

## 2. A fizikai réteg

Ebben a fejezetben az 1.21. ábrán látható hierarchia legalsó rétegével foglalkozunk. Először az adatátvitel elméleti alapjait tárgyaljuk, csak hogy lássuk, milyen gátakat szabott a természet annak, hogy mennyi adatot lehet egy adatsatornán továbbítani.

Ezek után az átviteli közegekről lesz szó, ismertetjük a vezetékes (rész- és üvegszál-), illetve a vezeték nélküli közegeket. Ez az anyag rész betekintést nyújt a modern hálózatok átviteli technológiájába.

A fejezet hátralevő része olyan kommunikációs rendszereket mutat be, amelyek az ismertetett átviteli közegeket alkalmazzák. A távbeszélőrendszerrel kezdjük, ennek is három változatát mutatjuk majd be: a jelenlegi (részben) analóg rendszert, a közeljövő egyik lehetséges digitális rendszerét (a keskenysávú ISDN-t), végül pedig a távolabbi jövő bizonyosan digitális rendszerét, az ATM-et. A példák sorát két vezeték nélküli rendszer, a celluláris rádió és a távközlési műholdak bemutatásával zárjuk.

### 2.1. Az adatátvitel elméleti alapjai

Információt úgy lehet vezetéken továbbítani, hogy valamilyen fizikai jellemzőt, például feszültséget vagy áramerősséget megváltoztatunk rajta. Ha a feszültség vagy az áramerősség változását egy egyváltozós időfüggvénnyel,  $f(t)$ -vel írjuk le, akkor modellezni tudjuk a jelek viselkedését, és így lehetőség nyílik a jelek matematikai eszközökkel történő elemzésére. A következő bekezdésekben ezzel az elemzéssel foglalkozunk majd.

#### 2.1.1. Fourier-analízis

A 19. század elején Jean-Baptiste Fourier francia matematikus bebizonyította, hogy bármely  $T$  periódusidővel rendelkező, periodikus  $g(t)$  függvény előállítható szinuszos és koszinuszos tagok (általában végtelen) összegeként:

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft) \quad (2.1)$$

ahol  $f = 1/T$  az alaphérvencia,  $a_n$  és  $b_n$  pedig az  $n$ -edik **harmonikus** (tag) szinuszos, illetve koszinuszos amplitúdója. Ezt a felbontást **Fourier-sornak** nevezzük. A Fourier-sor alapján az eredeti függvény visszaállítható, azaz a  $T$  periódusidő és az amplitúdók ismeretében az eredeti időfüggvény meghatározható a (2.1) összeg alapján.

Egy időkorlátos adatjel (az összes valódi jel ilyen) tárgyalásakor azt feltételezzük, hogy a teljes jelalak örökké ismétlődik (azaz a  $T$  és  $2T$  közötti intervallumbeli viselkedés ugyanaz, mint a  $0$  és  $T$  közötti intervallumban).

Az  $a_n$  amplitúdót bármilyen  $g(t)$  függvényhez ki tudjuk számolni, ha a (2.1) egyenlet mindkét oldalát megszorozzuk  $\sin(2\pi kft)$ -vel, majd az így kapott kifejezést integráljuk  $0$  és  $T$  között. Mivel

$$\int_0^T \sin(2\pi kft) \sin(2\pi nft) dt = \begin{cases} 0 & \text{ha } k \neq n \\ T/2 & \text{ha } k = n \end{cases}$$

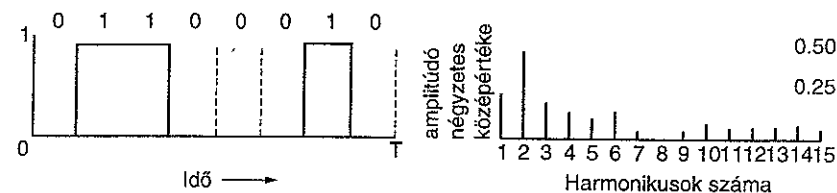
ezért az összegnek csak egyetlen tagja marad:  $a_n$ . A  $b_n$ -es kifejezések összege kiesik. Hasonlóan, ha a (2.1) egyenlet mindkét oldalát  $\cos(2\pi kft)$ -vel szorozzuk meg, majd  $0$  és  $T$  között integrálunk, akkor megkapjuk  $b_n$ -t. Ha viszont az egyenlet mindkét oldalát egyből integráljuk, akkor megkaphatjuk a  $c$ -t. Az előbb említett műveletek végrehajtása után a következőket kapjuk:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt \quad c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

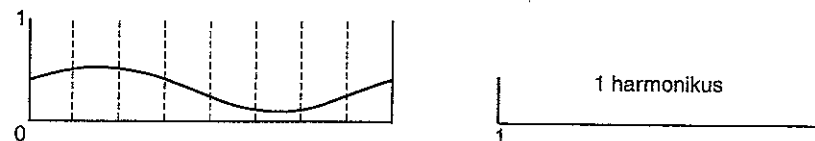
#### 2.1.2. Sávkorlátozott jelek

Azt, hogy az eddigiek mire használhatók az adatátvitel területén, azonnal megértjük a következő példán keresztül. Tegyük fel, hogy egy 8 bites bájtt formájában kódolt ASCII „b” karaktert akarunk elküldeni. A továbbítandó bitminta a 01100010. A 2.1.(a) ábra bal oldalán azt láthatjuk, hogy a számítógép kimenetén hogyan változik a feszültség értéke. A jel Fourier-sora az alábbi együtthatókat tartalmazza:

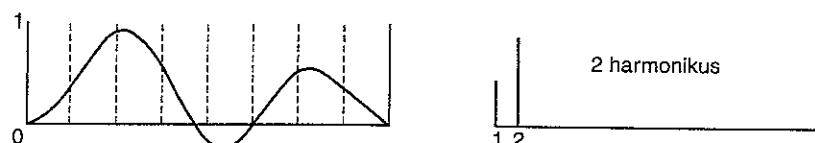
$$a_n = \frac{1}{\pi n} \left[ \cos\left(\pi \frac{n}{4}\right) - \cos\left(3\pi \frac{n}{4}\right) + \cos\left(6\pi \frac{n}{4}\right) - \cos\left(7\pi \frac{n}{4}\right) \right]$$



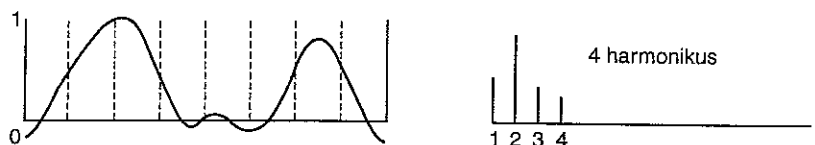
(a)



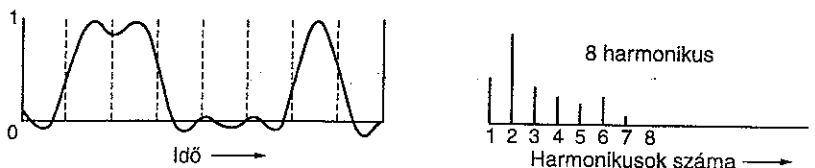
(b)



(c)



(d)



(e)

2.1. ábra. (a) Digitális jel és Fourier-együtthatóinak négyzetes középértéke. (b)–(e) Az eredeti jel sorozatos közelítése

$$b_n = \frac{1}{\pi n} \left[ \sin\left(3\pi \frac{n}{4}\right) - \sin\left(\pi \frac{n}{4}\right) + \sin\left(7\pi \frac{n}{4}\right) - \sin\left(6\pi \frac{n}{4}\right) \right]$$

$$c = \frac{3}{4}$$

A 2.1.(a) ábra jobb oldalán az első néhány harmonikus amplitúdójának négyzetes középértékét, azaz  $\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ -et láthatjuk. Ezek az értékek azért érdekesek, mert négyzetösszegük arányos az adott frekvencián továbbított energiával. Nincs olyan adatátviteli eszköz, amely a jeleket energiavesztés nélkül tudná továbbítani. Ha a Fourier-sor összes tagja azonos mértékben csillapodna, akkor az elküldött jelnek csak az amplitúdója csökkenne le, de a jelalak nem torzulna (tehát ugyanolyan szép négy-szögletű hullámalak lenne, mint amelyet a 2.1.(a) ábrán láthatunk). Sajnos a valós átviteli közegek a Fourier-sor egyes tagjait különböző mértékben csillapítják, így a jelalak mindig torzul. Általában 0 és egy bizonyos  $f_c$  frekvencia között a komponensek lényegében csillapítás nélkül terjednek, míg felett az  $f_c$  vágási frekvencia felett a komponensek erősen csillapodnak. [A frekvencia mértékegysége egyébként rezgés/másodperc vagy Hertz (Hz)]. Bizonyos esetekben az átviteli közeg fizikai jellemzői, más esetekben viszont az áramkörökbe szándékosan beépített szűrők korlátozzák az egyes felhasználók számára rendelkezésre álló (sokszor túl keskeny) sávzélesség nagyságát.

Most vizsgáljuk meg, hogy hogyan nézne ki a 2.1.(a) ábrán látható jelalak, ha a sávzélesség olyan kicsi lenne, hogy csak a legalacsonyabb frekvenciákat lehetne továbbítani (vagyis a jelalak időfüggvényét a (2.1) összeg első néhány tagjával közelítenénk). A 2.1.(b) ábrán az a jelalak látható, amelyet akkor kapnánk, ha a csatorna csak az első harmonikust (az alapharmonikust) továbbítaná. A 2.1.(c)–(e) ábrákon a továbbított jel spektruma és visszaállítás utáni jelalakja látható a nagyobb sávzélességű csatornák esetén.

Egy karakter  $T$  átviteli ideje függ a kódolás módjától és a **jelzési sebességtől (signaling rate)**. A jelzési sebesség a másodpercenkénti jelváltások (pl. feszültség-szint-változások) száma. A jelzési sebesség mértékegysége a **baud**. Egy  $b$  baud-os vonal nem biztos, hogy  $b$  bitet visz át másodpercenként, ugyanis egy jelváltás akár több bitet is jelenthet. Ha a 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 és 7 feszültség-szinteket használnánk, akkor minden jelváltással 3 bitet tudnánk átvinni, tehát a bitsebesség háromszorosa lenne a jelzési sebességnek. A fenti példában csak 0-t és 1-et használtunk jelszintként, így a bitsebesség megegyezik a jelzési sebességgel.

Ha a bitsebesség  $b$  b/s lenne, akkor mondjuk 8 bit elküldése  $8/b$  másodpercig tartana, tehát az alapharmonikus frekvenciája  $b/8$  Hz lenne. A hagyományos telefonvonalat, amelyet gyakran **hangminőségű vonalnak (voice-grade line)** is hívnak, szándékosan úgy alakították ki, hogy 3000 Hz körül legyen a vágási frekvenciája. Ez a korlátozás azt jelenti, hogy a legmagasabb áteresztett felharmonikus frekvenciája durván  $3000/(b/8)$  Hz-es, azaz  $24\,000/b$  Hz-es, tehát a levágás nem túl éles.

A 2.2. ábrán az áteresztett harmonikusok számát adtuk meg egy táblázatban különböző adatsebességek esetén. Ezekből a számokból kiderül, hogyha egy 9600 b/s-os te-

b/s	T (ms)	Alapharmonikus (Hz)	Elküldött harmonikusok száma
300	26,67	37,5	80
600	13,33	75	40
1 200	6,67	150	20
2 400	3,33	300	10
4 800	1,67	600	5
9 600	0,83	1200	2
19 200	0,42	2400	1
38 400	0,21	4800	0

2.2. ábra. Az adatátviteli sebesség és a harmonikusok közötti kapcsolat

lefonvonalon akarunk adatokat továbbítani, akkor a 2.1.(a) ábrán látható jelekből a 2.1.(c) ábrán látható jelek lesznek. Ez viszont az eredeti bináris jelek pontos vételét igen megnehezíti. Nyilvánvaló, hogy 38,4 kb/s-nál jóval magasabb adatátviteli sebesség esetén semmi esélyünk nincs arra, hogy *digitális* jeleket továbbítsunk, még akkor sem, hogyha az átviteli eszköz teljesen zajmentes. Magyarán a sávszélesség korlátozása korlátozza az adatátviteli sebességet is, és ez még zajmentes csatorna esetén is igaz. Persze vannak olyan ügyes kódolási eljárások, amelyek több különböző feszültség-szintet használnak, és jóval nagyobb adatátviteli sebességet lehet velük elérni. Ezekről az eljárásokról később még lesz szó ebben a fejezetben.

### 2.1.3. A csatorna maximális adatátviteli sebessége

H. Nyquist már 1924-ben rájött az említett sávkorlát létezésére, és felállított egy képletet a véges sávszélességű, zajmentes csatornán másodpercenként átvihető maximális adatmennyiség kiszámítására. Aztán 1948-ban Claude Shannon kiterjesztette Nyquist elméletét a véletlenszerű (azaz termodinamikus) zajjal terhelt csatornákra (Shannon, 1948). A következőkben ezeket a már klasszikusnak számító eredményeket foglaljuk össze röviden.

Nyquist bebizonyította, hogy ha egy tetszőleges jelet egy  $H$  sávszélességű aluláteresztő szűrőn bocsátunk át, akkor a szűrt jelből másodpercenként vett (pontosan)  $2H$  minta alapján az eredeti jel helyreállítható. Másodpercenként  $2H$  mintánál többet nem érdemes venni a jelből, mivel a szűrő kiszűrné azokat a magasabb frekvenciájú komponenseket, amelyeket a mintavételezéssel helyre tudnánk állítani. Ha a jelnek  $V$  különböző diszkrét szintje van, akkor a Nyquist-tétel a következőt mondja ki:

$$\text{maximális adatsebesség} = 2H \log_2 V \quad [\text{b/s}]$$

Például egy zajmentes, 3 kHz sávszélességű csatornán bináris (azaz kétszintű) jelek továbbítása esetén nem lehet 6000 b/s-nál nagyobb adatsebességet elérni.

Eddig csak a zajmentes csatornákkal foglalkoztunk. Ha a csatorna véletlenszerű zajjal terhelt, akkor a helyzet sokkal rosszabb. A csatorna zajának mértékét a jel és a zaj teljesítményének arányával, vagy más szóval a **jel-zaj viszony** (signal-to-noise ratio) jellemezhetjük. Ha a jel teljesítményét  $S$ -sel, a zaj teljesítményét pedig  $N$ -nel jelöljük, akkor a jel-zaj viszony  $S/N$ . Általában nem a teljesítmények hányadosát szokták megadni, hanem a  $10 \log_{10} S/N$  értéket, aminek a mértékegysége a **decibel** (dB). Ha az  $S/N$  hányados 10, akkor az 10 dB-t jelent, ha a hányados 100, akkor az 20 dB, ha a hányados 1000, akkor az 30 dB stb. A sztereó erősítők gyártói általában két 3 dB-es frekvenciapont megadásával jelölik meg azt a sávszélességet (frekvenciatartományt), amelyben a készülékük lineárisan működik. Ezek ugyanis azok a pontok, amelyeknél az erősítési tényező nagyjából a felére csökken.

Shannon legjelentősebb eredménye az az összefüggés, amelyben a maximális adatátviteli sebességet egy olyan zajos csatornára adja meg, amelynek sávszélessége  $H$ , jel-zaj viszonya pedig  $S/N$ :

$$\text{maximális adatsebesség} = H \log_2 (1 + S/N) \quad [\text{b/s}]$$

Például egy 3000 Hz sávszélességű csatornán 30 dB jel-zaj viszony esetén (ami a távbeszélőrendszerek analóg részében egy tipikus érték) az adatátviteli sebesség sosem lehet több, mint 30 000 b/s. Itt most nem számít sem az, hogy a jelnek hány szintje van, sem az, hogy milyen gyakorisággal veszünk mintát belőle. Shannon képlete információelméleti megfontolásokon alapul, és minden olyan csatornára érvényes, amelyben Gauss-zaj (termikus zaj) van jelen. Az ellenpéldák ugyanabba a kategóriába esnek, mint az örökmozgók. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a fenti képlet az adatátviteli sebességnek csak felső korlátot szab. Ezt a felső korlátot a valóságos rendszerek csak nagyon ritkán érik el.

## 2.2. Az átviteli közeg

Mindegyik közegnek megvan a maga sajátossága a sávszélességet, a késleltetést, az árát, a kiépítés nehézségeit és az üzemeltetést illetően. Az átviteli közegeknek két nagy csoportja van: az egyik a vezetékes közegek csoportja (idetartozik a rézvezeték és az optikai kábel), a másik pedig a vezeték nélküli közegek csoportja (ilyen a levegőben terjedő rádióhullám és a lézersugár). Ebben és a következő alfejezetben ezekről a közegekről lesz szó.

### 2.2.1. Mágneses hordozó

Két számítógép között az adatátvitel legelterjedtebb módja az, amikor az adatokat az egyik gépen mágnesszalagra vagy mágneslemezre írjuk fel, és a szalagot vagy a lemezt fizikailag átvisszük a másik gépre, ahol újból beolvassuk azt. Bár ez a módszer nem olyan elmés, mint egy geostacionárius pályára állított műhold, mégis legtöbbször

igen gazdaságos, különösen az olyan alkalmazásoknál, amelyeknél a nagy sávszélesség vagy a bitenkénti átviteli költség lényeges szempont.

A következő egyszerű számítási példa jól szemlélteti a problémát. Egy szabványos 8 mm-es videokazetta (pl. az Exabyte) 7 GB tárolására alkalmas. Egy  $50 \times 50 \times 50$  cm-es ládába kb. 1000 ilyen kazettát tehetünk, így a ládakapacitás kb. 7000 gigabájt lesz. A Federal Express vagy más cég bármilyen dobozt 24 órán belül elszállít az Egyesült Államok bármely pontjára. Ennek az adatátvitelnek az effektív sávszélessége 56 000 Gb/86 400 s, azaz 648 Gb/s, ami 1000-szer nagyobb, mint az ATM nagy sebességű (622 Mb/s-os) változatának az átviteli sebessége. Ha a célállomás csak egyórányi távolságra van, akkor ez a sávszélesség 24-szeresére, azaz 15 Gb/s-ra nő.

Egy olyan bank esetében, amely naponta több gigabájtnyi adatot ment el egy tartalék számítógépre (így a bank még árvíz vagy földrengés esetén is tud dolgozni), aligha van más adatátviteli technológia, amely egyáltalán megközelítené a mágnesszalagok teljesítményét.

Ha a költségeket nézzük, akkor hasonló a helyzet. Ezer darab videokazetta ára mondjuk 5000 dollár, ha nagy tételben vesszük. Mivel egy ilyen videokazetta legalább tízszer felhasználható, a kazetták ára 500 dollárra tehető. Adjunk ehhez hozzá még kb. 200 dollár szállítási költséget. Így durván 700 dollárt kapunk, amiből 7000 gigabájtot szállítottunk el. Ez gigabájtanként 10 centnek felel meg. Ezzel az árral egyetlen hálózati szolgáltató sem tudna versenyezni. A történet tanulsága tehát a következő:

*Sose becsüljük le egy autópályán száguldó, kazettákkal megrakott furgon sávszélességét!*

## 2.2.2. Csavart érpár

Bár sávszélesség szempontjából a mágnesszalag kiváló, sajnos igen jelentős késleltetéssel rendelkeznek. Az adatátviteli időt percekben vagy órákban lehet mérni, nem pedig milliszekundumokban. A legtöbb alkalmazás esetén *on-line* összeköttetésre van szükség. A legrégebbi, de még ma is a legelterjedtebb átviteli közeg a **csavart érpár** (*twisted pair*). A csavart érpár két szigetelt rézhuzalból áll, melyek tipikusan 1 mm vastagságúak. A rézhuzalok a DNS-hez hasonlóan spirálszerűen egymás köré vannak tekerve. A két eret azért sodorják össze, hogy csökkentsék a kettő közötti elektromágneses kölcsönhatást. (Ugyanis két párhuzamos huzal antennaként működik, szemben a csavart érpárral.)

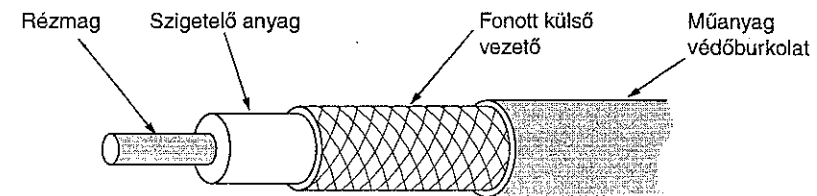
A csavart érpárt leggyakrabban a távbeszélőrendszerekben használják. Szinte majdnem minden telefonkészüléket csavart érpár köt össze a telefonközponttal. A csavart érpárt akár több kilométeres szakaszon is erősítés nélkül lehet használni, de nagyobb távolságok esetén már szükség van erősítőkre. Amikor hosszabb távolságon keresztül több csavart érpár fut egymás mellett (például amikor egy épületből az összes vezeték a telefonközpontba megy), akkor a csavart érpárokat egy kötegebe fogják, és ezt a köteget mechanikai védelemmel látják el. Ha az érpárok nem lennének csavarva, akkor a kötegen belül biztosan zavarnák egymás forgalmát. A világ azon részein, ahol a telefonvonalakat telefonpóznákon vezetik, még ma is gyakran láthatunk ilyen több centiméter átmérőjű érpárkötegeket.

A csavart érpár alkalmas mind analóg, mind digitális jelátvitelre. A vezetékek sávszélessége a vastagsától és az áthidalt távolságtól függ, de sok esetben néhány Mb/s sebességet is el lehet velük érni pár kilométeres távolságon belül. Megfelelő teljesítményüknek és alacsony áruknak köszönhetően a csavart érpárokat széles körben használják, és ez várhatóan így marad még jó néhány évig.

A csavart érpárnak számos változata van, de a számítógép-hálózatok szempontjából ezek közül csak kettőnek van jelentősége. A **3-as kategóriájú** csavart érpár két finoman egymás köré tekert, szigetelt vezetékből áll. Általában négy ilyen érpárt fognak össze egy műanyag köpennyel, ami védi, és egyben tartja a nyolc vezetékét. 1988 előtt a legtöbb irodaházban minden emeleten volt egy 3-as kategóriájú kábel, amely egy központi elosztódobozból kiindulva az összes irodahelyiségbe vezetett. Ez lehetővé tette, hogy minden hivatalban négy rendes telefon vagy két többvonalas telefon működhesen. 1988 után a fejlettebb, **5-ös kategóriájú** csavart érpárt kezdték el használni. Ez lényegében megegyezett a 3-as kategóriájú vezetékkel, a különbség csak annyi volt, hogy egységnyi hosszban többet csavarodott, és teflonos szigeteléssel látták el. Ez a megoldás a vezetékek között kisebb áthallást, és nagyobb távolság esetén is jobb minőségű jelátvitelt eredményezett. Ennek köszönhetően ezek sokkal jobban megfeleltek a nagy sebességű számítógépes adatátvitel követelményeinek. Ezt a két kábelfajtát gyakran **árnyékolatlan csavart érpárnak (Unshielded Twisted Pair, UTP)** is hívják, így különböztetve meg az IBM által a 80-as évek elején kifejlesztett vastag és drága árnyékolt csavart érpártól, ami az IBM hálózatain kívül nemigen terjedt el.

## 2.2.3. Alapsávi koaxiális kábel

Egy másik, széles körben használt átviteli közeg a **koaxiális kábel (coaxial cable)**, amit a kedvelői egyszerűen csak „koax”-nak hívnak. Mivel ez jobb árnyékolással rendelkezik, mint a csavart érpár, ezért nagyobb sebességgel nagyobb távolságot lehet vele áthidalni. Kétfajta koaxiális kábel létezik. Az egyik az 50  $\Omega$ -os kábel, amelyet elsősorban digitális átvitelhez használnak. Ebben a bekezdésben erről lesz szó. A másik a 75  $\Omega$ -os kábel, amelyet viszont elsősorban analóg átvitel esetén használnak. Erről a kábelfajtáról a következő bekezdésben szólnunk majd. A kettő közötti eltérésnek inkább történelmi, semmint műszaki okai vannak. (Például a korai dipól antennáknak 300  $\Omega$ -os impedanciájuk volt, és könnyű volt hozzájuk 4:1 arányú impedanciaillesztő transzformátort építeni.)



2.3. ábra. Koaxiális kábel

A koaxiális kábel közepén tömör rézhuzalmag van, amelyet szigetelő vesz körül. A szigetelő körül sűrű szövésű hálóból álló vezető található. A külső vezetőt mechanikai védelmet is biztosító műanyag burkolattal vonják be. A koaxiális kábel szerkezetét a 2.3. ábrán láthatjuk.

A koaxiális kábel szerkezetének és árnyékolásának köszönhetően kifejezetten alkalmas nagy sávszélességű jelek továbbítására, miközben a zajérzékenysége igen csekély. Az elérhető sávszélesség a kábel hosszától függ. Egy 1 km-es kábellel akár 1–2 Gb/s-os átviteli sebességet is elérhetünk. Hosszabb kábeleket is használhatunk ugyan, de ilyenkor vagy lecsökken az átviteli sebesség, vagy rendszeresen fel kell erősíteni a jelet. A koaxiális kábeleket széles körben alkalmazzák a telefonhálózatoknál, bár az utóbbi időben a nagy távolságú átviteli rendszerekben egyre inkább optikai kábelekre cserélik le azokat. Csak az Egyesült Államokban naponta 1000 km optikai kábelt fektetnek le (amennyiben egy 100 km-es szakaszon 10-es kötegekben lefektetett kábelt 1000 km-nek vesszük). A Sprint nevű cégnek már csak optikai kábelelei vannak, de a többi nagy szolgáltató is gyorsan közelít ehhez az állapothoz. Ugyanakkor a koaxiális kábel még mindig nagyon elterjedt a kábeltelevíziózásnál és néhány lokális hálózatnál.

#### 2.2.4. Szélessávú koaxiális kábel

A másikkfajta koaxiális kábeles rendszer analóg átvitelt valósít meg a szabványos kábeltelevíziós kábelezésben. Ezt a kábelt **szélessávú (broadband) koaxiális kábelnek** nevezzük. Bár a „szélessávú” kifejezés a telefonos világból származik, ahol a 4 kHz-nél szélesebb sávokat már szélessávnak nevezik, azonban a számítógép-hálózatok világában ez azokra a vezetékes hálózatokra vonatkozik, amelyekben analóg módon történik az adatátvitel (Cooper, 1986).

Mivel a szélessávú hálózatok a szabványos kábeltelevíziós technikát használják, így a kábelek 300 MHz (sőt, gyakran 450 MHz) sávszélességet biztosítanak, és az analóg átvitelnek köszönhetően közel 100 km-es távolság áthidalására képesek, ugyanis az analóg jelátvitel sokkal kevésbé kritikus, mint a digitális. Ahhoz, hogy egy analóg hálózaton digitális adatokat továbbíthassunk, valamennyi hálózati interfésznek olyan elektronikával kell rendelkeznie, amely a kimenő bitfolyamot analóg jelekké, a beérkező analóg jeleket pedig bitfolyammá alakítja át. Az elektronikus áramkörök típusától függően 1 b/s adatsebesség durván 1 Hz sávszélességet igényel. Fejlettebb modulációs eljárásokkal magasabb frekvencián több bit is átvihető másodpercenként.

A szélessávú rendszereket általában több csatormára osztják fel. A televíziós műsorszórásban rendszerint 6 MHz-es csatornákat használnak. Minden egyes csatormát a többtől függetlenül lehet használni analóg televíziós jelek, CD-minőségű hangok (1,4 Mb/s) vagy mondjuk 3 Mb/s-os sebességgel digitális adatok átvitelére. A televíziós jeleket és az adatokat ugyanazon a kábelen egyszerre is lehet továbbítani.

Az alapsávú és a szélessávú rendszerek között az a leglényegesebb különbség, hogy a szélessávú rendszerek általában nagy területet fednek le, ezért szükség van a jelek rendszeres analóg erősítésére. Ezek az erősítők a jeleket csak egy irányba tudják továbbítani, így a számítógép nem tudja elküldeni a csomagjait egy „fölötte” levő másik gépnek, amennyiben a két számítógép között csak egy erősítő van. Ennek a prob-

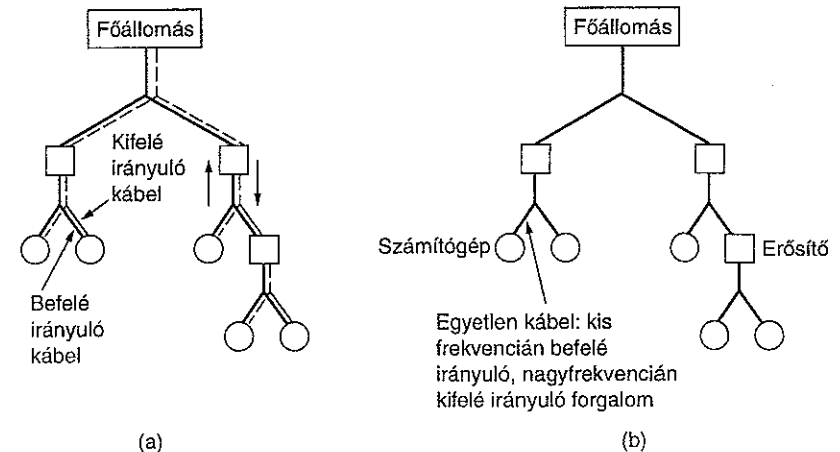
lémának a megoldására két különböző szélessávú rendszert fejlesztettek ki: a kétkábeles és az egykábeles rendszert.

A kétkábeles rendszerben két azonos kábel fut párhuzamosan egymás mellett. Adatok küldésekor a számítógép az 1-es kábelre teszi ki az adatokat, amelyek a fa topológiájú kábelezés gyökerénél található **főállomáshoz (head-end)** jutnak el. Ezt követően a főállomás a jeleket a 2-es kábelen lefelé továbbítja a fában. Minden számítógép az 1-es kábelen küldi, és a 2-es kábelen veszi az adatokat. A kétkábeles rendszer a 2.4.(a) ábrán látható.

Az egykábeles rendszerben egyetlen kábelen különböző frekvenciasávokban történik az adatok elküldése, illetve vétele (lásd 2.4.(b) ábra). A számítógépek az alacsonyabb frekvenciájú sávban küldik el üzeneteiket a főállomáshoz, amely áthelyezi a jeleket a magasabb frekvenciasávba, majd adatszórással újraadja azokat. **Alsómetszésű (subsplit) rendszerekben** az adás az 5 és 30 MHz közötti frekvenciasávban történik, míg a vétel a 40 és 300 MHz közötti frekvenciasávban.

A **középmetszésű (midsplit) rendszerekben** az adósávok 5 és 116 MHz között vannak, míg a vevősávok 168 és 300 MHz között. Ezek a frekvenciasávok történelmi okokból alakultak így ki, ugyanis a szélessávú rendszereket a televíziós műsorszórás-hoz fejlesztették ki, és az Egyesült Államok Szövetségi Kommunikációs Bizottsága (U.S. Federal Communications Commission) ezeket a frekvenciatartományokat osztotta ki. Minkét rendszer esetén szükség van egy aktív főállomásra, amely az egyik vezetéken fogadja a bejövő jeleket, a másikon pedig adatszórással szétküldi azokat. Ezeket a technikákat és frekvenciasávokat a kábeltelevíziózás számára fejlesztették ki, és a számítógép-hálózatok változtatás nélkül átvették, tekintettel arra, hogy a megbízható és viszonylag nem túl drága hardver már rendelkezésre állt.

A szélessávú rendszereket sokféle módon lehet felhasználni. Bizonyos számítógép párok egy állandó csatornát kaphatnak kizárólagos használatra. Más számítógépek a vezérlő csatormán kérhetnek maguknak egy olyan csatornát, amelyen ideiglenes össze-



2.4. ábra. Szélessávú hálózatok. (a) Kétkábeles. (b) Egykábeles

köttetést létesíthetnek egy másik géppel. Miután megkapták a csatornát, az összeköttetés ideje alatt annak a frekvenciáját használják. Van olyan rendszer is, amelyben a számítógépek egy vagy több csatornához való hozzáférésért versenyeznek. Ezekről a rendszerekről a 4. fejezetben lesz szó.

Műszaki szempontból a szélessávú koaxiális kábel kevésbé alkalmas digitális adatok továbbítására, mint az alapsávi (tehát egycsatornás) kábel, viszont nagy előnye, hogy már igen nagy mennyiségben telepítettek ilyeneket. Például Hollandiában a háztartások 90 százalékában van kábeltévé-csatlakozó. Az Egyesült Államokban is a háztartások több mint 80 százalékában található ilyen, és ezeknek kb. 60 százalékát valóban használják. A telefonszolgálatok és a kábeltévézés szolgáltató cégek közötti verseny egyre élesebb, és várhatóan egyre több kábeltévézési hálózat kezd majd el nagy kiterjedésű hálózatként üzemelni. Ez azt jelenti, hogy számos más szolgáltatás mellett telefonálni is lehet majd ezeken a hálózatokon. A kábeltévézési hálózatok számítógép-hálózatként történő alkalmazásáról (Karshmer és Thomas, 1992) művében olvashatunk bővebben.

### 2.2.5. Fényvezető szálak

A számítógép-iparban sokan rendkívül büszkék arra, hogy milyen gyorsan fejlődik a számítástechnika. A 70-es években egy gyors számítógép (pl. a CDC 6600) 100 ns alatt tudott végrehajtani egy utasítást. Húsz évvel később egy gyors Cray számítógép már 1 ns alatt képes volt egy utasítás végrehajtására, tehát évtizedenként 10-szeres a gyorsulás. Nem is olyan rossz.

Ugyanebben az időszakban az adatátvitel sebessége 56 kb/s-ról (ARPANET) 1 Gb/s-ra (mai optikai adatátvitel) ugrott, ami évtizedenként 100-szoros gyorsulásnak felel meg. Ugyanakkor a hibaarány  $10^{-5}$ -ről gyakorlatilag nullára csökkent.

Mindezeket túl a CPU-k kezdik elérni teljesítményük fizikai határait, legalábbis ami a fénysebességet és a disszipáció problémáját illeti. A jelenlegi fényvezető szálak technológiával elérhető sávszélesség viszont már több mint 50 000 Gb/s (50 Tb/s), és sokan még ennél is jobb anyagok után kutatnak. A gyakorlatban a jelenleg elérhető legnagyobb jelzési sebesség 1 Gb/s körül van. Ennek az az oka, hogy az elektromos jelek optikai jelekké történő átalakítását egyelőre nem tudjuk gyorsabbá tenni. Laboratóriumi körülmények között rövid távolságon belül már a 100 Gb/s-os sebességet is elérték. Az 1 Tb/s-os sebesség pedig csak évek kérdése. Teljesen optikai rendszerek – beleértve a fény bejutását a számítógépbe, illetve kijutását onnan – fejlesztésén is már dolgoznak (Miki, 1994a).

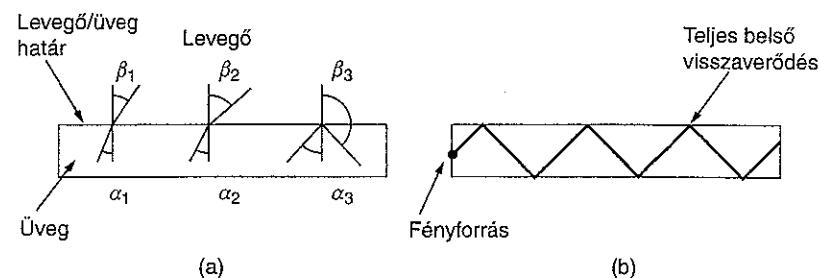
A számítástechnika és a kommunikáció versenyét a kommunikáció nyerte. Egy lényegében végtelen sávszélességű vezeték létrehozását (persze nem nulla költség mellett) még mindig lehetetlennek tartják azok a számítástechnikai szakemberek, akik a rézvezeték sávszélességét korlátozó Nyquist- és Shannon-tétel szellemében nevelkedtek. Az új konvencionális bölcsesség az kell legyen, hogy az összes számítógép reménytelenül lassú, ezért a hálózatoknak mindenáron el kell kerülniük a rajtuk végzett számítást, és ilyenkor még az így elpazarolt sávszélesség sem számít. Ebben a bekezdésben arról lesz szó, hogy a fényvezető szálakon történő adatátvitel hogyan működik.

