (komplementer) események

Az  $A$  és  $B$  esemény egymást kiegészíti, ha

$$P(A) + P(B) = 1, \quad P(A.B) = 0.$$

## F.II.2. Diszkrét valószínűségi eloszlások

### F.II.2.1. Átlag és variancia



F.II.1. ábra. Diszkrét valószínűségi eloszlások:  
(a) vonaldiagram, (b) hisztogram



Legyenek  $X = x_1, x_2, \dots, x_n$  diszkrét (véges számú) véletlen események,  $P(x_1), P(x_2), \dots, P(x_n)$  előfordulási valószínűséggel, legyenek ábrázolva az F.II.1. ábrán látható hisztogrammal és legyen

$$\sum_{j=-\infty}^{\infty} P(x_j) = 1.$$

Átlagnak a diagram súlypontjának megfelelő  $x$  értéket nevezzük és  $\bar{x}$ -gal, vagy  $\mu$ -vel, illetve  $E(x)$ -szel jelöljük. A definíció szerint

$$E(x) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} x_j P(x_j),$$

azaz az átlag az eloszlás *első momentumával* egyenlő.

Az  $x$  *varianciája* (szórás négyzete),  $\text{Var}(x) = \sigma^2$  a hisztogram szétterültségére jellemző. Definíció szerint az értéke  $x$ -nek átlagos négyzetes eltérése az átlagtól:

$$\begin{aligned} \text{Var}(x) &= \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 \cdot P(x_j) \\ &= \sum_{j=1}^n x_j^2 \cdot P(x_j) - \bar{x}^2. \end{aligned}$$

Az átlagos eltérés (standard deviation) a variancia négyzetgyökével egyenlő:

$$\sigma_x = \sqrt{\text{Var}(x)}.$$

### F.II.2.2. Független valószínűségi változók átlagértéke és varianciája

Ha  $x$  és  $y$  egymástól független valószínűségi változók, akkor érvényesek a következő összefüggések:

$$\begin{aligned} E(x + y) &= E(x) + E(y), \\ \text{Var}(x + y) &= \text{Var}(x) + \text{Var}(y), \text{ továbbá} \end{aligned}$$



$$E(x - y) = E(x) - E(y),$$

$$\text{Var}(x - y) = \text{Var}(x) + \text{Var}(y).$$

### F.II.2.3. Bernouilli-féle vagy binomiális eloszlás

Tekintsük kísérletek sorozatát, amelyek eleget tesznek a következő feltételeknek:

1. Valamennyi kísérletnek két eredménye lehet: siker vagy kudarc,  $p$ , illetve  $(1-p)$  valószínűséggel.
2. Valamennyi kísérlet eredménye független a többiétől.
3. Statisztikai egyensúly van, azaz a valószínűségek állandók, nem függenek sem egymástól, sem az esemény sorszámától.

Annak a valószínűsége, hogy  $n$  kísérletből  $x$  sikeres,  $n-x$  pedig nem:

$$p^x \cdot (1-p)^{n-x}.$$

Az  $n$  kísérlet közül ilyen eredményre vezet:

$$\binom{n}{x} = \frac{n!}{x! \cdot (n-x)!} = \frac{n(n-1)(n-2)\dots(n-x+1)}{x!}.$$

Vagyis, hogy  $x$  esemény sikeres és  $(n-x)$  nem, annak valószínűsége:

$$P(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}. \quad (\text{F.II.1})$$

Az eloszlás átlagértéke,  $\mu = np$ , varianciája:  $\sigma^2 = np(1-p)$ .

### F.II.2.4. Poisson-eloszlás

A Poisson-eloszlás a Bernouilli-eloszlás határesetete, amikor a kísérletek  $n$  száma minden határon túl nő.

Az (F.II.1) egyenletet kifejtve és, az  $n \rightarrow \infty$  átmenetet előkészítendő, írhatjuk:

$$P(x) = \frac{n(n-1)(n-2)\dots(n-x+1)}{x!} p^x (1-p)^{n-x}$$



$$\dots = 1 \left(1 - \frac{1}{n}\right) \left(1 - \frac{2}{n}\right) \dots \left(1 - \frac{x+1}{n}\right) \frac{n^x}{x!} p^x (1-p)^{n-x}$$

Ha feltesszük, hogy  $n \rightarrow \infty$ , akkor a zárójelben lévő tényezők értéke 1-hez tart és írhatjuk:

$$P(x) \rightarrow \frac{n^x}{x!} \cdot p^x \cdot (1-p)^{n-x}$$

De mivel  $\mu = n \cdot p$ , azaz  $p = \mu/n$ ,

$$P(x) = \frac{\mu^x}{x!} \cdot \left[1 - \frac{\mu}{n}\right]^n \cdot \left[1 - \frac{\mu}{n}\right]^{-x} \rightarrow \frac{\mu^x}{x!} \cdot \left[1 - \frac{\mu}{n}\right]^n, \text{ (mivel } \mu \ll n\text{).}$$

A zárójeles kifejezés  $n \rightarrow \infty$  esetén éppen az exponenciális függvényt definiálja, tehát végeredményben:

$$P(x) = \frac{\mu^x}{x!} \cdot e^{-\mu} \tag{F.II.2}$$

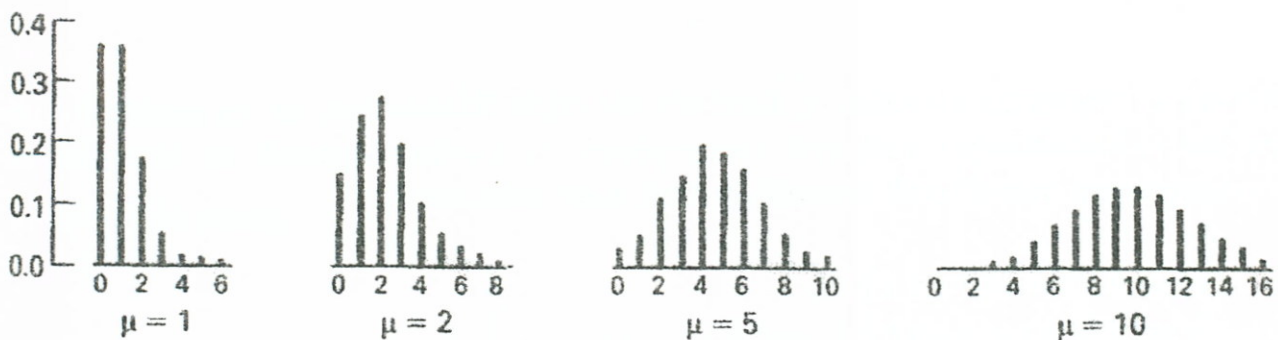
Az átlagérték persze változatlanul  $\mu$ .

A binomiális eloszlás varianciája:

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot (1-p) = \frac{n\mu}{n} \left[1 - \frac{\mu}{n}\right], \text{ amelyre: } \lim \sigma^2 = \mu, \text{ ha } n \rightarrow \infty.$$

A Poisson-eloszlás sajátossága, hogy a variancia és az átlagérték megegyezik.

A Poisson-eloszlásra néhány példát az F.II.2. ábra mutat.