A fényvezető szálak adatátviteli rendszernek három fő komponense van: a fényforrás, az átviteli közeg és a fényérzékelő (detektor). A fényimpulzus megléte szokás szerint a logikai 1 bitet jelenti, míg az impulzus hiánya a logikai 0 bitet. Az átviteli közeg egy rendkívül vékony üvegszál. Ha a detektorba fény jut, akkor a detektor villamos jelet állít elő. Ha az üvegszál egyik végére fényforrást, a másik végére pedig detektort teszünk, akkor egy olyan egyirányú adatátviteli rendszert kapunk, amely villamos jeleket fogad, átalakítja azokat fényimpulzusokká, továbbítja a fényimpulzusokat, majd a kábel másik végén a fényimpulzusokat visszaalakítja villamos jelekké.

Az ilyen adatátviteli rendszerek a fény elszivárgása miatt csak a fizikusok számára jelentenek érdekességet, a gyakorlati életben azonban használhatatlanok. Amikor a fény egyik közegből átlép egy másik közegbe, mondjuk üvegből a levegőbe, akkor az üveg és a levegő találkozásánál a fény megtörik, ahogy ez a 2.5.(a) ábrán is látható. Az ábra egy olyan fénysugarat mutat, amely  $\alpha_1$  szögben érkezik meg a határfelülethez, és  $\beta_1$  szögben halad tovább. A visszaverődés mértéke függ a két közeg fizikai jellemzőitől (elsősorban azok törésmutatójától). Ha a beesési szög nagyobb egy bizonyos határértéknél, akkor a fény nem lép ki a levegőre, hanem visszaverődik az üvegből. Így ha a fénysugár beesési szöge egyenlő a *határszöggel* vagy nagyobb annál, akkor a fénysugár az üvegszálon belül marad, ahogy ezt a 2.5.(b) ábra is szemlélteti, és akár több kilométert is megtehet gyakorlatilag veszteség nélkül.

A 2.5.(b) ábrán csak egyetlen fénysugár látható, de mivel a határszöggel azonos vagy annál nagyobb szögben beeső sugarak mind az üvegszálon belül maradnak, ezért egyszerre sok, különböző szögben visszaverődő fénysugár halad az üvegszálon. Minden egyes sugárnak más és más az ún. *módusa*, ezért az ilyen üvegszálat **többszámú szálnak** nevezik.

Ha viszont az üvegszál átmérőjét néhány fényhullámhossznyira lecsökkentjük, akkor az üvegszál hullámvezetőként viselkedik, és a fény visszaverődés nélkül, egyenes vonal mentén terjed a vezetékben. Az ilyen üvegszálat **egymódusú szálnak** nevezik. Az egymódusú szálak jóval drágábbak, viszont nagyobb távolságok áthidalására használhatók. A jelenleg kapható egymódusú üvegszálak másodpercenként néhány gigabitet képesek 30 km-re továbbítani. Laboratóriumi körülmények között még ennél is na-



2.5. ábra. (a) Egy üvegszál belsejében a fénysugár három különböző szögben érkezik az üveg és a levegő határához. (b) A teljes belső visszaverődés miatt a fénysugár az üvegszálon belül marad

gyobb sebességeket értek el rövidebb távolságok esetén. Tapasztalat szerint a nagyobb teljesítményű lézerek erősítés nélküli akár 100 km-re is képesek adatot továbbítani, igaz, kisebb sebességgel. Az erbiumpulapú optikai szálak várhatóan még az eddigieknél is nagyobb távolságot hidalnak majd át erősítés nélkül.

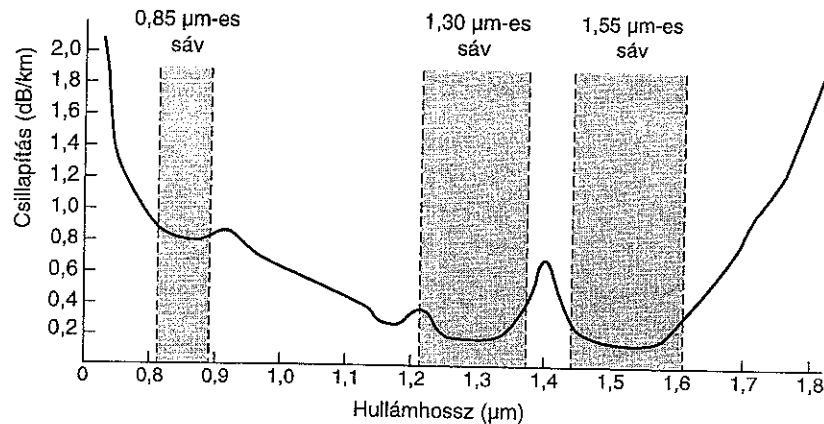
### Fény továbbítása fényvezető szálon

A fényvezető szál üvegből készül, az üveg pedig homokból. A homok olcsó és a természetben korlátlan mennyiségben fellelhető anyag. Az üveggyártást már az egyiptomiak is ismerték, bár ők még nem tudtak 1 mm-nél vékonyabb átlátszó üveget készíteni. Az ablaknak is alkalmas, átlátszó üveget a reneszánsz korban fejlesztették ki. A mai fényvezető szálakban az üveg annyira átlátszó, hogy ha az óceánt víz helyett ezzel az üveggel töltenék meg, akkor a tenger fenekét olyan tisztán lehetne látni, mint ahogy tiszta időben a földfelszínt egy repülőgép fedélzetéről.

A fényerősség csökkenését az üvegben a fény hullámhossza határozza meg. Az optikai kábelnek használt üvegben a csillapítás a 2.6. ábrán látható módon alakul. A csillapítást decibelben, míg a távolságot lineáris skála mentén, kilométerben adtuk meg. A decibelben mért csillapítást a következő képlet alapján számolhatjuk ki:

$$\text{csillapítás decibelben} = 10 \log_{10} \frac{\text{kibocsátott teljesítmény}}{\text{veti teljesítmény}}$$

Ha például a fényerősség a felére csökken, akkor a csillapítás értéke  $10 \log_{10} 2 = 3$  dB. Az ábrán látható hullámhosszak az infravörös tartomány közelében vannak, mivel a gyakorlatban is ezt a tartományt használják. A látható fénynek valamivel rövidebb a hullámhossza, azaz nagyjából 0,4 és 0,7 mikron közé esik (1 mikron az  $10^{-6}$  méter).



2.6. ábra. Fényvezető szálban terjedő fény csillapítása az infravörös tartományban

Három hullámhossztartományt használnak adatátvitelre. A három tartomány a 0,85 mikronos, az 1,3 mikronos és az 1,55 mikronos hullámhossz köré esik. Az utóbbi kettőnél elég kicsi a csillapítás: kilométerenként kevesebb, mint 5%. A 0,85 mikronos tartomány esetén nagyobb a csillapítás, azonban ennek a hullámhossznak az az óriási előnye, hogy a lézert és az elektronikát ugyanabból az anyagból (gallium-arszenidből) lehet készíteni. Mindhárom sáv 25 000–30 000 GHz széles.

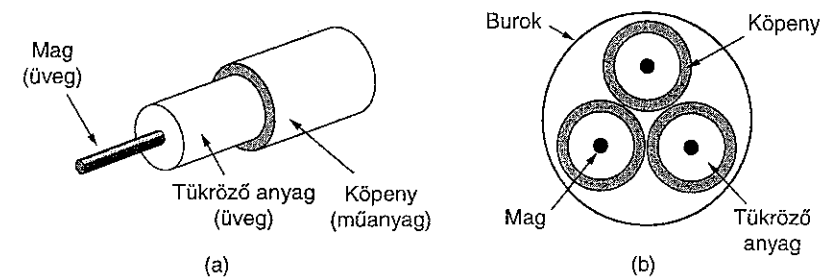
A fényvezető szálon továbbított fényimpulzusok terjedés közben szétterülnek. Ezt a jelenséget **szóródásnak** nevezzük. A szóródás mértéke függ a hullámhossztól. A szóródó impulzusok átlapolódásának megakadályozására az egyik módszer az, hogy megnöveljük az impulzusok közötti távolságot, ami viszont a jelzési sebesség csökkenésével jár. Szerencsére felfedezték, hogy a szóródási hatások kioltják egymást, ha az impulzusok alakja a *cosinus hyperbolicus* függvény reciprokának az alakjára hasonlítanak. Így lehetőség nyílik arra, hogy észrevehető torzulás nélkül továbbítsunk fényimpulzusokat több ezer kilométer távolságra. Az ilyen impulzusokat **szolitonoknak** hívják. Jelentős kutatásokat végeznek annak érdekében, hogy a szolitonokat a laboratóriumból át tudják vinni a gyakorlatba.

### Fénykábelek

A fényvezető kábel a fonott ármékolástól eltekintve hasonlít a koaxiális kábelre. A 2.7.(a) ábra oldalnézetben mutat egy fényvezető szálát. Középen található az üvegmag, amiben a fény terjed. Többmódusú szál esetén a mag 50 mikron átmérőjű, azaz körülbelül olyan vastag, mint egy emberi hajszál. Egymódusú szál esetén a mag 8–10 mikron átmérőjű.

Az üvegmagot olyan üvegeköpeny veszi körül, amelynek a törésmutatója kisebb, mint a magé, így a fénysugár a magon belül marad. A szálát kívülről műanyag védőburkolattal látják el a köpeny védelme érdekében. A fényvezető kábelben általában több szálát fognak össze, és azokat egy műanyag csőbe helyezve védik a külső behatásoktól. A 2.7.(b) ábrán egy háromszálas kábel keresztmetszetét láthatjuk.

A szárazföldi fénykábeleket általában egy méter mélyre fektetik, ahol gyakran



2.7. ábra. (a) Fényvezető szál oldalnézetben. (b) Három fényvezető szálból álló kábel keresztmetszete

okoznak kárt a markológépek és a rágcsálók. A tengeri kábeleket a partok közelében vízi eke segítségével beszántják a tengerfenék alá, míg a mélyebb vizekben pedig egyszerűen csak leengedik a kábeleket a tengerfenékre, ahol a halászhajók és a cápák időnként megtépázzák azokat.

A fényvezető szálakat háromféleképpen lehet egymáshoz csatlakoztatni. Az egyik módszer az, hogy a fényvezető szál végeit megfelelő csatlakozókkal látjuk el, és ezeket dugjuk össze. A csatlakozók 10–20% veszteséget okoznak, viszont megkönnyítik a rendszer újrakonfigurálását.

A második lehetőség, hogy a szálakat mechanikusan egymáshoz illesztjük. Ennek a módszernek az a lényege, hogy mindkét szálát meghatározott szögben óvatosan lenyessük, majd a nyessett végeket összeillesztjük, és egy szorítóval összefogjuk. Az illesztés pontossága úgy javítható, hogy az egyik üvegszálba belevilágítunk, és a két szálát finoman addig mozgatjuk, amíg a kijövő jel intenzitása a lehető legnagyobb nem lesz. A mechanikai összeillesztést egy rutinos szakember akár 5 perc alatt is el tudja végezni, és ez a csatlakoztatási mód csak 10% veszteséget okoz.

A harmadik lehetőség az, hogy a két kábelt összeforrasztjuk. A forrasztott szál majdnem olyan jó, mint egy gyárilag húzott szál, de azért még itt is van némi csillapítás. Mindhárom csatlakoztatási mód esetén van egy kis visszaverődés az illesztésnél, és a visszaverődött fény interferálhat az eredeti jellel.

A fényimpulzusok előállítására kétféle fényforrást használnak: az egyik a LED (Light Emitting Diode), a másik pedig a félvezető lézer. A két fényforrás sok mindenben különbözik egymástól. A 2.8. ábrán látható táblázatban a leglényegesebb különbségeket foglaltuk össze. A fény hullámhosszát a forrás és a fényvezető szál között elhelyezkedő Fabry–Perot- vagy Mach–Zehnder-interferométerrel lehet változtatni. A Fabry–Perot-interferométer egy olyan rezonanciaüregből áll, amelyet két egymással párhuzamos tükrök határol. A fény merőlegesen esik be a tükrökbe. Az üreg hosszának változtatásával a fény hullámhosszának egész számú többszöröseit lehet előállítani. A Mach–Zehnder-interferométer a fénysugarakat két olyan nyalábra osztja, amelyek az interferométeren belül közel azonos távolságot tesznek meg, majd a kimeneti ponton összefokuszálják őket, így csak bizonyos hullámhosszak esetén lesznek azonos fázisban.

A fényvezető szál másik végén egy fotodióda található, amely elektromos impulzusokat állít elő, ha fény esik rá. A fotodióda tipikus késleltetése 1 ns körül van, ez kor-

Jellemző	LED	Félvezető lézer
Adatátviteli sebesség	Alacsony	Magas
Módus	Többmódusú	Többmódusú vagy egymódusú
Távolság	Kicsi	Nagy
Élettartam	Hosszú	Rövid
Hőmérsékletérzékenység	Kicsi	Jelentős
Ár	Olcsó	Drága

2.8. ábra. Fényforrásként szolgáló félvezető diódák és LED-ek összehasonlítása

látozza az adatsebességet kb. 1 Gb/s-ra. A termikus zaj szintén problémát jelent, ezért a fénysugárnak elegendő energiával kell rendelkeznie ahhoz, hogy detektálni lehessen. Ha a fényimpulzusok elég nagy energiával rendelkeznek, akkor a hibaarány tetőszölegesen kicsi lehet.

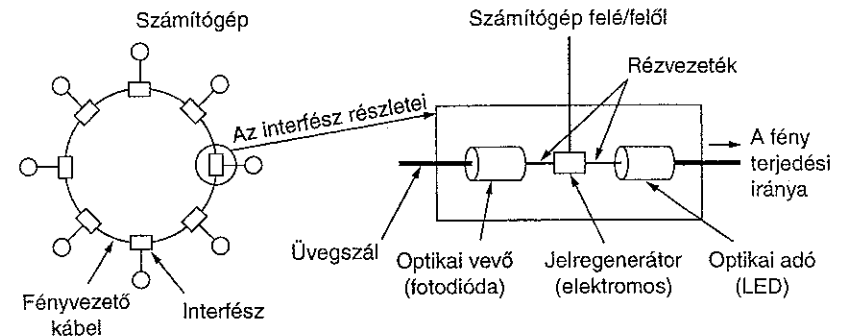
### Fényvezető szál hálózatok

A fényvezető szál kábeleket mind a lokális, mind pedig a nagy kiterjedésű hálózatokban jól lehet alkalmazni, bár az ilyen hálózatokhoz történő csatlakozás korántsem olyan egyszerű, mint az Ethernet esetében. A probléma megoldását az a felismerés könnyíti meg, hogy egy gyűrű topológiájú hálózat valójában két pont közötti összeköttetésekből áll, ahogy ezt a 2.9. ábrán is láthatjuk. A fényimpulzusok sorozatát mindegyik számítógép interfésze átengedi magán, és a következő adatvonalon továbbítja. Az interfész egyben T csatlakozóként is működik, és lehetővé teszi a számítógép számára, hogy üzeneteket küldjön és fogadjon.

Az interfészeknek két típusa van. A passzív interfész két csatlakozóval kapcsolódik a főszalhoz. Az egyik csatlakozó egy LED-et vagy egy lézerdíódat tartalmaz a végén (adattovábbítás céljából), míg a másik egy fotodiódat (vételi céljából). A csatlakozók teljesen passzívak, így rendkívül megbízhatóak. Ha például a LED vagy a fotodióda meghibásodik, akkor a gyűrű nem szakad meg, csak a számítógép kapcsolódik le a gyűrűről.

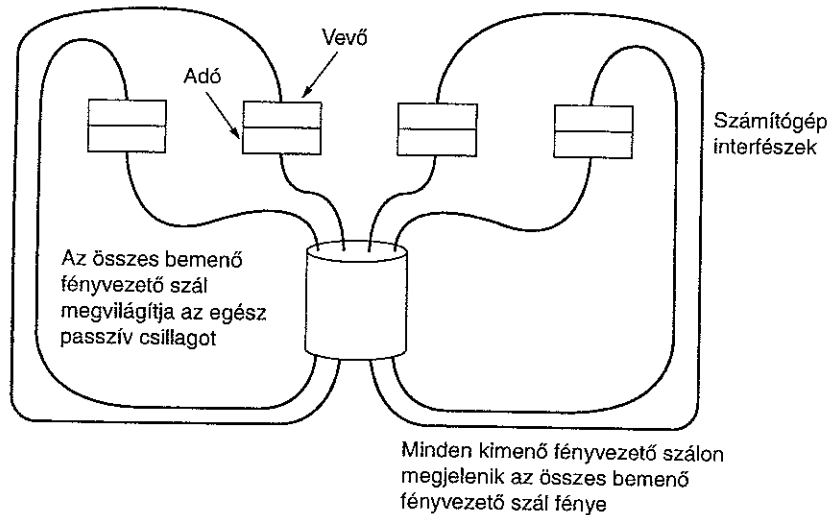
Az interfészek másik típusát a 2.9. ábrán látható **aktív ismétlő (active repeater)** jelenti. Az aktív ismétlő a beérkező fényjelet villamos jellé alakítja, szükség szerint felerősíti, ha gyenge, majd visszaalakítja fényjellé, és úgy továbbítja. A számítógép és a jelgenerátor közötti interfész egy hagyományos rézvezeték. Manapság már tisztán optikai ismétlőket is alkalmaznak. Ezekben az ismétlőkben nincs szükség optikai–villamos–optikai átalakításra, ezért rendkívül nagy adatátviteli sebességet tesznek lehetővé.

Ha egy aktív ismétlő meghibásodik, akkor a gyűrű megszakad, és a hálózat működ-



2.9. ábra. Fényvezető szálak gyűrű aktív ismétlővel





2.10. ábra. Passzív csillag egy fényvezető szál hálózatban

dése leáll. Ugyanakkor, mivel a jelet mindegyik interfész előállítja, két összekapcsolt számítógép között akár több kilométer is lehet, miközben gyakorlatilag semmi nem korlátozza a gyűrű teljes méretét. A passzív interfészek minden csatlakozásnál elvesztenek valamennyi fényt, ezért az ilyen gyűrűre kapcsolódó számítógépek száma, illetve a gyűrű mérete erősen korlátozott.

Egy fényvezető szál lokális hálózat nem csak gyűrű topológiájú lehet. A 2.10. ábrán látható **passzív csillag (passive star)** topológia segítségével hardver alapú adatszórás is meg lehet valósítani. Ebben a hálózatban az interfészek adóegységeiből fényvezető szálak futnak egy üveghenger egyik végébe, ahogy ez a 2.10. ábrán is látható. Hasonló módon, az üveghenger másik végéből optikai szálak jönnek ki, és mennek az összes interfész vevő egységéhez. Amikor valamelyik interfész kiad egy fényimpulzust, akkor az a passzív csillagban szétterjed, és eljuttatja a fényimpulzust az összes vevő egységhez. Így jön létre az adatszórás. A passzív csillag a beérkező fényjeleket tulajdonképpen összekeveri, és az így kapott vegyes jelet az összes kimeneti vonalon továbbítja. Mivel a beérkező energia szétoszlik a kimeneti vonalak között, ezért az ilyen hálózatokon a számítógépek számát a fotodiódák érzékenysége határozza meg.

#### A fényvezető szál és a rézvezeték összehasonlítása

Igencsak tanulságos lehet az optikai szál és a rézvezeték összehasonlítása. Az optikai szálnak rengeteg előnye van. Rögtön azzal kezdjük, hogy a fényvezető szálnak jóval nagyobb a sávszélessége, mint a rézvezetéknek. Ez önmagában véve még csak a nagy sebességű hálózatok esetén jelentene előnyt. Tekintettel azonban a kis csillapításra, a

hosszú vonalakon csak 30 km-enként van szükség ismétlőkre, szemben a rézvezetékkel, ahol kb. 5 km-enként. Ez bizony jelentős megtakarítást jelent. A fényvezető szál egy másik nagy előnye, hogy nem érzékeny az áramimpulzusokra, az elektromágneses zavarokra és az elektromos hálózati kimaradásokra. A levegőben található korrodáló hatású vegyületek sem ártnak neki, ezért ideális megoldást jelent erősen korrodáló ipari környezetben.

A telefontársaságok rendkívüli módon kedvelik a fényvezető szálakat, méghozzá két dolog miatt: egyrészt mert vékonyak, másrészt mert pehelykönnyűek. Számátalan kábelcsatorna már most is teljesen tele van, így nincs hely újabb vezetékek számára. Az összes rézvezeték fényvezető kábelre történő kicserélésével ki lehetne üríteni a kábelcsatornákat, és színesfém-feldolgozóknak jó pénzért el lehetne adni a rézvezetéseket, tekintettel a magas réztartalmukra. A fényvezető szál könnyebb is, mint a rézvezeték. Ezer darab 1 km hosszú csavart érpár súlya 8000 kg. Két optikai szálnak nagyobb a kapacitása, ugyanakkor csak 100 kg-ot nyom. Ez jelentősen csökkenti a szállítási költségeit, mivel kevesebb szállítóeszközt kell fenntartani. Új routerek üzembe helyezésének költségei is jóval alacsonyabbak optikai szál hálózatokban.

Végül a fényvezető szálból nem szívárog el fény, és megcsapolni is igen nehéz azt. Ez kiváló védelmet jelent a potenciális lehallgatók ellen.

Az, hogy a fényvezető szál sokkal előnyösebb tulajdonságokkal bír, mint a rézvezeték, a mögöttük rejlő fizikai jelenségekből következik. Amikor az elektronok egy vezeték belsejében mozognak, akkor kölcsönhatásba kerülnek egymással, illetve a vezetéken kívüli elektronok is hatnak rájuk. A fényvezető szálaban a fotonok nincsenek hatással egymásra (mivel nincs elektromos töltésük), és a külső szórt fények sem zavarják a szálaban haladó fénysugarakat.

A fényvezető szál egyik nagy hátránya az, hogy viszonylag bonyolult a technológiai háttere, és emiatt olyan szakképzettséget igényel, amivel a legtöbb mérnök nem rendelkezik. Mivel az optikai átvitel alapvetően egyirányú, a kétirányú kommunikációhoz vagy két fényvezető szábra van szükség, vagy egy szálabon belül két frekvenciasávra. Végül az optikai interfészek drágábbak, mint az elektromos interfészek. Mindezek ellenére, a jövőben nyilvánvalóan csak fényvezető kábeleket használnak majd a néhány méternél nagyobb távolságot áthidaló adatátviteli rendszerekben. A fényvezető szál hálózatokról részletesen (Green, 1993) művében olvashatunk.

### 2.3. Vezeték nélküli adatátvitel

Napjainkban egyre több olyan ember van, aki az információ megszállottjaként folyton a hálózaton lóg. Az ilyen embereknek persze a csavart érpár, a koaxiális kábel vagy a fényvezető kábel szóba sem jöhet. Ők az adataikat laptopon, notebookon, zsebszámológépen, palmtopon vagy karórába beépített számítógépen tárolják, és eszük ágában sincs a szárazföldi kommunikációs infrastruktúrát használni. Nekik találták ki a vezeték nélküli adatátvitelt. Ebben az alfejezetben a vezeték nélküli adatátvitelről általánosságban lesz szó, mivel ez a téma nem csak arról szól, hogy hogyan lehet kapcsolatba kerülni olyan valakivel, aki egy repülőgép fedélzetén olvassa az e-leveleit.

Vannak, akik azt hiszik, hogy a jövőben csak kétféle kommunikáció lesz: a fényvezető szál és a vezeték nélküli. Minden helyhez kötött (tehát nem elmozdítható) számítógép, telefon, fax stb. fényvezető szál lesz, míg az összes mobil eszköz vezeték nélküli.

Persze bizonyos körülmények között a vezeték nélküli átvitel előnyösebb lehet a helyhez kötött berendezések esetén is. Ha például egy vezeték kihúzása nehézségekbe (pl. magas hegy, őserdő, folyó stb.) ütközik, akkor a vezeték nélküli megoldás jobbnak tűnhet. Itt érdemes megjegyeznünk, hogy a modern vezeték nélküli digitális adatátvitel a Hawaii-szigeteken jelent meg először, ugyanis itt a Csendes-óceán óriási vízfelületei teljesen elszigetelték egymástól a felhasználókat, és így a hagyományos telefontárhálózat alkalmatlan volt adatátviteli célokra.

### 2.3.1. Az elektromágneses spektrum

Amikor mozognak az elektronok, elektromágneses hullámokat keltenek maguk körül. Ezek az elektromágneses hullámok a szabad térben (sőt még a vákuumban is) tovaterjednek. Az elektromágneses hullámok létezését elsőként James Clerk Maxwell angol fizikus ismerte fel 1865-ben, majd később, 1887-ben Heinrich Hertz német fizikus elsőként állított elő, és figyelt meg ilyen hullámokat. Az elektromágneses hullám másodpercenkénti rezgésszámát **frekvenciának** ( $f$ ) nevezzük. A frekvencia mértékegysége – Heinrich Hertz tiszteletére – a Hertz (Hz). Két egymást követő hullámcsúcs (vagy hullámvölgy) közötti távolságot **hullámhossznak** hívunk, és a görög  $\lambda$  (lambda) betűvel jelölünk.

Ha egy elektronikus áramkörhöz megfelelő méretű antennát csatlakoztatunk, akkor az elektromágneses hullámokat szét lehet úgy szórni, hogy kicsivel arrébb venni lehessen őket. Az összes vezeték nélküli átviteli mód ezen az elven alapul.

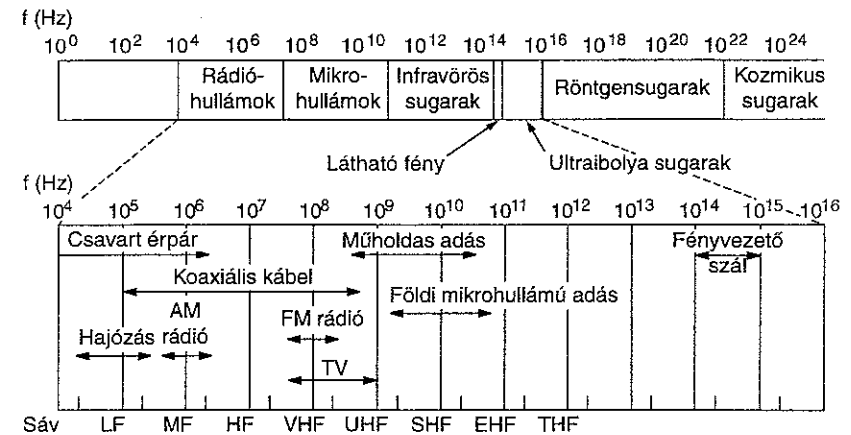
A vákuumban minden elektromágneses hullám a frekvenciájától függetlenül ugyanazzal a sebességgel terjed. Ezt a sebességet **fénysebességnek** ( $c$ ) hívjuk, és értéke kb.  $3 \times 10^8$  m/s, azaz kb. 30 cm/ns. Rézben és üvegszálaban ez a sebesség nagyjából a 2/3-ára csökken, és kismértékben frekvenciafüggővé válik. A fénysebesség egyben a végső sebességhatár is. Semmilyen tárgy vagy jel nem képes ennél gyorsabban haladni.

Az  $f$ , a  $\lambda$  és a (vákuumbeli)  $c$  között az alábbi összefüggés áll fenn:

$$\lambda f = c \quad (2.2)$$

Mivel  $c$  konstans,  $f$  ismeretében meghatározhatjuk  $\lambda$ -t. Ez persze fordítva is igaz. Például egy 1 MHz-es hullám hullámhossza kb. 300 m, míg egy 1 cm hullámhosszú hullám frekvenciája pedig 30 GHz.

Az elektromágneses spektrumot a 2.11. ábrán láthatjuk. A rádióhullám, a mikrohullám, az infravörös hullám és a látható fény a spektrumnak az a része, amely amplitúdó-, frekvencia- vagy fázismoduláció révén alkalmas információátvitelre. Az ultraibolya, a röntgen- és a gamma-sugarak a nagyobb frekvencia miatt még jobbak lennének, de ezeket nehéz előállítani és modulálni, nem terjednek jól az épületekben, és veszélyesebbek az élővilágra. A 2.11. ábra alján található sávokat az ITU által meg-



2.11. ábra. Az elektromágneses spektrum és felhasználása a távközlésben

adott hivatalos elnevezésekkel illetjük. Az LF sáv hullámainak hullámhossza 1 és 10 km között van (a megfelelő frekvenciatartomány kb. 30 MHz-től 300 MHz-ig terjed). Az LF, az MF és a HF rövidítés az alacsony frekvenciájú (Low Frequency), a közepes frekvenciájú (Medium Frequency), illetve nagyfrekvenciás (High Frequency) hullámokat jelenti. Persze, amikor az elnevezések születtek, akkor még senki nem gondolt arra, hogy a 10 MHz-es tartomány fölé menjen, így az ennél magasabb sávokat *Very*, *Ultra*, *Super*, *Extremely* és *Tremendously High* frekvenciasávoknak nevezték el. Ezek fölött már nincsen neve a sávoknak, pedig a *hihetetlenül* (Incredibly), a *megdöbbentően* (Astonishingly) és a *bámulatosan* (Prodigiously) magas frekvencia (IHF, AHF és PHF) elnevezések nem hangzanának rosszul.

Az elektromágneses hullámmal továbbítható információ mennyisége a sáv szélességtől függ. A technika mai állása szerint alacsonyabb frekvenciákon másodpercenként néhány bitet tudunk kódolni, de magasabb frekvenciákon akár 40-et is, azaz egy 500 MHz sáv szélességű kábelben több gigabitnyi adatot tudunk továbbítani másodpercenként. A 2.11. ábrából kiderül, hogy a hálózatos szakemberek miért szeretik annyira a fényvezető szálakat.

Ha a (2.2) egyenletből kifejezzük  $f$ -et, és  $\lambda$  szerint deriváljuk, akkor a következőt kapjuk:

$$\frac{df}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2}$$

Ha a differenciálhányados helyett a differenciahányadost vesszük, és csak az abszolút változást nézzük, akkor a következőt kapjuk:

$$\Delta f = \frac{c \Delta \lambda}{\lambda^2} \quad (2.3)$$

Tehát, ha adott a hullámhossztartomány szélessége ( $\Delta\lambda$ ), akkor kiszámolhatjuk a megfelelő frekvenciatartomány szélességét ( $\Delta f$ ), és abból pedig az adott sáv adatátviteli sebességét. Minél szélesebb a frekvenciatartomány, annál nagyobb az adatátviteli sebesség. Nézzük meg például a 2.6. ábrán látható 1,3 mikronos sávot. Itt a  $\lambda = 1,3 \times 10^{-6}$  és a  $\Delta\lambda = 0,17 \times 10^{-6}$ , azaz a  $\Delta f$  körülbelül 30 THz.

A teljes káosz megelőzése érdekében országon belüli és nemzetközi megállapodások szabályozzák, hogy ki milyen frekvenciasávot használhat. Mivel mindenki nagy adatsebességet szeretne, ezért mindenkinek nagy sáv szélességre van szüksége. Az Egyesült Államokban az FCC osztja ki a sávokat az AM és FM rádióadóknak, a televízióadóknak és a celluláris telefonhálózatokat üzemeltető cégeknek, továbbá a vezeték nélküli telefonhálózatok, a rendőrségnek, a tengerjáró hajóknak, a légi irányításnak, a hadseregnek, a kormánynak és még sok más igénylőnek. Nemzetközi szinten az ITU-R egyik hivatala (WARC) foglalkozik ezzel. Például 1991-ben egy spanyolországi ülésen az ARC engedélyezett egy keskeny frekvenciasávot a kézben is elférő személyi hívók számára. Sajnos az FCC-t nem kötelezik a WARC ajánlásai, ezért ugyanerre a célra más sávot engedélyezett. (Ennek az az oka, hogy az Egyesült Államokban a személyi hívók más sávot használtak, mint a WARC ajánlása, és tulajdonosaik nem akarták visszaadni ezt a sávot, amihez persze megvolt a kellő politikai befolyásuk.) Következésképpen azok a személyi hívók, amiket az Egyesült Államokban gyártanak, nem használhatók Európában és Ázsiában. Ez persze fordítva is igaz.

A lehető legjobb vétel (néhány W/Hz) érdekében a legtöbb átvitelnél keskeny sávot használnak (tehát  $\Delta f/f \ll 1$ ). Egyes adóegységek meghatározott sorrend szerint frekvenciáról frekvenciára ugrálnak, vagy az átvitelt szándékosan szétszórják valamilyen széles frekvenciasáv mentén. Ezt az eljárást **szórt spektrumnak** (spread spectrum) hívják (Kohno és mások, 1995). Ez az eljárás a hadseregben közkedvelt átviteli technika, mivel az ilyen adásokat igen nehéz fogni, és szinte lehetetlen torlódást okozni. A frekvenciaugrásos módszer minket kevésbé érdekel, bár annyit érdemes róla tudni, hogy Hedy Lamarr mozisztár volt az egyik feltalálója. Az üzleti életben egyre népszerűbb, valódi szórt spektrumra, amit néha **közvetlen sorozatú szórt spektrumnak** (direct sequence spread spectrum) is neveznek, a 4. fejezetben még visszatérünk. A szórt spektrumos kommunikáció történetéről (Scholtz, 1982) művében olvashatunk elbűvölő részleteket.

A továbbiakban egyelőre azzal a feltételezéssel fogunk élni, hogy minden átvitel keskeny frekvenciasávot használ. A következő bekezdésekben arról lesz szó, hogy mire használják a spektrum különböző részeit. Ennek tárgyalását a rádiófrekvenciás átvittel kezdjük.

### 2.3.2. Rádiófrekvenciás átvitel

A rádióhullámok egyszerűen előállíthatók, nagy távolságra jutnak el, és könnyen áthatolnak az épületek falain, így széles körben használják ezeket mind kültéri, mind beltéri alkalmazásokban. A rádióhullámok minden irányba terjednek, így az adót és a vevőt nem kell fizikailag precízen egymáshoz illeszteni.

Legtöbbször jó, hogy a rádióhullámok minden irányba terjednek, de van, amikor ez

problémát jelent. A 70-es években a General Motors elhatározta, hogy az új Cadillac-ek fékrendszerébe számítógéppel vezérelt blokkolásgátlót épít be. Amikor az autó vezetője rálépett a fékpedálra, a számítógép folyamatosan megnyomta és elengedte a féket, így az autó kerekei nem blokkoltak. Egy szép napon egy ohioi autópályarendőr rádiótelefonján felhívta a központot, és arra lett figyelmes, hogy a mellette haladó Cadillac hirtelen úgy elkezdett ugrálni, mint egy bakkecske. Amikor a rendőr félreállította az autót, a sofőr mentegetőzött, hogy ő nem csinált semmit, a kocsija viszont meghibbant.

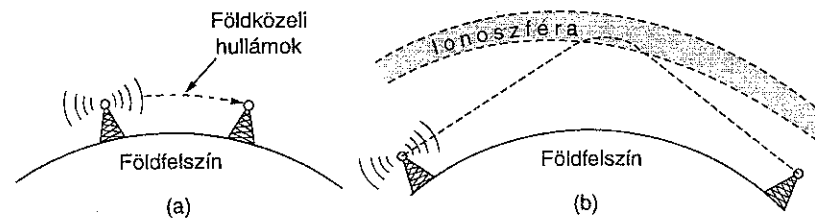
Végül kezdett tisztázódni a kép: a Cadillac-ek időnként megvadultak, de csak Ohio jelentősebb autópályáin, és csak akkor, amikor az autópályarendőr szolgálatban volt. A General Motors sokáig nem értette, hogy miért nincs semmi gond a Cadillac-ekkel más államokban és Ohio alacsonyabb rendű útjain. Hosszas kutatás után rájöttek arra, hogy a Cadillacben levő vezeték olyan antennaként működnek, amelyek az ohioi autópályarendőrség új rádiós rendszerének frekvenciájára érzékenyek.

A rádióhullámok terjedési tulajdonságai frekvenciafüggők. Alacsony frekvencián a rádióhullámok minden akadályon áthatolnak, viszont a teljesítményük a forrástól távolodva erősen – a levegőben nagyjából  $1/r^3$  szerint – csökken. A nagyfrekvenciás rádióhullámok egyenes vonal mentén terjednek, és a tárgyakról visszaverődnek. Az eső elnyeli a nagyfrekvenciás rádióhullámokat. A rádióhullámokat a villamos motorok és más elektronikus berendezések minden frekvenciatartományban zavarják.