F.II.2. ábra. Példák a Poisson-eloszlásra



## F.II.3. Folytonos valószínűségi eloszlások

### F.II.3.1. Alapfogalmak

Ha a  $\delta x$  különbség a két egymást követő  $x_j$  és  $x_{j+1}$  érték között minden határon túl lecsökken,  $X$  az  $x$  folytonos függvényévé válik és a hisztogram folytonos görbévé alakul. Ezzel együtt  $P(x)$  is nullához tart és csak a valószínűség sűrűségi függvénye,  $p(x)$  értelmezhető (F.II.3. ábra). Definíciója:

$$p(x_j) \cdot \delta x = P(x_j \leq x \leq x_j + \delta x),$$

amiből a valószínűség már számolható:

$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b p(x) \cdot \delta x \quad \text{és} \quad \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \cdot \delta x = 1.$$

A diszkrét eloszlás esetén érvényes

$$\mu = \sum_{-\infty}^{\infty} x_j \cdot P(x_j)$$

átlagérték folytonos eloszlás esetén a

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot p(x) \cdot \delta x$$

módon számolható. A variancia értéke pedig:

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x) \cdot \delta x - \mu^2.$$

Mivel a folytonos eloszlás a diszkrét eloszlás határeset, az egymástól független valószínűségi változók összegének és különbségének az átlagára és varianciájára vonatkozó összefüggések nem változnak:

$$E(X \pm Y) = E(X) \pm E(Y),$$

$$\text{Var}(X \pm Y) = \text{Var}(X) + \text{Var}(Y).$$



### F.II.3.2. Negatív exponenciális eloszlás

Véletlen események sorozata mindig diszkrét véletlen folyamat. Azonban az események közötti *időtartam* tetszőleges értéket felvehet, ez tehát egy folytonos valószínűségi változó.

Jelöljük két egymást követő esemény közötti időtartamot  $t$ -vel és a hozzá tartozó valószínűségi sűrűséget  $p(t)$ -vel. Történjen esemény a  $t = 0$  időpontban és a következő a  $t$  és  $t + \delta t$  között. Ha  $\delta t$  kicsi, egynél több esemény bekövetkezését ezen idő alatt elhanyagolhatjuk, és az egy esemény bekövetkezésének a valószínűségét  $P_{\delta t}(1)$  gyel jelöljük.

Ha tehát a  $t$  és  $t + \delta t$  bekövetkező esemény a sorozat *következő* eseménye, a  $t$  idő alatt egyetlen esemény következett be. Jelöljük ennek a valószínűségét  $P_t(0)$ -val.

Tehát annak valószínűsége, hogy a következő esemény bekövetkezik  $t$  és  $t + \delta t$  között:

$$P = P_t(0) \cdot P_{\delta t}(1) = p(t) \cdot \delta t.$$

Ha a véletlen események egymástól függetlenek, a  $t$  idő alatt bekövetkező események száma az (F.II.2) szerinti Poisson-eloszlást mutatja. Jelöljük az egységnyi idő alatt bekövetkező események átlagos értékét  $\lambda$ -val, azaz legyen  $\mu = \lambda \cdot t$ . Ezt az eloszlás függvénybe helyettesítve kapjuk:

$$P_t(0) = e^{-\lambda t}, \quad P_{\delta t}(1) = \lambda \cdot \delta t \cdot e^{-\lambda \delta t},$$

amiből:

$$P = p(t) \cdot \delta t = \lambda \cdot \delta t \cdot e^{-\lambda(t+\delta t)} = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \cdot \delta t \quad (\text{mivel } \delta t \text{ igen kicsi}),$$

$$P(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}. \quad (\text{F.II.3})$$

A fenti negatív exponenciális eloszlás átlagértéke:

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} t \cdot p(t) \cdot dt = 1/\lambda,$$

varianciája pedig:

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} t^2 \cdot p(t) \cdot dt - \mu^2 = 1/\lambda^2,$$



azaz  $\sigma = 1/\lambda$ , vagyis az átlagos eltérés az átlagértékkel egyenlő.

Annak a valószínűsége, hogy az egyes események közötti  $T$  idő nagyobb, mint  $t$  számolható:

$$P(T \geq t) = \int_t^{\infty} p(t) \cdot dt = \lambda \int_t^{\infty} e^{-\lambda t} dt = e^{-\lambda t} = e^{-t/\bar{T}},$$

ahol  $\bar{T}$  az események között átlagosan eltelt idő.

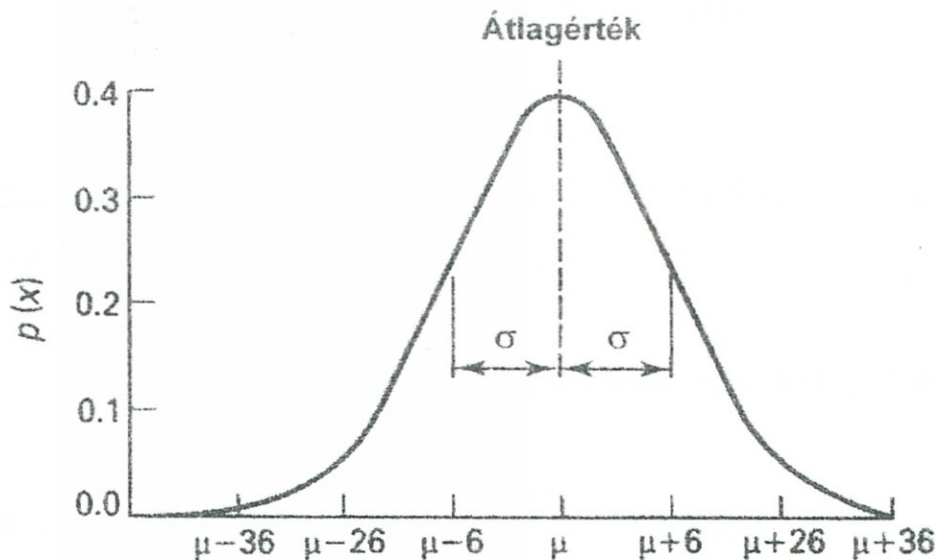
### F.II.3.3. Gauss- vagy normál eloszlás

A gyakorlatban nagyon sok esetben azt találták, hogy a valószínűségi eloszlás a jól ismert *harang-görbét* követi (F.II.3. ábra). Ezért ezt elnevezték *normál eloszlásnak*. A függvényre Gauss által meghatározott összefüggés:

$$f(\mu, \sigma; x) = p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^k, \text{ ahol } k = -(x - \mu)^2/2\sigma^2.$$

(F.II.4)

Az eloszlás átlagértéke  $\mu$ , átlagos eltérése pedig  $\sigma$ .



F.II.3. ábra. A Gauss- vagy normál eloszlás



Létezik egy elmélet, miszerint sok, egymástól független változó összegzett eloszlásának valószínűségi sűrűségi függvénye a Gauss-görbéhez tart, feltéve, hogy minden egyes változó varianciája kicsi az eredő varianciához viszonyítva. Ez az eset például, ha egyazon rendszeren sok hasonló mérést hajtunk végre.

(F.II.4)-ben a  $t=(x-\mu)/\sigma$  helyettesítést végrehajtva a

$$p(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^k, \text{ ahol } k = -t^2/2$$

formában kapjuk a normál eloszlási függvényt.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Rényi Alfréd: Valószínűségszámítás, 4. kiadás. Tankönyvkiadó. Budapest. 1981.
- [2] Flood, J. E.: Telecommunications Switching, Traffic and Networks. Prentice Hall. London. 1995.







## F.III. A FORGALOMELMÉLET ALAPJAI

### F.III.1. Matematikai modell



#### F.III.1.1. Feltételek

A forgalom lebonyolításának számszerű jellemzésére a távközlés problémáit modellezni kell. [1] [2] A szokásos feltételek, amelyek talán a kérdés lényegét ragadják meg, a következők:

- A forgalom véletlenszerű.
- A rendszer statisztikai egyensúlyban van.

Ez utóbbi azt jelenti, hogy a forgalom jellemzői – legalább is a vizsgált időtartam alatt – nem változnak. A véletlenszerű jelző tartalma pedig az, hogy a hívások (forgalmazási igény) beérkezése és azok befejezése egymástól független véletlen események. Természetesen a felhasználó nem véletlenszerűen jelentkezik, de a nagyszámú felhasználó által generált forgalom a hívás beérkezését véletlenszerűvé teszi.