Mivel a rádióhullámok nagyon messzire eljutnak, ezért komoly problémát jelent a felhasználók közötti interferencia. Emiatt minden országban szigorúan engedélyhez kötik a rádióadóval ellátott eszközök használatát. Egy eset azonban kivétel ez alól (lásd később).

A VLF, LF és MF frekvenciasávokban a rádióhullámok a 2.12.(a) ábrán látható módon a földfelszín követik. Ezeket a hullámokat akár 1000 km távolságra is venni lehet alacsonyabb frekvenciák esetén. Magasabb frekvenciákon a hatótávolság csökken. Az AM rádióadások az MF sávot használják, ezért nem lehet tisztán fogni a bostoni rádiók adásait New York-ban. Ebben a sávban a rádióhullámok átjutnak az épületek falain, ezért tudjuk a zsebrádiót lakásunkban is hallgatni. Ezek a sávok azért nem alkalmasak adatkommunikációra, mert viszonylag kicsi az általuk biztosított sáv szélesség (lásd (2.2) egyenlet).

A HF és a VHF sávokban a földközeli hullámokat a földfelszín kezdi elnyelni. Azok a hullámok viszont, amelyek eljutnak az ionoszféráig, a 2.12.(b) ábrán látható



2.12. ábra. (a) A VLF, a VF és az MF sávban a rádióhullámok követik a Föld felszínének görbületét. (b) A HF sávban a rádióhullámok visszaverődnek az ionoszféráról

módon visszaverődnek a földre. (Az ionoszféra a földfelszín felett 100 és 500 km közötti magasságban található légkör, amelyben elektromosan töltött részecskék mozognak.) Bizonyos légköri feltételek mellett a hullámok többször is visszaverődhetnek. Az amatőr rádiósok ezeket a sávokat használják nagy távolságú beszélgetéseikhez. A hadsereg szintén használja a HF és a VHF sávot.

### 2.3.3. Mikrohullámú átvitel

100 MHz felett az elektromágneses hullámok egyenes vonal mentén terjednek, és ezért jól fókuszálhatók. Ha a hullámokat egy parabolaantenna (amilyen a házakon látható műholdas televízióantenna) segítségével egy keskeny nyalábra fogjuk össze, akkor a jel-zaj viszony sokkal jobb lesz, viszont ehhez az adó és vevő antennáját nagyon pontosan egymáshoz kell igazítani. Ráadásul, ez az irányítottág lehetővé teszi azt, hogy több, egymás mellé helyezett adóegység interferencia nélkül tudjon kommunikálni az egymás közelében levő vevőegységekkel. Az optikai kábelek megjelenése előtt évtizedeken keresztül ilyen mikrohullámú rendszerek jelentették a nagytávolságú távbeszélőrendszerek alapját. A nagytávolságú szolgáltató MCI neve eredetileg Microwave Communications Inc. volt, mivel kezdetben az egész rendszer mikrohullámú adótornyokból állt. (Azóta persze a hálózat nagy részét lecserélték optikai kábelekre.)

Mivel a mikrohullámok egyenes vonal mentén terjednek, ezért a földfelszín görbülete problémát jelent, ha az adótornyok túlságosan messze vannak egymástól. (Gondoljunk csak egy San Francisco és Amsterdam közötti kapcsolatra.) Ezért meghatározott távolságoként ismétlőkre van szükség. Minél magasabbak az adótornyok, annál messzebbre lehetnek egymástól. Az ismétlők egymástól mért távolsága durván az adótornyok magasságának négyzetgyökével egyenlő. Ez azt jelenti, hogy 100 m magas tornyok esetén az ismétlőket egymástól 80 km távolságra lehet telepíteni.

Az alacsony frekvenciás rádióhullámokkal szemben a mikrohullámok nem képesek áthatolni az épületek falain. Ráadásul, az adóegység hiába fókuszálja jól a mikrohullámú sugarakat, azok a levegőben mindenképpen szóródnak valamennyire. A hullámok egy kis része megtörhet az alacsonyabb légköri rétegeknél, ezek a hullámok valamivel később érnek célba, mint a közvetlen beérkező hullámok. A megtört hullámok fázisa nem egyezik meg a közvetlen beérkező hullámokéval, így ezek akár ki is olthatják egymást. Ez a jelenség, az **elhalkulás (multipath fading)**, sokszor komoly gondot okoz. Az elhalkulás függ az időjárástól és a frekvenciától. Egyes szolgáltatók a csatornáik 10%-át készenlében tartják arra az esetre, ha az elhalkulás időlegesen tönkretene valamelyik frekvenciasávot.

Az egyre növekvő frekvenciaigény a műszaki fejlesztést arra sarkallja, hogy az átvitelt egyre magasabb frekvenciákon is lehetővé tegye. Ma már otthonosan mozgunk 10 GHz-es tartományban is, bár igaz, hogy 8 GHz környékén új problémával találjuk magunkat szemben, ez pedig az, hogy a víz elnyeli a mikrohullámú sugarakat. Ezek a hullámhossza csak pár centiméter, és az esőben teljesen elnyelődnek. Ez a jelenség hasznos lenne akkor, ha valaki egy óriási szabadtéri mikrohullámú sütőt szeretne építeni magának, de az adatátvitel szempontjából ez sajnos egy igen komoly probléma.

Ahogy azt az elhalkulásnál is tettük, a jelenséget úgy lehet kivédeni, hogy kikapcsoljuk azokat a vonalakat, amelyek esős területeken mennek keresztül, és megkerüljük az esőzónát.

Összefoglalva az eddigieket, a mikrohullámú átvitelt olyan széles körben használják a nagytávolságú távbeszélőrendszerekben, a celluláris telefonhálózatokban, a televíziós műsorszórásban és még sok más területen, hogy komoly frekvenciahiány lépett fel. Az optikai kábellel szemben ugyanis számos előnye van. A legfontosabb talán az, hogy a vezetékek nem igényelnek útvonalat. Bőven elég 50 km-enként egy kis földdarabot megvenni, egy mikrohullámú adótornyot ráépíteni, és a telefonrendszert átvezetve rajta közvetlenül is tudunk kommunikálni. Ennek a módszernek köszönhető az MCI, hogy olyan gyorsan fejlődött, amikor nagytávolságú telefonszolgáltatással kezdett el foglalkozni. (A Sprint más utat választott. Ezt a céget a Southern Pacific Railroad hozta létre, amely nagy mennyiségű útvonal birtokában volt, és a fényvezető kábeleket egyszerűen az utak mellé a földbe fektette.)

A mikrohullámú technológia viszonylag nem drága. Két egyszerű adótorny felépítése (ami akár egy négy huzallal kifeszített oszlop is lehet) és egy-egy antenna ráhelyezése olcsóbb lehet, mint 50 kilométernyi fényvezető kábel lefektetése egy zsúfolt városrészben vagy a hegyekben. Még a telefontársaságtól bérelt fényvezető kábeleknél is olcsóbb, különösen akkor, ha a telefontársaságnak még nem fizették ki azoknak a részvezetékeknek az árát, amelyeket fényvezető kábelekre cserélt le.

A nagytávolságú adatátvitelen kívül a mikrohullámoknak van még egy fontos felhasználási területe, nevezetesen az **ipari/tudományos/orvosi** célra használható sávok. Ezek a sávok nem tartoznak állami felügyelet alá, így használatukhoz nincs szükség hivatalos engedélyekre. Egyetlen nemzetközileg elfogadott ilyen sáv van, ez a 2,400–2,484 GHz-es tartomány. Ezenkívül az Egyesült Államokban és Kanadában még további két ilyen sáv létezik, a 902–928 MHz-es tartomány, illetve az 5,725–5,850 GHz-es tartomány. Ez utóbbi tartomány sávjait vezeték nélküli telefonoknál, garázsajtónyitóknál, HIFI-készülékek távirányítóiban, biztonsági bejáratoknál stb. használják. A legjobb, 900 MHz-es sáv, ma már igen zsúfolt. Az ebben a frekvenciasávban működő készülékeket csak Észak-Amerika területén szabad használni. A magasabb frekvencián működő berendezések sokkal drágább elektronikát igényelnek, és működésüket a mikrohullámú sütők, valamint a radarállomások megzavarhatják. Mindezek ellenére ezek a sávok a kistávolságú, vezeték nélküli hálózati alkalmazásokban rendkívül népszerűek, mivel a frekvenciák engedélyeztetésével nincs gond.

### 2.3.4. Infravörös és milliméteres hullámú átvitel

A vezeték nélküli infravörös és milliméteres hullámokat elsősorban a kistávolságú adatátvitelben használják előszeretettel. A televíziók, a videomagnók és a HIFI-készülékek távirányítóiban mind infravörös hullámú adóegység található. Az infravörös hullám viszonylag jól irányítható, olcsó és könnyen előállítható. Azonban van egy óriási hátránya; szilárd testeken nem képes áthatolni. (Próbaképpen álljunk be a távirányító és a tévékészülék közé, és nézzük meg, hogy működik-e a távirányító.) Általánosságban azt mondhatjuk, hogy minél jobban közeledünk a kistávolságú rádióhul-

lámoktól a látható fény felé, a hullámok annál inkább fényhullámként, és annál kevésbé rádióhullámként viselkednek.

Másfelől persze előnynek is vehetjük, hogy az infravörös hullámok nem hatolnak át a falakon. Ez ugyanis azt jelenti, hogy az egyik szobában levő infravörös rendszer nem zavarja a szomszédos szobában levő másik ilyen rendszert. Pontosán emiatt az infravörös rendszerek biztonsági szempontból nagyobb védelmet jelentenek, mint a rádióhullámú rendszerek. Ennek köszönhető, hogy szemben a rádióhullámú rendszerekkel az infravörös rendszerek üzemeltetéséhez nincs szükség hivatalos engedélyeztetésre.

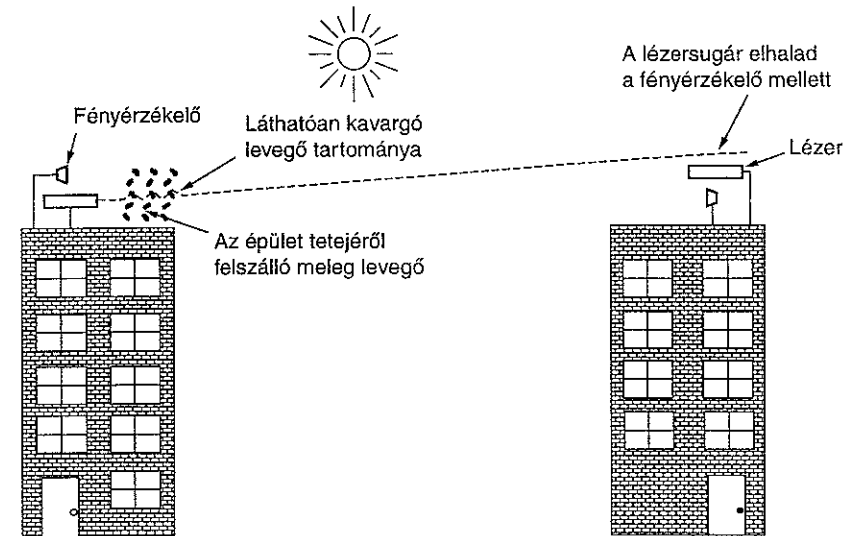
Az infravörös hullámok – a fent említett tulajdonságaik miatt – jó eséllyel pályáznak az épületen belüli vezeték nélküli lokális hálózatok átviteli rendszerének szerepére. Például az épületben található számítógépeket és irodákat fel lehetne szerelni viszonylag kis fókuszáltságú (azaz valamennyire minden irányba terjedő) infravörös hullámú adókkal és vevőkkel. Ily módon az infravörös adó-vevővel ellátott hordozható számítógépeket nem kéne fizikailag is a közelben levő lokális hálózatra csatlakoztatni. Ha az emberek a hordozható számítógépükkel együtt mennek el egy értekezletre, akkor egyszerűen csak le kell ülniük a tárgyalóteremben, és mindenki mindenkivel kapcsolatba kerül anélkül, hogy hálózatra csatlakoznának. Az infravörös kommunikációs rendszereket nem lehet a szabadban használni, mert a Nap ugyanolyan erősen süt az infravörös tartományban, mint a látható fény tartományában. Az infravörös kommunikációról (Adams és mások, 1993; valamint Bantz és Bauchot, 1994) műveiben olvashatunk bővebben.

### 2.3.5. Látható fényhullámú átvitel

A vezeték nélküli fényjelzést már évszázadok óta használják. Paul Revere nevezetes útja előtt bináris fényjeleket küldött a bostoni Old North Church tornyából. Ennek egy modern változata az, amikor két épület lokális hálózatát a tetejükre szerelt lézerek segítségével kapcsoljuk össze. A lézert alkalmazó koherens optikai adatátvitel alapvetően egyirányú, így mindkét épületnek külön lézerforrásra és fényérzékelőre van szüksége. Ez a megoldás igen nagy sávszélességgel rendelkezik, és nagyon olcsó. Viszonylag egyszerű egy ilyen rendszert kiépíteni, és szemben a mikrohullámmal, nincs szükség hivatalos engedélyeztetésre.

A nagyon keskeny lézersugár nem csak előnyös, hanem bizonyos tekintetben hátrányos is. Ahhoz, hogy egy 1 mm széles lézersugarat egy 500 m-re levő, 1 mm széles célra irányítsunk, Annie Oakley célzóképeségére lenne szükségünk. Annak érdekében, hogy a lézersugarak kissé szórjanak, lencsákat helyeznek a fény útjába.

A lézer egyik nagy hátránya, hogy esőn és sűrű ködön nem képes áthatolni, napsütésben viszont remekül működik. Persze ez sem mindig igaz. A szerző volt egyszer egy modern szállodában megrendezett európai konferencián, ahol a szervezők gondosan előkészítették egy terminálszobát a résztvevők számára, hogy az unalmas előadások alatt e-leveleiket tudják olvasgatni. Mivel a helyi telefontársaság nem volt hajlandó 3 napra egy csomó vonalat kiépíteni, ezért a szervezők egy lézert tettek föl a tetőre, és megcélolták vele a néhány kilométerre levő egyetem számítógép-központjának épületét. A konferencia előtti estén az egészet kipróbálták, és tökéletesen működött.



2.13. ábra. A hőáramlások megzavarhatják a lézeres távközlési rendszerek működését. Az ábra olyan kétirányú rendszert mutat, amelyben két lézerforrás található

Másnap reggel 9 órakor, verőfényes napsütésben a kapcsolat teljesen megszűnt, és nem működött egész nap. Aznap este a szervezők megint kipróbálták, és akkor újból minden tökéletesen működött. Ez a jelenség a következő két napon ugyanúgy megismétlődött.

A konferencia után a szervezők rájöttek a probléma nyitjára. A tűző nap annyira felmelegítette a tetőt, hogy megindult egy felfelé irányuló hőáramlás, ahogy ez a 2.13. ábrán látható. Ez a turbulens áramlás eltérítette a lézersugarakat, és a detektor előtt táncoltatta azokat. Ilyen légköri jelenség játszódik le a csillagok esetén is, amikor csillogni látjuk őket. (A csillagászok is azért viszik fel a távcsöveiket a hegytetőkre, hogy minél jobban a légkör fölé emelkedjenek velük.) Szintén ezzel a jelenséggel magyarázható a tükröződő aszfalt, továbbá az is, amikor egy meleg fűtőtest fölött átnézve remegni látjuk a fűtőtest környezetét.

## 2.4. A távbeszélőrendszerek

Amikor két olyan számítógép között kell kapcsolatot teremteni, amelyek ugyanahhoz a céghez vagy szervezethez tartoznak, és elég közel vannak egymáshoz, akkor a legegyszerűbb megoldás az, ha a két gépet egy vezetékkel közvetlenül összekötjük. Így működnek a lokális hálózatok. Ha viszont a távolságok már nagyok, több gépről van szó, vagy a vezetékeknek közutakat, közterületeket kellene kereszteszniük, akkor a magánvezetékek lefektetése szinte megfizethetetlenül drága. Ráadásul, a legtöbb ország-

ban tilos magánvezetékeket köztulajdonban levő kábeleket keresztezve vagy azok alatt vezetni. Következésképpen a hálózattervezők kénytelenek igénybe venni a már meglevő távközlési eszközöket.

Ezeket az eszközöket – kiváltképp a nyilvános kapcsolt telefonhálózatot (**Public Switched Telephone Network, PSTN**) – rendszerint korábban tervezték egy célra, mégpedig emberi beszéd többé-kevésbé felismerhető módon történő továbbítására. Ezek számítógépek közötti kommunikációra való alkalmassága gyenge, viszont a fényvezető szálak és a digitális technika megjelenése következtében a helyzet rohamosan kezd megváltozni. Bizonyos esetekben a távbeszélőrendszer annyira összefonódik a (nagyávolságú) számítógép-hálózatokkal, hogy érdemes egy kis időt szentelni a bemutatásukra.

Annak érdekében, hogy lássuk a probléma nagyságát, illusztrációként hasonlítsuk össze az összeköttetést két számítógép között abban az esetben, amikor egy lokális hálózati kábellel vannak összekapcsolva, illetve, amikor a telefonhálózatot keresztül. Két számítógép között egy kábel memóriaozvasási sebességgel tud adatokat továbbítani. Ez tipikusan  $10^7$ – $10^8$  b/s adatátviteli sebességet jelent. A hibaarány olyan kicsi, hogy gyakorlatilag nem lehet megmérni, de ha naponta történik egy hiba, akkor az már elég rossz eredménynek számít a legtöbb esetben. Az előbb említett adatátviteli sebességek mellett napi egy hiba az kb.  $10^{12}$ – $10^{13}$  bitenként felel meg egy bithibának.

Ezzel szemben egy telefonvonalon az adatátviteli sebesség nagyságrendileg  $10^4$  b/s, a hibaarány pedig nagyjából  $10^{-5}$ , attól függően, hogy milyen régi az igénybe vett telefonközpont. Ha az adatátviteli sebességet és a hibátlanul átvitt bitek arányát összehasonorozzuk, akkor azt kapjuk, hogy a lokális hálózati kábel 11 nagyságrenddel jobb, mint a telefonvonal. Vegyünk egy analóg példát a közlekedésből. Az embert a Holdra feljuttató Apolló projekt költsége és egy városi buszjegy ára között van 11 nagyságrend (1965-ben az Apolló projekt 40 milliárd dollárba került, míg egy városi buszjegy ára 40 cent volt).

A gond persze az, hogy a számítógép-hálózatok tervezői számítógépes rendszerekkel szoktak dolgozni, és amikor hirtelen egy olyan rendszerrel találják magukat szemben, amelynek a teljesítménye (az ő szempontjukból) 11 nagyságrenddel kisebb, akkor nem meglepő, ha azon kezdenek el töprengeni, hogy miként lehetne az adott rendszert hatékonyan felhasználni. Ugyanakkor az elmúlt évtizedben a telefonársaságok határozott lépéseket tettek annak érdekében, hogy bizonyos területeken korszerűsítsék berendezéseiket, és javítsák szolgáltatásaik színvonalát. A következő bekezdésekben a távbeszélőrendszerekről lesz szó. Bemutatjuk, hogy általában hogyan néz ki egy ilyen rendszer, illetve azt, hogy a jövőben mi várható ezen a területen. A távbeszélőrendszerek rejtelméről további részleteket olvashatunk (Bellamy, 1991) művében.

#### 2.4.1. A távbeszélőrendszer felépítése

Amikor Alexander Graham Bell 1876-ban feltalálta a telefont (éppen pár órával véltársra, Elisha Gray előtt), már óriási szükség volt a találmányára. Kezdetben az üzletet csak a párosával árusított telefonkészülékek jelentették. A készülékek közötti vezeték kihúzása a felhasználó feladata volt. Az áramkör a földben zárult. Ha egy tele-

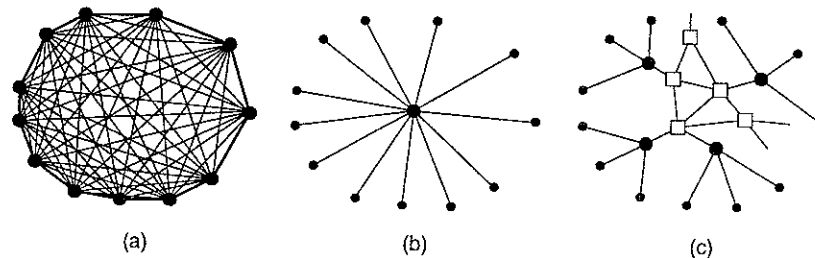
fontulajdonos  $n$  számú másik telefontulajdonossal akart beszélni, akkor mind az  $n$  házhoz külön vezetékkel kellett kihúznia. Egy év múlva a városokat vadul behálózták a hálózatok és a fák közötti kifeszített vezetékek. Hamarosan nyilvánvalóvá vált, hogy a 2.14.(a) ábrán bemutatott modell, amelyben minden egyes telefon az összes többi telefontalal össze van kötve, nem fog működni.

Bell felismerte ezt a problémát, és megalapította a Bell Telefontársaságot, amely 1878-ban létrehozta az első telefonközpontot (a connecticuti New Havenben). A társaság minden ügyfél házához vagy irodájához kihúzott egy vezetékkel. Telefonálás előtt az ügyfélnek meg kellett forgatnia egy kart a készüléken. Ennek hatására a telefonközpontban megszólalt egy csengő, ami a telefonkezelőnek jelzett. Ezt követően a kezelő egy kapcsolókábel (jumper cable) segítségével manuálisan összekötötte a hívó és a hívott fél vezetékét. Egy ilyen kezdetleges távbeszélőrendszer modelljét láthatjuk a 2.14.(b) ábrán.

Rövid időn belül mindenfelé megjelentek a Bell System telefonközpontjai. Az emberek hamarosan már városok közötti távolsági hívásokat akartak lebonyolítani, így a telefontársaságnak össze kellett kapcsolnia a telefonközpontokat is. A korábbi probléma azonban újra előkerült; a telefonközpontok között kihúzott vezetékek hamarosan teljesen kezelhetetlenné váltak, ezért egy másodszintű telefonközpontot kellett kialakítani. Kis idő múlva már több másodszintű telefonközpontra volt szükség, ahogy ez a 2.14.(c) ábrán is látható. Végül is a távbeszélőrendszer hierarchiája ötszintű lett.

1890-re a távbeszélőrendszer három fő része – a kapcsolóközpontok, az ügyfelek és a kapcsolóközpontok közti vezetékek (amik ma már kiegyenlített, szigetelt csavart érpárok szemben a régi egyvezetékes, földben záródó áramkörökkel), valamint a telefonközpontok közötti nagyávolságú vezetékek – már mind a helyükön voltak. Bár mindhárom területen történtek azóta fejlesztések, a Bell System eredeti hálózata lényegében érintetlen maradt az elmúlt 100 év során. A távbeszélőrendszerről rövid történelmi áttekintést kaphatunk (Hawley, 1991) művében.

Jelenleg a távbeszélőrendszer egy rendkívül redundáns, többszintű hierarchikus rendszer. A következő leírást igencsak leegyszerűsítettük, de azért így is jól szemlélteti a valóságot. Minden telefonkészülékből közvetlenül két rézvezeték megy a telefontársaság legközelebbi **végközpontjába** (end office), amit gyakran **helyi központnak** (local central office) is hívnak. A készülék és a központ közötti távolság 1 km-től 10 km-ig terjedhet. Ez a távolság a városokban általában kisebb, vidéken pedig nagyobb.



2.14. ábra. Különböző távbeszélőrendszer topológiák. (a) Teljesen összekapcsolt hálózat. (b) Központosított kapcsoló. (c) Kétszintű hierarchia

Csak az Egyesült Államokban megközelítőleg 19 000 ilyen helyi központ van. A körzetszám és a hívószám első három számjegye egyértelműen meghatároz egy helyi központot, ezért használják fel a díjszabásnál ezt az információt. Az előfizetők készüléke és a helyi központ közötti kétvezetékes összeköttetést **előfizetői huroknak (local loop)** nevezik. Ha a világ összes előfizetői hurokját egymáshoz fűznénk, akkor a Föld és a Hold közötti távolság 2000-szeresét kapnánk.

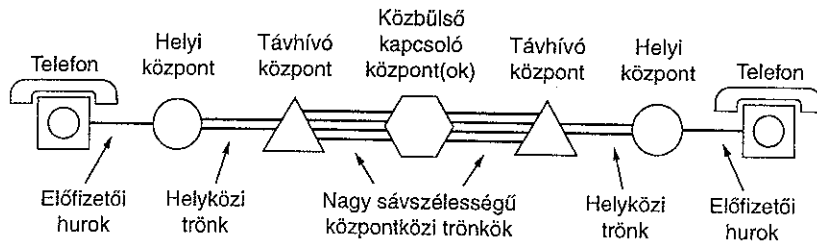
Volt idő, amikor az AT&T vagyonának 80%-át tették ki az előfizetői hurok vezetékai. Akkoriban tulajdonképpen az AT&T volt a világ legnagyobb „rézbányája”. Szerencsére ez a tény nem volt túl ismert a befektetői világban. Ugyanis, ha ezt megtudta volna valamelyik cégbefektető, akkor az megvette volna az AT&T-t, felszámolta volna a telefonszolgáltatást, kiszedte volna a vezetékeket a földből, és gyors haszon reményében eladta volna azokat egy színesfém-feldolgozóknak.

Ha egy adott helyi központhoz kapcsolódó állomásról olyan állomást hívunk, amely ugyanahhoz a helyi központhoz kapcsolódik, akkor a kapcsolat során a két előfizetői hurok között közvetlen elektromos kapcsolat jön létre a helyi központon belül. Ez a kapcsolat a hívás ideje alatt végig fennmarad.

Ha viszont a hívott fél készüléke egy másik végközponthoz kapcsolódik, akkor az előző módszer nem használható. Minden végközpont kapcsolatban áll egy vagy több közeli ún. **távhívó központtal (toll office)**, amit **tandem központnak (tandem office)** is hívnak, ha ugyanazon a körzeten belül helyezkedik el, mint a helyi központ. A helyi központ és a távhívó központ közötti vonalakat **helyközi trónkóknak (toll connecting trunk)** hívják. Amennyiben a hívó és a hívott fél helyi központja ugyanahhoz a távhívó központhoz csatlakozik a helyközi trónkón keresztül (ami az egymáshoz közeli helységek közötti távolsági hívásoknál gyakran megesik), akkor az összeköttetés a távhívó központon belül jön létre. A 2.14.(c) ábrán egy olyan telefonhálózatot láthatunk, amely csak telefonkészülékeket (kis pontok), helyi központokat (nagy pontok) és távhívó központokat (üres négyszögek) tartalmaz.

Ha a hívó és a hívott fél nem ugyanahhoz a távhívó központhoz tartozik, akkor a kapcsolási hierarchiában egy még magasabb szinten jön létre az összeköttetés. A távhívó központok elsődleges, körzeti és regionális kapcsolóközpontokból álló hálózaton keresztül, nagy sávzélességű **központközi trónkók (intertrunk vagy interoffice trunk)** segítségével kapcsolódnak egymáshoz.

A különböző kapcsolóközpontok száma és topológiája (például az, hogy két körzeti központ közvetlenül van-e összekapcsolva, vagy pedig egy regionális központon ke-



2.15. ábra. Tipikus áramkörti út egy közepes távolságú hívás esetén

resztül) a telefonhálózat sűrűségétől függően minden országban más és más. A 2.15. ábra egy közepes távolságú összeköttetés lehetséges útvonalát mutatja.

A távközlésben igen sokféle átviteli közeget használnak. Az előfizetői hurok manapság csavart érpárból állnak, bár a távbeszélőrendszerek kezdeti korszakában a telefonpóznákon egymástól 25 cm-re futó, szigetelt vezetékek voltak általánosak. A kapcsolóközpontok között koaxiális kábeleket, mikrohullámú összeköttetést, leggyakrabban pedig fényvezető kábeleket használnak.

A múltban a távbeszélőrendszerekben az átvitel analóg módon történt. Az aktuális hangjeleket változó villamos feszültséggel formájában juttatták el a forrásállomástól a célállomáshoz. A digitális elektronika és a számítógépek kifejlődése lehetővé tette a digitális átvitelt. A digitális rendszerekben csak két feszültségszint megengedett, például a  $-5\text{ V}$  és a  $+5\text{ V}$ .

A digitális átvitelnek számos előnye van az analóg átvittel szemben. Először is, könnyebben kiszámítható, hogy milyen távolságra lehet a jeleket úgy elküldeni, hogy a vevőoldalon azok még felismerhetők maradjanak, annak ellenére, hogy a csillapítás és a jeltorzulás sokkal jelentősebb a kétszintű jeleknél, mint a modem segítségével előállított jeleknél. Így meghatározott távolságonként digitális jelismétlőket (digital regenerator) kell a vonalra tenni, amelyek helyreállítják az eredeti jelet. Ezt nagyon megkönnyíti az, hogy csak két lehetséges jelalak van. A digitális jel tetszőleges számú jelismétlőn mehet keresztül anélkül, hogy veszteséget szenvedne, így nagy távolságok esetén sem vesz el az információ. Az analóg jelek viszont erősítéskor mindig veszítenek valamennyi információt, ráadásul, ez a veszteség halmozódik. A lényeg tehát az, hogy digitális adatátvitelnél a hibaarány alacsony szinten tartható.

Egy másik nagy előnye a digitális átvitelnek, hogy beszéd, adat, zene és kép (pl. televízió, fax, video) együttes továbbítását is lehetővé teszi, így az áramkörök és a berendezések kihasználtsága tovább javulhat. Szintén előnyt jelent az is, hogy a jelenlegi vonalakon jóval nagyobb adatsebességet lehet elérni ezzel a módszerrel.

További előny még, hogy a digitális átvitel sokkal olcsóbb, mint az analóg, ugyanis tengerentúli hívás esetén nem szükséges az esetleg több száz erősítőn átjutott analóg hullámformát pontosan helyreállítani. Ha a 0-t és az 1-et meg tudjuk különböztetni egymástól, az bőven elég.

Végül az is fontos szempont, hogy egy digitális rendszer üzemeltetése egyszerűbb, mint egy analóg rendszeré, ugyanis egy elküldött bit vagy helyesen, vagy hibásan érkezik meg, így a hibás átvitel felismerése könnyebbé válik.

Ennek köszönhetően az összes nagytávolságú trónkót folyamatosan lecserélik digitális vonalakra. A régi rendszerek analóg átvitelt valósítottak meg rézvezetékeken, a mai rendszerek digitális átvitelt valósítanak meg fényvezető kábeleken.

Összefoglalva az eddigieket, a távbeszélőrendszerek három fő komponense van:

1. Előfizetői hurok (csavart érpár, analóg átvitel).
2. Trónkók (fényvezető kábel vagy mikrohullámú összeköttetés, legtöbbször digitális átvitel).
3. Kapcsolóközpontok.

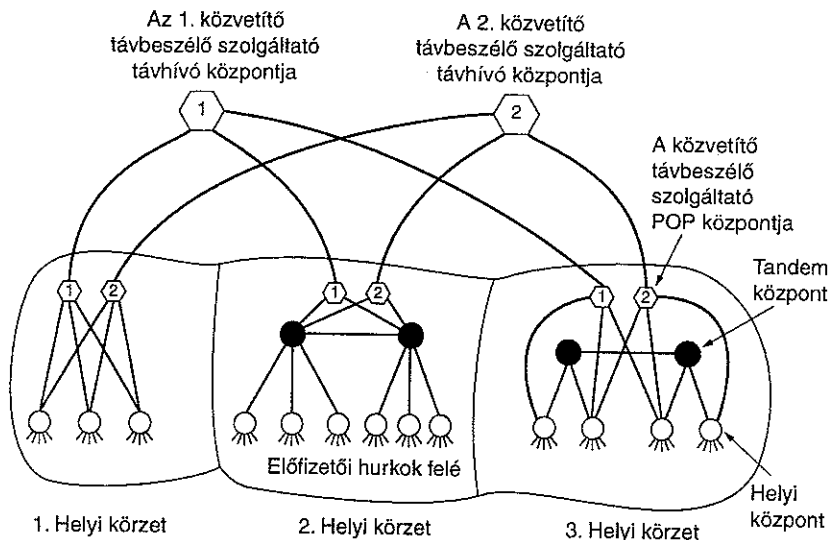


A következő bekezdésben kis kitérőt teszünk a telefon politikai vonatkozásaira, de aztán visszatérünk a fent említett három komponens részletes tárgyalására. Az előfizetői hurkok esetén azt fogjuk megnézni, hogy miként lehet rajtuk digitális adatokat továbbítani. (A gyors válasz: modem segítségével.) A nagytávolságú trónkók esetén a fő kérdés az, hogy hogyan gyűjtsünk össze hívásokat, és hogyan továbbítsuk együtt őket. Ezt a feladatot multiplexelésnek hívjuk, és három különböző módját fogjuk bemutatni. Végül a két alapvető kapcsolási módot fogjuk ismertetni.

#### 2.4.2. Távközlési politika

1984 előtt évtizedekig a Bell System látta el mind a helyi, mind a nagytávolságú szolgáltatásokat az Egyesült Államok legnagyobb részén. A 70-es években az amerikai kormány kezdte úgy érezni, hogy a Bell System utódja, az AT&T jogtalan monopóliumra tör, ezért pert indított ellene, és a feldarabolását kezdeményezte. A kormány megnyerte a pert, és 1984. január 1-jétől az AT&T-t felosztották több részre. Létrejött az AT&T Long Lines, megalakult 23 **Bell Üzemeltető Vállalat (Bell Operating Company, BOC)** és még néhány kisebb cég. A 23 BOC több regionális BOC-ba (RBOC) tömörült a gazdaságosabb üzemeltetés érdekében. Az Egyesült Államok távközlési rendszerének jellege egy bírósági ítélet (és nem pedig a törvényhozás döntése) következtében pillanatok alatt megváltozott.

A jogfosztás pontos részleteit az ún. **MFJ (Modified Final Judgment)** dokument



2.16. ábra. A helyi körzetek, a helyi szolgáltatók és a közvetítő távbeszélő szolgáltatók közötti kapcsolat. A körök helyi szolgáltatók telefonközpontjait jelölik. A számozott hatszögek a közvetítő távbeszélő szolgáltatókat jelölik

tartalmazza. Mindenesetre ez az ítélet versenyhelyzetet teremtett, javult a szolgáltatók minősége, az árak mind az egyéni felhasználók, mind a cégek számára csökkentek. Sok más országban is azt fontolgatják, hogy versenyhelyzetet teremtenek a távbeszélőrendszerek területén.

Egy világos legyen, ki mit tehet, az Egyesült Államok területét kb. 160 helyi körzetre (**Local Access and Transport Areas, LATA**) osztották fel. A helyi körzet nagyjából akkora terület, mint amennyit egy körzetszám lefed. Minden helyi körzeten belül van általában egy helyi szolgáltató (**Local Exchange Carrier, LEC**), amely a helyi körzeten belül a hagyományos telefonhálózatok felett monopóliummal bír. A legfontosabb helyi szolgáltatók a Bell Üzemeltető Vállalatok, de van olyan helyi körzet, amelyekben a helyi szolgáltatóként üzemelő 1500 telefontársaságból is van egy-kettő. A nagy kiterjedésű helyi körzetekben (főleg a nyugati országokban) a helyi szolgáltatók a helyi körzeten belüli nagytávolságú hívásokat is kezelheti, de más helyi körzetekbe történő hívásokkal már nem foglalkozhat.

A helyi körzetek közötti összes forgalom lebonyolítását a **közvetítő távbeszélő szolgáltatók (InterExchange Carriers, IXC)** végzik. Kezdetben az AT&T Long Lines volt az egyetlen jelentős közvetítő távbeszélő szolgáltató, de ma már az MCI és a Sprint a két legtehetősebb versenytárs ezen a területen. Az AT&T feldarabolásakor az egyik cégnek az volt a feladata, hogy egyenlő feltételeket biztosítson valamennyi közvetítő távbeszélő szolgáltatónak a vonalak minőségét, a tarifákat és az őket hívó telefonszámok számjegyeit illetően. A rendszer felépítését a 2.16. ábra szemlélteti. Az ábrán három helyi körzetet láthatunk, mindhárom több helyi központtal rendelkezik. A 2-es és 3-as helyi körzetben a tandem központok hierarchikusan épülnek egymásra (ezek a helyi körzeten belüli helyi központok).

Ha egy közvetítő távbeszélő szolgáltató valamelyik helyi körzetből szeretne hívásokat kezdeményezni, akkor egy **POP (Point of Presence)** központot kell kiépítenie. Minden közvetítő távbeszélő szolgáltatót és valamennyi helyi központot össze kell kötnie egy helyi szolgáltatónak. Ez vagy közvetlenül történik, mint az 1-es, 3-as helyi körzetben, vagy közvetve, mint a 2-es helyi körzetben. Ráadásul az összes közvetítő távbeszélő szolgáltató esetén a felépített kapcsolatnak mind technikailag, mind pénzügyileg azonos paraméterekkel kell rendelkeznie. Ily módon egy előfizető mondjuk az 1-es helyi körzetben tetszőlegesen megválaszthatja, hogy melyik közvetítő távbeszélő szolgáltatót használja, amikor egy 3-as helyi körzetbeli előfizetőt akar felhívni.

Az MFJ dokumentum azt is tartalmazta, hogy a közvetítő távbeszélő szolgáltatóknak tilos a helyi telefonszolgáltatásban részt venni, míg a helyi szolgáltatóknak tilos a helyi körzetek közötti telefonszolgáltatásban részt venni. Ugyanakkor bármilyen más üzleti tevékenységet (pl. rántott csirkét forgalmazó étteremhálózat üzemeltetése) egyaránt végezhetnek. 1984-re a kép teljesen letisztult. Szerencsére azonban a technológia fejlődése túllépett a jogon. Sem a kábeltelevízióról, sem a celluláris telefonról nem szólt a dokumentum. Ahogy a kábeltelevíziózás fejlődött, és a celluláris telefonrendszer népszerűsége robbanásszerűen nőtt, mind a helyi szolgáltatók, mind a közvetítő távbeszélő szolgáltatók elkezdtek felvásárolni a kábeltelevíziós és a celluláris hálózatok üzemeltetőit, vagy egyszerűen csak egyesültek azokkal.

1995-ben az amerikai törvényhozás felismerte, hogy a különböző szolgáltatások szétválasztása tovább már nem tartható fenn, ezért rendeletet adott ki arról, hogy a ká-

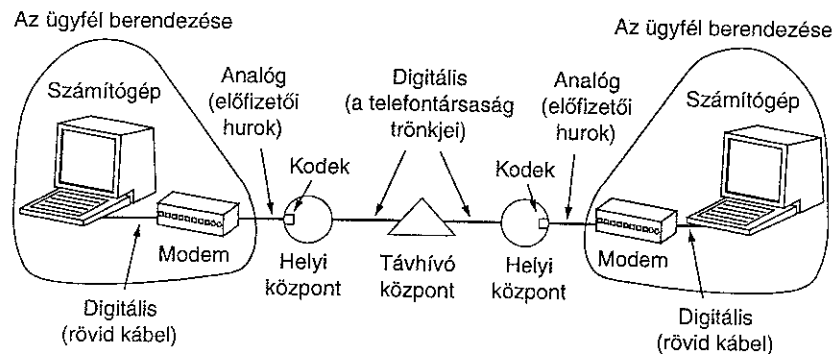


beltéves társaságok, a helyi telefontársaságok, a nagytávolságú szolgáltatók és a celluláris hálózatok üzemeltetői részt vehetnek egymás üzleti vállalkozásaiban. Az volt az elképzelés, hogy minden cégnek legyen lehetősége egy olyan integrált szolgáltatáscsomagot nyújtani az ügyfeleinek, amely tartalmazza a kábeltévet, a telefont és egyéb informatikai szolgáltatásokat. Cél volt még az is, hogy a különböző cégek árban és a szolgáltatások minőségében egymással versenyezzenek. A rendeletet 1996 februárjában iktatták törvénybe. A végeredmény az lett, hogy az Egyesült Államok távközlési térképe mostanában igencsak átrajzolódott.

### 2.4.3. Az előfizetői hurrok

Az elmúlt 100 év során a távközlésben az analóg átvitel játszott meghatározó szerepet. A távbeszélőrendszer például teljesen analóg átvitelen alapult. Míg a fejlettebb országokban a nagytávolságú trónkók többnyire már digitálisak, addig az előfizetői hurkok nagy része ma még mindig analóg, és valószínűleg még legalább egy-két évtizedig az is marad, tekintettel az átállás óriási költségeire. Következésképpen, ha egy számítógép digitális adatot akar elküldeni a telefonhálózaton keresztül, akkor az előfizetői hurkon történő átvitelhez egy modem segítségével analóg jelekké kell átalakítani a digitális jeleket, majd a nagytávolságú trónkókön való továbbításhoz ezeket az analóg jeleket megint digitális jelekké kell alakítani. A másik oldalon ugyanezt visszafelé kell elvégezni, tehát a trónkókön továbbított digitális jeleket analóg jelekké, majd modem segítségével ismét digitális jelekké kell alakítani ahhoz, hogy a továbbított adatokat a számítógép tárolni tudja. Ez az elrendezés látható a 2.17. ábrán.

Ez a helyzet korántsem ideális, de sajnos egyelőre ez van. A hálózatokkal foglalkozó diákoknak meg kell ismerkedniük mind az analóg, mind a digitális adatátvitellel, valamint az oda-vissza történő átalakításokkal. Bérelt vonalak esetén lehetőség van arra, hogy elejétől a végéig digitálisan továbbítsuk adatainkat, de ez sokba kerül, és



2.17. ábra. Analóg és digitális adatátvitel két számítógép között. Az átalakításokat a modemek és a kodekek végzik

csak azoknak a cégeknek éri meg, amelyek az épületükön belül magánhálózatot tartanak fenn.

A következő bekezdésben arról lesz szó, hogy milyen problémákat jelent az analóg átvitel, és elmondjuk, hogy miként lehet digitális adatokat továbbítani analóg áramkörökkel. Ismertetünk majd két általánosan használt modem interfészt is, az RS-232-C-t és az RS-449-et.

### Átviteli hibák forrásai

Az analóg jelzés a feszültség időbeli változását használja fel az információ továbbításához. Ha az átviteli közegek tökéletesek lennének, akkor a vevő ugyanazt a jelet kapná, mint amit az adó elküldött. Sajnos azonban az átviteli közegek nem tökéletesek, ezért a vett jel nem ugyanaz, mint az elküldött jel. Digitális adatok esetén ez az eltérés nem okoz gondot.

Az adatátviteli vonalak három fő problémával küzdenek: a csillapítással, a vonalkésleltetésből adódó jeltorzulással és a zajokkal. **Csillapítás** alatt azt az energiavesztést értjük, amit a jel a terjedése során elszenved. Vezetékes átviteli közegek (pl. rézvezeték vagy fényvezető szál) esetén a jel intenzitása a távolság szerint logaritmikusan csökken. A veszteséget decibelben adják meg kilométerenként. Az energiavesztés mértéke a frekvenciától függ. Ahhoz, hogy a veszteség frekvenciafüggését megvizsgálhassuk, vegyünk egy nem túl egyszerű hullámot, azaz egy olyat, amely több szinuszos komponensből áll. Minden komponens különböző mértékben csillapodik, ezáltal a vevő oldalon más lesz a jel Fourier-spektruma, ami értelemszerűen más jelet eredményez.

Ha a csillapítás túl nagy, akkor a vevő képtelen detektálni a jelet, de az is előfordulhat, hogy a jelszint a zajszint alá csökken. Az átviteli közeg csillapítási jellemzőit legtöbbször ismerjük, így erősítőket tehetünk a vonalra annak érdekében, hogy megpróbáljuk kompenzálni a frekvenciafüggő csillapítást. Ez a módszer sokat segít, de sohasem lesz képes az eredeti jelalakot tökéletesen helyreállítani.

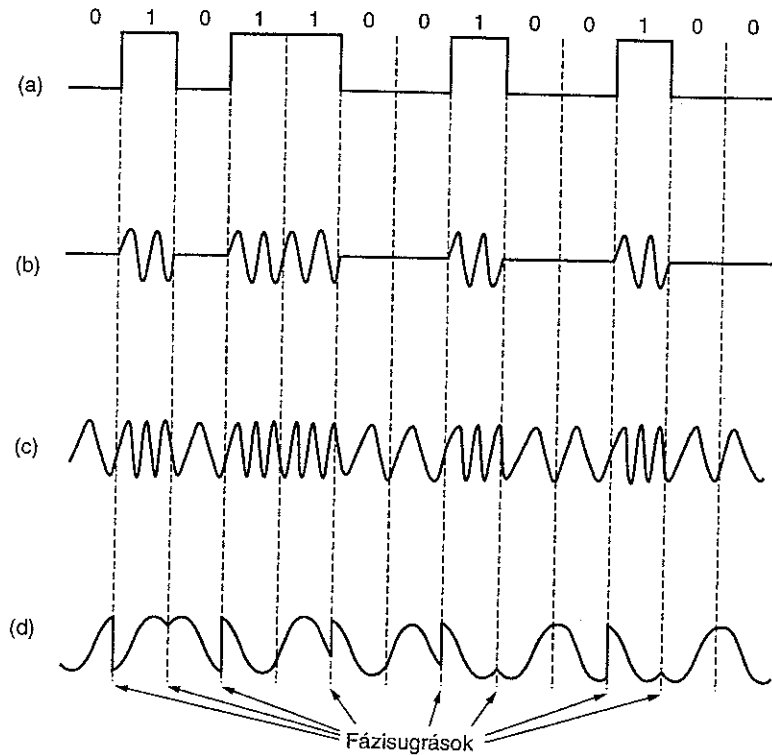
A következő átviteli hiba a vonalkésleltetésből adódó **késleltetési torzítás**. Ez annak a következménye, hogy az egyes szinuszos komponensek különböző sebességgel terjednek. Digitális adatoknál egy adott bit gyorsabb komponensei utolérhetik az előző bit lassabb komponenseit, ami megnöveli a hibás vétel valószínűségét.

Az átviteli hibák harmadik forrása a **zaj**, ami olyan nemkívánatos energiatöbbletet jelent, amely nem a forrásállomástól származik. A termikus zajt a vezetékben véletlenszerűen mozgó elektronok okozzák, így az sajnos elkerülhetetlen. Az áthallás olyan zaj, amely az egymáshoz közeli vezetékek között fellépő induktív csatolás következménye. Amikor telefonon beszélünk, akkor időnként más beszélgetést is hallunk a háttérben, ez az **áthallás**. Végül vannak impulzusszerű zajok, amiket a villamos vezetéken megjelenő tuskék vagy más jelenségek okoznak. Digitális adatok esetén az impulzusszerű zajok egy-két bitet ki is olthatnak.

## Modemek

A fenti problémák – különösen a csillapítás és a terjedési sebesség frekvenciafüggése – miatt nem túl szerencsés, ha a jel széles frekvenciatartománnyal rendelkezik. Sajnos azonban a négyszög hullámok, tehát a digitális jelek spektruma igen széles, ezért ezeknél jelentős a csillapítás és a vonalképleltetésből adódó jeltorzulás. Emiatt az alapsávú (egyenáramú, DC) jelzés digitális átvitel esetén nem járható út, legfeljebb kis adatátviteli sebességnél és kis távolságon belül használható.

Az egyenáramú átvitel problémáját a telefonvonalak esetében úgy oldották meg, hogy váltakozó áramú jelzést használtak. Bevezettek egy **szinuszos vivőjelet** (sine wave carrier), ami egy 1000 Hz és 2000 Hz közötti folytonos jel. A szinuszos vivőjel amplitúdójának, frekvenciájának vagy fázisának változtatása információ továbbítását teszi lehetővé. **Amplitúdómoduláció** (amplitude modulation) esetén két feszültség-szintet használnak a logikai 0 és 1 ábrázolására. **Frekvenciamodulációnál** (frequency modulation) – amit **frekvenciabillentyűzésnek** (frequency shift keying) is ne-



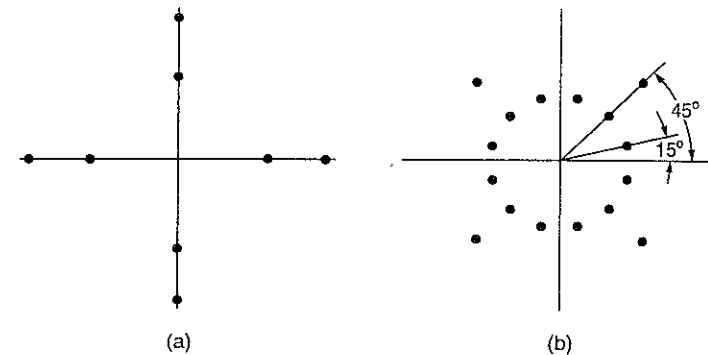
2.18. ábra. A moduláció formái. (a) Digitális jel. (b) Amplitúdómoduláció. (c) Frekvenciamoduláció. (d) Fázismoduláció

veznek – két vagy több különböző frekvenciát használnak. A **fázismoduláció** (phase modulation) legegyszerűbb változatánál a vivőjel fázisát egyenlő időközönként szisztematikusan 45, 135, 225 vagy 315 fokkal eltolják. Minden egyes fázistolással 2 bitet lehet továbbítani. A 2.18. ábrán az előbb említett modulációs eljárások láthatók. Azt az eszközt, amely a bemenetére érkező bitfolyamból modulált jeleket állít elő a kimenetén (vagy fordítva), **modemnek** (modulátor-demodulátor) nevezzük.

Ahhoz, hogy egyre nagyobb sebességeket érjünk el, nem elegendő csak a mintavételi frekvencia növelése. A Nyquist-tétel értelmében egy tökéletes 3000 Hz-es vonal (ami a telefonvonalakra biztosan nem igaz) esetén sincs értelme 6000 Hz-nél nagyobb frekvenciával mintavételezni. Ezért az újabb modemekben már inkább arra törekednek, hogy az egy jelváltással átvitt bitek számát (tehát a baud-értéket) növeljék.

A legtöbb korszerű modemben különböző modulációs technikákat ötvöznek annak érdekében, hogy több bitet is át tudjanak vinni egy jelváltással. A 2.19.(a) ábrán a pontokkal jelölt 0, 90, 180, 270 fokos fázisok mindegyikéhez két különböző amplitúdó tartozik. Az amplitúdó esetünkben az origótól mért távolság. A 2.19.(b) ábrán egy ettől eltérő modulációs sémát láthatunk, amely 16 különböző amplitúdójú és fázisú értéket használ. A 2.19.(a) ábrán látható megoldás 8 érvényes kombinációt tartalmaz, amivel jelváltásonként 3 bitet lehet továbbítani. A 2.19.(b) ábrán látható megoldás viszont 16 érvényes kombinációt tartalmaz, és ezzel jelváltásonként már 4 bitet lehet továbbítani. Amikor 2400 baud-os vonalon 9600 b/s-mal továbbítanak adatokat, akkor a 2.19.(b) ábrán látható **kvadrátúra amplitúdómodulációt** (Quadrature Amplitude Modulation, QAM) alkalmazzák.

Azokat a 2.19. ábrához hasonló diagramokat, amelyek az érvényes amplitúdó- és fázisértékeket mutatják, **amplitúdó-fázis diagramnak**, vagy **csillagkép mintázatnak** (constellation pattern) nevezzük. A korszerűbb modemek mind rendelkeznek ilyen csillagkép mintázattal, és csak olyan modemekkel tudnak kapcsolatba lépni, amelyek ugyanazt a mintázatot használják (bár a legtöbb modem képes arra, hogy a lassúbb modemeket emulálja). Az ITU V.32 9600 b/s-os szabványos modemje például a 2.19.(b) mintázatot használja.



2.19. ábra. Kombinált moduláció. (a) 3 bit/3-baud-os moduláció. (b) 4 bit/4-baud-os moduláció

A 9600 b/s után a 14 400 b/s következnek. Ezt a szabványt **V.32 bis**-nek hívják. A 14 400 b/s-os sebességet úgy érik el, hogy egy 2400 baud-os vonalon 6 bitet visznek át egy jelváltással. Egy V.32 bis szabvány szerinti modem csillagkép mintázata 64 pontot tartalmaz. A fenti sebességet a faxmodemek használják bittérkép formájában előállított képek továbbítására. A V.32 bis után a **V.34** jön, ami már 28 800 bitet továbbít másodpercenként.

Amikor már ilyen sok pont van a csillagkép mintázatban, akkor elég egy kis zaj az amplitúdó vagy a fázis detektálásakor, és máris hibás lesz a vétel, ráadásul egyszerre 6 bit megy tönkre. A hibák valószínűségének csökkentése érdekében sok modem egy paritás bitet ad a mintához, ezáltal 128 pontos lesz a csillagkép mintázatuk. Az egyes pontokat úgy kódolják, hogy minél könnyebben felismerhessük a hibás vételt. Az ilyen kódolást **rácsos kódolásnak (trellis coding)** hívják.

Az eddigiektől lényegesen eltérő megoldást alkalmaznak a nagy sebességű adatátvitelnél. Az itt rendelkezésre álló 3000 Hz-es sávzélességet 512 keskeny – mondjuk 20 b/s-os – csatornára osztják fel. Ez a megoldás azt feltételezi, hogy a modem saját processzorral rendelkezik. Előnye viszont, hogy lehetőséget biztosít a túlságosan zajos csatornák kiiktatására. Az ilyen elven működő modemek általában kompatibilisek a V.32 és V.34 modemekkel, így tehát alkalmasak arra, hogy a szabványos modemekkel kommunikáljanak.

Ma már sok modembe beépítenek adattömörítő és hibajavító eljárásokat. Ennek az a nagy előnye, hogy a meglévő szoftverek megváltoztatása nélkül is lehetőség nyílik nagyobb adatátviteli sebességre. Az egyik legnépszerűbb tömörítési eljárás, az **MNP 5** futás-hossz alapú (run-length) kódolással tömöríti össze az egymást követő azonos bajtjokat. A faxmodemek is futás-hossz alapú kódolást alkalmaznak, ugyanis faxolás során gyakori az egymást követő 0-k sorozata (üres papír). Szintén elterjedt tömörítési eljárás a **V.42 bis** szabványban leírt Ziv-Lempel-féle algoritmus, amit a Compressben és más programokban is használnak (Ziv és Lempel, 1977).

Még modemek használata esetén is fellép a telefonvonalakon a visszhanghatás. Egy hosszú vonal végén a jel megérkezésekor valamennyi visszaverődik belőle, és ez pont olyan hatást kelt, mint a magas hegyekben megfigyelhető akusztikus visszhang. Az elektromágneses hullámok visszaverődésére jó példa az, amikor egy sötét szobában este az ablak felé vakuzunk. Ilyenkor az ablakról visszaverődik a vaku fénye. (Ennek az a magyarázata, hogy az ablaküveg és a levegő találkozásánál az energia egy része visszaverődik felénk.) Az adatátviteli vonalak esetében – leggyakrabban a helyi központban az előfizetői hurok lezárásánál – ugyanez a jelenség játszódik le.

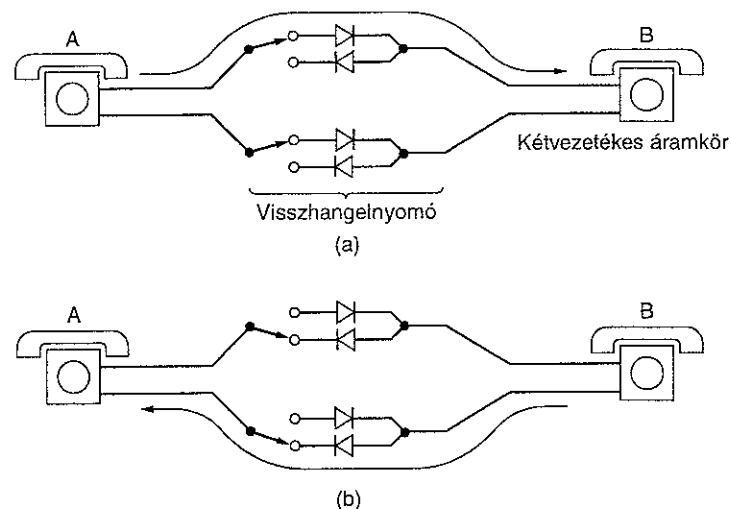
A visszhanghatás miatt van az, hogy telefonálás közben kis késleltetéssel a saját hangunkat halljuk vissza. Pszichológiai tanulmányok szerint ez sok embert kifejezetten zavar, emiatt dadogni kezdenek, vagy teljesen összezavarodnak. A probléma kiküszöbölése érdekében a 2000 km-nél hosszabb vezetékeknel **visszhangelnyomókat** építettek be a rendszerbe. (Rövidebb vonalaknál a visszhang olyan gyorsan ér vissza, hogy az embereket általában nem zavarja.) A visszhangelnyomó olyan berendezés, amely érzékeli az egyik irányból érkező emberi hangokat, és ilyenkor a másik irányba haladó jeleket teljesen kiszűri. A visszhangelnyomó tehát lényegében egy olyan erősítő, amit egy beszédérzékelő áramkör vezérlő jele ki-be kapcsolgat.

Amikor az egyik fél abbahagyja a mondanóját, és a másik fél kezd el beszélni, ak-

kor a visszhangelnyomó irányt vált. Egy jobb visszhangelnyomó kapcsolási ideje 2 és 5 ms között van. Ha egy hálózatban visszhangelnyomó működik, akkor csak az egyik irányban lehet információt továbbítani, így a visszhang nem jut vissza a beszélőhöz. A 2.20.(a) ábra a visszhangelnyomónak azt az esetét mutatja, amikor az *A* személy beszél a *B*-hez. A 2.20.(b) ábrán a *B* személy kezd el beszélni az *A*-hoz.

A visszhangelnyomónak több olyan tulajdonsága is van, amely adatátvitel szempontjából nemkívánatos. Először is, ha nem lenne az áramkörbe beépítve, akkor egyszerre mindkét irányban lehetne adatot továbbítani, méghozzá oly módon, hogy a két irány különböző frekvenciasávot használhatna. Ezt az átviteli módot **duplex átvitelnek** nevezik. Visszhangelnyomók alkalmazása esetén a duplex átvitel nem megvalósítható. Egy lehetséges megoldás a **fél-duplex átvitel**, ami azt jelenti, hogy az adatok mindkét irányba mehetnek, de egyidejűleg csak az egyik irányba. Az egyvágányú vasút tipikusan fél-duplex megoldás. Még ha a fél-duplex átvitel meg is felelne, a kellemtelen az, hogy az irányok kapcsolgatása rengeteg időt vesz igénybe. Ráadásul, a visszhangelnyomókat arra fejlesztették ki, hogy emberi hangot és nem pedig digitális adatokat felismerve váltsanak irányt.

A gondok enyhítésére a visszhangelnyomóval rendelkező telefonvonalakat menekülőretekkel látták el. Amikor a visszhangelnyomó egy tiszta 2100 Hz-es hangot érzékel, akkor leáll, és addig nem lép működésbe, amíg nem érzékeli a hívőjelet. Ez az eljárás a **sávon belüli jelzés (in-band signaling)** számtalan változata közül csupán az egyik. Nevét onnan kapta, hogy a belső vezérlési feladatokat elindító és leállító vezérlő jel a felhasználó által elérhető frekvenciasávban van. A gyakorlat azt mutatja, hogy egyre kevésbé használnak átvívó sávon belüli jelzést, nehogy a felhasználó megzavarja a rendszer működését. Az Egyesült Államokban a legtöbb ilyen rendszert már felszámolták, azonban más országokban még mindig vannak ilyenek.



2.20. ábra. Visszhangelnyomó. (a) *A* beszél *B*-hez. (b) *B* beszél *A*-hoz

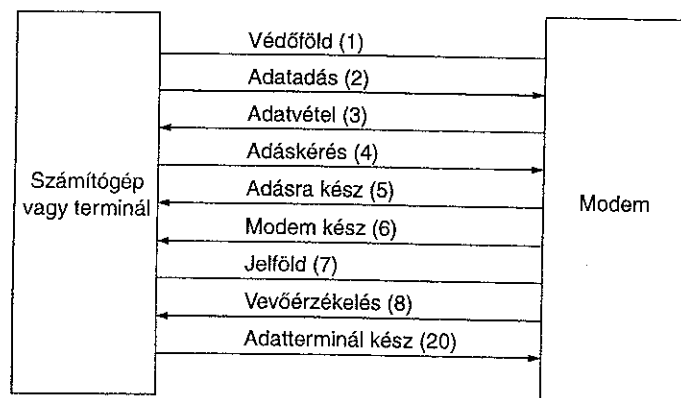
A visszhangelyomó helyett **visszhangtörlőt (echo canceler)** is használhatunk. A visszhangtörlő olyan áramkör, amely szimulálja a visszhangot, megbecsüli annak nagyságát, és az eredeti jelből levonja a szimulált jelet. Mindehhez nincs szükség semmiféle mechanikus kapcsolóra. Visszhangtörlők alkalmazása esetén lehetőség nyílik a duplex átvitelre. Ennek köszönhetően az Egyesült Államokban és más nagyobb országokban gyors ütemben cserélik le a visszhangelyomókat visszhangtörlő áramkörökre.

### RS-232-C és RS-449

A számítógép vagy a terminál, valamint a modem közötti interfész jó példa a fizikai réteg protokolljára. Részletesen meghatározza a mechanikai, a villamos, a funkcionális és az eljárási interfészt. A következőkben a fizikai réteg két jól ismert szabványát, az RS-232-C és az azt követő RS-449 szabványt fogjuk közelebbről megismerni.

Kezdjük az **RS-232-C** szabvánnyal, ami az eredeti **RS-232** szabvány harmadik javított változata. Ezt a szabványt az Electronic Industries Association (EIA) nevű szervezet dolgozta ki, amely az elektronikus berendezéseket gyártó cégeket fogja össze. A szabvány pontos elnevezése tehát EIA RS-232-C. A nemzetközileg elfogadott változatot a CCITT V.24 szabványa tartalmazza, amely csak egy-két ritkán használt áramkör leírásában különbözik az RS-232-C szabványtól. Ezekben a szabványokban a számítógépet vagy terminált hivatalosan **adatvég-berendezésnek (Data Terminal Equipment, DTE)**, a modemet pedig **adatáramkört lezáró berendezésnek (Data Circuit-Terminating Equipment, DCE)** nevezik.

A mechanikai leírás egy 25 tűs csatlakozót ad meg, amelynek szélessége (csavaroközéptől csavaroközépig)  $47,04 \pm 0,13$  mm. A csatlakozó többi méretét is hasonló pontossággal határozták meg. A felső sor tűinek számozása (balról jobbra) 1-től 13-ig terjed, míg az alsó sor tűinek számozása (szintén balról jobbra) 14-től 25-ig.



2.21. ábra. Néhány alapvető RS-232-C áramkör. A zárójelbe tett számok az érintkezők sorszámát adják meg

Az RS-232-C villamos leírása szerint a  $-3$  V és  $-15$  V közötti feszültség a bináris 1-et, míg a  $+3$  V és  $+15$  V közötti feszültség a bináris 0-t jelenti. Az adatátviteli sebesség legfeljebb 20 kb/s lehet, a kábel maximális hossza pedig 15 méter.

A funkcionális leírás azt tartalmazza, hogy milyen áramkör kapcsolódik az egyes tűkhöz, és hogy mi azoknak a funkciója. A 2.21. ábrán 9 tűhöz tartozó áramkör funkciója látható. Ezeket az áramköröket szinte mindig megvalósítják, míg a többi tűt gyakran elhagyják. Amikor a számítógépet vagy a terminált bekapcsoljuk, akkor az aktiválja (azaz logikai 1-re állítja) az **Adatterminál kész (Data Terminal Ready)** jelet (20-as tű). Amikor a modem bekapcsolódik, akkor a **Modem kész (Data Set Ready)** jelet (6-os tű) aktiválja. Ha a modem vivőjelet érzékel a telefonvonalon, akkor a **Vivőérzékelés (Carrier Detect)** jelet (8-as tű) aktiválja. Az **Adáskérés (Request to Send)** jel (4-es tű) azt jelzi, hogy a terminál adatot akar küldeni. Az **Adásra kész (Clear to Send)** jel (5-ös tű) azt jelzi, hogy a modem felkészült az adatok fogadására. Az adatok elküldése az **Adatadás (Transmit)** áramkörtön (2-es tű), míg az adatok vétele az **Adatvétel (Receive)** áramkörtön (3-as tű) történik.

A többi áramkör funkciója többek közt az adatátviteli sebesség kiválasztása, a modem tesztelése, az adatok ütemezése, csengető jelek érzékelése vagy adatok ellentétes irányú továbbítása egy másodlagos csatornán. Ezeket a funkciókat a gyakorlatban szinte sosem használják.

Az eljárási interfész nem más, mint maga a protokoll, amely az események sorrendjét határozza meg. A protokoll akció-reakció eseménypárokon alapul. Amikor például egy terminál kiadja az **Adáskérés** jelet, akkor a modem az **Adásra kész** jellel válaszol, amennyiben képes az adatok fogadására. A többi áramkör számára is hasonló akció-reakció eseménypárokat határoztak meg.

Gyakran előfordul, hogy két számítógépet RS-232-C interfészen keresztül kell összekapcsolni. Mivel egyik számítógép sem modem, ezért közvetlenül nem csatlakoztathatók. A probléma egy **null modem** segítségével oldható meg, ami az egyik gép adási vonalát a másik gép vételi vonalával köti össze. Hasonlóképpen, a null modem más vezetékeket is keresztbe köt. A null modem rendszerint nem más, mint egy rövid kábel.

Az RS-232-C interfészeket már évek óta használják. Az adatátviteli sebesség korlátozása 20 kb/s-ra, és a kábel hosszának korlátozása 15 m-re lassan kezd egyre zavaróbbá válni. Az EIA-ban sokáig azon vitatkoztak, hogy egy olyan szabványt dolgozzanak-e ki, amely a korábbi szabvánnyal kompatibilis (de műszakilag nem jelent nagy előrelépést), vagy egy olyan teljesen újat, ami az elkövetkezendő évek igényeit is ki tudja majd elégíteni. Végül egy kompromisszumos megoldást választottak, amely mindkét irányt magába foglalja.

Az **RS-449** elnevezésű új szabvány tulajdonképpen három különböző szabványt tartalmaz. A mechanikai, a funkcionális és az eljárási interfészt az RS-449 szabvány tartalmazza, míg az elektromos interfészt két másik szabvány írja le. Ezek közül az egyik az **RS-423-A**, amely abban hasonlít az RS-232-C szabványhoz, hogy minden áramkör ugyanazt a közös földelést használja. Ezt a megoldást **aszimmetrikus átvitelnek (unbalanced transmission)** nevezzük. A másik elektromos szabvány az **RS-422-A**, amely az előbbivel ellentétben **szimmetrikus átvitelt (balanced transmission)** valósít meg. Szimmetrikus átvitel esetén minden fontosabb áramkör két vezetékkel rendelkezik,

tehát a földelésük nem közös. Az eredmény az lett, hogy az RS-422-A szabvány 2 Mb/s-os adatátvitelt tesz lehetővé egy legfeljebb 60 m-es kábelben.

Az RS-449 szabvány áramköreit a 2.22. ábra szemlélteti. Ezek között számos olyan új áramkör szerepel, amely az RS-232-C szabványban nem volt benne. Elsősorban olyan áramkörökkel bővült a szabvány, amelyek lehetővé teszik a modem helyi és távoli tesztelését. A kétvezetékes áramkörök miatt (az RS-422-A esetén) az új szabványban több tűre volt szükség, így a megszokott 25 tűs csatlakozót elvetették, és helyette egy 9 tűs és egy 37 tűs csatlakozót vezettek be. A 9 tűs csatlakozó akkor használható, amikor csak a másodlagos (ellentétes irányú) csatornán továbbítunk adatokat.

RS-232-C			CCIT V.24			RS-449		
Kód	Tű	Áramkör	Kód	Tű	Áramkör	Kód	Tű	Áramkör
AA	1	Védőföld	101	1	Védőföld	-	1	
AB	7	Jelföld	102	7	Jelföld	SG	19	Jelföld
						SC	37	Adási közös
						RC	20	vételi közös
BA	2	Adatadás	103	2	Adatadás	SD	4, 22	Adatadás
BB	3	Adatvétel	104	3	Adatvétel	RD	6, 24	Adatvétel
CA	4	Adáskérés	105	4	Adáskérés	RS	7, 25	Adáskérés
CB	5	Adásra kész	106	5	Adásra kész	CS	9, 27	Adásra kész
CC	6	Modem kész	107	6	Modem kész	DM	11, 29	Adatüzemmód
CD	20	Adatterminál kész	108	20	Adatterminál kész	TR	12, 30	Terminál kész
			125	22	Hívásjelzés	IC	15	Bejövő hívás
CE	22	Csengetéssjelzés	109	8	Vonalfigyelés	RR	13, 31	Vevő kész
CF	8	Vonalfigyelés	110	21	Jelminőség	SQ	33	Jelminőség
CG	21	Jelminőség	111	23	DTE-sebesség	SR	16	Jelzési sebesség
CH	23	DTE-sebesség	112	18	DCE-sebesség	SI	2	Jelzés indikátorok
CI	18	DCE-sebesség	136		Új jel	IS	28	Terminál szolgálatban
			126	11	Frekvenciakiválasztás	NS	34	Új jel
						SF	16	Frekvenciakiválasztás
DA	24	DTE-időzítés	113	24	DTE-időzítés	TT	17, 25	Terminálidőzítés
DB	15	DCE-időzítés	114	15	DCE-időzítés	ST	5, 23	Adásiidőzítés
DD	17	Vevőidőzítés	115	17	Vevőidőzítés	RT	8, 26	Vételiidőzítés
SBA	14	Adatadás	118	14	Adatadás	SSD	3	Adatadás
SBB	16	Adatvétel	119	16	Adatvétel	SRD	4	Adatvétel
SCA	19	Adáskérés	120	19	Vonaljel	SRS	7	Adáskérés
SCB	13	Adásra kész	121	13	Csatorna kész	SCS	8	Adásra kész
SCF	12	Vonalfigyelés	122	12	Vonalfigyelés	SRR	2	Vevő kész
						LL	10	Helyi visszahurkolás
						RL	14	Távoli visszahurkolás
						TM	18	Teszt üzemmód
						SS	32	Készletválasztás
						SB	36	Készletjelzés

2.22. ábra. Az RS-232-C, a V.24 és az RS-449 szabvány összehasonlítása

### Fényvezető szálak előfizetői hurok

A jövőben várható korszerű hálózati szolgáltatások (pl. a hálózati videózás) számára, a jelenlegi 3 kHz-es sávzélesség nem lesz elegendő. Ennek a problémának a kiküszöbölésére két megoldás tűnik jónak. A jövőbe mutató megoldást a helyi központok és a háztartások között kihúzott fényvezető kábelek jelentik. Ezt rövidítve **FTTH-nak** (**Fiber To The Home**) nevezik. Ez a megoldás a jelenlegi rendszerekhez jól illeszkedik, de pénzügyileg aligha tartható fenn évtizedekig. Egyszerűen túl drága.

Egy másik megoldás a sokkal olcsóbb **FTTC** (**Fiber To The Curb**). Ebben a modellben a telefonszálak a helyi központokból csak azokba a körzetekbe (curb) húz ki fényvezető kábelt, amelyeket kiszolgál (Paff, 1995). A fényvezető kábelek egy olyan kábelrendező dobozban (junction box) végződnek, amelybe az előfizetői hurok jönnek be. Mivel az előfizetői hurok sokkal rövidebbek (mondjuk 3 km helyett csak 100 méter), nagyobb sebességgel, akár 1 Mb/s-mal is működhetnek, ami már elegendő lenne tömörített videoképek átvitelére. Ennek a rendszernek a vázlatos rajza látható a 2.23.(a) ábrán.