#### F.III.1.2. Következtetések

A feltételekből következik:

A  $T$  idő alatt beérkező hívások száma ( $x$ ) Poisson-eloszlást mutat, azaz

$$P(x) = \frac{\mu^x}{x!} e^{-\mu},$$

ahol  $\mu$  a  $T$  idő alatt érkező hívások átlagos száma. Vagyis a véletlenszerű forgalmat Poisson-eloszlású forgalomnak tekintjük.

A hívások érkezése közötti  $T$  idő véletlenszerűen változik és negatív exponenciális eloszlást mutat:

$$P(T \geq t) = e^{-t/\bar{T}},$$

ahol  $\bar{T}$  a hívások érkezése közötti átlagos időtartam.

Mivel a hívások érkezése és befejeződése egymástól független véletlen esemény, a hívások átlagos tartama  $\tau$ , mint két egymástól független véletlen mennyiség különbsége, szintén negatív exponenciális eloszlást mutat:

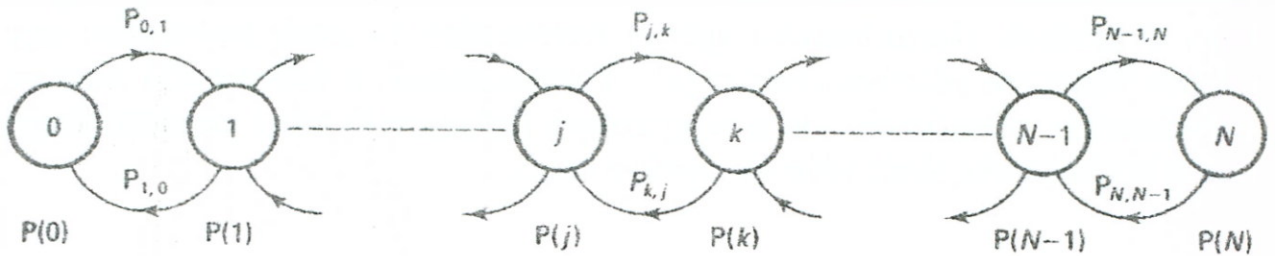


$$P(\tau \geq t) = e^{-t/h},$$

ahol  $h$  a hívások átlagos hossza.

### F.III.1.3. A forgalom jellemzése

A hívások száma időben változik. Hívások jelentkeznek és halnak el véletlenszerűen. Ha a forgalom bonyolítására  $n$  trönk (csatorna, kiszolgáló) áll a rendelkezésre, az egyidőben élő hívások száma 0 és  $n$  között ingadozhat. A rendszer tehát  $(n+1)$  állapotban lehet és viselkedése attól függ, hogy milyen valószínűséggel megy át az egyik állapotból a másikba (F.III.1. ábra). Az ilyen folyamatot *Markov lánc*nak lehet tekinteni [3], mégpedig ez egy *egyszerű Markov lánc*.



F.III.1. ábra. Állapot átmeneti diagram  $n$  trönk esetére

Legyen annak valószínűsége  $P(i)$ , hogy a rendszer az  $i$  állapotban van. Ha  $j$  és  $k$  a rendszer egymás utáni két állapotát jelöli,  $P_{j,k}$  az egy állapottal való előrelépés,  $P_{k,j}$  pedig a visszalépés valószínűsége.  $P(i)$  tehát *állapot*, míg  $P_{j,k}$  és  $P_{k,j}$  *átmeneti* valószínűség. Ha ezek a valószínűségek időben nem változnak, akkor a rendszer *reguláris* Markov láncnak tekinthető.

Tekintsünk egy igen rövid  $\delta t$  időtartamot, amely  $t$  időpontban veszi kezdetét! Annak a valószínűsége, hogy ez alatt *valami* történik kicsi, így az, hogy ez alatt *két* esemény történne, annak valószínűsége elhanyagolható. A  $\delta t$  alatt

- érkezik egy hívás  $P(\acute{e})$  valószínűséggel,
- végetér egy hívás  $P(v)$  valószínűséggel,
- illetve nem történik semmi. Ennek valószínűsége  $1 - P(\acute{e}) - P(v)$ .

Mivel  $h$  idő alatt átlagosan  $A$  hívás érkezik,  $\delta t$  idő alatt egy hívás érkezésének a valószínűsége

$$P_{j,k} = P(\acute{e}) = A \cdot \delta t / h.$$



Mivel az átlagos hívási időtartam  $h$  és a rendszerben  $k$  hívás él,  $\delta t$  idő alatt átlagosan  $k \cdot \delta t / h$  hívás szűnik meg, azaz

$$P_{k,j} = P(v) = k \cdot \delta t / h.$$

Ha annak a valószínűsége, hogy a  $t$  időpontban  $j$  számú hívás él  $P(j)$ , az ezt követő  $\delta t$  idő alatt a  $j$ -ből  $k$ -ba való átmenet

$$P(j \rightarrow k) = P(j) \cdot P(v) = P(j) \cdot A \cdot \delta t / h$$

valószínűséggel történik meg. Ha annak a valószínűsége, hogy  $k$  hívás él a  $t$  időpontban  $P(k)$ , akkor az ezt követő  $\delta t$  idő alatt a foglalt trónkok száma  $k$ -ról  $j$ -re

$$P(k \rightarrow j) = P(k) \cdot P(v) = P(k) \cdot k \delta t / h$$

valószínűséggel csökken.

A statisztikai egyensúly feltétele, hogy

$$P(j \rightarrow k) = P(k \rightarrow j).$$

Két utóbbi egyenletünk összevetéséből:

$$P(k) \cdot k \cdot \delta t / h = P(j) \cdot A \cdot \delta t / h, \text{ azaz } P(k) = \frac{A}{k} \cdot P(j),$$

Amiből:

$$P(1) = \frac{A}{1} \cdot P(0),$$

$$P(2) = \frac{A}{2} \cdot P(1) = \frac{A^2}{2 \cdot 1} \cdot P(0),$$

$$P(3) = \frac{A}{3} \cdot P(2) = \frac{A^3}{3 \cdot 2 \cdot 1} \cdot P(0)$$



és általában:

$$P(x) = \frac{A^x}{x!} \cdot P(0). \quad (\text{F.III.1})$$

A véletlenszerű forgalom igen nagy számú forrást tételez fel, vagyis  $x$  értéke 0 és  $\infty$  között bármekkora lehet. Mivel valamelyik állapot biztosan fennáll:

$$1 = \sum_{x=0}^{\infty} P(x) = \sum_{x=0}^{\infty} \frac{A^x}{x!} \cdot P(0) = e^A \cdot P(0), \text{ azaz } P(0) = e^{-A}.$$

tehát:

$$P(x) = \frac{A^x}{x!} \cdot e^{-A}. \quad (\text{F.III.2})$$

Vagyis, ha a hívások Poisson-eloszlás szerint érkeznek, Poisson-eloszlást mutat az egyidejűleg fennálló hívások száma is.

## F.III.2. Veszteséges rendszerek

### F.III.2.1. Elmélet

Erlang határozta meg [3] a szolgáltatás minőségét (azaz a veszteség valószínűségét) arra az esetre, amikor  $n$  csatornára úgy bocsátunk  $A$  forgalmat, hogy az a hívás, amely az  $n$  számú csatorna foglalt állapotában érkezik, kiszolgálásra nem kerül, hanem elvész. A számításhoz feltételezte, hogy valamennyi hívás bármely csatornát egyaránt el tudja érni, azaz az  $n$  számú trónk teljes hozzáférhetőségű csoportot alkot.