Ily módon egyszerre több képcsatornát (vagy más információs csatornát) lehetne nagy sebességgel letölteni az optikai szálon, és szétválogatva tovább küldeni a csavart érpárokon. Ha egy optikai szálon a felhasználók száma 100 és 1000 között van, akkor az egy felhasználóra jutó költség csökkenthető, és vélhetően a jelenleginél nagyobb sávzélesség jut mindenkinek. A meglévő csavart érpárokkal nagytávolságú átvitel esetén az 1 Mb/s-os adatsebesség jelentősen nem léphető túl. Ezért az összes nagytávolságú csavart érpárt optikai szárra fogják lecserélni. Arról még folyik a vita a telefonszálakon belül, hogy érdemes-e egyelőre ideiglenesen az FTTC megoldást megvalósítani, vagy egyből az FTTH megoldást kövessék.

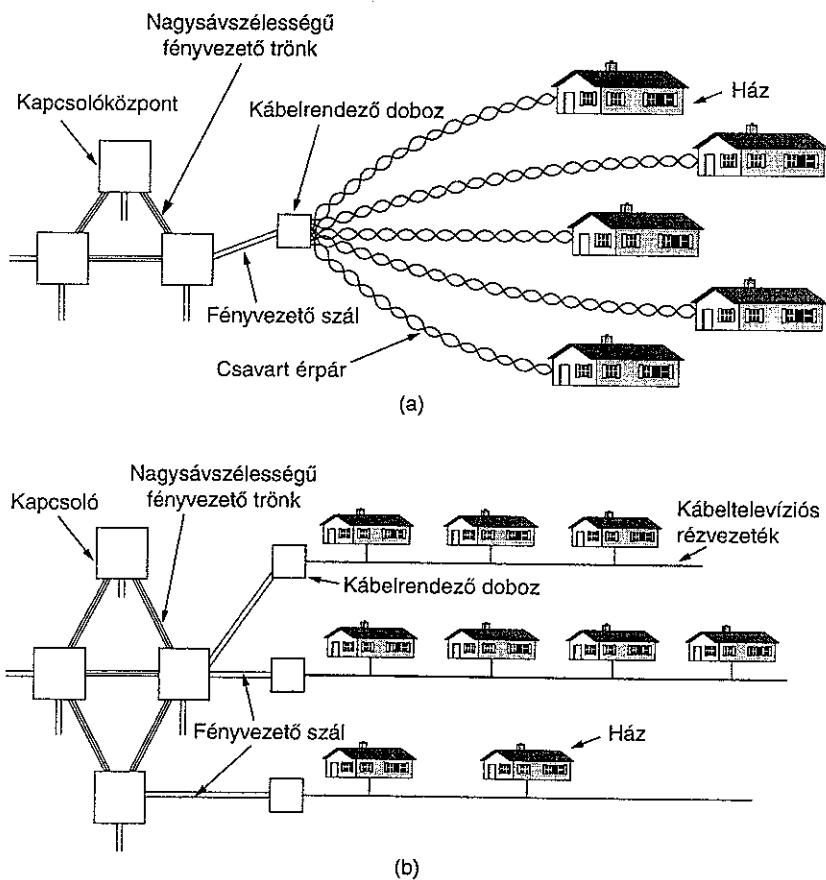
A meglévő kábelhálózat infrastruktúrájára a 2.23.(b) ábrán láthatunk egy lehetséges megoldást. Ebben a rendszerben a távbeszélőrendszer jellemző két pont között összekötések helyett egyetlen többpontos kábelt használnak. Valószínű, hogy a jövőben mind a 2.23.(a), mind a 2.23.(b) ábrán látható megoldás megvalósul, ugyanis a telefonszálak és a kábeltelevíziók üzemeltetői közvetlen versenytársakká váltak a hang, az adat, sőt még a televíziós szolgáltatások területén is. Erről a témáról bővebben (Cook és Stern, 1994; Miki, 1994; és Mochida, 1994) műveiben olvashatunk.

### 2.4.4. Trónkok és multiplexelés

A gazdaságosság ma már egyre fontosabb szerepet játszik a távbeszélőrendszerek területén is. Egy szélessávú és egy keskenysávú telefonvezeték két kapcsolóközpont közötti lefektetése ugyanannyiba kerül (ugyanis a költségek legnagyobb része az árkok kiásásából és nem pedig a rézvezetékek vagy fényvezető kábelek árából tevődik össze). Következésképpen a telefonszálak olyan módszereket fejlesztettek ki, amelyek segítségével egyetlen telefonvezetéken egyszerre több beszélgetés is lebonyolítható. Ezeket a multiplexelési eljárásokat két fő csoportra oszthatjuk; az egyik a **frekvenciaosztásos multiplexelés** (**Frequency Division Multiplexing, FDM**), a

másik az időosztásos multiplexelés (Time Division Multiplexing, TDM). Frekvenciaosztásos multiplexelésnél a frekvenciatartományt logikai csatornákra osztják fel, és minden felhasználónak kizárólagos joga van valamelyik csatorna használatára. Időosztásos multiplexelés esetén a felhasználók periodikusan egymás után (körforgó prioritással) adhatnak, és minden felhasználó a teljes sáv szélességet kihasználhatja a ráeső igen rövid idő alatt.

Az AM rádiós műsorszórás mindkét multiplexelési eljárást jól szemlélteti. A rendelkezésre álló frekvenciatartomány a kb. 500 és 1500 kHz közé eső, nagyjából 1 MHz-es sáv. A különböző logikai csatornákhöz (állomásokhoz) különböző frekvenciákat rendelnek hozzá oly módon, hogy minden csatorna a rendelkezésre álló frekvenciatartománynak csak egy kis részét veszi igénybe, és a csatornák frekvenciája között elég



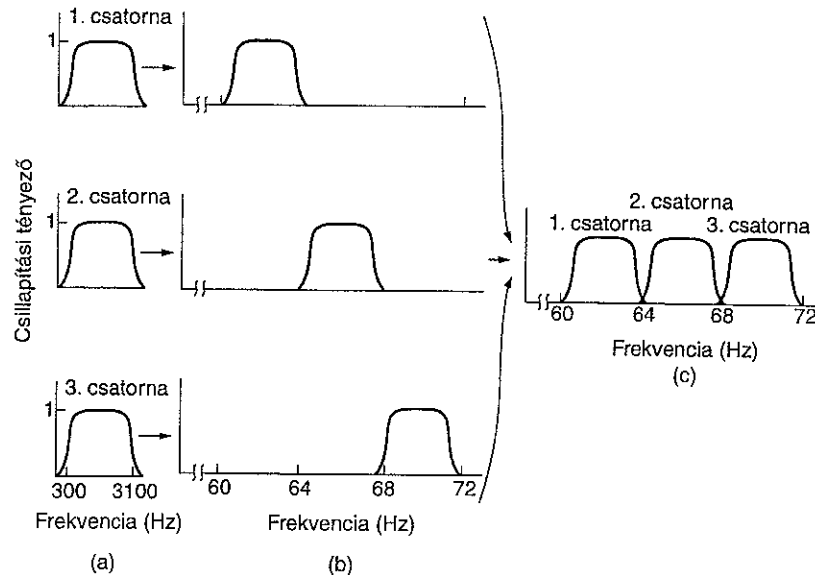
2.23. ábra. Fényvezető szál az otthonokba. (a) A telefonhálózaton keresztül. (b) A kábeltelevíziós hálózaton keresztül

nagy a távolság ahhoz, hogy ne zavarják egymás adásait. Ez a rendszer a frekvenciaosztásos multiplexelésre példa. Ezenkívül (néhány országban) minden állomásnak van két logikai alcsatornája is; az egyiket zene sugárzására, a másikat hirdetésre használja. A két alcsatorna egymást váltogatja ugyanazon a frekvencián. Először egy kis zene, aztán egy kis reklám, aztán megint zene és így tovább. Ez a fajta működés pedig az időosztásos multiplexelésre példa.

A továbbiakban a frekvenciaosztásos multiplexelésről lesz szó, majd azt követően bemutatjuk, hogy hogyan lehet használni a frekvenciaosztásos multiplexelést fényvezető kábelek esetén (ez a hullámhosszosztásos multiplexelés). Ezután visszatérünk az időosztásos multiplexelésre, végül bemutatunk egy korszerű, fényvezető szál időosztásos rendszert (SONET).

### Frekvenciaosztásos multiplexelés

A 2.24. ábrán azt láthatjuk, hogy frekvenciaosztással hogyan lehet három beszédátvitelre szánt telefonvonalat egy csatornára multiplexelni. Hangcsatornák esetén a szűrők a rendelkezésre álló sáv szélességet körülbelül 3000 Hz-re korlátozzák. Ha több csatornát multiplexelnek össze, akkor a csatornák megfelelő szétválasztása érdekében 4000 Hz-et biztosítanak minden csatorna számára. Először a hangcsatornák frekvenciáját tolják el, mindegyiket különböző mértékben. Ezt követően összefogják a csator-



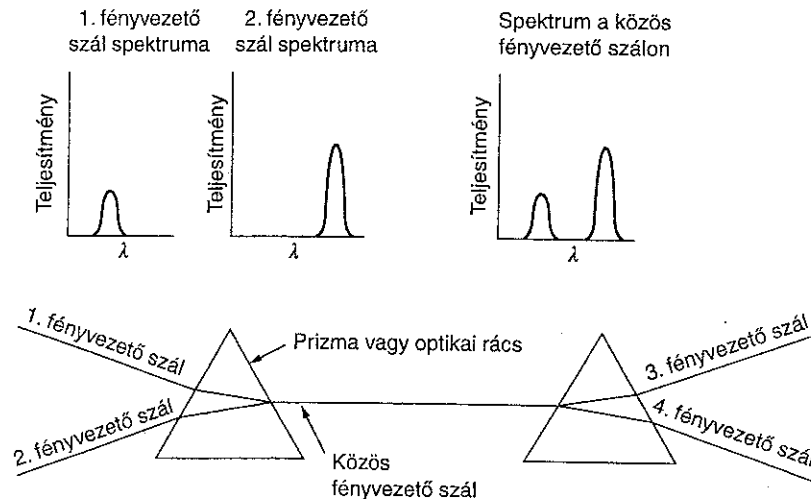
2.24. ábra. Frekvenciaosztásos multiplexelés. (a) Az eredeti sáv szélességek. (b) A frekvenciatartományban eltoló sáv szélességek. (c) A multiplexelt csatorna

nákat, mivel minden csatorna máshol helyezkedik el a frekvenciatartományban. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy bár a sávok között van valamekkora távolság (védősáv), a szomszédos csatornák mégis átlapolódnak egy kicsit, mivel a szűrők nem vágnak élesen. Ez az átlapolódás azt jelenti, hogy ha az egyik csatorna szélén megjelenik egy nagy túske, akkor a szomszédos csatorna azt nem termikus zajnak fogja érzékelni.

A világszerte használt frekvenciaosztásos rendszerek bizonyos fokig szabványosítottak. Széles körben elterjedt az a szabvány, amelyiknél tizenkét 4000 Hz-es csatornát (3000 Hz-es felhasználói sávszélesség és két 500 Hz-es védősáv) multiplexelnek a 60 kHz és 108 kHz közötti frekvenciasávba. Ezt az egységet **csoporthat** (**group**) nevezik. A 12 kHz és 60 kHz közötti sávot általában egy másik csoport használja. Sok olyan szolgáltató van, amelyek a csoport frekvenciatartománya alapján 48–56 kb/s-os bérelt vonalakat biztosít az ügyfeleinek. Öt csoport (tehát 60 hangcsatorna) multiplexelése **főcsoportot** (**super group**) eredményez. A következő egység a **mestercsoport** (**master group**), ami öt főcsoportot (CCITT) vagy tíz főcsoportot (Bell-rendszer) tartalmaz. Vannak olyan szabványok is, amelyek akár 230 000 hangcsatornát is képesek multiplexelni.

### Hullámhosszosztásos multiplexelés

Fényvezető szálaknál a frekvenciaosztásos multiplexelés egy speciális változatát használják. Ez a **hullámhosszosztásos multiplexelés** (**Wavelength Division Multiplexing, WDM**). Fényvezető szálakkal az FDM eljárás megvalósításának legegyszerűbb módja a 2.25. ábrán látható. Itt két fényvezető szál csatlakozik egy prizmaéhoz (vagy jobb esetben egy optikai rácshoz). Mindkét szál más frekvenciasávban továbbítja a



2.25. ábra. Hullámhosszosztásos multiplexelés

fényenergiát. A két sugár áthalad a prizmán vagy az optikai rácson, és azt követően együtt haladnak tovább a távoli célpontig, ahol aztán újból szétválasztják őket.

Ebben semmi újdonság nincs. Miután mindegyik csatorna saját frekvenciatartománnyal rendelkezik, és ezek a tartományok nem lapolódnak át, a csatornákat egyetlen nagytávolságú fényvezető szálra lehet multiplexelni. A villamos FDM-től mindössze annyiban különbözik, hogy az optikai rácshoz köszönhetően ez az optikai rendszer teljesen passzív, ezért rendkívül megbízható.

Meg kell jegyeznünk, hogy a WDM azért olyan népszerű, mert egy fényvezető szálon tipikusan csak néhány GHz-es hullámok továbbíthatók. Ennek az az oka, hogy jelenleg a villamos-optikai átalakítók nem tudnak nagyobb sebességgel működni. Mivel egy fényvezető szál teljes sávszélessége 25 000 GHz körül van (lásd a 2.6. ábrát), ezért lehetőség kínálkozik arra, hogy több csatornát egy nagytávolságú vonalra multiplexelve továbbítsunk. Ehhez viszont az szükséges, hogy az összes bejövő csatorna különböző frekvenciát használjon.

A WDM eljárás egyik lehetséges alkalmazási területe a korábban ismertetett FTTC rendszer. Kezdetben a telefontársaság a helyi központból kihúzhatja egy fényvezető szálát a körzeti kábelrendező dobozba, amelyben a fényvezető szál a háztartásokba vezető csavart érpárokhoz kapcsolódna. Aztán évekkel később, amikor a fényvezető szál már olcsóbb lesz, és nőnek az igények, akkor a csavart érpárokat ki lehetne cserélni fényvezető szálakra, és az előfizetői hurkok hullámhosszosztásos multiplexeléssel jutnának el a fényvezető szálakon a helyi központba.

A 2.25. ábrán látható rendszer fix hullámhosszokkal dolgozik. Az 1-es szál bitjei a 3-aszhoz mennek, a 2-es szál bitjei pedig a 4-es szálhoz. Az 1-es szárról nem lehet adatot küldeni a 4-es szálra. Viszont lehet kapcsolt hullámhosszosztásos rendszert is építeni. Egy ilyen berendezés több bemenő és több kimenő fényvezető szál tartalmaz, és bármelyik bemenő szárról bármelyik kimenő szálra lehet adatot küldeni. A kapcsoló általában egy passzív csillag, amit az összes bejövő fényvezető szál fénye megvilágít. Bár a fény ereje  $n$ -ed részére csökken, ha a passzív csillagnak  $n$  kimenő vonala van, mégis az ilyen rendszerek akár több száz csatorna működtetésére is alkalmasak.

Természetesen, ha az egyik bejövő szálon érkező fény hullámhossza 1,50206 mikron, és elvileg bármelyik kimenő szálon továbbítható, akkor az összes kimenő szál esetén szükség van egy hangolható szűrőre, amely rá tud hangolódni az 1,50206 mikronos hullámhosszra. Ilyen optikailag hangolható szűrőket a Fabry-Perot-féle és a Mach-Zehnder-féle interferométerből lehet előállítani. Az is egy lehetséges megoldás, hogy a bemenő szálaknál alkalmazunk hangolható szűrőket, és a kimenő szálak hullámhosszát rögzítjük. Mindkét oldalt túl drága lenne hangolhatóvá tenni, és amúgy sincs túl sok értelme.

### Időosztásos multiplexelés

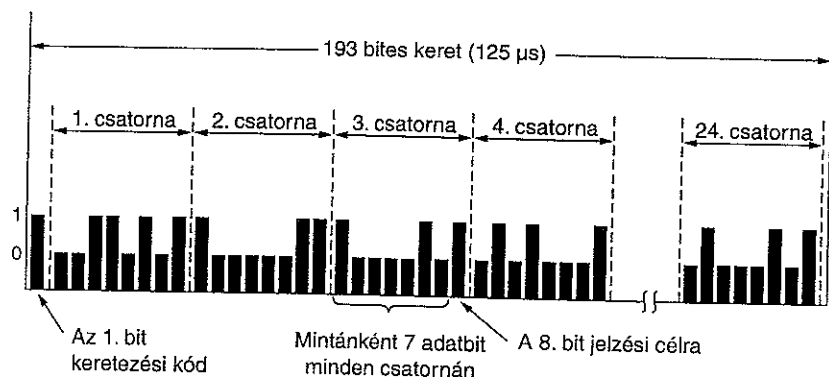
A frekvenciaosztásos multiplexelés analóg áramköröket igényel, így ez az eljárás számítógépekkel nemigen végezhető el. Ugyanakkor a frekvenciaosztásos multiplexelést még ma is használják rézvezetékes és mikrohullámú összeköttetések esetén. Szemben

a frekvenciaosztásos multiplexeléssel, az időosztásos multiplexelés elvégezhető tisztán digitális elektronikus áramkörökkel, ezért az utóbbi években egyre inkább elterjedt. Kár, hogy csak digitális adatok továbbítására alkalmas. Mivel az előfizetői hurkok analóg átvitelt valósítanak meg, ezért a helyi központban, ahol az előfizetői hurkok jeleit egyetlen trónkőn továbbítják, az analóg jeleket digitális jelekké kell átalakítani. A következőkben ismertetni fogjuk, hogy az analóg hangjeleket hogyan lehet digitalizálni, és egyetlen digitális trónkőn továbbítani. (Ne felejtjük el, hogy a modemen keresztül elküldött számítógépes adatok is analóg jelek formájában érkeznek meg a helyi központba.)

Az analóg jeleket a helyi központban található speciális berendezés, a **kodek** (kódoló-dekódoló) segítségével digitalizálják. A kodek 7 vagy 8 bites számot állít elő (lásd a 2.17. ábrát). A kodek másodpercenként 8000 mintát vesz az analóg jelből (125  $\mu$ s/minta), mivel a Nyquist-tétel értelmében ennyi kell ahhoz, hogy minden információt kinyerjünk egy 4 kHz sáv szélességű telefoncsatornából. Kisebb mintavételi frekvencia esetén elveszne információ, viszont nagyobb mintavételi frekvencia esetén sem jutnánk több információhoz. Ezt az eljárást **impulzuskód-modulációnak (Pulse Code Modulation, PCM)** nevezik. A mai távbeszélőrendszereknek a PCM a lelke. Ebből következik az, hogy a távbeszélőrendszerekben látszólag minden időköz a 125  $\mu$ s többszöröse.

Amikor a digitális átvitel már kezdett megfizethető technológiává válni, a CCITT még akkor sem volt képes arra, hogy az impulzuskód-modulációt nemzetközi szinten szabványosítsa. Így ma világszerte számos egymással nem kompatibilis változatát használják ennek az eljárásnak. Az egymással nem kompatibilis országok között kapcsolat létrehozásához (sokszor igen drága) „fekete doboz”-okra van szükség, ugyanis a hívást kezdeményező ország rendszerének jeleit át kell alakítani a hívott ország rendszerének megfelelően.

Az Egyesült Államokban és Japánban használt T1 vivót a 2.26. ábrán láthatjuk. (Valójában a formátumot DS1-nek hívják, és csak a vivót hívják T1-nek, de mi nem fogunk különbséget tenni a kettő között.) A T1 vivó 24 hangcsatornát multiplexel



2.26. ábra. A T1 vivó (1,544 Mb/s)

egybe. Az analóg jeleket általában előbb körforgó prioritással mintavételezik, és aztán küldik az analóg bitfolyamot a kodek bemenetére, és nem pedig 24 különböző kodek kimenetét multiplexelik egyetlen digitális kimenetre. A 24 csatorna mindegyike 8 bitet továbbít a kimeneti adatfolyamban. Ebből hét bit adatbit, egy bit pedig vezérlésre szolgál, így csatornánként összesen  $7 \times 8000 = 56\,000$  bit adatot és  $1 \times 8000 = 8000$  bit vezérlő információt lehet másodpercenként továbbítani.

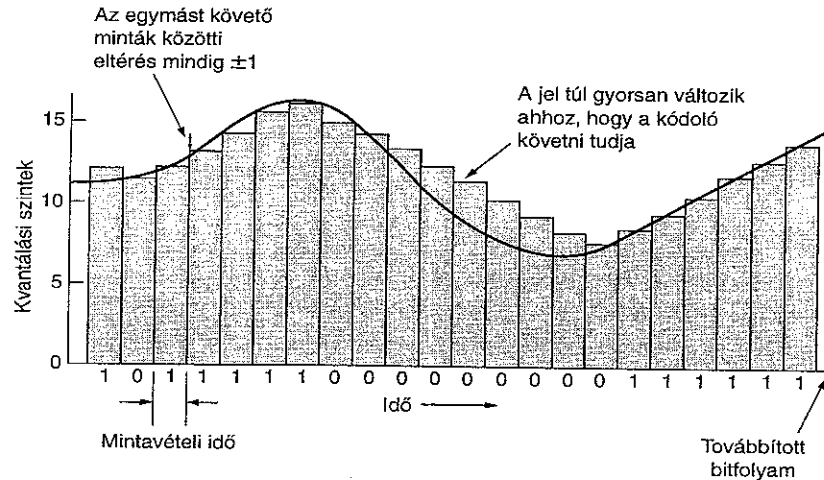
A keret  $24 \times 8 = 192$  bitből, plusz egy keretszinkronizáláshoz használt bitből áll, tehát 193 bitet kell továbbítani 125  $\mu$ s-onként. Ez tulajdonképpen végeredményben 1,544 Mb/s-os adatátviteli sebességet jelent. A keretszinkronizálásra használt bit az alábbi minta szerint változik: 0101010101... A vevő normális körülmények között folyamatosan ellenőrzi ezt a bitet, és így győződik meg arról, hogy nem esett-e ki a szinkronból. Ha kiesik a szinkronból, akkor ezt a bitmintát keresi az újraszinkronizálás érdekében. Analóg eszközök egyáltalán nem képesek ilyen bitsorozatok előállítására, ugyanis ez egy 4000 Hz-es szinusz jelnek felel meg, amit viszont a szűrők kiszűrnének. A digitális eszközök viszont természetesen elő tudnak állítani ilyen bitmintát, de jelenlétük ellenére nem valószínű, hogy sikerül ez nekik, amikor a keret elcsúszik. Amikor a T1 rendszert teljes egészében adatok továbbítására használják, akkor csak 23 csatornát vesznek igénybe adatátvitelre, a 24. csatornán pedig egy speciális szinkronizáló bitsorozatot továbbítanak, amely a keretek szétszűsása esetén a gyorsabb újraszinkronizálást teszi lehetővé.

Amikor a CCITT-nek végül sikerült megegyezésre jutnia, akkor úgy vélték, hogy a 8000 b/s-os jelzési információ túl sok, ezért az 1,544 Mb/s-os szabványában 7 bites adategységek helyett 8 bites adategységeket használ. Ez azt jelenti, hogy az analóg jelet 128 helyett 256 diszkrét szinten lehet kvantálni. Így két egymással inkompatibilis változat született. **Közös csatornás jelzés (common-channel signaling)** esetén az extra bit (amely a 193 bites keretek végére és nem pedig az elejére kerülnek) a páratlan keretekben az 10101010... értékeket követi, míg a páros keretekben az összes csatornára együttesen vonatkozó jelzési információt hordoz.

A másik változat a **csatornához kapcsolódó jelzés (channel associated signaling)**. Ennél a jelzési módnál minden csatornának saját jelzési alcsatornája van. Ezt az alcsatornát úgy alakították ki, hogy minden hatodik keretben a 8 felhasználói bitből egyet jelzési célokra használnak, így tehát minden hat mintából öt minta 8 adatbitet, egy minta pedig csak 7 adatbitet tartalmaz. A CCITT-nek van egy olyan ajánlása is, amelyben a PCM vivó sebessége 2,048 Mb/s; ez a vivó az E1. Az E1 vivó az alapnak tekintett 125  $\mu$ s-os keretben 32 darab 8 bites mintát továbbít. Ebből 30 csatorna adatátvitelre, 2 csatorna pedig jelzésre szolgál. Minden négy keretből álló csoport 64 jelző bitet tartalmaz, amelyeknek az egyik fele csatornafüggő jelzésre szolgál, a másik felét pedig vagy keretszinkronizálásra, vagy kívánság szerint szabadon lehet felhasználni. Észak-Amerika és Japán kivételével a világon szinte mindenütt a 2,048 Mb/s-os vivót használják.

A hangjelek digitalizálása után nagy a kísértés, hogy a csatornánként továbbítandó bitek számát megpróbáljuk valamilyen statisztikai módszerrel csökkenteni. Ezek a módszerek nemcsak a beszéd kódolására, hanem bármilyen analóg jel digitalizálására alkalmasak. Az összes tömörítési eljárás azon az elven alapul, hogy a jel viszonylag





2.27. ábra. Deltamoduláció

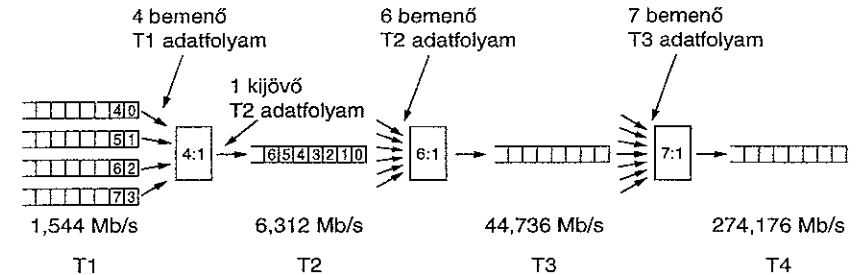
lassan változik a mintavételi frekvenciához képest, így a 7 vagy 8 bites digitalizált mintákban tárolt információ nagy része redundáns.

A **különbégi impulzuskód-moduláció (differential pulse code modulation)** olyan eljárás, amelynél a kimenetre nem a digitalizált jel amplitúdója kerül, hanem az aktuális jel és az azt megelőző jel amplitúdójának különbsége. Mivel egy 128 kvantálási szinttel rendelkező skálán a  $\pm 16$  szintes vagy annál nagyobb ugrások nem túl valószínűek, ezért 7 bit helyett 5 is elegendő lehetne. Ha a jel alkalmanként mégis nagyobb ugrást ugrik, akkor a kódoló logika csak több mintavételi periódus után éri utol a jelet. Beszéd esetén az ilyen hibák elhanyagolhatók.

Ennek a tömörítési eljárásnak van egy olyan változata, amelynél az egymást követő minták között a különbség vagy +1 vagy -1 lehet. Ilyenkor elegendő egyetlen bitet elküldeni, amely azt mondja meg, hogy az új minta az előzőnél nagyobb-e, vagy annál kisebb. Ez az eljárás a 2.27. ábrán látható **deltamoduláció (delta modulation)**. Hasonlóan az összes többi olyan tömörítési eljárásához, amely az egymást követő jelek közötti kis eltéréseken alapul, a deltamoduláció esetében is gondot okoz az, hogyha a jel túl gyorsan változik, miként ezt a 2.27. ábrán is láthatjuk. Ilyen esetekben információvesztés történik.

A különbségi impulzuskód-moduláció egyik továbbfejlesztett változata a korábbi minták értékét extrapolálva megjósolja a következő minta értékét, és a valódi érték, valamint a megjósolt érték közötti eltérést kódolja. Természetesen az adó és a vevő oldalnak ugyanazt a jöslési algoritmust kell használnia. Az ilyen kódolási eljárásokat **prediktív kódolásnak (predictive encoding)** nevezik, és azért hasznosak, mert lecsökkentik a kódolandó számok nagyságát, és ennek köszönhetően kevesebb bitet kell továbbítani.

Bár az impulzuskód-modulációt széles körben alkalmazzák a központok közötti trónkökön, a számítógép felhasználója nem sok hasznát látja ennek, ha a helyi köz-



2.28. ábra. T1 vivők multiplexelése magasabb vivőkre

pontba az összes adat egy 28,8 kb/s-os modulált analóg szinuszos jel formájában jut el. Az lenne az igazi, ha a szolgáltató az előfizetői hurkot közvetlenül az impulzuskód-modulációval működő trónkökhöz tudná kapcsolni, és így a számítógépek a digitális adatokat egyből az 1,544 vagy 2,048 Mb/s-os előfizetői hurkokra tudnák kiküldeni. Sajnos az előfizetői hurkok még sokáig nem fognak tudni ilyen sebességgel működni.

Az időosztásos multiplexelés lehetővé teszi, hogy a T1 vivőket egy magasabb rendű vivőbe multiplexeljük. Ennek módja a 2.28. ábrán látható. A bal oldalon látható négy T1 vivőt egy T2 vivőre multiplexeljük. Míg a 24 hangcsatorna T1 keretére történő átalakításakor bájt alapon végzik a multiplexelést, addig a T2 és a felette levő szinteken a multiplexelést bitenként hajtják végre. A négy 1,544 Mb/s-os T1 bitfolyam 6,176 Mb/s-os bitfolyamot jelentene, azonban a T2 vivő valójában 6,312 Mb/s-os. Ennek az az oka, hogy keretezéshez és a vivő elcsúszásából adódó hibák helyreállításához extra bitekre van szükség.

A következő szinten hat T2 bitfolyam alkot egy T3 bitfolyamot, majd pedig hét T3 bitfolyamot egyesítenek egy T4 bitfolyamba. Keretezéshez és a hibák korrigálásához minden szinten valamennyivel több adatot továbbítanak az eredetinel.

Ahogy kicsi az egyetértés az Egyesült Államok és a világ többi országa között az alapvivőt illetően, úgy abban sincs egyetértés, hogy a vivőket hogyan multiplexeljék magasabb frekvenciájú vivőkre. Mivel az Egyesült Államokban használt multiplexelési mód – azaz először 4, majd 6, végül 7 csatorna összefogása – nem nyerte el a többi ország tetszését, ezért a CCITT ezt úgy szabványosította, hogy minden szinten 4 csatornát kell összefogni. Ezenkívül a keretezést és a hibajavítást is másképpen definiálta. A 32, 128, 512, 2048 és 8192 csatornából álló CCITT hierarchia megfelelő sebességei a következők: 2,048; 8,848; 34,304; 139,264 és 565,148 Mb/s.

## SONET/SDH

A fényvezető szálak rendszereinek megjelenésekor minden telefontársaságnak saját optikai TDM rendszere volt. Miután 1984-ben az AT&T feldarabolódott, a helyi telefontársaságoknak több olyan nagytávolságú szolgáltatóhoz kellett kapcsolódniuk, amelyek mind különböző fényvezető szálak TDM rendszert használtak. Így nyilvánvalóan

elkerülhetetlenné vált a szabványosítás. 1985-ben a Bellcore, az RBOC kutatási részlege elkezdett dolgozni egy szabványon, amit **szinkron optikai hálózatnak (Synchronous Optical Network, SONET)** neveztek el. Később a CCITT is csatlakozott hozzájuk, és 1989-ben megszületett a SONET szabvány és ezzel egyidejűleg egy sor CCITT ajánlás (G.707, G.708 és G.709). A CCITT ajánlásokat **szinkron digitális hierarchiának (Synchronous Digital Hierarchy, SDH)** nevezték el. Az SDH csak kicsit különbözik a SONET-től. Egyelőre úgy tűnik, hogy az Egyesült Államokban és sok más országban a nagytávolságú telefonhálózatok fizikai rétege olyan trónkökből áll, amely a SONET-et használja. Ahogy egyre olcsóbbak a SONET chipek, egyre jobban elterjednek a számítógépes SONET interfészkártyák, és így a cégeknek egyszerűbbé válik a számítógépeiket speciális bérelt vonalak segítségével egyből a telefonhálózathoz kapcsolni. A továbbiakban a SONET céljait és működését ismertetjük röviden. Minderről bővebben (Bellamy, 1991; valamint Omidyar és Aldridge, 1993) műveiben olvashatunk.

A SONET-nek négy fő célja volt. Az első és legfontosabb az volt, hogy a SONET segítségével lehetőség nyíljon különböző vivők együttműködésére. Ennek a célnak az eléréséhez egy olyan közös jelzésrendszer kialakítására volt szükség, amely a hullámhosszakat, az időzítéseket, a keretek szerkezetét stb. szabványosította.

Másodszor, szükség volt egy olyan eszközre, amely egységessé tette az Egyesült Államok, Európa és Japán digitális rendszereit, ugyanis mindhárom rendszer 64 kb/s-os PCM csatornákon alapult, azonban mindegyik másképpen (egymással inkompatibilis módon) kombinálta ezeket a csatornákat

Harmadrészt, a SONET-nek lehetővé kellett tennie több digitális csatorna multiplexelését. Amikor a SONET-et kidolgozták, akkor az Egyesült Államokban a legnagyobb sebességű vivő a 44,736 Mb/s-os T3 volt. A T4 vivő ugyan elméletileg már létezett, azonban még nem használták. A T4 vivő fölött pedig még definiálva sem volt további sebesség. A SONET egyik küldetése pont az volt, hogy folytassa a hierarchiát a Gb/s-os, továbbá az afölötti tartományokba. A SONET-nél alacsonyabb frekvenciájú vivők SONET csatornába történő multiplexelésére is egységes eljárást kellett kidolgozni.

Negyedrészt, a SONET-nek üzemeltetési, adminisztrációs és karbantartási feladatokat is el kellett látnia. A korábbi rendszerek ugyanis nemigen jeleskedtek ebben.

Eredetileg a SONET-et egy hagyományos TDM rendszernek szánták, amiben az optikai szál teljes sávzélességét egy csatornának tekintették, és ez a csatorna időréseket biztosított a különböző alcsatornáknak. Mint ilyen, a SONET szinkron rendszer. Működését egy olyan master órajel vezérli, amelynek pontossága kb.  $10^{-9}$ . A bitek master órajel segítségével a SONET vonalakon rendkívül pontos időközönként kerülnek továbbításra.

Később, amikor a szélessávú ISDN alapjának a cellakapcsolást javasolták, akkor a szabálytalan időközönként megérkező cellák miatt az új módszert **aszinkron** átviteli módnak (*asynchronous transfer mode, ATM*) nevezték el, ezzel különböztetve meg a szinkron működésű SONET-től.

A SONET rendszer fényvezető szálakkal összekötött kapcsolókból, multiplexerekből és ismétlőkből épül fel. A 2.29. ábrán egy olyan rendszer vázlatát láthatjuk, amelyben a forrás gép és cél gép között egyetlen közbülső multiplexer és egyetlen köz-

bülső ismétlő található. A SONET terminológiája szerint **szakasz**nak (**section**) nevezük azt a fényvezető kábelt, amely két eszközt más eszközök közbeiktatása nélkül, közvetlenül köt össze. Két multiplexer között az összeköttetést **vonal**nak (**line**) hívjuk. (A vonalon lehet egy vagy több közbülső ismétlő.) A forrás gép és a cél gép közötti összeköttetést (ami egy vagy több multiplexert és ismétlőt is tartalmazhat) **elérési útnak** (**path**) nevezük. A SONET hálózat topológiája teljesen összekötött vagy ketős gyűrű lehet, bár ez utóbbi a tipikusabb.

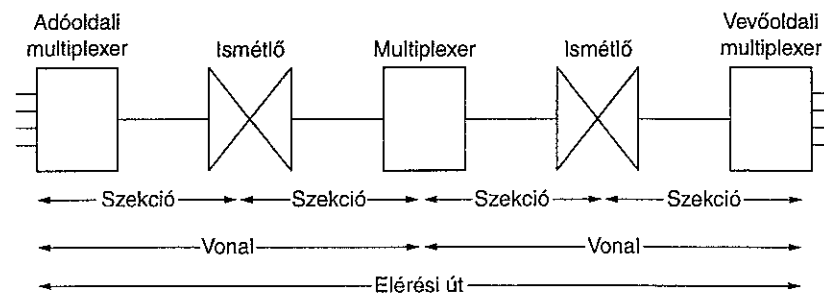
A SONET keret alapja egy 810 bájtos blokk, ami 125  $\mu$ s-onként kerül ki az átviteli vonalakra. Mivel a SONET szinkron rendszer, ezért a kereteket attól függetlenül elküldi, hogy van-e bennük hasznos adat, vagy nincs. A másodpercenként elküldött 8000 keret pontosan illeszkedik a digitális távbeszélőrendszerekben használt PCM csatornák mintavételi frekvenciájához.

A 810 bájtos SONET keret a legjobban egy olyan bájtmézővel írható le, amelynek 90 oszlopa és 9 sora van. Ez azt jelenti, hogy  $8 \times 810 = 6480$  bit továbbítódik másodpercenként 8000-szer, azaz a teljes adatátviteli sebesség 51,84 Mb/s. Ez a sebesség a SONET alapszámára, az 1-es számú **szinkron szállító jel (Synchronous Transport Signal-1, STS-1)**. Az összes SONET trónk sebessége az STS-1 sebesség többszöröse.

Az első három oszlop minden keretben rendszermenedzsment-információk számára van fenntartva, ahogy ez a 2.30. ábrán is látható. Ebből az első három sor a szekció fejrészt tartalmazza, a következő hat sor pedig a vonalét. A szekció fejrésze mindig a szekció adatai előtt generálódik, és a szekció végén kerül ellenőrzésre, míg a vonal fejrésze mindig a vonal elején képződik, és a vonal végén kerül ellenőrzésre.

A maradék 87 oszlop  $87 \times 9 \times 8 \times 8000 = 50,112$  Mb/s felhasználói adatot tartalmazhat. Persze az adatmező, amit **szinkron adatokat tartalmazó borítéknak (Synchronous Payload Envelope, SPE)** hívnak, nem mindig az első sor negyedik oszlopában kezdődik. Az SPE bárhol kezdődhet a kereten belül. Az első bájtra mutató pointert a vonal fejrészenek első sora tartalmazza. Az SPE első oszlopa az elérési út fejrésze (tehát a végpontok közötti elérési út alrétg protokolljának a fejrésze).

Az a lehetőség, hogy az SPE adatmezőt bárhol elkezdhetjük a SONET kereten belül, és így akár két keretre is szétterhetjük az adatmezőt, ahogy ezt a 2.30. ábrán is láthatjuk, további flexibilitást jelent a rendszer részéről. Például, ha éppen egy üres keret



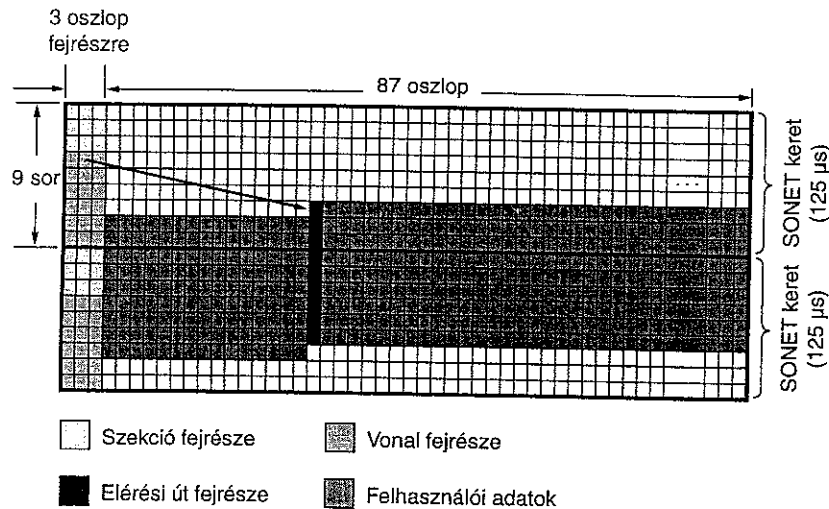
2.29. ábra. SONET elérési út

elküldése közben kap a forrásállomás hasznos adatokat, akkor nem kell megvárnia, amíg a következő keret elkezdődik, hanem az aktuális keretbe beillesztheti az adatokat. A SONET-nek ez a tulajdonsága akkor is hasznos lehet, amikor az adatok nem férnek bele pontosan egy keretbe. Ez történik például az 53 bájtos ATM cellákkal. A vonal fejrészének első sora az első teljes cella elejére mutat, így biztosítja a szinkronizációt.

A szekció, a vonal és az elérési út fejrésze bőségesen tartalmaz olyan bájtokat, amelyek az üzemeltetés, az adminisztráció és a karbantartás céljait szolgálják. Mivel minden bájt 8000-szer fordul elő másodpercenként, ezért ezek egy külön PCM csatornát adnak ki. A bájtok közül három hangcsatornaként szolgál a szekciókat, a vonalakat és az elérési utakat karbantartó személyzet számára. A többi bájtot keretezésre, paritásvizsgálatra, hibamonitorozásra, azonosításra, órajelre, szinkronizációra és egyéb más feladatokra tartják fenn. Bellamy (1991) részletesen ismerteti az összes mező jelentését.

A **hecsatlakozó adatfolyamok (tributaries)** multiplexelése fontos szerepet játszik a SONET-ben. A multiplexelés menetét a 2.31. ábra mutatja. A bal oldalon különböző kis sebességű adatfolyamokkal kezdünk, ezeket konvertáljuk át a SONET STS-1 adatsebességére. Sokszor az adatfolyamot ki kell egészíteni jelentés nélküli adatokkal, hogy kiadódjon az 51,84 Mb/s-os sebesség. A következő lépésben három adatfolyamot multiplexelünk össze egy 155,52 Mb/s-os STS-3 kimeneti adatfolyamba, amelyből négyet összefogva végül az STS-1 alapsebesség 12-szeresét kapjuk. Ekkor összetömrítjük az adatokat, hogy megakadályozzuk a szinkronból való kiesést a sok egymást követő 0 vagy 1 miatt, és a villamos jeleket optikai jelekké alakítjuk.

A multiplexelés bájtonként történik. Például, amikor három 51,84 Mb/s-os STS-1

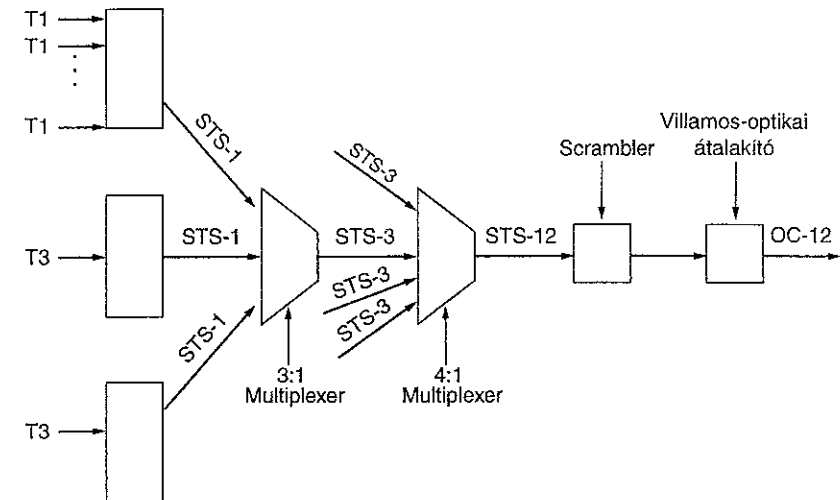


2.30. ábra. Két egymást követő SONET keret

adatfolyamot egyetlen 155,52 Mb/s-os STS-3 adatfolyamba multiplexelünk, akkor a multiplexer először az első adatfolyamból, majd a második adatfolyamból, végül a harmadik adatfolyamból vesz egy-egy bájtot, és továbbítja a kimenetén. Csak ezután tér vissza az első adatfolyamhoz. Az STS-3 szint a 2.30. ábrát alapul véve úgy működik, hogy először mindhárom bejövő adatfolyamból – tehát az első, majd a második, végül a harmadik adatfolyamból – a keret első oszlopát továbbítjuk, aztán mindhárom adatfolyamból a keret második oszlopát és így tovább. Így összesen  $270 \times 9$  bájtot továbbítunk 125 μs alatt, ebből adódik ki a 155,52 Mb/s-os adatsebesség.

A SONET multiplexelési hierarchiája a 2.32. ábrán látható. Az adatsebességeket az STS-1 és az STS-48 között definiálták. Az STS- $n$  adatsebességnek megfelelő optikai vivőt OC- $n$ -nek nevezik. Optikai vivő esetén a 2.31. ábrán látható multiplexelés bitenként történik. Az SDH elnevezések ettől annyiban térnek el, hogy az OC-3-nál kezdődnek, mivel a CCITT szerinti rendszerekben nincsen 51,84 Mb/s-hoz közel eső sebesség. Az OC-9 vivő azért van benne a hierarchiában, mert megfelel a Japánban használt nagy sebességű trónkok adatsebességének. Az OC-18-at és az OC-36-ot hamarosan bevezetik Japánban is. Az adatsebességek magukba foglalják az összes fejrészt. A SPE adatsebességekben nincs benne a vonal- és szekciófejrész. A felhasználói adatsebesség a fejrész nélküli adatmezőt tartalmazó 86 oszlopra vonatkozik.

Egyébként, amikor az egyik vivőt, mondjuk az OC-3-at nem implementálják, és mégis adatokat továbbítanak ilyen adatsebességgel egy adott forrásgépből, akkor a jelölést egy  $c$  betűvel (az angol *concatenated* szónak megfelelően) egészítik ki. Tehát a 155,52 Mb/s-os OC-3 vivő három különböző OC-1 vivőből áll, míg az OC-3c pedig egy olyan vivőt jelöl, amely egyetlen forrásgép adatait továbbítja 155,52 Mb/s-os sebességgel. Az OC-3c adatfolyamban összefogott OC-1 adatfolyamok oszloponként át-



2.31. ábra. Multiplexelés a SONET-ben

lapolják egymást, tehát először az első adatfolyam első oszlopa, majd a második adatfolyam első oszlopa, végül a harmadik adatfolyam első oszlopa, ezt követően pedig az első adatfolyam második oszlopa stb. kerül továbbításra, ami egy 270 oszlop széles és 9 sor magas keretet jelent.

Az OC-3c adatfolyamban az aktuális felhasználói adatok mennyisége valamivel nagyobb, mint az OC-3 adatfolyamban (148,608 Mb/s helyett 149,760 Mb/s), ugyanis az SPE csak egyszer tartalmazza az elérési út fejrészét, míg három különböző OC-1 adatfolyam multiplexelése esetén az OC-3 adatfolyam háromszor tartalmazza azt. Magyarán az OC-3c vívővel a 270 oszlopból 260-at lehet elküldeni, míg az OC-3 vívővel csak 258-at. A keretek magasabb rendű összefűzésére (pl. OC-12c) szintén van lehetőség.

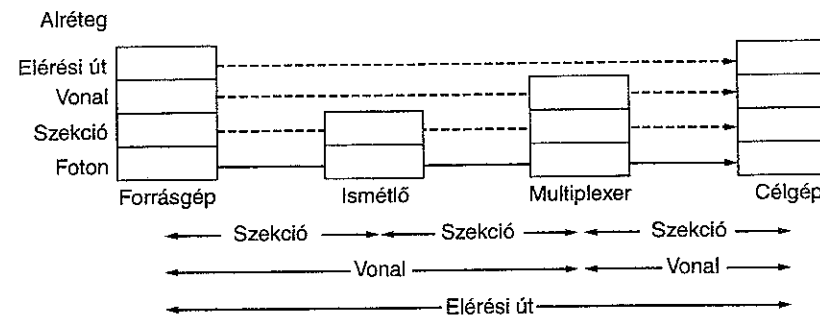
Ezek után talán már világos, hogy miért használ az ATM 155 Mb/s-os adatátviteli sebességet: azért, hogy az ATM cellákat a SONET OC-3c trónkőn is továbbítani lehessen. Azzal is tisztában kell lennünk, hogy a 155 Mb/s-os sebesség bruttó sebesség, mivel magába foglalja a SONET fejrészeket. Ráadásul, az idők során valaki a 155,52 Mb/s-ot hibásan 155 Mb/s-ra kerekített, és ma már mindenki ezt az értéket használja – hibásan.

A SONET fizikai rétegét négy alrétegre osztották, ahogy ez a 2.33. ábrán is látható. A legalsó alréteg a **foton alréteg (photonic sublayer)**. Ez az alréteg a felhasznált fényvezető szál és az azon továbbított fény fizikai tulajdonságait specifikálja. A maradék három alréteg megfelel a szekciónak, a vonalnak és az elérési útnak. A szekció alréteg a fényvezető szálakkal történő két pont közötti összeköttetésekkel foglalkozik. Az egyik oldalon szabványos kereteket állít elő, a másik oldalon pedig feldolgozza azokat. A szekciók az ismétlőknel kezdődnek, és ott is érnek véget. Az ismétlők fel erősítik a jeleket és újra előállítják a biteket, de az adatokat nem változtatják meg és nem is dolgozzák fel.

A vonal alréteg a becsatlakozó adatfolyamok multiplexelésével és demultiplexelésével foglalkozik. A vonal alréteg számára az ismétlők transzparensnek. Amikor egy multiplexer biteket továbbít egy optikai szálon, akkor elvárja, hogy a bitek a közbülső ismétlők számától függetlenül változatlanul eljussanak a következő multiplexerig. A

SONET		SDH	Adatsebesség (Mb/s)		
Villamos	Optikai	Optikai	Bruttó	SPE	Felhasználói
STS-1	OC-1		51,84	50,112	49,536
STS-3	OC-3	STM-1	155,52	150,336	148,608
STS-9	OC-9	STM-3	466,56	451,008	445,824
STS-12	OC-12	STM-4	622,08	601,344	594,432
STS-18	OC-18	STM-6	933,12	902,016	891,648
STS-24	OC-24	STM-8	1244,16	1202,688	1188,864
STS-36	OC-36	STM-12	1866,24	1804,032	1783,296
STS-48	OC-48	STM-16	2488,32	2405,376	2377,728

2.32. ábra. A SONET és az SDH adatsebességek



2.33. ábra. A SONET architektúrája

vonal alréteg tehát a multiplexerek közötti kapcsolatot felügyeli, és elsősorban azzal foglalkozik, hogy hány bemenő vonalat és hogyan multiplexeljük. Az elérési út alréteg és protokollja a végpontok közötti kapcsolattal foglalkozik.

#### 2.4.5. Kapcsolási módok

Egy átlagos távközlési mérnök szempontjából a telefonhálózatnak két fő része van: a külső berendezések (az előfizetői hurkok és a trónkők, amelyek a telefonközponton kívül vannak) és a belső berendezések (a kapcsolók). Eddig csak a külső berendezésekkel foglalkoztunk, ezért itt az ideje, hogy a belső berendezéseket is szemügyre vegyük.

A távbeszélőrendszerekben két különböző kapcsolási technikát alkalmaznak: a vonalkapcsolást és a csomagkapcsolást. A továbbiakban először röviden bemutatjuk a két technikát, majd elkezdjük részletesen tárgyalni a vonalkapcsolást, lévén hogy a jelenlegi telefonközpontok ezen az elven működnek. A fejezet későbbi részeiben a csomagkapcsolást fogjuk behatóbban tanulmányozni, mivel a távbeszélőrendszerek következő generációja, a szélessávú ISDN már ezt a kapcsolási módot alkalmazza.

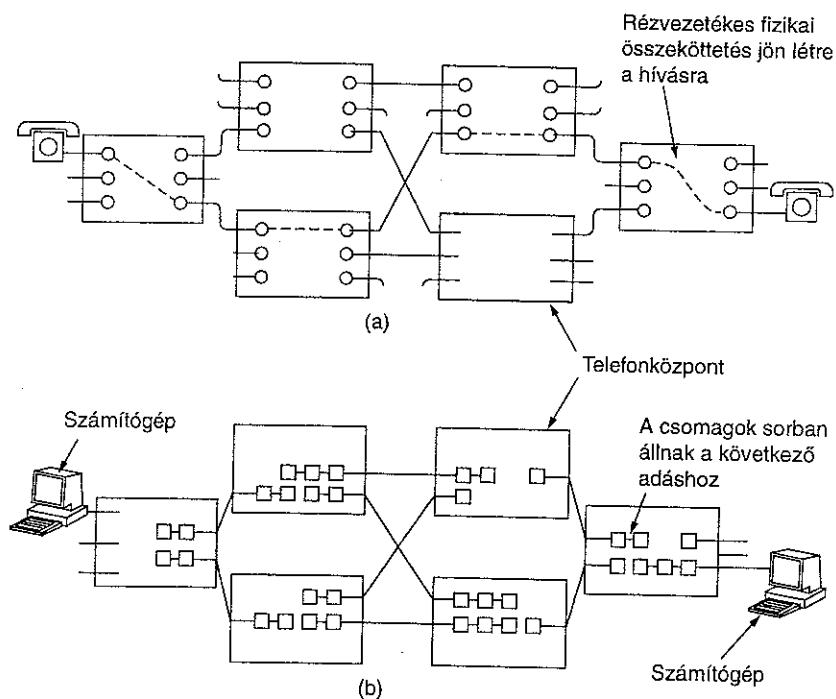
#### Vonalkapcsolás

Amikor felhívunk valakit, vagy a számítógép végrehajt egy telefonhívást, akkor a távbeszélőrendszer kapcsolóberendezése keres egy olyan fizikai vonalat vagy áramkört (ami lehet rézvezeték, fényvezető szál vagy akár rádióhullám), amelynek segítségével a saját telefonkészülékünket a hívott fél készülékével összekapcsolja. Ezt a kapcsolási módot **vonalkapcsolásnak** vagy **áramkör kapcsolásnak (circuit switching)** nevezük. A vonalkapcsolást vázlatosan a 2.34.(a) ábrán láthatjuk. A hat négyszög mindegyike egy-egy telefonközpontot jelent (helyi központ, távhívó központ stb.). Ezen az ábrán minden központnak három bemenő és három kimenő vonala van. Amikor a központon keresztül létrejön egy összeköttetés, akkor a hívást kezdeményező bemenő

vonala és valamelyik kimenő vonala között fizikai kapcsolat létesül. Ezt jelképezzük a szaggatott vonallal.

A távbeszélőrendszerek kezdeti időszakában a kapcsolat úgy jött létre, hogy a telefonkezelő a hívó és a hívott fél vezetékét egy kapcsolóvezetékkel (jumper cable) kötötte össze. Ezzel kapcsolatban van egy érdekes kis történetünk az automata telefonközpontokról, amit a 19. században egy Almon B. Strowger nevű temetkezési vállalkozó fejlesztett ki. Nem sokkal a telefon feltalálása után, amikor valaki meghalt, valamelyik hozzátartozó felhívta a telefonközpontot, és a következőt mondta a kezelőnek: „Kérem, kapcsoljon egy temetkezési vállalkozót!” Mr. Strowger legnagyobb sajnálatára azonban két ilyen vállalkozó is volt a városban, és pont a másik vállalkozó felesége volt a telefonkezelő. Hamar rájött tehát arra, hogy vagy feltalálja az automata telefonközpontot vagy tönkremegy. Végül az első utat választotta. Még közel 100 évvel a történet után is világszerte Strowger-kapcsolónak nevezték a telefonközpontot. (Arról már nem szól a történet, hogy a munkanélkülivé vált központos kapott-e állást a tudakozóban, ahol olyan kérdésekre kellett válaszolnia, mint például: „Meg tudná adni, kérem, egy temetkezési vállalkozó telefonszámát?”)

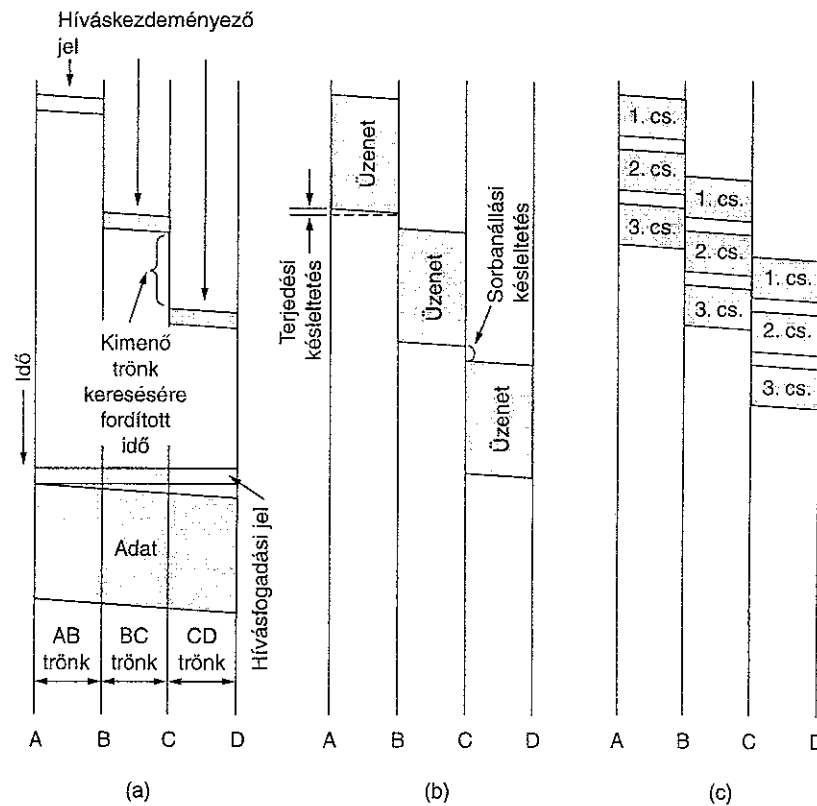
A 2.34.(a) ábrán látható elrendezés persze nagyon leegyszerűsített, hiszen két telefonkészülék között a „rézvezetékes” kapcsolat egyes részei akár olyan mikrohullá-



2.34. ábra. Kapcsolási módok. (a) Vonalkapcsolás. (b) Csomagkapcsolás

mú összeköttetések is lehetnek, amelyek több ezer telefonhívást multiplexelnek össze. Az alapelképzelés viszont továbbra is érvényes: ha egyszer létrejön egy összeköttetés, akkor a két végpont között dedikált kapcsolat létesül, és az folyamatosan fennáll addig, amíg a hívás véget nem ér.

A vonalkapcsolás egyik fontos tulajdonsága, hogy a végpontok közötti összeköttetést még az adatok továbbítása előtt kell létrehozni. A tárcsázás és a kicsengetés között akár 10 másodperc is eltelhet, sőt távolsági vagy nemzetközi hívásoknál még több is. Ez alatt az idő alatt a távbeszélőrendszer egy rézvezetékes összeköttetést keres. A hívás eseményeit a 2.35.(a) ábra szemlélteti. Ne felejtjük el, hogy mielőtt az adatátvitel megkezdődhetne, a híváskezdeményező jelzésnek el kell jutnia egészen a hívott készülékig, és a nyugtának vissza kell érkeznie. Sok olyan számítógépes alkalmazás van (pl. hitelkártya ellenőrzése vásárláskor), amelynél a hosszú kapcsolatfelépítési idő megengedhetetlen.



2.35. ábra. Események időzítése. (a) Vonalkapcsolásnál. (b) Üzenetkapcsolásnál. (c) Csomagkapcsolásnál

Ha viszont a kapcsolat felépült, akkor a telefonáló felek között létrejött rézvezetékes összeköttetésnek köszönhetően az adatok késleltetése lényegében csak az elektromágneses hullámok terjedési sebességéből adódik, ami 1000 km-enként kb. 5 ms. Ugyancsak a felépített kapcsolatnak köszönhető, hogy nincs torlódásveszély, tehát ha megtörtént a kapcsolat, akkor azt követően már sosem kapunk foglalt jelet. A kapcsolat létrejötte előtt persze kaphatunk foglaltsági jelzést, amennyiben a telefonközpont vagy a trónk túlterhelt.

Egy másik kapcsolási módszer a 2.35.(b) ábrán látható **üzenetkapcsolás (message switching)**. Ennél a kapcsolási módnál a küldő és a vevő között nem jön létre fizikai rézvezetékes összeköttetés, hanem amikor a küldő egy adatblokkot akar továbbítani, akkor azt az első kapcsoló központ (azaz router) eltárolja, majd valamikor később továbbküldi a következő központnak és így tovább. A központok minden adatblokknak megvárják a végét, csak ezután vizsgálják meg, hogy van-e bennük hiba, majd továbbküldik az adatblokkokat. Azokat a hálózatokat, amelyek ezt az eljárást használják, **tárol-és-továbbít (store-and-forward)** hálózatoknak nevezzük, ahogy ezt az 1. fejezetben már említettük.

Az első olyan elektromechanikus távközlési rendszer, amely üzenetkapcsolást alkalmazott, a távíró volt. Az üzenetet a feladó központban lyukasztással felvitték egy papírszalagra, majd beolvasták és továbbították a vonalon a következő központba, ahol az üzenetet egy másik lyukszalagra írták át. Itt a kezelő letépte a lyukszalagot, és beolvasta valamelyik szalagolvasó berendezéssel, amelyből minden trónkhöz tartozott egy. Az ilyen központot **tépszerűsalagos központnak (torn tape office)** hívták.

Üzenetkapcsolás esetén az adatblokkok méretét semmi nem korlátozza, tehát a routereknek (egy mai rendszerben) elegendően nagy tárolókapacitással kell rendelkezniük a nagyméretű adatblokkok tárolásához. Ez persze azt is jelenti, hogy egyetlen adatblokk a routereket összekötő vonalakat akár több percre is lefoglalhatja, így az üzenetkapcsolás nem használható interaktív adatátvitelre. Az említett problémák kiküszöbölésére fejlesztették ki a **csomagkapcsolást (packet switching)**. Csomagkapcsolt hálózatban az adatblokkok méretének szigorú felső korlátja van, így a csomagokat a routerben nem kell diszken tárolni, hanem elegendő hozzá az operatív tár is. Mivel biztos, hogy hosszabb időre (milliszekundumokra) senki nem tudja kisajátítani az adatátviteli vonalakat, a csomagkapcsolt hálózatok kifejezetten alkalmasak interaktív adatforgalom lebonyolítására. A csomagkapcsolásnak más előnyei is vannak az üzenetkapcsolással szemben. Ezek láthatók a 2.35.(b) és (c) ábrán. Egy több csomagból álló üzenet első csomagját már akkor továbbítani lehet, amikor a második csomag még meg sem érkezett teljesen. Ezáltal a csomagok késleltetése lecsökken, a hálózat átbecsátóképesége pedig megnő. Ennek tulajdonítható, hogy a hálózatok általában csomagkapcsoltak, néha vonalkapcsoltak, de sohasem üzenetkapcsoltak.

A vonalkapcsolás és a csomagkapcsolás sok mindenben különbözik egymástól. A leglényegesebb különbség az, hogy a vonalkapcsolás a szükséges sávzélességet statikusan, előre lefoglalja, míg a csomagkapcsolás igény szerint lefoglalja, majd felszabadítja azt. Vonalkapcsolás esetén egy lefoglalt áramkörtön a kihasználatlan sávzélesség kárba vész. Ugyanakkor csomagkapcsolás esetén ezt a sávzélességet felhasználhatják olyan csomagok, amelyeket egy másik forrástól egy másik célállomáshoz küldtek, mivel az áramkörök sohasem dedikáltak.

lom ugrásszerű növekedése oly mértékben eláraszthat egy routert, hogy annak megtehető a memóriája, és ezáltal elveszhetnek csomagok.

A vonalkapcsolással ellentétben csomagkapcsolásnál a routernek lehetősége van a sebesség és a kódkonverzió megválasztására, sőt bizonyos fokig hibajavítást is képesek végezni. Mindezek ellenére egyes csomagkapcsolt hálózatokban előfordul, hogy a csomagok rossz sorrendben érkeznek meg a célállomáshoz. Vonalkapcsolt hálózatban az üzenetek sorrendje sohasem rendeződik át.

További különbség, hogy a vonalkapcsolás teljesen transzparens. Az adó és a vevő olyan adatsebességet, formátumot és keretezési módot használhat, amelyet csak akar. Mindezekről a szolgáltató nem tud, és nem is érdekli őt. Csomagkapcsolásnál viszont a szolgáltató meghatároz bizonyos alapparamétereket. A különbség majdnem az, mint az autótű és a vasút között. Az elsőnél a felhasználótól függ, hogy milyen méretű, sebességű és típusú járművel közlekedik, míg a második esetben az üzemeltető határozza azt meg. Ez a transzparens tulajdonság az, ami lehetővé teszi hangok, adatok és faxok együttes továbbítását a telefonhálózaton.

Végül van még egy különbség a vonalkapcsolt és a csomagkapcsolt hálózatok között, ez pedig a számlázás algoritmus. A csomagkapcsolt szolgáltatók általában a továbbított bájtokat (vagy csomagokat), és az összeköttetések időtartamát egyaránt figyelembe veszik számlázáskor. Az átviteli távolság viszont nem számít, kivéve persze a nemzetközi összeköttetéseket. Vonalkapcsolt hálózatoknál a díjak csak a távolságtól és az összeköttetések időtartamától függenek, és függetlenek a forgalom nagyságától. A két kapcsolási mód közötti különbségeket a 2.36. ábrán látható táblázat tartalmazza.

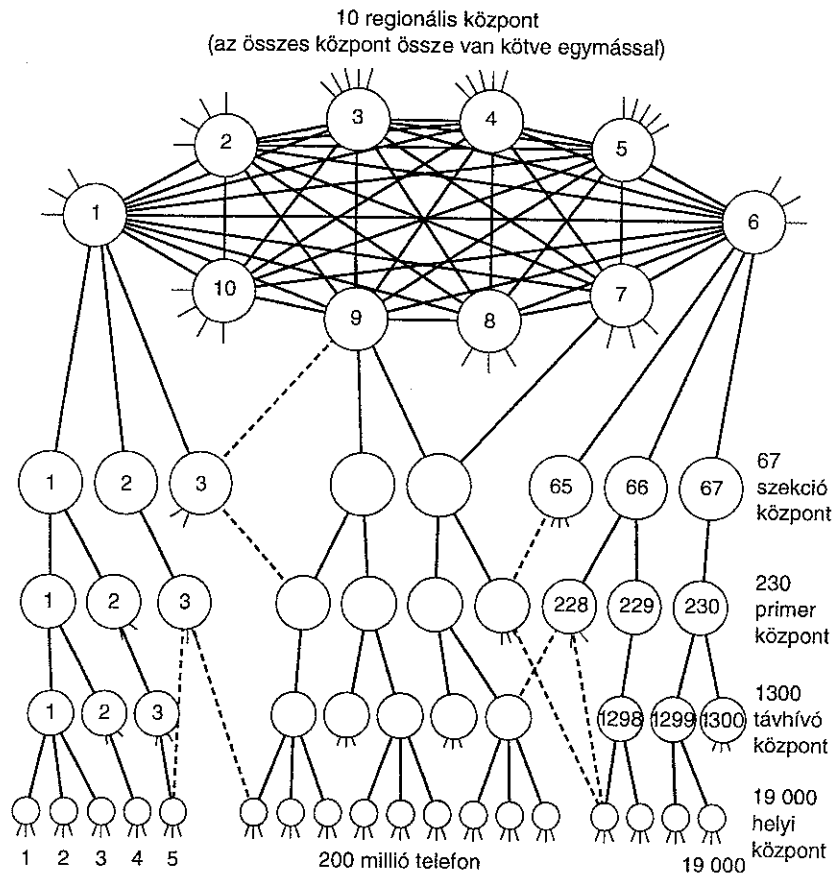
Mind a vonalkapcsolás, mind a csomagkapcsolás olyan fontos dolog, hogy hamarosan visszatérünk rájuk, és részletesen is bemutatjuk a különböző használatos módszereket.

Jellemző	Vonalkapcsolás	Csomagkapcsolás
Dedikált vezetékű út	Van	Nincs
Rendelkezésre álló sávzélesség	Állandó	Dinamikusan változó
Kihasználatlan sávzélesség	Van	Nincs
Tárol-és-továbbít típusú adatátvitel	Nem	Igen
Minden csomag ugyanazon az útvonalon halad	Igen	Nem
Kapcsolatfelépítés	Szükséges	Nem szükséges
Torlódás lehetséges ideje	Kapcsolatfelépítés során	Bármelyik csomagnál
Számlázás alapja	Hívás időtartama	Elküldött csomagok száma

2.36. ábra. A vonalkapcsolt és a csomagkapcsolt hálózatok összehasonlítása

### Kapcsolóhierarchia

Érdeemes egy pár szót ejteni arról, hogy a mai vonalkapcsolt távbeszélőrendszerben hogyan valósul meg a kapcsolók közötti forgalomirányítás. A következőkben az AT&T rendszerét fogjuk bemutatni, de más telefontársaságok és országok ugyanezt az elvet követik. A távbeszélőrendszer központjait öt osztályba lehet sorolni. Ezeket a 2.37. ábrán láthatjuk. Van 10 regionális kapcsolóközpont, amelyek teljes összeköttetésben állnak egymással 45 nagy sávzélességű fényvezető szálas trónkőn keresztül. A regionális központok alatt 67 szekcióközpont, 230 primerközpont, 1300 távhívóközpont és 19 000 helyi központ található. Az alsó négy szintet eredetileg fastruktúrába szervezték.



2.37. ábra. Az AT&T telefonhálózatának hierarchiája. A szaggatott vonalak közvetlen trónkőket jelölnek

A hívások általában a lehető legalacsonyabb szintű központba futnak be. Így például ha egy előfizető, aki az 1-es helyi központhoz kapcsolódik, felhív egy másik előfizetőt, aki szintén az 1-es helyi központhoz kapcsolódik, akkor a hívás abban a központban fog lezajlani. Ha viszont az 1-es helyi központhoz kapcsolódó előfizető egy olyan előfizetőt hív fel, aki a 2-es helyi központhoz csatlakozik, akkor a kapcsolást az 1-es távhívó központ végzi (lásd 2.37. ábra). Ugyanakkor, ha valaki az 1-es helyi központból a 4-es helyi központba akar telefonálni, akkor a kapcsolat az 1-es primer központban jön létre és így tovább. Egy egyszerű fastruktúra segítségével csak egyetlen legrövidebb út létezik, és a kapcsolat általában e mentén jön létre.

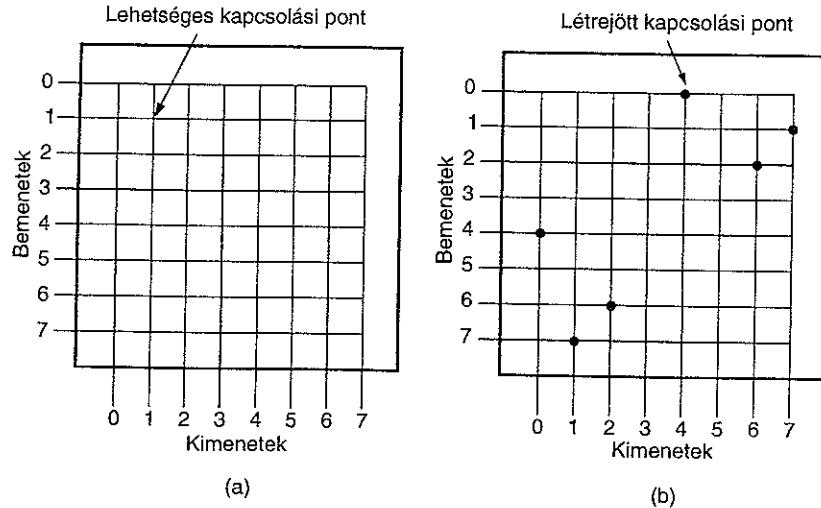
Az évek során a telefontársaságok felfigyeltek arra, hogy vannak olyan utak, amelyek a többinél jobban le vannak terhelve. Például rengeteg hívás zajlott le New York és Los Angeles között. Ahelyett, hogy a kapcsolási hierarchiát használták volna, egyszerűen kiépítettek egy **közvetlen trónkőt (direct trunk)** a leterhelt vonalak mentesítésére. A 2.37. ábrán az ilyen összeköttetésekből láthatunk néhányat szaggatott vonallal jelölve. A következmény az lett, hogy számos hívás ma már több lehetséges kapcsolási útvonal mentén is megvalósulhat. A kiválasztott útvonal általában a közvetlen összeköttetés mentén jön létre, de ha az ehhez szükséges trónkő teljesen telített, akkor egy másik útvonalon valósul meg. Ez a bonyolult forgalomirányítás ma már jelent problémát, ugyanis egy korszerű kapcsológép, mint amilyen az AT&T 5 ESS gépe, lényegében nem más, mint egy olyan általános célú számítógép, amely óriási mennyiségű speciális B/K eszközzel rendelkezik.