Kiindulásként (F.III.1) használható, de mivel most csak legfeljebb  $n$  számú hívás élhet egyidejűleg, az 1 valószínűséggel jelzett bizonyosság

$$\sum_{x=0}^n P(x) = 1 = \sum_{x=0}^n \frac{A^x}{x!} \cdot P(0)$$



formában írható fel. Ebből:

$$P(0) = 1 / \sum_{x=0}^n \frac{A^x}{x!}.$$

### F.III.2.2. Erlang első képlete

$P(0)$  fenti értékét (F.III.1)-be helyettesítve:

$$P(x) = \frac{A^x/x!}{\sum_{r=0}^n A^r/r!} \quad (= E_{1,x}(A)).$$

Ez az első Erlang-eloszlás. Különösen fontos  $P(n)$  értéke, mert ez adja a torlódás valószínűségét, annak a valószínűségét ( $B$ ), hogy hívás elvész. Ugyanez az érték egyúttal a szolgáltatás minősége mérőszáma is. Értéke Erlang első képletéből  $x=n$  helyettesítéssel nyerhető:

$$B = E_{1,n}(A) = \frac{A^n/n!}{\sum_{r=0}^n A^r/r!}. \quad (\text{F.III.3})$$

Rekurzív számításhoz érdemes még összefüggést keresni  $E_{1,n}$  és  $E_{1,n-1}$  között. Az eredményt számítás nélkül közöljük:

$$E_{1,n}(A) = \frac{A \cdot E_{1,n-1}(A)}{n + A \cdot E_{1,n-1}(A)}.$$

Mivel  $E_{1,0}=1$ , a fenti formula lehetővé teszi  $E_{1,n}(A)$  számítását  $n$  bármely értékére. A 6. fejezetben közölt táblázatos értékek is e formula felhasználásával készültek.



### F.III.3. Várakozásos rendszerek

#### F.III.3.1. Erlang második egyenlete

A fentebb tárgyalt veszteséges esettel szemben most azt tárgyaljuk, hogy mi jellemzi a forgalmat, ha a rendelkezésre álló  $n$  áramkör felhasználásával nem akarunk elveszíteni hívást. [4] A rögtön ki nem szolgálható forgalom ez esetben várakozik, amíg kiszolgálásra nem kerül. A várakozó sor minden határon túl megnő, ha a forgalom  $A \geq n$ -nél, a kiszolgálók számánál. Ezt az esetet a vizsgálatból kizárjuk.

Ismét  $x$ -szel jelöljük a rendszerben fennálló hívások számát. Ezek közül  $n$  azonnal kiszolgálásra kerül,  $(x-n)$  pedig várakozik

Ha tehát  $x \leq n$ -nél: sor nincs és a rendszer pont úgy viselkedik, mint a veszteséges esetben, vagyis:

$$P(x) = \frac{A^x}{x!} \cdot P(0) \quad 0 \leq x \leq n. \quad (\text{F.III.4})$$

$x \geq n$  esetén a  $\delta t$  idő alatt hívás érkezésének a valószínűsége:

$$P(\acute{e}) = A \cdot \delta t / h,$$

ahol  $h$  az átlagos kiszolgálási idő. Vagyis  $\delta t$  idő alatt  $(x-1)$ -ről  $x$  hívásra való áttérés valószínűsége:

$$P(x-1 \rightarrow x) = P(x-1) \cdot A \cdot \delta t / h.$$

Mivel minden csatorna foglalt, csak az  $n$  számú kiszolgálandó hívás kap csatlakoztatást (szemben a veszteséges rendszer  $x$  hívásával), azaz most

$$P(v) = n \cdot \delta t / h,$$

és így az  $x$ -ről  $(x-1)$  hívásra való átmenet valószínűsége:

$$P(x \rightarrow x-1) = P(x) \cdot P(v) = P(x) \cdot n \cdot \delta t / h.$$

Statisztikai egyensúlyban a kétirányú átmenet valószínűsége megegyezik, azaz:

$$P(x) \cdot n \cdot \delta t / h = P(x-1) \cdot A \cdot \delta t / h,$$



amiből:

$$P(x) = \frac{A}{n} \cdot P(x-1).$$

De mivel

$$P(n) = \frac{A^n}{n!} \cdot P(0),$$

következik, hogy

$$P(n+1) = \frac{A}{n} \cdot P(n) = \frac{A^{n+1}}{n \cdot n!} \cdot P(0),$$

$$P(n+2) = \frac{A}{n} \cdot P(n+1) = \frac{A^{n+2}}{n^2 \cdot n!} \cdot P(0), \text{ s.í.t.}$$

Általában,  $x \geq n$  esetére:

$$P(x) = \frac{A^x}{n^{x-n} \cdot n!} \cdot P(0) = \frac{n^n}{n!} \left( \frac{A}{n} \right)^x \cdot P(0). \quad (\text{F.III.5})$$

Ha a sor hossza tetszőleges lehet:

$$\sum_{x=0}^{\infty} P(x) = 1.$$

(F.III.4) és (F.III.5)-ből tehát következik:

$$\frac{1}{P(0)} = \sum_{x=0}^{n-1} \frac{A^x}{x!} + \frac{n^n}{n!} \left( \frac{A}{n} \right)^n \sum_{r=0}^{\infty} \left( \frac{A}{n} \right)^r,$$

ahol  $r = x - n$ . Mivel  $A/n \leq 1$ , ezért:



$$\sum_{r=0}^{\infty} \left(\frac{A}{n}\right)^r = \left[1 - \frac{A}{n}\right]^{-1},$$

amiből:

$$\frac{1}{P(0)} = \sum_{x=0}^{n-1} \frac{A^x}{x!} + \frac{A^n}{n!} \left[1 - \frac{A}{n}\right]^{-1},$$

vagyis:

$$P(0) = \left[ \frac{n \cdot A^n}{n!(n-A)} + \sum_{x=0}^{n-1} \frac{A^x}{x!} \right]^{-1}. \quad (\text{F.III.6})$$

Az (F.III.4) – (F.III.6) összefüggésekből  $P(x)$  valamennyi  $x$  értékhez számolható. Ezek alkotják Erlang második képletét.

### F.III.3.2. A várakozás valószínűsége

Hívás akkor várakozik, ha a rendszerben az egyidejű hívások száma meghaladja  $n$ -t. Erre az esetre (F.III.5)-ből, annak a valószínűsége, hogy legalább  $z$  hívás van jelen (ahol most  $z \geq n$ ):

$$P(x \geq n) = \sum_{x=z}^{\infty} P(x) = \frac{n^n}{n!} P(0) \sum_{x=z}^{\infty} \left(\frac{A}{n}\right)^x = \frac{n^n}{n!} P(0) \left(\frac{A}{n}\right)^z \sum_{r=0}^{\infty} \left(\frac{A}{n}\right)^r,$$

Ahol  $r = x - n$ . Vagyis

$$P(x \geq z) = \frac{n^n}{n!} \left(\frac{A}{n}\right)^z P(0) \left(1 - \frac{A}{n}\right)^{-1} = \frac{n^n}{n!} \left(\frac{A}{n}\right)^z \frac{n}{n-A} P(0).$$

A várakozás valószínűsége,  $P_D = P(x \geq n)$ , azaz

$$P_D = \frac{A^n}{n!} \cdot \frac{n}{n-A} \cdot P(0) = E_{2,n}(A).$$



Ez Erlang második, várakozásos formulája, amely megadja a várakozás valószínűségét, ha  $n$  csatorna áll rendelkezésre  $A$  forgalom lebonyolításához.  $P(0)$  értéke (F.III.6)-tal van adva. Az ebből számolt értékeket a 6.6. ábra tartalmazza. A késleltetés valószínűsége 1-hez tart, ahogy  $A$  megközelíti  $n$ -t. Ha túlnő rajta, azaz  $A > n$  esetén pedig a várakozó sor hossza nő határtalanul.

A gyakorlatban csak véges hosszú sor képzelhető el, hiszen végtelen kapacitású tárolót nem lehet alkalmazni. Véges tároló mellett elvileg mindig elképzelhető, hogy a véletlenszerűen érkező következő hívás elvész, ennek valószínűsége azonban kellően kis értéken tartható, ha a tároló hosszát megfelelően méretezzük. Levezetés nélkül álljon itt annak a valószínűsége, hogy  $Q$  üzenetet befogadó tároló esetén túlsordulás lép fel:

$$P(x \geq Q+n) = \frac{n^n}{n!} \left(\frac{A}{n}\right)^{Q+n} \frac{n}{n-A} \cdot P(0) = \left(\frac{A}{n}\right)^Q \cdot P_D.$$

### F.III.3.3. Néhány további használható eredmény

Levezetés nélkül az [1] irodalom alapján néhány szemléletesen fontos és a méretezéshez használható eredményt közlünk.