### Keresztrudas kapcsoló

A kapcsológépek közötti forgalomirányításról most térjünk át arra, hogy valójában hogyan is működnek a kapcsológépek. A távbeszélőrendszerben a kapcsológépeknek számos változata van (volt). A legegyszerűbb a **keresztrudas (crossbar) kapcsoló**, amit **kereszteződéses kapcsolónak (crosspoint switch)** is hívnak. Ezt a kapcsolót a 2.38. ábrán láthatjuk.

Egy  $n$  bemeneti és  $n$  kimeneti vonallal (tehát  $n$  duplex vonallal) rendelkező kapcsoló esetén a keresztrudas kapcsolóban  $n^2$  **kereszteződésnek (cross point)** nevezett metszéspont található, amelyek a 2.38.(a) ábrán látható módon egy bemeneti és egy kimeneti vonalat tudnak egy félvezető kapcsoló segítségével összekötni. A 2.38.(b) ábrán azt az esetet láthatjuk, amikor a 0-s vonal a 4-es vonallal, az 1-es vonal a 7-es vonallal és a 2-es vonal a 6-os vonallal van összekötve. A 3-as és az 5-ös vonal nincs összekötve. Az összes bit, ami mondjuk a 4-es vonalon érkezik a kapcsolóhoz, rögtön továbbítódik a 0-s vonalon. Így tehát a keresztrudas kapcsolók a vonalkapcsolást ugyanúgy közvetlen villamos összeköttetés formájában valósítják meg, mint ahogy az összekötő kábelt használó első generációs kapcsolók, csak éppen automatikusan és a másodperc néhány milliomed része alatt.

A keresztrudas kapcsolóval az a gond, hogy a kereszteződések száma a kapcsoló bemeneteinek számával négyzetesen nő. Ha feltételezzük azt, hogy az összes vonal duplex, és nincsenek önkapcsolások, akkor csak az átló felett levő kereszteződésekre van szükség. Még így is  $n(n-1)/2$  kereszteződés kell. Ha  $n = 1000$ , akkor ez 499 500



2.38. ábra. Keresztrudas kapcsoló. (a) Összeköttetések nélkül. (b) Három összeköttetéssel (0-s vonal és 4-es vonal, 1-es vonal és 7-es vonal, illetve 2-es vonal és 6-os vonal)

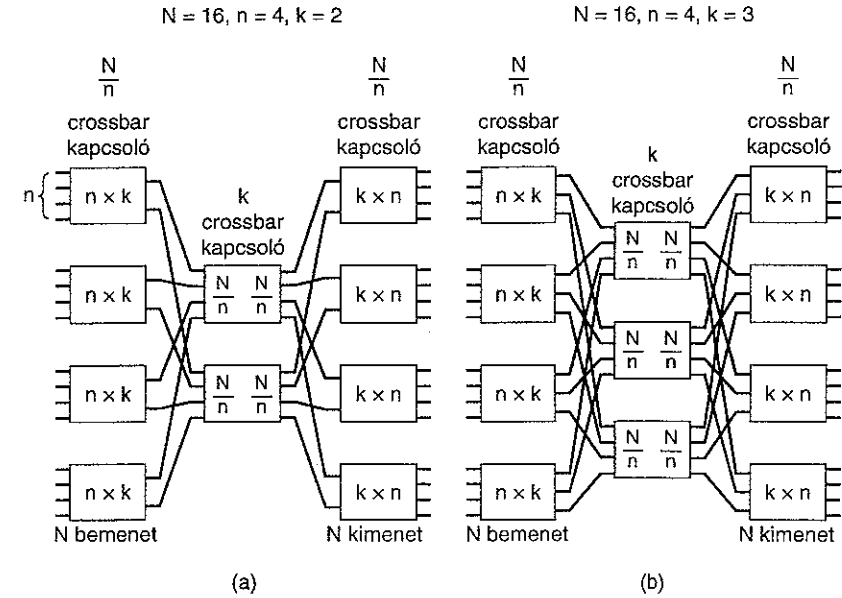
kereszteződést jelent. Bár ennyi tranzisztorkapcsolót be lehet építeni egy VLSI chip-be, azonban 1000 lábat már nem lehet egy ilyen eszközön kialakítani. Így a keresztrudas kapcsolók inkább csak viszonylag kis helyi központok esetén használhatók.

### Térosztásos kapcsolók

Ha a keresztrudas kapcsolót kisebb egységekre osztjuk, és azokat összekötjük egymással, akkor olyan többfokozatú kapcsolót kapunk, amelyben több kisebb keresztrudas kapcsoló van. Az ilyen kapcsolót **térosztásos kapcsolónak** (space division switch) nevezzük. Két lehetséges változatát láthatjuk a 2.39. ábrán.

Hogy ne bonyolítsuk túl a helyzetet, csak a háromfokozatú kapcsolókat fogjuk megvizsgálni, bár ennél többfokozatú kapcsolók is lehetségesek. A most következő példában összesen  $N$  bemenettel és  $N$  kimenettel számolunk. Egy  $N \times N$ -es keresztrudas kapcsoló helyett, a kapcsolót több kisebb és nem szimmetrikus keresztrudas kapcsolóból fogjuk felépíteni. Az első fokozatban minden kapcsolónak  $n$  bemenete van, így tehát  $N/n$  darab kell belőlük ahhoz, hogy az  $N$  bemenő vonalat ki tudjuk szolgálni.

A második fokozatban  $k$  darab keresztrudas kapcsoló helyezkedik el, és mindegyik  $N/n$  bemenettel, illetve ugyanennyi kimenettel rendelkezik. A harmadik fokozat megegyezik az első fokozattal azzal a különbséggel, hogy fordítva áll. Az összes közbülső keresztrudas kapcsoló összeköttetésben áll valamennyi bemeneti és kimeneti keresztrudas kapcsolóval. Ennek következtében bármelyik bemenetet bármelyik kimenettel össze lehet úgy kötni, hogy a közbülső keresztrudas kapcsolók közül a 2.39.(a) ábrán akár az elsőt, akár a másodikat vesszük igénybe. Lényegében két különböző út



2.39. ábra. Térosztásos kapcsolók különböző paraméterekkel. (a)  $k = 2$ . (b)  $k = 3$

létezik minden bemenet és kimenet között attól függően, hogy melyik közbülső keresztrudas kapcsolót használjuk. A 2.39.(b) ábrán minden bemenet-kimenet párhoz három lehetséges útvonal tartozik. Ha a középső fokozat  $k$  keresztrudas kapcsolót tartalmaz (ahol  $k$  egy tervezési paraméter), akkor  $k$  különböző útvonal lehetséges.

Számoljuk most ki azt, hogy egy háromfokozatú kapcsoló esetén hány kereszteződésre van szükség. Az első fokozatban  $N/n$  keresztrudas kapcsoló van, és mindegyik  $nk$  kereszteződéssel rendelkezik. Ez eddig  $Nk$  kereszteződés. A második fokozatban  $k$  keresztrudas kapcsoló van, és ezek mindegyike  $(N/n)^2$  kereszteződést tartalmaz. A harmadik fokozat megegyezik az elsővel. A három szint kereszteződéseit összeadva a következőt kapjuk:

$$\text{kereszteződések száma} = 2kN + k(N/n)^2$$

Ha  $N = 1000$ ,  $n = 50$  és  $k = 10$ , akkor ez összesen 24 000 kereszteződést jelent, szemben a 499 500-zal, ami egy  $1000 \times 1000$ -es egyfokozatú keresztrudas kapcsolóban van.

Sajnos, szokás szerint, semmi nincs ingyen. Ez a kapcsoló ugyanis blokkolódhat. Vegyük szemügyre megint a 2.39.(a) ábrát. A második fokozatnak nyolc bemenete van, így egyszerre nyolc hívást tud fogadni. Amikor a kilencedik hívást kapja, akkor foglalt jelzést fog adni, pedig lehet, hogy a hívott fél szabad. A 2.39.(b) ábrán látható kapcsoló valamivel jobb, ugyanis az 8 helyett 12 hívást tud egyszerre fogadni, igaz, ez viszont több kereszteződést tartalmaz. Időnként előfordul, hogy még a tárcsázás befe-

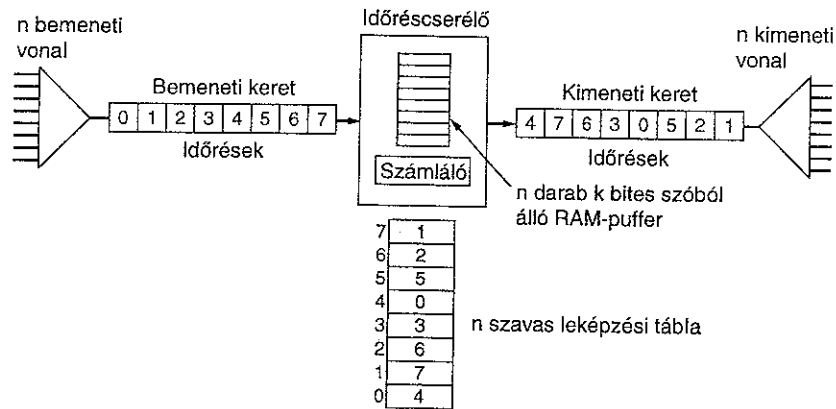


jezése előtt foglalt jelzést kapunk. Ennek valószínűleg az az oka, hogy az összeköttetés a blokkolás miatt nem tud létrejönni.

Nyilvánvaló, hogy minél nagyobb a  $k$ , annál drágább a kapcsoló, de persze annál kisebb a blokkolás valószínűsége. 1953-ban Clos bebizonyította, hogy  $k = 2n - 1$  esetén a kapcsoló soha nem blokkol (Clos, 1953). Más kutatók a hívások jellemzőit tanulmányozták annak érdekében, hogy olyan kapcsolót tudjanak építeni, amely elméletileg ugyan blokkoló, a gyakorlatban azonban szinte sohasem.

### Időosztásos kapcsoló

A 2.40. ábrán egy teljesen másfajta kapcsolót, egy **időosztásos kapcsolót (time division switch)** láthatunk. Az időosztásos kapcsoló az  $n$  bemeneti vonalat sorban egymás után megvizsgálja, és egy  $n$  időrészből álló bemeneti keretet hoz létre. Mindegyik időrés  $k$  bitből áll.  $T_1$  sebességű kapcsolók esetén az időrészek 8 bitesek, és a kapcsolók másodpercenként 8000 keretet dolgoznak fel.



2.40. ábra. Időosztásos kapcsoló

Az időosztásos kapcsoló lelke az **időréscserélő (time slot interchanger)**, amely a bemeneti keretek alapján olyan kimeneti kereteket állít elő, amelyekben az időrészek fel vannak cserélve. A 2.40. ábrán a 4-es időrés kerül az első helyre, aztán jön a 7-es időrés és így tovább. A kapcsoló kimenetén a kimeneti keret szétbomlik, és a 0-s időrés (a 4-es bemeneti vonal tartalmával) a 0-s kimeneti vonalra kerül, az 1-es időrés (a 7-es bemeneti vonal tartalmával) az 1-es kimeneti vonalra és így tovább. Valójában a kapcsoló a 4-es bemeneti vonalról a 0-s kimenetre, a 7-es bemeneti vonalról az 1-es kimenetre stb. továbbítja a bájtokat. Kívülről szemlélve a kapcsoló működése olyan, mintha vonalkapcsolt lenne, pedig nincs is benne fizikai összeköttetés.

Az időréscserélő a következőképpen működik. Amikor egy bemeneti keret készen áll a feldolgozásra, akkor minden egyes időrés (tehát a bemeneti keret valamennyi

bájta) beíródik az időréscserélőben található RAM-ba. Az időrészek beírása sorrendben történik, tehát az  $i$ -edik pufferhely az  $i$ -edik időrészt tartalmazza.

Miután a bemeneti keret összes időrése bekerült a pufferbe, a pufferhelyek kiolvasásával megkezdődik a kimeneti keret összeállítása. A kiolvasás azonban nem sorrendben történik. Egy számláló 0-tól  $(n - 1)$ -ig számlál. A  $j$ -edik lépésben a RAM-ból kiolvasandó szót egy leképzési táblázat  $j$ -edik szavának tartalma határozza meg. Így ha a leképzési táblázat 0-dik szava egy 4-est tartalmaz, akkor először a RAM 4. szavát kell kiolvasni, és ennek következtében a kimeneti keret első időrése a 4. bemeneti időrés tartalma kerül. Így a leképzési táblázat tartalma meghatározza, hogy a bemeneti keret mely permutációja fogja a kimeneti keretet alkotni, azaz melyik bemeneti vonal melyik kimeneti vonalhoz kapcsolódik.

Bár az időosztásos kapcsolókban a táblázatok mérete lineárisan, nem pedig négyzetesen függ a bemeneti vonalak számától, azonban ezeknek a kapcsolóknak is vannak bizonyos korlátjaik. Egy keretnyi periódusidő alatt, azaz  $125 \mu\text{s}$ -onként  $n$  időrészt kell a RAM-ban eltárolni, és abból kiolvasni. Ha minden egyes memóriaművelet  $T \mu\text{s}$ -ig tart, akkor egy keret feldolgozásához  $2nT \mu\text{s}$ -ra van szükség, tehát  $2nT = 125$ , azaz  $n = 125/2T$ . Egy 100 ns hozzáférési idejű memória esetén legfeljebb 625 vonalat használhatunk. Persze meg is fordíthatjuk az egyenlőséget, és akkor azt határozhatjuk meg, hogy adott vonalszám esetén mekkorának kell lennie a memóriahozzáférési időnek. Akárcsak a kereszttrudas kapcsolóknál, itt is érdemes olyan többfokozatú kapcsolókat kialakítani, amelyek nagyobb vonalszám esetén a kapcsolási feladatot kisebb részfeladatokra dekomponálják.

## 2.5. Keskenysávú ISDN

Több mint száz évvel ezelőtt az elsődleges nemzetközi távközlési infrastruktúra a nyilvános vonalkapcsolt távbeszélőrendszer volt. Ezt a rendszert analóg hangátvitelre tervezték, így a modern kommunikáció igényeinek nem felel meg. A két végpont közötti digitális szolgáltatások (tehát nem a 2.17. ábrán látható részben digitális, részben analóg szolgáltatások), iránt mutatott egyre növekvő igény következtében a világ telefontársaságai és PTT-jei 1984-ben a CCITT támogatásával összefogtak, és megegyeztek abban, hogy a 21. század elejére kiépítenek egy teljesen digitális vonalkapcsolt távbeszélőrendszert. Az új rendszer, az **integrált szolgáltatást nyújtó digitális hálózat (Integrated Services Digital Network, ISDN)** elsődleges célja az, hogy integrálja a hang és nem hangátviteli szolgáltatásokat. Ezt a rendszert ma már sok helyen használják, és a felhasználók köre egyre bővül.

Ebben a bekezdésben arról lesz szó, hogy mire jó és hogyan működik a keskenysávú ISDN. Bővebben (Dagdeviren és mások, 1994; és Kessler, 1993) műveiben olvashatunk minderről.

### 2.5.1. ISDN szolgáltatások

Az ISDN leglényegesebb szolgáltatása továbbra is a hangátvitel lesz, igaz, sok újdonsággal kiegészítve. Például sok vállalatvezetőnek már ma is van olyan gomb a telefonján, amivel azonnal (tehát kapcsolatfelépítési idő nélkül) hívni tudja a titkárnőjét. Az ISDN egyik jellemzője, hogy olyan telefonokat tesz lehetővé, amelyek több ilyen gomb segítségével tetszőleges másik készüléket tudnak azonnal felhívni a világ bármely részén. Szintén az ISDN teszi lehetővé azt is, hogy csengetéskor a telefon kijelzőjén megjelenjen a hívó fél telefonszáma, neve és címe. Ennek a megoldásnak egy bonyolultabb változata lehetőséget biztosít arra, hogy a telefont és a számítógépet összekapcsoljuk, és így a hívás beérkezéskor a telefon kijelzőjén megjelenhet a hívó fél adatbázisának egy adott része. Például egy bróker megtehetné azt, hogy mire felveszi a telefont, addigra az ügyfél portfóliója az egyes részvények aktuális árával együtt már meg is jelenik a telefon kijelzőjén. Az új hangszolgáltatások között szerepel a hívásátírányítás és a nemzetközi konferenciakapcsolás.

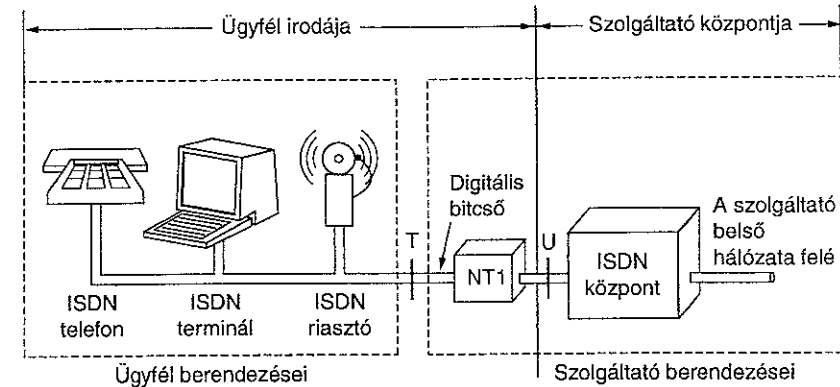
A nem hangátvitelt megvalósító szolgáltatások közül a villamos fogyasztásmérő távoli leolvasását, és az olyan azonnali riasztásokat érdemes megemlíteni, amelyek orvosi esetben a kórházat, betörés esetén a rendőrséget, tűz esetén pedig a tűzoltókat hívják automatikusan, miközben a gyorsabb reagálás érdekében a helyszín pontos címét is megadják.

### 2.5.2. Az ISDN rendszer architektúrája

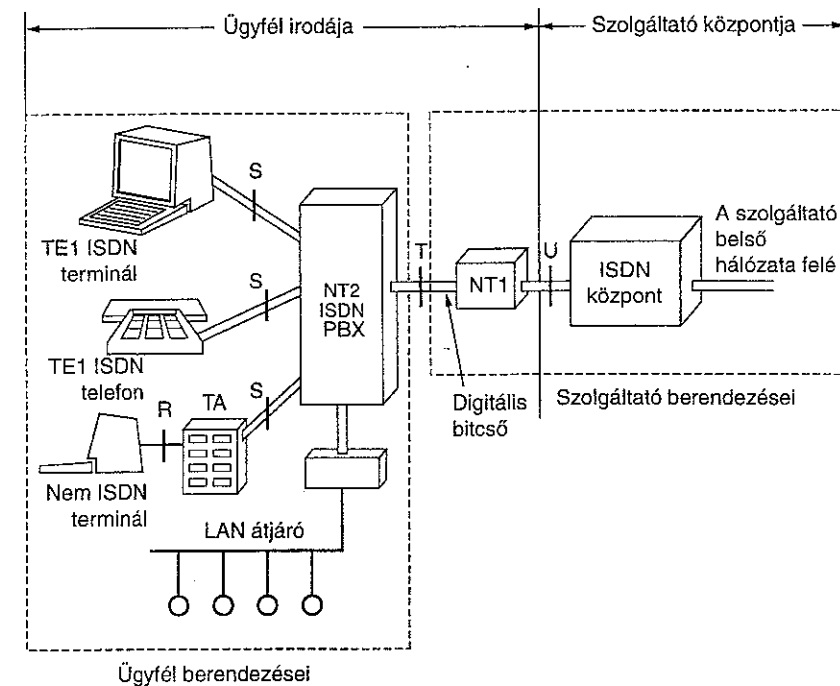
Itt az ideje, hogy részletesen is megvizsgáljuk az ISDN architektúráját, különös tekintettel a felhasználói végberendezésre, valamint a telefontársaság, illetve PTT és az ügyfél közötti interfészre. Az ISDN alapja a **digitális bitső (digital bit pipe)**, ami nem más, mint egy olyan képzeletbeli cső az ügyfél és a szolgáltató között, amelyen keresztül bitek áramlanak. Az, hogy az adatok egy digitális telefontól, digitális terminálról, digitális faxról, vagy valamilyen más berendezésből lettek-e elküldve, teljesen lényegtelen. Csak az a lényeg, hogy a csővön mindkét irányban áramlanak a bitek.

A digitális bitső időosztásos multiplexeléssel egyszerre több független csatorna bitfolyamát is képes továbbítani, és ezt általában meg is teszi. A bitfolyam pontos formátumát és a multiplexelés folyamatát a digitális bitső interfészének leírása pontosan meghatározza. A digitális bitsőhöz két alapvető szabványt dolgoztak ki: otthoni használatra egy kisebb sávzélességűt és üzleti célokra egy nagyobb sávzélességűt. Ez utóbbi az otthoni használatra szánt csatornákkal azonos csatornákból többet is használ. Ezenkívül üzleti célokra egyszerre több digitális bitső is felhasználható, amennyiben az üzleti célra szánt szabványos bitsőn túl továbbiakra is szükség van a nagyobb kapacitás érdekében.

A 2.41.(a) ábrán otthoni használatra és kisebb üzletek számára kialakított rendszer látható. A szolgáltató az ügyfél épületében elhelyez egy **NT1** hálózati végberendezést, és egy csavart érpár segítségével hozzákapcsolja a több kilométer távolságra levő szolgáltatói ISDN központhoz. Az NT1 dobozán van egy olyan csatlakozó, amelyre



(a)



(b)

2.41. ábra. Példa az ISDN rendszer felhasználására. (a) Magáncélra. (b) Üzleti célokra PBX igénybevételével

egy passzív busz kábele köthető rá. A kábelre legfeljebb nyolc ISDN telefon, terminál, riasztó és egyéb eszköz fűzhető fel a lokális hálózatokhoz hasonló módon. Az ügyfél szempontjából a hálózat határát az NT1 berendezés csatlakozója jelenti.

A komolyabb üzleti vállalkozások számára a 2.41.(a) ábrán látható modell nem igazán megfelelő, ugyanis gyakran egyszerre több telefonbeszélgetést folytatnak, mint amennyit a sín kezelni képes. Ezért ilyen esetekben a 2.41.(b) ábrán látható modellt használják. Ebben a modellben az NT1 berendezéshez egy NT2 jelfű alközpont (**Private Branch eXchange, PBX**) kapcsolódik, és ez szolgál valódi interfézként a telefonok, terminálok és egyéb berendezések felé. Az ISDN alközpont nem sokban különbözik az ISDN központtól, bár általában kisebb, és csak kevesebb beszélgetést tud egyszerre kezelni.

A CCITT négy referenciapontot határozott meg a különböző berendezések között. Ezek az **R, S, T** és **U referenciapontok**, amelyek a 2.41. ábrán is láthatók. Az U referenciapont a szolgáltató ISDN központja és az NT1 berendezés között van. Napjainkban ez kétvezetékes csavart érpár, de a későbbiekben csatlakozója az ügyfeleknek szál lesz. A T referenciapont az, amit az NT1 berendezés valószínűleg már fényvezető nyújt. Az S referenciapont az ISDN alközpont és az ISDN terminálok közötti interfész. Az R referenciapont a termináladapterek és a nem ISDN terminálok között terem kapcsolatot. Az R referenciapontnál sokféle interfész használható.

### 2.5.3. Az ISDN interfész

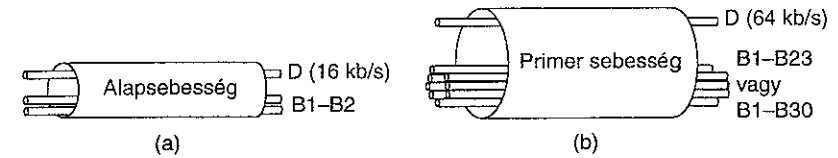
Az ISDN bitső több csatornát is képes kezelni időosztásos multiplexeléssel. A csatornáknak számos szabványosított típusa van:

- A – 4 kHz-es analóg telefoncsatorna
- B – 46 kb/s-os PCM csatorna hang- és adatátviteli célokra
- C – 8 kb/s-os vagy 16 kb/s-os digitális csatorna
- D – 16 kb/s-os vagy 64 kb/s-os digitális csatorna sávon kívüli jelzésre
- E – 64 kb/s-os digitális csatorna belső ISDN jelzésre
- H – 384 kb/s-os, 1536 kb/s-os vagy 1920 kb/s-os digitális csatorna

A CCITT-nek nem állt szándékában, hogy a fenti csatornákat tetszés szerint lehessen kombinálni a digitális bitsővön. Eddig három kombinációt szabványosítottak:

1. **Alapsebesség:** 2B + 1D
2. **Primer sebesség:** 23B + 1D (Egyesült Államok, Japán) vagy 30B + 1D (Európa)
3. **Hibrid sebesség:** 1A + 1C

Az alapsebességű és a primer sebességű csatornákat a 2.42. ábra szemlélteti.



2.42. ábra. Digitális bitső. (a) Alapsebességnél. (b) Primer sebességnél

Az alapsebességű csatornát az otthonokban és a kisebb üzleti vállalkozásoknál a **hagyományos telefonszolgáltatás (Plain Old Telephone Service, POTS)** utódjának tekinthetjük. Egy 64 kb/s-os B csatorna egyetlen PCM hangcsatornát képes kezelni, amely a 8 bites mintákból másodpercenként 8000-et továbbít (ne feledjük, hogy a 64 kb/s esetünkben 64 000 bitet jelent másodpercenként és nem pedig 65 536 bitet). A jelzés egy külön 16 kb/s-os D csatornán történik, így a teljes 64 kb/s-os sáv szélesség a felhasználók rendelkezésére áll (hasonlóan a CCITT 2,048 Mb/s-os rendszeréhez, de eltérően az Egyesült Államok és Japán T1 rendszerétől).

Mivel az ISDN 64 kb/s-os csatornákon alapul, ezért **keskenysávú ISDN (Narrow-band ISDN, N-ISDN)** névvel illetjük, és így különböztetjük meg a szélessávú ISDN-től (ez az ATM), amiről később lesz szó.

A primer sebességű interfészt a T referenciapontnál üzleti célokra használt PBX-hez tervezték. Egy ilyen interfész 23 B csatornával és 1 D csatornával rendelkezik az Egyesült Államokban és Japánban, míg Európában 30 B csatornával és 1 D csatornával. Azért esett a választás a 23B + 1D kombinációra, mert így egy ISDN keret pontosan beleillik az AT&T T1 rendszerébe. A 30B + 1D kombinációt pedig azért választották ki, mert azzal a CCITT 2,048 Mb/s-os rendszerébe illeszkednek az ISDN keretek. A CCITT rendszerében a 32. időrést keretezésre és általános hálózatüzemeltetési célokra használják. Megjegyezzük, hogy primer sebesség esetén a D csatornák és a B csatornák számának hányadosa jóval kisebb, mint alapsebességnél, tekintettel arra, hogy primer sebességnél nem várható túl sok távmérés vagy kis sáv szélesség igényű adatátvitel.

### 2.5.4. Az N-ISDN jövője

Az N-ISDN komoly előrelépést jelentett abból a szempontból, hogy az analóg távbeszélőrendszereket olyan digitális rendszerekre cserélték le, amelyek mind a hang, mind a nem hang jellegű adatforgalmat kezelni tudják. Az alapsebességű interfész nemzetközileg elfogadott kialakítása feltételezhetően az ISDN eszközök iránti nagy érdeklődéshez, és ezáltal tömegtermeléshez, gazdaságosabb üzemeltetéshez és olcsó VLSI chippek megjelenéséhez fog vezetni. Sajnos a szabványosítási eljárás még éveket vehet igénybe, miközben a technológia rohamléptekkel fejlődik, így könnyen lehet, hogy mire a szabvány megszületik, addigra már el is avult.

Az otthonokban a legnagyobb érdeklődés kétségtelenül a hálózati videózás iránt lesz. Sajnos azonban az ISDN alapsebessége két nagyságrenddel kisebb a szükségesnél. Az üzleti életben a helyzet még szomorúbb. A jelenleg kapható LAN-ok sebessége

ge legalább 10 Mb/s, és már ezeket is cserélik le 100 Mb/s-os LAN-okra. A 80-as években egy 64 kb/s-os vonalon nyújtott szolgáltatás még komoly dolognak számított. A 90-es években már viccnek is rossz...

Elég meglepő, de a keskenysávú ISDN-t talán még meg lehet menteni, még hozzá egy teljesen váratlan alkalmazás számára, ami nem más, mint az Internet-hozzáférés. Számos cég kínál olyan ISDN adaptereket, amelyek a 2B + D csatornákat egyetlen 144 kb/s-os digitális csatornára alakítják át. Az Internet-szolgáltatók közül sokan támogatják az ilyen adaptereket. A végeredmény az, hogy az emberek a 28,8 kb/s-os analóg modemek helyett egy 144 kb/s-os, teljesen digitális kapcsolat segítségével férhetnek hozzá az Internethez. Sok Internetező számára ez a lehetőség a képekkel teli Világháló oldalainak letöltésekor ötszörös sebességnövekedést jelent, amiért már megéri foglalkozni vele. Bár a 155 Mb/s-os B-ISDN még gyorsabb, a 144 kb/s-os N-ISDN egyelőre mindenki számára megfizethető, és lehet, hogy ez lesz a nagy előnye a következő néhány évben.

## 2.6. A szélessávú ISDN és az ATM

Amikor a CCITT végre rájött arra, hogy a keskenysávú ISDN nem fogja megváltani a világot, megpróbált kitalálni egy olyan új szolgáltatást, aminek talán sikerül majd. Így született meg a **szélessávú ISDN (Broadband ISDN, B-ISDN)**, amely alapjában véve egy olyan digitális virtuális áramkör, amely a forrásállomás és a célállomás között 155 Mb/s-os sebességgel (valójában 156 Mb/s-os sebességgel, mint korábban említettük) fix hosszúságú csomagokat (cellákat) szállít. Mivel ez az adatssebesség még a (tömrítetlen) HDTV-hez is elegendő, ezért várhatóan a legnagyobb sáv szélesség igényű bolondságoknak is meg fog felelni az elkövetkezendő néhány évben.

Míg a keskenysávú ISDN egy félnk első lépés volt a digitális korbá, addig a szélessávú ISDN egy merész ugrás az ismeretlenbe. Az eredmény elképesztő, ha csak arra gondolunk, hogy a keskenysávú ISDN sáv szélessége 2500-szorosára nőtt, de perze a kihívás is óriási volt (Armbruster, 1995).

Kezdjük azzal, hogy a szélessávú ISDN az ATM technológián alapul. Mint az 1. fejezetben már említettük, az ATM lényegében csomagkapcsolt technológia, nem pedig vonalkapcsolt (bár elég jól tudja emulálni a vonalkapcsolást is). Ezzel szemben a meglévő PSTN és keskenysávú ISDN vonalkapcsolt technológia. A vonalkapcsolást illetően óriási mérnöki szaktudás válik elavulttá a változások következtében. A vonalkapcsolás átalakulása csomagkapcsolássá valójában egy rendszerváltásnak tekinthető.

Mintha csak ez nem lenne elég, nagyobb távolságok esetén a szélessávú ISDN nem tud adatokat küldeni a meglévő csavart érpáros hálózaton. Ez azt jelenti, hogy a legtöbb előfizetői hurok vezetékét ki kell tépkedni, és vagy 5-ös kategóriájú csavart érpárt vagy fényvezető kábelt kell a helyükre tenni (Stephens és Banwell, 1995). Ráadásul, a térosztásos és az időosztásos kapcsolókat csomagkapcsolás esetén nem lehet használni. Ezeket is mind ki kell majd cserélni olyan új kapcsolókra, amelyek egészen más elven működnek, és jóval nagyobb adatssebességeket tesznek lehetővé. Az egyetlen dolog, ami maradhat, a nagytávolságú trónkók hálózata.

Röviden arról van tehát szó, hogy 100 év összegyűjtött tapasztalatainak a kihajtása és a külső, valamint belső berendezések dollármilliárdokba kerülő lecserélése nem éppen egy olyan kis lépés, amit lazán meg lehetne tenni. Ugyanakkor a telefontársaságok számára nyilvánvaló, hogy ha nem teszik meg ezt a szükséges lépést, akkor a kábeltéves cégek bizonyára meg fogják tenni helyettük, gondoljunk csak a hálózati videózásra. Bár nagyon valószínű, hogy a meglévő PSTN és keskenysávú ISDN még legalább egy évtizeden át jelen lesz, a távolabbi jövőt minden bizonnyal az ATM jelenti, ezért a könyv további részeiben behatóan fogjuk tanulmányozni azt. Rögtön ebben a fejezetben el is kezdjük a fizikai réteggel.

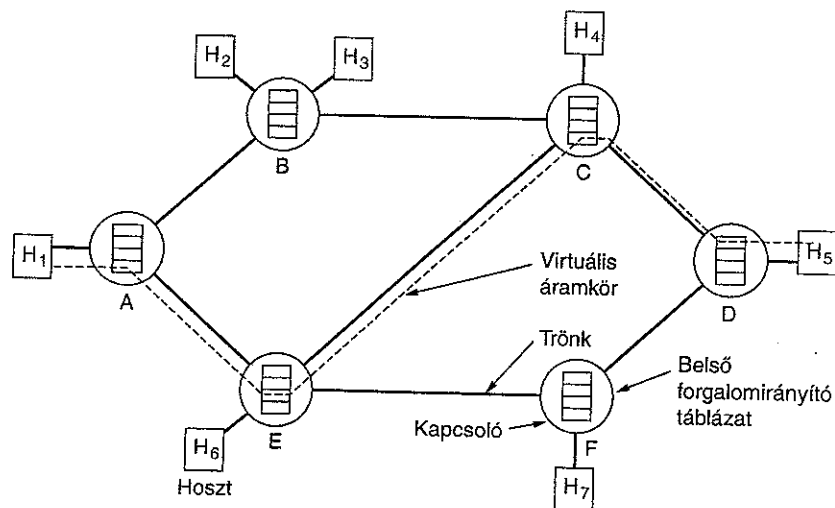
### 2.6.1. Virtuális áramkörök és vonalkapcsolás

A szélessávú ISDN alapszolgáltatása kompromisszum a hagyományos vonalkapcsolás és a hagyományos csomagkapcsolás között. A szélessávú ISDN szolgáltatásai összeköttetés alapúak, azonban az összeköttetést vonalkapcsolás helyett csomagkapcsolással valósítják meg. Kétféle összeköttetésre van lehetőség: **állandó virtuális áramkörre (permanent virtual circuit)**, és **kapcsolt virtuális áramkörre (switched virtual circuit)**. Az állandó virtuális áramkört a felhasználó kézzel állítja be (pl. küld egy faxot a szolgáltatónak), és az tipikusan hónapokig vagy évekig fennáll. A kapcsolt virtuális áramkör a telefonhíváshoz hasonlítható: a kapcsolat szükség esetén dinamikusan felépül, és a beszélgetés után azonnal lebomlik.

Vonalkapcsolt hálózatban a kapcsolat felépítése azt jelenti, hogy a forrásállomás és a célállomás között fizikai összeköttetés jön létre. Tipikusan ez történik a térosztásos kapcsolók esetén is. (Időosztásos kapcsolók esetén a „fizikai összeköttetés” fogalma már nem ilyen kristálytisztá.) Virtuális áramköri hálózatokban, mint amilyen az ATM is, a kapcsolat felépítésekor valójában az történik, hogy kiválasztódik az útvonal a forrásállomás és a célállomás között, és az útvonalat érintő valamennyi kapcsoló (azaz router) bejegyzi magának az útvonalat, így az adott virtuális áramkör valamennyi csomagját a megfelelő irányba tudja továbbítani. A kapcsolóknak arra is van lehetőségük, hogy erőforrásokat foglaljanak le az új virtuális áramkör számára. A 2.43. ábra egy olyan virtuális áramkört ábrázol, amelyben a csomagok az *A*, *E*, *C* és *D* kapcsolón (routeren) keresztül jutnak el a  $H_1$  hoszttól a  $H_5$  hoszthoz.

Amikor csomag érkezik, akkor a kapcsoló megvizsgálja a csomag fejlécét, hogy kiderítse, melyik virtuális áramkörhöz tartozik. Ezután kikeresi a virtuális áramkört a táblázatában, hogy megtudja, melyik adatvonalon kell a csomagot továbbküldenie. Ezt a folyamatot részletesen is tanulmányozni fogjuk az 5. fejezetben.