1. A hívások számának átlaga:

(i) ha van várakozás:

$$\bar{x}' = \frac{A}{n-A} + n,$$

(ii) a teljes időtartamra átlagolva:

$$\bar{x} = \frac{A}{n-A} \cdot E_{2,n}(A) + A.$$

2. A sor átlagos hossza:

(i) ha van várakozás:

$$\bar{q}' = \bar{x}' - n = \frac{A}{n-A},$$

(ii) a teljes időtartamra átlagolva:

$$\bar{q} = \bar{q}' \cdot P_D = \frac{A}{n-A} \cdot E_{2,n}(A).$$



3. A késleltetés átlagos időtartama, feltéve, hogy a kiszolgálás a beérkezés sorrendjében történik:

(i) ha van késleltetés, annak átlaga:

$$\bar{T} \cdot = h / (n - A),$$

ahol  $h$  a hívás átlagos tartama,

(ii) a teljes időtartamra átlagolva:

$$\bar{T} = \bar{T} \cdot \cdot E_{2,n}(A) = \frac{h}{n - A} \cdot E_{2,n}(A).$$

4. A késleltetések ( $T_D$ ) eloszlása, feltéve, hogy a kiszolgálás a beérkezés sorrendjében történik:

(i) ha van késleltetés:

$$P(T_D \geq t) = e^{-t/\bar{T} \cdot},$$

(ii) a teljes időtartamra átlagolva:

$$P(T_D \geq t) = E_{2,n}(A) \cdot e^{-t/\bar{T} \cdot}.$$

A gyakorlatban mind a vesszővel jelzett, mind a teljes időtartamra átlagolt értékekre szükség lehet, mivel, ha  $E_{2,n}(A)$  kicsi, a várakozás jelenlétében jelentkező értékek jobban kifejezik a sorban állás tényét és mértékét, mint a teljes időtartamra átlagoltak.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Flood, J. E.: Telecommunications Switching, Traffic and Networks. Prentice Hall. London. 1995.
- [2] Bear, D.: Principles of Telecommunication Traffic Engineering, 3<sup>rd</sup> edn. Peter Peregrinus. Stevenage. 1988.
- [3] Syski, R.: Introduction to Congestion Theory in Telephone Systems, 2<sup>nd</sup> edn, Oliver Boyd, Edinburgh. 1986.
- [4] Beckmann, P.: Introduction to Queuing Theory and Telephone Traffic. Golen Press, New York. 1968.



## FELHASZNÁLT IRODALOM

1. lásd dr. Bartolits István: A hírközlés története c. sorozatát a MODEM IDŐK II. évfolyam 2-3. számtól kezdődően, ezen belül különösen: A villamos távíró megjelenése. MODEM IDŐK II. 5. 9. (1996 május), valamint: A morzetávíró megjelenése. MODEM IDŐK II. 6. 10. (1996 június)
2. Flood, J. E.: Telecommunications Switching, Traffic and Networks. Prentice Hall. London. 1995
3. Richards, D. L.: Telecommunication by speech. The Transmission Performance of Telephone Networks. Butterworths. London. 1973.
4. T. A. Edison által dedikált fénykép a Postamúzeum gyűjteményében.
5. A közlekedési, hírközlési és vízügyi miniszter 26/1993. (IX. 9.) KHVM rendelete a közcélú távbeszélő-hálózat struktúratervéről. Magyar Közlöny. 1992/127. szám.
6. Information Processing Systems: Open systems interconnection basic reference model. Specification ISO 7498 (1984).
7. Dr. Lajtha György személyes közlése.
8. Brewster, R. L.: Communication Systems and Computer Networks. Ellis Horwood. Chichester. 1989.
9. Nyquist, H.: Certain topics in telegraph transmission theory. Trans. AIEE, **47**. 617-644. (1928).
10. Bennett, W. R. – Davey, J. R.: Data Transmission. McGraw Hill Book Co. New York. 1965.
11. Shannon, C. E.: A mathematical theory of communication. BSTJ **27**. 379 és 623. (1948)
12. Fano, R. M.: Transmission of Information. MIT Press és John Wiley & Sons. Inc. New York. 1961.
13. Elek K. – Gaál J.: Implementation of trellis coded modems. Híradástechnika, **XLV**. 23-29. (1994 márc.).
14. Hamming, R. W.: Coding and information theory. Prentice Hall. 1980.
15. Hagelbarger, D. W.: Recurrent codes: easily mechanised, burst-correcting binary codes. BSTJ. **38**. 9. 69-984. (1959).
16. Huffman, D. A.: A method for the construction of minimum-redundancy codes. Proc. IRE. **40**. 1098. Sept. 1952.



17. Richards, D. L.: Telecommunication by speech. The Transmission Performance of Telephone Networks. Butterworths. London. 1973.
18. Házman I. – Richards, D. L. – Whorwood, R. W.: Background masking audiograms of speech. *ACUSTICA* 57. 87-94. (1985).
19. Dr. Házman István: A digitális átviteltechnika alapjai. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatósága. Budapest, 1995.
20. Gibson, J. D. (szerk.): The Mobile Communications Handbook. A CRC Handbook Published in Cooperation with IEEE Press. 1998.
21. Simonyi K.: Villamosságtan II. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1957.
22. Dr. Lajtha György: Távközlő hálózatok elmélete és tervezése. Műszaki Könyvkiadó. Bp. 1971.
23. A Magyar Posta Átviteli Terve. (vezérigazgatói utasítás) 1982.
24. Dr. Papp S. – Dr. Réthy Gy. – Balogh T. – Bartucz J. – Horváth T.: ISDN műszaki ismeretek I. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatóság. Budapest. 1995.
25. Balogh Tamás: A digitális előfizetői vonalak evolúciója. Magyar Távközlés. IX. 4. 23-28. (1998 ápr.)
26. Dr. Házman István: Távközlő hálózatok felépítése. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatósága. Budapest, 1995.
27. Dr. Házman István (szerk.): Optikai távközlés. (főiskolai jegyzet) (megjelenés alatt)
28. Pap László: A hírközlő csatornák fizikai védelme, szórt spektrumú eljárások. Híradástechnika XLVI. Évfolyam. 3. 2-9. 1995 március.
29. Izsák Miklós (szerk.):
30. Dr. Házman István: A digitális átviteltechnika alapjai. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatósága. Budapest, 1995.
31. Víg Sándor (szerk.): SDH alapismeretek. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatóság. Budapest.
32. Flood, J. E.: Telecommunications Switching, Traffic and Networks. Prentice Hall. London. 1995
33. Atkins, J. – Norris, M.: Total Area Networking. John Wiley & Sons. Chichester, 1995.



34. Tanenbaum, A. S.: Számítógép hálózatok. (ford.) Novotrade Kiadó Kft. – Prentice Hall Int. Ltd. 1992.
35. Atkinson, J.: Telephony. Vol.2. Pitman, 1948.
36. Smith, S. F.: Telephony and Telegraphy. 2<sup>nd</sup> Ed. Oxford Press. 1974.
37. lásd dr. Bartolits István: A hírközlés története c. sorozatát a MODEM IDŐK II. évfolyam 2-3. számtól kezdődően.
38. Automatic Telephone Exchanges with Crossbar Switches: Outstanding Features. L. M. ERICSSON. Stockholm.
39. Redmill, F. J. – Valdar, A. R.: SPC digital telephone exchanges. IEE/Peter Peregrinus. London. 1990.
40. Flood, J. E.: Telecommunications Switching, Traffic and Networks. Prentice Hall. London. 1995.
41. Erlang, A. K.: Solution of some problems in the theory of probabilities of significance in automatic telephone exchanges. Post Off. Electr. Eng.J. 10. 189-197. (1918)
42. Flood, J. F.: Telecommunications Switching, Traffic and Networks. Prentice Hall. London. 1995.
43. Bear, D.: Principles of telecommunication-traffic engineering. Peter Peregrinus Ltd. Stevenage. 1976.
44. Távközlési hálózat tervezése. Közlekedési Dokumentációs Vállalat. Budapest, 1987.
45. Dr. Papp S. – Dr. Réthy Gy. – Balogh T. – Bartucz J. – Horváth T.: ISDN műszaki ismeretek I. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatóság. Budapest. 1995.
46. Atkins, J. – Norris, M.: Total Area Networking. John Wiley & Sons. Chichester, 1995.
47. Balogh T. – Bartucz J. – Horváth R. – Horváth T. – Nagygyörgy I. – Dr. Réthy Gy. – Tóth G.: ISDN műszaki ismeretek II. MATÁV Rt. Oktatási Igazgatóság. Budapest. 1995.
48. A protokollok leírását lásd: RFC791: Postel, J., Internet Protocol. 1981 szept., RFC793: Postel, J., Transmission Control Protocol – DARPA Internet Program Protocol Specification, STD 7, DARPA, 1981 szept., RFC1180: A TCP/IP Tutorial, 1991.
49. G. Held: Data communications networking devices. (4<sup>th</sup> Edition.) John Wiley & Sons. New York. 1999.



50. Implementing the Routing Switch. (White Paper.) Bay Networks. 1998.
51. W. Goralski: TCP/IP applications and protocols. Computer Techn. R. C. Charleston, N. C. 1995.
52. Cisco Advantage products enhance key dimensions of Intranet and Internet communications. PACKET Cisco Systems Users Magazine. 8. 3. 2-4. (Third Quarter 1996)
53. B. Furht (ed.): Handbook of Internet and multimedia systems and applications. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida. 1999.
54. Dr Házman István: Digitális központjaink jövője. 12. Távközlési és Informatikai Hálózatok Szeminárium és Kiállítás. Sopron. 2000.
55. Supporting the Information Society. EUROSCOM .1997.
56. J.D. Gibson: The mobile communications handbook. (2<sup>nd</sup> Edition). CRC Press. 1998.
57. A. Mehrotra: Cellular radio: analog and digital systems. Artech House, Inc. Norwood, MA. 1994.
58. G. Cayla: Towards the wireless local loop in rural areas. Philips Communications Systems.France.
59. M. Richharia: Satellite communication systems. (2<sup>nd</sup> Edition) MacMillan Press Ltd. London. 1998.
60. Miklós György: Nyílt verseny – Bluetooth és ad-hoc hálózatok. Ericsson Szakmai Nap. Budapest. 2000. április 26.
61. J. Atkins – M. Norris: Total area networking. John Wiley & Sons. New York. 1995.
62. The ATM Forum Technical Committee: Traffic Management Specification. 1996.
63. J. Amoss – D. Minoli: IP Applications with ATM. McGraw Hill Co. New-York, 1998.
64. Bronstejn, I. N. – Szemengyajev, K. A.: Matematikai zsebkönyv, 2. bővített kiadás. Műszaki könyvkiadó. Budapest. 1963.
65. Watkinson, J.: Compression in Audio and Video. Focal Press. Oxford. 1995.
66. Rényi Alfréd: Valószínűségszámítás, 4. kiadás. Tankönyvkiadó. Budapest. 1981.
67. Flood, J. E.: Telecommunications Switching, Traffic and Networks. Prentice Hall. London. 1995.



68. Flood, J. E.: Telecommunications Switching, Traffic and Networks. Prentice Hall. London. 1995.
69. Bear, D.: Principles of Telecommunication Traffic Engineering, 3<sup>rd</sup> edn. Peter Peregrinus. Stevenage. 1988.
70. Syski, R.: Introduction to Congestion Theory in Telephone Systems, 2<sup>nd</sup> edn, Oliver Boyd, Edinburgh. 1986.
71. Beckmann, P.: Introduction to Queuing Theory and Telephone Traffic. Golen Press, New York. 1968.







## TÁRGYMUTATÓ

## A

- A/ $\mu$  átkódolás 259
- ablak 146
- ad hoc 43
- adaptív kiegyenlítés 57
- adás 45
- adásfigyelő többszörös hozzáférés út-  
közés detekcióval 170
- adási sorszám 269
- adatátvitel 35
- adatcsatorna 247
- adatkapcsolati réteg 42
- adatkompresszió 100
- adattömörítés 106, 325
- adattömörítő eljárás 96
- adóteljesítmény 304
- adó-vevő 300
- A-karakterisztika 94
- aktív hub 284
- akusztikai csatolás 82
- alácímzés 262
- alaphelyzet 155
- alaphozzáférés 247
- alapsáv 154
- alapsávi adatátvitel 134
- alapszolgáltatás 29, 178
- alfabetikus 62
- aliasing 89
- alkalmazási réteg 43
- alközpont 241
- állandó bitsebesség 317
- állandó virtuális áramkör 166, 253
- állókép 109, 111, 112, 113
- ALOHA protokoll 170
- általános folyamatvezérlő 313
- alulcsordulás 98
- álvéletlen jelsorozat 58
- AMI kód 61
- analóg beszédátvitel 87
- ANSI 39
- antenna 137
- antenna nyereség 140
- áramkör 34
- áramkör azonosító 276
- áramkör azonosító kód 231
- áramkörkapcsolt 150
- áramkörmódú szolgálat 252
- árnyékolt sodrott érpár 115
- aszimmetrikus összeköttetés 150
- aszinkron kapcsoló 195
- aszinkron transzfer mód 200
- átadás (handover) 306
- átalánydíj 239
- átfedés 89
- áthallás 29, 120
- átkérés 178
- átlag 338
- átlagos forgalmas órai hívás 203
- átlagos információ átviteli sebesség  
319
- átlagos késleltetés 197
- átláthatóság 246
- átlátszó 283
- átlátszóság 60
- ATM adaptációs réteg 317
- átvezetés 116
- átviteli csatorna 48
- átviteli csatornához társított jelzés 229
- átviteli terv 217
- automatikus kiegyenlítés 56
- AWG 118



## B

bázis kapcsoló központ 300  
 bázisállomás 300  
 beérkező hívás 347  
 bejelentkezés 305  
 bekötő vezeték 218  
 belépési díj 239  
 bérelt vonal 243  
 beszéd 81  
 beszéd kódolás 93  
 betárcsázás 237  
 beválasztás 252  
 bináris 45  
 binomiális eloszlás 340  
 bipoláris 45  
 bitidő 157  
 bitkeverés 58  
 bittranszparencia 259  
 bizonylatolás 175  
 blokk 107  
 blokkolás 194  
 bontás 175  
 bőrrhatás 116  
 broadcast üzenet 282  
 busz 33  
 buszstruktúra 169

## C

cambridge gyűrű 281  
 CB 29  
 cella 150  
 cella-késleltetés ingadozás 319  
 cellás szervezés 168  
 ciklikus redundancia 73  
 cím 165, 294  
 címkereső protokoll 295  
 címmező 256  
 cluster 302  
 csatorna kapacitás 67

csatornához rendelt jelzés 225  
 csillag 33  
 csillapítás 116  
 csomag 150, 267  
 csomagkapcsolt 168  
 csomagkapcsolt átvitel 37  
 csomagkapcsolt nyilvános adathálózat  
 268, 270  
 csomagkezelő 278  
 csomagmódú hordozószolgálat 252  
 csomagok összeállítása 275  
 csoport 155  
 csoportsebesség 118  
 csoportválasztás 185  
 csúszóablak 270

## D

datagram 37, 166, 267, 311  
 D-csatorna hozzáférési eljárás 254  
 de facto 39  
 de jure 39  
 delta-modulátor 98  
 demultiplexálás 158  
 deszkremblerezés 59  
 differenciális fázisbillentyűzés 66  
 differenciális kódolás 111  
 differenciális PCM 97  
 digitális beszédátvitel 87  
 digitális előfizetői vonal 132  
 digitális modem 261  
 digitális moduláció 64, 136  
 digitális összeg 61  
 digitális szakasz 251  
 digitalizálás 35  
 díjazási információk közzlése 263  
 díjövezet 239  
 díjszabási terv 237  
 Dirac-delta 49  
 direkt kapcsolás 175



diszkrét Fourier-transzformáció 325,  
330  
diszkrét konvolúció 54  
diszkrét koszinusz transzformáció 107,  
333  
diszkrét spektrum 325  
domain 293  
domain-név 293

## E

egy kiszolgálós rendszer 213  
egyenértékcillapítás 122  
egymásrahatás 47  
egymást lekérdezés 169  
egymódusú szál 147  
együtműködő hálózatok 289  
éleslátás szöge 104  
elfedés 83  
elosztó kábel 218  
előfizető 32  
előfizető kódja 236  
előfizetői sebesség 276  
energia-spektrum 60  
entitás 259  
entrópia 325  
eredet-meghatározó kód 231  
Erlang első képlete 351  
Erlang második egyenlete 352  
érnégyes 119  
erősítő 27  
Ethernet 280  
Ethernet cím 282  
ETSI 39

## F

fa 33  
fading 140  
fájlvitel 297  
fax 36

fázisbillentyűzés 65  
fázisforgatás 116  
fázissebesség 117  
FDM átviteli rendszer 154, 227  
felajánlott forgalom 206  
felcsengetés 179  
felemelés 176  
felépítés 175  
felhasználó 32  
felhasználói datagram protokoll 293  
felhasználói rész 233  
felsőbb szint 44  
feltételes útválasztás 186  
feltételes valószínűség 337  
felügyelet 175, 179  
fenntartó központ 301  
fényemittáló dióda 143  
fényérzet 103  
fényintenzitás 102  
fényt érzékelő csapok és pálcikák 102  
fizikai réteg 41  
Fletcher-Munson görbék 82  
foglaltsági hang 240  
foglaltságvizsgálat 177  
folytonos spektrum 325  
folytonos valószínűségi eloszlás 342  
fonéma 78  
forgalmi csúcs 205  
forgalmi előjelzés 209  
forgalom 203, 347  
forgalom koncentráció 162  
forgalomirányítási táblázat 274  
forgalomszabályzás 270  
forráskódoló 96  
Fourier-integrál 327  
Fourier-transzformáció 48, 325  
fő mestercsoport 155  
főcsoport 155  
földi mobil hálózat 299  
fővonal 241  
frame 150



frekvencia-billentyűzés 65  
független valószínűségi változók 339

## G

garantált adatsebesség 276  
geostacionárius 308  
gördülő lekérdezés 169  
gyors Fourier-transzformáció 331  
gyűrűs 33  
gyűrűs-struktúra 169

## H

Hagelbarger kód 75  
hallás 78  
hálózat 272  
hálózati réteg 42  
Hamming-távolság 73  
hangintenzitás 79  
hangnyomás 79  
hangosságérzet 82  
hangossági mérték 86  
hangosságvizsgálat 84  
haránt áramkör 221  
három résztvevős hívás 263  
használat 259  
használó-hálózati interfész 254  
használói paraméterek ellenőrzése 317  
határfrekvencia 125  
hatékonyság 71  
HDB3 64  
HDLC 167  
HEC 313  
helyi áramkör 35  
helyi forgalom 34  
helyi hálózat 282  
helyi központ 34, 164  
helyi központ kódja 236  
helyi központközi áramkör 219  
helyi telepes 29

helyközi áramkör 35  
hibaarány 67  
hibakorrekció 70  
hibrid kódoló 96  
híd 286  
hierarchikus multiplikáció 157  
hitelkártyás hívás 263  
hívás 204  
hívásátadás 262  
hívásátirányítás 262  
híváseltérítés 262  
hívástartás 263  
hívásteljesítés 263  
hívásvárakoztatás 263  
hívó 150  
hívó vonal azonosítás tiltása 262  
hívó vonal azonosítása 262  
hívószám 234  
hívószám azonosító szolgáltatások 262  
hívott 150  
hosszúhullám 138  
hozzáférési hálózat 151, 280  
Huffman kód 77  
hullámforma kódoló 96  
hullámhossz-osztású multiplex 144  
hundred of call seconds 203  
huzalozott program vezérelt 188

## I

I keret 257, 270  
időosztásos multiplex 155  
időosztású kapcsoló 190  
időosztású többszörös hozzáférés 153  
időrés 156  
időrés-áttevő kapcsoló 191  
igen-nagy frekvencia 138  
illesztett lezárás 117  
impulzus 48  
impulzus kód moduláció 87  
információs társadalom 292



- integrált digitális hálózat 245  
 intelligens hálózat 263  
 intelligens periféria 265  
 intenzitás moduláció 60  
 internet 292  
 internet szolgáltató 295  
 intranet 325  
 IPv4 294  
 IPv6 294  
 irányítási táblázat 167, 314  
 ISDN 246  
 ISDN alközpont 251  
 ISDN szolgálat 252  
 ISI 47  
 ISO 39  
 ITU-R 39  
 ITU-T 39
- J**
- jel 149  
 jelátviteli csatorna 247  
 jelátviteli csatornával társított jelzés  
   231  
 jelcsatorna 246  
 jelismétlő 265  
 jelzés 149  
 jelzésátviteli pont 231  
 jelzés csatorna 246  
 jelzeshálózat 231  
 jelzésrendszer 223  
 jogosultság vizsgálat 240
- K**
- kábel 119  
 kanonikus 55  
 kapacitás 116  
 kapcsoló 162, 167  
 kapcsolt hálózatok 287  
 kapcsolt valószínűség 337  
 kapcsolt VC 166  
 kapcsolt vonal azonosítás tiltása 262  
 kapcsolt vonal azonosítása 262  
 karakterisztikus impedancia 80  
 kényszerkapcsolt üzem 224  
 képtelefon 260  
 kerékagy 284  
 keresés 181  
 kereső protokoll 297  
 kereszttrudas (crossbar) kapcsoló 188  
 keret 150, 249  
 keretellenőrző sorozat 257  
 keretmódú hordozószolgálat 252  
 kerettovábbítás 168, 243, 265  
 keskenysávú ISDN 246  
 késleltetés 197, 356  
 két hangos többfrekvencia 226  
 kiegészítő (komplementer) események  
   338  
 kiegyenlítő 53  
 kihelyezett fokozat 218  
 kis forgalmú forrás 205  
 kiskoax 131  
 kiszolgáló 210, 288  
 kizáró események 338  
 koaxiális kábel 115  
 kód egyenlőtlenség 61  
 kódolási nyereség 325  
 koherens vétel 145  
 kompandor 93  
 koncentrátor 163, 188  
 konferenciahívás 263  
 konvolúciós kód 75  
 könyvelő központ 301  
 körzet kódja 236  
 körzeti áramkör 35, 218  
 körzetszám 272  
 közbenső referencia rendszer 85  
 közelvégi áthallás 120  
 középhullámú 138  
 közös csatornás jelzés 179



közös csatornás jelzésátvitel 229  
 közös csatornás jelzésrendszer 225  
 központ 25  
 központi telep 29  
 közületi díjszabás 238  
 közvetlen beválasztás 262  
 kromatikus diszperzió 147  
 kvadratúra amplitúdó moduláció 68  
 kvantálás 90  
 kvantálási zaj 91  
 kvázi-társított 231

## L

lefedettség 301  
 légvezeték 115  
 lekérdezéses üzem 169  
 letett kézibeszélő 177  
 lézer dióda 143  
 lineáris torzítás 124  
 lineáris vonali kód 61  
 link kapcsolás 175  
 logatom 80  
 logikai csatorna azonosító 269

## M

MAC-cím 282  
 makroblokk 111  
 marker 187  
 Markov lánc 348  
 maszkolás 83  
 mátrix 173  
 mátrixkapcsoló 186  
 maximális integráció 278  
 megelégedettség 79, 174  
 megjelenítési réteg 42  
 mellékállomás 241  
 menedzselés 249  
 mestercsoport 155  
 minimálisan integrált 277

mintavételezés 88  
 MMS43 63, 248  
 mobil állomás 280  
 mobil kapcsoló központok 300  
 mobil terminált 300  
 modem 36, 65, 226  
 módus 146  
 mozgás-kompenzálás 111  
 mozgókép 104  
 MPEG-1 113  
 MPEG-2 113  
 MSzSz 39  
 multikeret 249  
 multimédia 113  
 -multimédiás alkalmazások 297  
 multimédiás terminál 280  
 multiplexálás 152  
 multiplikáció 158  
 műholdas hálózat 299  
 műsorszóró 136

## N

nagy területű hálózat 283  
 nagykoax 131  
 nagyvárosi hálózat 283  
 nBmT kód 62  
 negatív impedanciájú erősítő 126  
 négyzetes detektor 145  
 nem-alfabetikus 62  
 nemlineáris kód 62  
 nem-társított jelzés 231  
 nemzetközi kilépő pont 35, 223  
 nemzetközi prefix 236  
 név-szerver 294  
 normál eloszlás 344  
 nyílt hálózatok összekapcsolása 41  
 nyilvános földi mobil hálózat 300  
 nyilvános kapcsolt távbeszélő hálózat  
 217  
 nyitott hálózatok 292



nyugtázás 75, 225

## O

OC 161

off-hook 31, 177

on hook 31, 177

optikai átvitel 142

optikai kapcsoló 315

ország kódja 236

ortogonális 153

osztású többszörös hozzáférés 152

önhang 30

összekötő áramkör 175

összeköttetés 162

összeköttetés felépítési vezérlés 316

összeköttetés nélküli 166

összeköttetéses 167

összeköttetésmentes 253

## P

paritásbit 71

PCM átviteli rendszer 227

perzisztencia 103

pointer 160

Poisson-eloszlás 340

polaritás diszperzió 147

prediktív kódolás 96

primer PCM 156

primer sebességű hozzáférés 251

primitív 44

prioritáskezelés 263

proNET-10 281

protokoll 40

pszédoternáris 63

pupinozás 126

## R

rádiós helyi számítógép-hálózatok 310

radix 90

redundancia 71

redundáns bit 71

redundáns részlet 325

referencia hangosság szint 80

referenciamodell 258

regenerálás 128, 248

regiszter 181

regiszterközi jelzés 228

rekurzív kiegyenlítő 55

rendeltetési hely meghatározó kód 231

repeater 128

réselt ALOHA 170

réselt gyűrű 171

réteg 41

retina 104

rosszakaratú hívás azonosítása 262

rotary gép 185

router 36, 189

rövidhullám 138

RSxxx protokoll 279

## S

S interfész 253

S keret 271

S üzenet 257

sávon kívüli jelzés 225

SDH 160

sejtek 302

sín 33

skálázhatóság 323

sokmódusú szál 146

sonet 160

soros ellenállás 116

soros induktivitás 116

spektrum 46, 325, 327

stabil kiépítésű előfizetői egység 307

statisztikai egyensúly 347

statisztikai multiplexer 165

STM-1 161



- Strowger-kapcsoló 184  
struktúra 159  
sűrűségi függvény 342  
szállítási réteg 42  
számlázás 179  
szélessávú (B-)ISDN 321  
szemábra 51  
személyhívó (paging) 309  
személyi számítógép 36  
szénmikrofon 27  
szimbólum 64  
szimmetrikus érpár 29, 115  
szimmetrikus összeköttetés 150  
színi diszperzió 147  
szinkron multiplikáció 158  
szinkronizálás 156  
szín-különbségi jel 106  
szint 41  
színvisszaadás 105  
szkremblerezés 58  
szolgálat 40  
szolgáltatás 40  
szolgáltatás kidolgozó rendszer 265  
szolgáltatás minősége 197, 208  
szolgáltatás-elérési pont azonosító 256  
szolgáltatási osztályozás 178  
szolgáltatásmenedzselő rendszer 265  
szolgáltatású digitális hálózat 245  
szolgáltatásvezérlő pont 264  
szóródás 146  
szövevényes 33, 219
- T**
- tandem központ 34, 220  
táphíd 30  
tápterület 217  
tárcaimpulzus 225  
tároló 210  
tárolt program vezérelt 187  
tárolt program vezérlés 179  
társalgás 79  
távbeszélő 26  
távbeszélő hálózat 31  
távbeszélő készülék 27  
távhívás 178  
távíró 25  
távoli hozzáférés kiszolgáló 282  
távolsági hívás prefix 236  
távolvégi áthallás 120  
TCP/IP 293  
telex 40  
teljes hozzáférhetőség 350  
telnet 297  
terjedési együttható 116  
tércapcsoló 193  
térosztású központok 190  
térosztású többszörös hozzáférés 153  
tikkelés 177  
token gyűrű 171  
token-busz 171  
torlódás 163  
torlódásvezérlés 275  
több hierarchia síkú hálózat 34  
többállomásos csatlakozó egység 284  
többfokozatú kapcsolás 180  
többfrekvenciás jelzés 228  
többlet adatmennyiség 276  
többszegmensű hálózat 285  
többszörös előfizetői hívószám 262  
törzskábel 218  
transfer 311  
transzformáció 325  
transzhibrid csillapítás 127  
transzverzális kiegyenlítő 53  
tranzit központ 34, 164  
trellis kódolás 69  
trönk 178  
tűzfal 295



## U

U interfész 250  
 U keret 257, 271  
 újrakvantálás 110, 113  
 ultra-nagy frekvencia 138  
 unipoláris 45  
 útválasztó 36, 289  
 útvonalválasztás 272  
 üzemeltető központ 301  
 üzenetek 37  
 üzenetkapcsolt 150  
 üzenet-továbbító rész 233

## V

választás 181, 185  
 valószínűség 337  
 változó bitsebesség 318  
 változó indexű szál 147  
 vándorlás 306  
 várakozás 201, 354  
 várakozásos forgalombonyolítás 210  
 várakozásos rendszer 352  
 variancia 338  
 VCI 211  
 végberendezés azonosító 257  
 véletlenszerű hozzáférhetőség 169  
 vendég 306  
 veszteséges forgalombonyolítás 206  
 veszteséges rendszer 350  
 vétel 45  
 vételi sorszám 270  
 vezérlés 27, 259  
 videokonferencia 260  
 videotelefon 113  
 videotex 260  
 világosságjel 106  
 virtuális áramkör 166, 268  
 virtuális hívás 253  
 viszonyréteg 42

visszafordulási csillapítás 127  
 visszajelentés 224  
 visszhang 129, 140  
 visszhang elnyomó áramkör 248  
 visszhangtörléses hibrid 133  
 visszhangzár 130  
 Vocoder 96  
 vonalhozzáférési protokoll 271  
 vonali kód 60  
 vonalkeresés 262  
 vonalutánc 127  
 VPI 313

## W

wavelet transzformáció 334

## X

X.25 271  
 XBASE 280

## Z

zaj 124  
 zárt felhasználói csoport 263  
 zászló 165, 256  
 zavar 29  
 zene digitalizálása 100  
 zéró-kényszerítés 54  
 zöld szám 263  
 zsinóráramkör 176

$\mu$ -karakterisztika 93  
 2/4-huzalos átalakító 126  
 2B1Q 64, 248  
 4B3T 63  
 7-es jelzésrendszer 232



ISBN 963 86826 1 2



9 789638 682611