Most már csak azt kell tisztáznunk, hogy mit jelent a 2.43. ábrán látható  $H_1$  és  $H_5$  hoszt közötti állandó virtuális áramkör. Ez nem más, mint egy olyan megállapodás a felhasználó és a szolgáltató között, amiben a szolgáltató azt biztosítja, hogy a kapcsoló táblázataiban mindig benne maradnak azok a bejegyzések, amelyek a célállomásokra vonatkoznak. Még akkor sem törlődnek ezek az adatok, ha hónapokig nincs adatforgalom az adott áramkörön. Nyilvánvaló, hogy egy ilyen megállapodás erőforrásokat köt le (például táblázati helyeket a kapcsolókban, esetleg sáv szélességet vagy akár puffereket is), ezért az állandó virtuális áramkörért mindig havi díjat kell fizetni.



2.43. ábra. A szaggatott vonal egy virtuális áramkört jelöl. A virtuális áramköröket a kapcsolókban található táblázatok bejegyzései határozzák meg

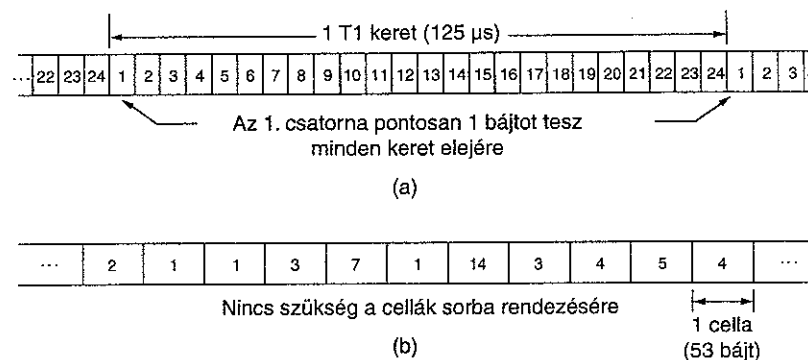
A kapcsolt virtuális áramkörrel szemben az a nagy előnye, hogy nincs kapcsolatfelépítési idő, tehát a csomagokat azonnal el lehet küldeni. Bizonyos alkalmazásokban, mint amilyen a hitelkártya ellenőrzése is, a tranzakciónkénti néhány másodperc megtakarítása miatt megéri állandó virtuális áramkört kiépíteni.

Szemben az eddigiekkel, a 2.43. ábrán látható elrendezésben vonalkapcsolt hálózat esetén a  $H_1$  és  $H_5$  hoszt közötti bérelt vonalak, illetve a térosztásos kapcsolók keresztződése akár hónapokig is foglaltak lehetnek. Ezenkívül a trónkökön is le lehet foglalva valamekkora sáv szélesség FDM csatornák vagy időrések formájában (egy bérelt „vonalt” több kapcsolón is átmehet, ha közvetlen összeköttetés nem áll rendelkezésre). Amikor nincs adatforgalom, akkor egy ilyen megállapodás nyilván sokkal nagyobb pazarlást jelent, mint egy virtuális áramkör használata.

## 2.6.2. Adatátvitel ATM hálózatokban

Mint korábban már említettük, az ATM *aszinkron* transzfer módot jelent. Ezt az átviteli módot a szinkron TI vivővel érdemes szembeállítani. Ezt az összehasonlítást szemlélteti a 2.44.(a) ábra. Egy T1 keret mindig pontosan 125  $\mu$ s-onként generálódik. Ezt a frekvenciát egy master órajel biztosítja. Minden keret  $k$ -adik időrése egy adott ( $k$ -adik) forrásállomásnak az adataiból tartalmaz egy bájtot. A T1 rendszer szinkron működésű.

Ezzel szemben az ATM-nél nincs szükség arra, hogy a cellák a különböző forrásállomásoktól szigorúan meghatározott sorrendben továbbítódjanak. A 2.44.(b) ábra



2.44. ábra. Átviteli módok. (a) Szinkron. (b) Aszinkron

olyan adatvonalat ábrázol, amelyen a különböző forrásoktól származó cellák rendezetlenül továbbítódnak, és véletlenszerű sorrendben érkeznek meg.

Az ATM-nél még csak arra sincs szükség, hogy a számítógépből kijövő cellafolyam folyamatos legyen. Az adatokat tartalmazó cellák között szünetek is lehetnek. Az ilyen szüneteket speciális nyugalmi (idle) cellákkal töltik ki.

Az ATM nem határozza meg, hogy miként kell a cellákat továbbítani. Csak annyit mond, hogy a cellákat egyenként kell elküldeni, de a továbbításhoz igénybe lehet venni más vivőket is. Így például T1 vagy T3 vivő, továbbá SONET vagy FDDI (optikai szálas LAN) segítségével lehet cellákat továbbítani. Ezekben az esetekben a szabvány azt írja elő, hogy hogyan kell a cellákat az adott rendszer kereteibe beágyazni.

Az eredeti ATM szabványban az alapsebesség 155,52 Mb/s volt, de ennek a négyeszeresét (622,08 Mb/s-ot) is megengedték benne. Ezeket az adatsebességeket úgy alakították ki, hogy kompatibilisek legyenek a SONET adatsebességeivel. Mint tudjuk, a SONET olyan adatátviteli szabvány, amelyet a telefonhálózaton megvalósuló fényvezető szálal összeköttetésekhez lehet használni. Az ATM átvitel várhatóan a T3 vivő (44,736 Mb/s) és az FDDI (100 Mb/s) felhasználásával is megoldható lesz.

Az ATM átviteli közege általában fényvezető szál, de 100 méternél rövidebb távolságok esetén koaxiális kábelt vagy 5-ös kategóriájú csavart érpárt is megenged a szabvány. A fényvezető szálak több kilométer hosszúak lehetnek. Az összeköttetés mindig egy számítógép és egy ATM kapcsoló vagy két ATM kapcsoló között valósul meg. Magyarán minden ATM összeköttetés két pont közötti összeköttetést jelent (szemben a LAN-okkal, ahol egy kábelen több adó vagy vevő is lehet). Az ATM-nél többesküldésre (multicasting) is van mód, ilyenkor a kapcsoló egyik bemenetére érkező cella több kimeneti vonalon halad tovább. Minden két pont közötti összeköttetés egyirányú. Duplex összeköttetéshez egyidejűleg két egyirányú vezeték szükséges.

Az ATM fizikai közegetől függő (Physical Medium Dependent, PMD) alrétege gondoskodik a bitek adatvonalon történő elküldéséről, illetve fogadásáról. A különböző villamos vezetékhez és fényvezető szálakhoz az adatsebességtől és a vonali kódolástól függően más és más hardverre van szükség. Az átviteli konvergencia alréteg

feladata az, hogy mindkét irányba egységes interfészt szolgáltatson az ATM réteg számára. Kifelé menet az ATM réteg a cellákat szép sorban elküldi, a PMD alréteg szükség esetén kódolja, majd egyetlen bitfolyamként továbbítja azokat.

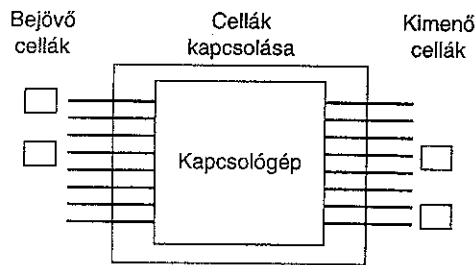
Befelé jövet a PMD alréteg leveszi a vonalról a biteket, és továbbítja a bitfolyamot a TC alrétegnek. A cellahatárok sehogyan nincsenek megjelölve. A TC alréteg feladata az, hogy kiderítse, hol kezdődnek, és hol végződnek a cellák. Ez a feladat nem csak nehéz, de elméletileg lehetetlen is. Így a TC alrétegnek nincs könnyű dolga. Mivel a TC alréteg feladata a cellák keretezése, és ez adatkapcsolati szintű funkció, ezért erről a 3. fejezetben lesz szó. Az ATM fizikai rétegről bővebben (Rao és Hatamian, 1995) művében olvashatunk.

### 2.6.3. ATM kapcsolók

A szakirodalomban igen sokféle ATM cellakapcsoló tervével találkozhatunk. Ezek közül néhányat meg is építettek és le is teszteltek. Ebben a fejezetben röviden ismertetjük az ATM cellakapcsolók főbb működési elveit, és példaként bemutatunk közülük néhányat. A témáról további részleteket (De Prycker, 1993; Garcia-Haro és Jajszczyk, 1994; Handel és mások, 1994; és Partridge, 1994) műveiben olvashatunk. Egy IP protokollra optimalizált ATM kapcsolóról olvashatunk (Parulkar, 1995) munkájában.

A 2.45. ábrán az ATM cellakapcsoló általános modelljét láthatjuk. Vannak bemeneti és kimeneti vonalai, ezeknek a száma szinte mindig megegyezik (mivel az összeköttetések kétirányúak). Az ATM kapcsolók általában szinkron működésűek, ami ebben az esetben azt jelenti, hogy ciklusonként minden bemeneti vonalról elvesz egy cellát (ha egyáltalán van ott), továbbadja azt a belső **kapcsológépnek** (switching fabric), végül a megfelelő kimeneti vonalon továbbküldi.

A kapcsolók csővonalként (pipeline) is működhetnek, azaz előfordulhat, hogy egy beérkezett cella csak néhány ciklus múlva jelenik meg valamelyik kimeneti vonalon. A cellák aszinkron módon érkeznek a bemeneti vonalakra, ezért szükség van egy master órajelre, amely jelzi a ciklusok elejét. Egy adott ciklusban csak azokat a cellákat lehet kapcsolni, amelyek az órajelig teljes hosszukban megérkeztek. Azok a cellák, amelyek nem érkeztek meg teljesen, kénytelenek várni a következő órajelre.



2.45. ábra. Általános ATM kapcsoló

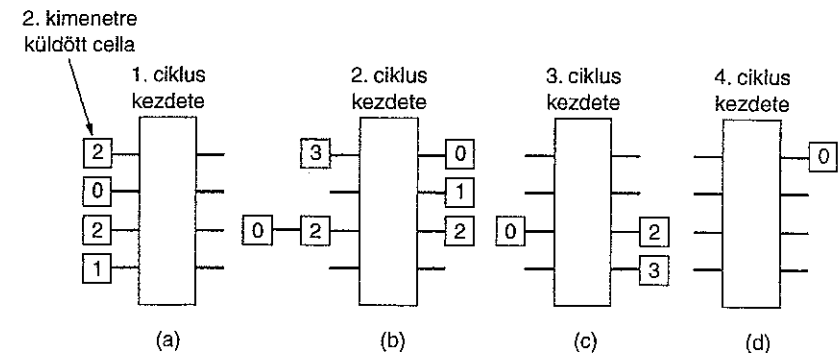
A cellák az ATM sebességével, tehát általában kb. 150 Mb/s-os sebességgel érkeznek a kapcsolóba. Ez másodpercenként valamivel több, mint 360 000 cellát jelent, amiből az következik, hogy a kapcsoló egy ciklusának kb. 2,7  $\mu$ s-ig kell tartania. A kereskedelmi forgalomban kapható kapcsolók bemeneteinek száma 16 és 1024 között van, tehát a kapcsolónak 2,7  $\mu$ s-onként 16...1024 cellából álló csoportot kell tudnia fogadni és kapcsolni. 622 Mb/s-os adatsebesség mellett a kapcsolószerkezet 700 ns-onként kap egy új cellacsoportot. Ilyen kapcsolók megépítését az teszi lehetővé, hogy a cellák rövidek és fix (53 bájt) hosszúságúak. Nagyobb méretű és változó hosszúságú csomagok nagy sebességű kapcsolása ennél sokkal bonyolultabb lenne. Ezért használ tehát az ATM rövid és fix méretű cellákat.

Az ATM kapcsolókat a következő két szempont vezérli:

1. a cellákat a lehető legkisebb eldobási aránnyal (discard rate) kapcsolja, és
2. soha ne rendezze át egy virtuális áramkörön a cellák sorrendjét.

Az első szempont azt jelenti, hogy vész helyzetben a cellákat el lehet dobni, de a cellavesztési arányt a lehető legkisebb szinten kell tartani. A  $10^{-12}$  cellavesztési arány általában még elfogadható. Nagy kapcsolók esetén ez az arány óránként egy-két cella elvesztését jelenti. A második szempont pedig azt takarja, hogy egy virtuális áramkörön meghatározott sorrendben beérkező cellákat mindig ugyanabban a sorrendben kell továbbítani. Ez a megszorítás viszonylag megnehezíti a kapcsolók tervezését, de az ATM szabvány sajnos ezt követeli meg.

Az összes ATM kapcsoló esetén felmerül az a probléma, hogy mit tegyenek akkor, ha két vagy több bemenetre olyan cella érkezik, amelyek ugyanabban a kapcsolási ciklusban ugyanazon a kimeneti vonalon akarnak továbbmenni. Ennek a problémának a megoldása minden ATM kapcsoló esetén kulcskérdés. Egy nem túl jó megoldás az lehetne, hogy ezek közül egy cellát továbbít, a többit pedig eldobja. Ez a módszer azonban nem felel meg az első szempontnak, ezért nem is alkalmazzák.

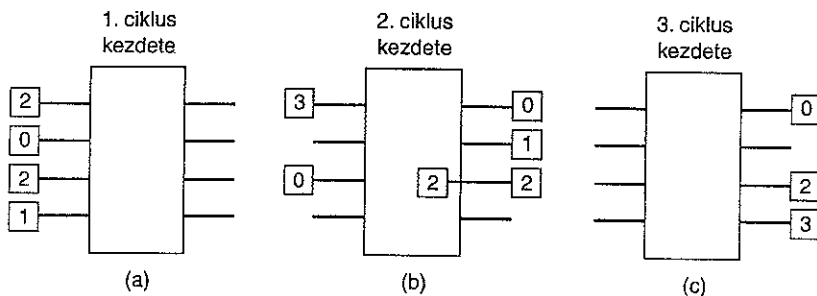


2.46. ábra. Sorbanállás az ATM kapcsoló bemenetein

A következő lehetőség az, hogy minden bemeneti vonalhoz puffert teszünk. Ha két vagy több cella ütközik, akkor az egyiket továbbítjuk, a többit pedig tároljuk a következő órajelig. A továbbítandó cella kiválasztása történhet véletlenszerűen vagy ciklikusan, de arra mindig ügyelni kell, hogy ne részesüljön valamelyik – mondjuk a legkisebb sorszámú – vonal szisztematikusan előnyben, ugyanis ezzel az alacsonyabb sorszámú vonalak gyakrabban lennének kiszolgálva, mint a magasabb sorszámúak. A 2.46.(a) ábra egy kapcsoló első ciklusának az elejét mutatja, amikor a négy bemenetre érkező cella sorrendben a 2-es, 0-s, 2-es és 1-es kimentre akar eljutni. Mivel a 2-es kimenet esetén ütközés lenne, ezért csak az egyik cella mehet tovább. Tegyük fel, hogy ez a 0-s bemenetre érkező cella. A második ciklus kezdetén, amit a 2.46.(b) ábra mutat, három cella eljutott a kimenetekre, a 2-es vonalon levő cella tárolódott, és további két cella érkezett még a kapcsolóhoz. Csak a negyedik ciklus elejére ürül ki a kapcsoló bemenete, ahogy ezt a 2.46.(d) ábrán is láthatjuk.

A bemeneti sorbaállítással (input queueing) az a gond, hogy egy cella feltartóztatása esetén az adott cella megakadályozza a mögötte álló cellák továbbjutását, pedig nem kizárt, hogy azokat egyébként lehetne kapcsolni. Ezt a jelenséget **soreleji blokkolásnak (head-of-line blocking)** nevezzük. A példában bemutatott esetben a valóság általában sokkal bonyolultabb, ugyanis egy 1024 bemenettel rendelkező kapcsolónál az ütközést addig nem lehet felismerni, amíg a cellák valójában át nem jutottak a kapcsolószervezeten, és nem versenyeznek egy adott kimeneti vonalért. Az, hogy a cellákat bemenő sorban várakoztatjuk, amíg nem érkezik egy olyan jelzés, hogy átmehetnek a kapcsolón, külön vezérlő logikát és ellentétes irányú jelzéseket tesz szükségessé, továbbá megnöveli a késleltetést. Van egy olyan megoldás is, hogy a visszautasított cellák egy visszaforgató sínre (recirculating bus) kerülnek, amely a következő ciklusokban újra a bemenetekre küldi a cellákat. Azonban a kapcsolónak vigyázni kell arra, hogy melyik cellát melyik bemenetre teszi, ugyanis a virtuális áramkörökön belül nem rendezheti át a cellák eredeti sorrendjét.

Szintén egy lehetséges megoldás az is, hogy a kimeneti oldalon képezzünk várakozó sorokat (output queueing), ahogy ezt a 2.47. ábrán is láthatjuk. Ezzel kivédhetjük a soreleji blokkolást. Ezen az ábrán ugyanaz a bemeneti elrendezés látható, mint az előzőn, de most az egy cikluson belül ugyanarra a kimenetre igyekvő cellák átmehetnek a



2.47. ábra. Sorbaállítás az ATM kapcsoló kimenetein

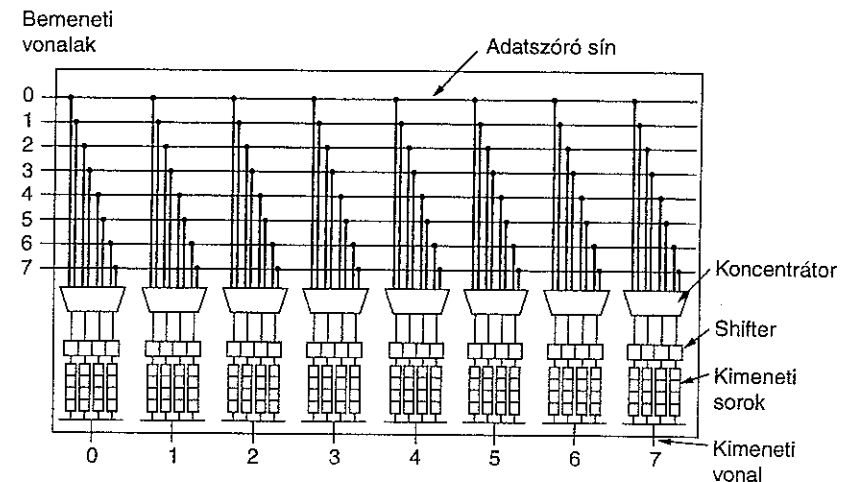
kapcsolón. Az egyik közülük rákerül a kimeneti vonalra, a többi viszont bekerül a kimeneti sorba. Ez látható a 2.47.(b) ábrán. Ennél a megoldásnál a négy ciklus helyett három is elég az összes cella továbbításához. Karol és mások (1987) bebizonyította, hogy a kimeneti sorbaállítás általában hatékonyabb, mint a bemeneti sorbaállítás.

### A kiütő kapcsoló

Most vizsgáljunk meg alaposabban is egy olyan ATM kapcsolót, amelyik kimeneti sorbaállítást alkalmaz. Ez a **kiütő kapcsoló (knockout switch)** (Yeh és mások, 1987), amelynek egy nyolc bemenettel és nyolc kimenettel rendelkező változatát a 2.48. ábrán láthatjuk. Minden bemenet egy olyan belső sínre csatlakozik, amelyen az adott ciklusban beérkező cellák azonnal megjelennek. Nagymértékben leegyszerűsíti az esz-közt és az időzítéseket, ha sínenként csak egy meghajtó van.

A kiütő kapcsoló minden cella megérkezésekor hardveresen megvizsgálja a cella fejlécét, és megkeresi benne a virtuális áramkörre vonatkozó információkat, majd a forgalomirányító táblázat alapján kiválasztja a megfelelő kapcsolási keresztveződést. A cella ezután megindul a sínen, és amikor elért a megfelelő keresztveződéshez, akkor ráfordul a kimeneti vonalra. Egyszerre több cella, vagy adott esetben az összes cella rákerülhet ugyanarra a kimenetre. Sőt, arra is van lehetőség, hogy a sínen egyszerre több keresztveződés kiválasztásával egy cella több kimenetre is eljusson.

Az ütközések kivédésének legegyszerűbb módja az, hogy a cellákat a kimeneti oldalon pufferezzük. Egy 1024 kimenettel rendelkező kapcsoló esetén a legrosszabb esetre méretezve ez 1024 kimeneti puffert jelentene. A gyakorlatban azonban kicsi a



2.48. ábra. A kiütő kapcsoló egyszerűsített rajza

valószínűsége annak, hogy ennyi pufferre van szükség. Ésszerű kialakítás esetén ennél jóval kevesebb ( $n$ ) kimeneti puffer is elegendő.

Abban a nem túl valószínű esetben, amikor egy cikluson belül több cella érkezik, mint amennyit a kapcsoló kezelni tud, a kimeneti vonalakhoz tartozó koncentrátorok  $n$  cellát kiválasztanak, a többit pedig eldobják. A koncentrátor egy intelligens áramkör, amely a kiválasztást igazságosan hajtja végre. Ugyanazt a kieséses módszert alkalmazza, mint amilyen sportversenyeken a negyedöntő, az elődöntő és a döntő.

Elméletileg minden cella külön kimeneti sorba kerül (hacsak nem valamelyik teli van, és emiatt az adott cellát el kell dobni). Azonban a rendelkezésre álló idő alatt az összes cellát nem lehet egyetlen sorba betenni, ezért minden kimeneti sort több sorral szimulálnak. A kiválasztott cellák egy shifterbe kerülnek, amely egyenletesen szétosztja őket az  $n$  kimeneti sor között. Mindez egy vezérlő segítségével történik oly módon, hogy a vezérlő mindig kijelöli a következő sort, így a virtuális áramkörökön belül megmarad a cellák eredeti sorrendje. Az  $n$  értékének változtatásával a tervező a megkívánt cellavesztési arány függvényében tudja kialakítani a kapcsoló piaci árát.

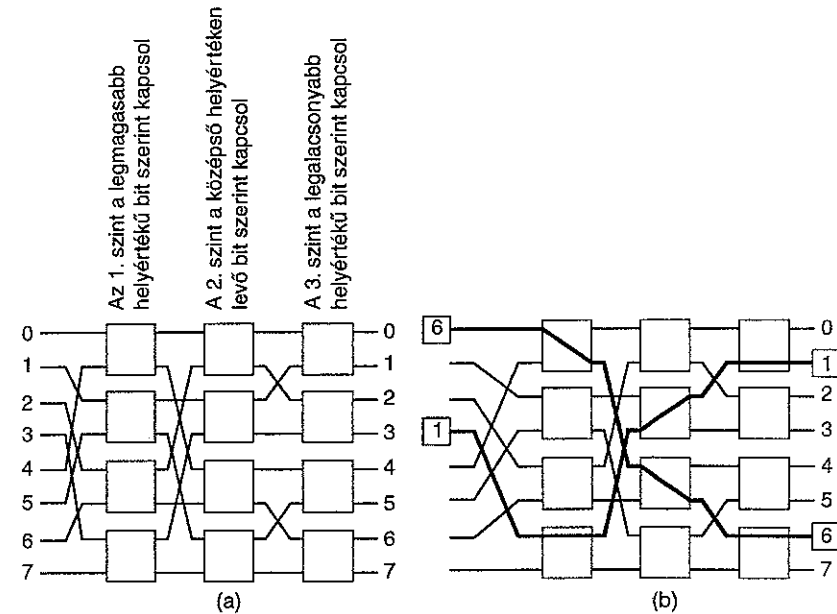
### A Batcher–banyan kapcsoló

A kiűtő kapcsolóval az a gond, hogy lényegében keresztirányú kapcsoló, így a benne levő keresztelődések száma négyzetesen függ a bemeneti vonalak számától. Ahogy ez az összefüggés problémát jelentett a vonalkapcsolásnál, úgy a csomagkapcsolásnál is gondot okoz. Vonalkapcsolásnál a megoldást a térosztásos kapcsolók jelentették, amelyek nagymértékben csökkentették a szükséges keresztelődések számát, bár ennek az volt az ára, hogy többszintű kapcsolókat kellett kialakítani. A csomagkapcsolásnál is lehet hasonló megoldást választani.

A probléma megoldását a **Batcher–banyan kapcsoló** jelenti. A kiűtő kapcsolókhoz hasonlóan a Batcher–banyan kapcsolók szintén szinkron működésűek, tehát a cellákat (bemenetenként nullát vagy egyet) ciklusonként tudja továbbítani. Mivel egy egyszerű Batcher–banyan kapcsoló is sokkal bonyolultabb, mint a 2.39. ábrán látható térosztásos kapcsolók bármelyike, ezért működésüket lépésről lépésre fogjuk ismertetni. A 2.49.(a) ábrán egy  $8 \times 8$ -as háromfokozatú banyan kapcsolót láthatunk. Nevét onnan kapta, hogy huzalozása nagyon hasonlít az indiai fügefű (banyan) gyökereire. A banyan kapcsolók jellegzetessége, hogy mindig csak egyetlen út létezik egy adott bemenet-kimenet pár között. A cellák irányítása úgy történik, hogy minden cellához kikeressük a hozzá tartozó kimenetet. (Ez a cellához tartozó virtuális áramkör és a forgalomirányító táblázat alapján történik.) A kimenetet azonosító 3 bites sorszámot a cella elejére tesszük, ugyanis ez fogja irányítani a cellát a kapcsoló belsejében.

A banyan kapcsoló mind a 12 kapcsolóelemének két bemenete és két kimenete van. Amikor egy cella megérkezik egy kapcsolóelemhez, akkor a kimenetet azonosító sorszám meghatározott bitje alapján a cella vagy a 0-s (felső) porton, vagy az 1-es (alsó) porton halad tovább. Ütközés esetén az egyik cella továbbmegy, a másikat a kapcsoló eldobja.

A banyan kapcsoló a kimenet sorszámát balról jobbra olvassa; az első szinten a bal oldali (tehát legmagasabb helyértékű) bitet, a második szinten a középső bitet, míg a



2.49. ábra. (a) 8 bemenettel és 8 kimenettel rendelkező banyan kapcsoló. (b) Két cella útvonala a banyan kapcsoló belsejében

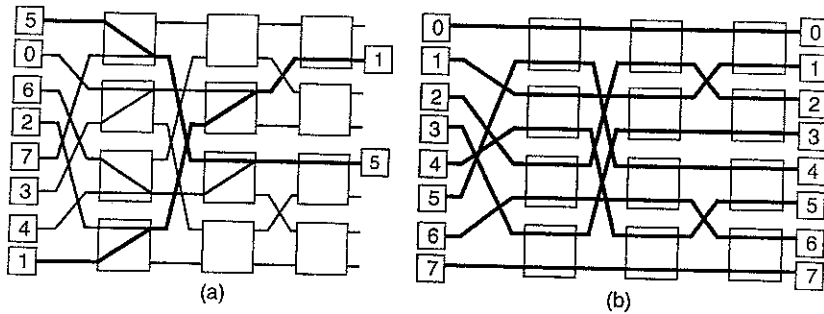
harmadik szinten a jobb oldali (tehát a legkisebb helyértékű) bitet vizsgálja meg. A 2.49.(b) ábrán két cellát láthatunk, ezek közül az egyik a 0-s bemenetre érkezett, és a 6-os kimenetre megy, míg a másik a 3-as bemenetre érkezett, és az 1-es kimenetre megy. Az első cella esetében a kimenet bináris címe 110, tehát az első és a második szintet az alsó, a harmadik szintet pedig a felső porton hagyja el. Hasonló módon, a másik cella, ami a 001 címet kapta, az első és a második szintet a felső, míg a harmadik szintet az alsó porton hagyja el.

Sajnos a banyan kapcsolóban is történhet ütközés, méghozzá akkor, amikor két cella egyszerre szeretné egy kapcsolóelemnek ugyanazt a portját elhagyni. Ilyen ütközések sorozatát láthatjuk a 2.50.(a) ábrán. Az első szinten a következő kimenet párok esetén ütköznek cellák: (5, 7); (0, 3); (6, 4) és (2, 1). Tegyük fel, hogy ezeknél az ütközéseknél az 5-ös, a 0-s, a 4-es és az 1-es kimenetre igyekvő cella jut tovább. A második szinten a (0, 1) és az (5, 4) kimenet párok esetén ütköznek a cellák. Győzzön most az 1-es és az 5-ös kimenet, ezekre tehát eljutottak a cellák.

Vegyük most szemügyre a 2.50.(b) ábrát. Itt mind a nyolc cella ütközés nélkül eljut a megfelelő kimenetre. Levonhatjuk tehát a következőt: a bemenetektől függően a banyan kapcsoló jól is megrosszul is csinálhatja a forgalomirányítást.

A Batcher–banyan kapcsoló lényege az, hogy olyan kapcsolót teszünk a banyan kapcsoló elé, amely úgy permutálja a cellákat, hogy a banyan kapcsolóban ne legyen cellavesztés. Például, ha a beérkező cellákat a kimenetek alapján úgy csoportosítjuk, hogy

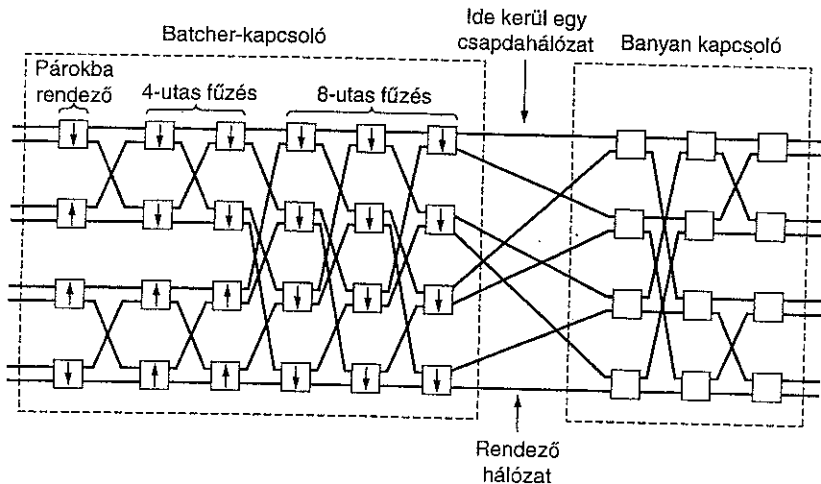




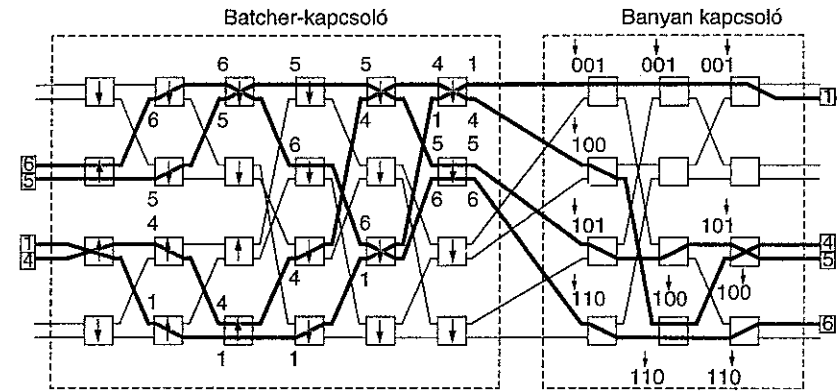
2.50. ábra. (a) Egymással ütköző cellák a banyan kapcsolóban. (b) Ütközésmentes forgalomirányítás a banyan kapcsolóban

– amennyiben a cellák számától függően szükséges – a bemenetekre a 0, 2, 4, 6, 1, 3, 5, 7 sorrendben érkezzenek meg, akkor a banyan kapcsoló nem fog cellát veszteni.

A beérkező cellák rendezéséhez használhatjuk a Batcher-kapcsolót, amit K. E. Batcher fejlesztett ki (Batcher, 1968). A banyan és a kiutó kapcsolókhöz hasonlóan ez is szinkron működésű, azaz diszkrét ciklusai vannak. A Batcher-kapcsoló is  $2 \times 2$ -es kapcsolóelemekből épül fel, azonban ezek működése más, mint a banyan kapcsolóban levőké. Amikor egy kapcsolóelemhez két cella érkezik, akkor számszerűen összehasonlítja a kimeneti címüket (tehát nem csak 1 bitet vizsgál), és a nagyobb című cellát a nyíl irányába eső porton, míg a kisebb című cellát a másik porton továbbítja. Ha csak egy cella érkezik a kapcsolóelemhez, akkor az a nyíl irányával ellentétes porton halad tovább.



2.51. ábra. A Batcher–banyan kapcsoló belső felépítése



2.52. ábra. Példa négy cella továbbítására a Batcher–banyan kapcsolóban

A 2.51. ábra bal oldalán egy nyolc bemenettel rendelkező Batcher-kapcsolót ábrázoltunk. Az első fokozat páronként rendezi a cellákat. A következő két fokozat 4 utas fűzést valósít meg, míg az utolsó három fokozat 8 utas fűzést végez. Általánosítva azt mondhatjuk, hogy  $n$  bemenet esetén a Batcher-kapcsoló komplexitása  $n \log^2 n$ -nel arányos. Ha  $k$  cella érkezik a bemenetekre, akkor a Batcher-kapcsoló az első  $k$  kimenetre rendezi sorba a cellákat.

Miután a cellák elhagyják a Batcher-kapcsolót, kissé átrendeződnek, majd megjelennek a banyan kapcsoló bemenetein. Végeredményként az összes cella a banyan kapcsoló megfelelő kimenetére jut.

Az összetett Batcher–banyan kapcsoló belső működésére egy konkrét példát láthatunk a 2.52. ábrán. Itt a cellák a 2-es, 3-as, 4-es és 5-ös bemenetekre érkeztek, és sorrendjüknek megfelelően a 6-os, 5-ös, 1-es, illetve 4-es kimenetekre szeretnének eljutni. Először az 5-ös, a 6-os cella lép be ugyanabba a kapcsolóelembe. A 6-os cella címe nagyobb, ezért a nyíl irányába eső porton halad tovább, míg az 5-ös cella a másik porton. Itt most nem volt csere. Az 1-es és a 4-es cella esetén csere történik, ugyanis az alul érkező 4-es cella felül megy tovább. A vastag vonalak a cellák útját jelzik a kapcsoló belsejében egészen a kimenetekig.

Figyeljük meg, hogy a négy cella nagyság szerinti sorrendben érkezik meg a Batcher-kapcsoló felső négy kimenetére. Ezt követően a cellák átmennek egy rendező hálózaton (shuffle network), majd bekerülnek a banyan kapcsolóba, amely már ütközések nélkül továbbíthatja őket.

Elvileg a Batcher–banyan kapcsoló ideális lenne ATM kapcsolónak, azonban két dolgot eddig figyelmen kívül hagytunk: a kimeneti vonalakon történő ütközéseket, és a többszűrlést. Ha két vagy több cella ugyanarra a kimeneti vonalra akar eljutni, akkor a Batcher–banyan kapcsoló ezt nem tudja kezelni, így ismét elő kell venni a puffrelést. Az egyik lehetséges megoldás az, hogy a Batcher- és a banyan kapcsoló közé egy csapdahálózatot (trap network) helyezünk. A csapdahálózat feladata az, hogy kiszűrje az azonos kimenetre igyekvő cellákat, és visszaforgassa őket a későbbi ciklusokban, miközben persze ügyel arra, hogy a virtuális áramkörökön ne rendezze át a

cellák eredeti sorrendjét. (Most már az is tisztán látszik, hogy a cellák sorrendjének megtartása sokkal bonyolultabb feladat, mint amilyenek első ránézésre tűnik.) A kereskedelemben kapható kapcsolóknak a többszörös meg kell tudniuk valósítani.

Az első Batcher-bányan ATM kapcsolót Huang és Knauer (1984) tervezte, és a neve Starlite<sup>2</sup> volt. A következő modellek a Moonshine<sup>3</sup> (Hui, 1987) és a Sunshine<sup>4</sup> (Giacopelli és mások, 1991) nevet viselték. El kell ismerni, hogy az ezeket kifejlesztő szakembereknek volt némi humorérzékük. A Starlite, a Moonshine és a Sunshine elsősorban a csapdahálózat kialakításában és a többszörös kezelésében különböznek.

## 2.7. Celluláris rádió

A hagyományos telefonhálózat továbbra sem győzi kiszolgálni az egyre növekvő igényeket. Még úgy sem, hogy a szélessávú ISDN is teljes kapacitással működik. Így egyre jobban kiéleződik a verseny a villamos vezetékes és a fényvezető szálas rendszerek, valamint a rádióhullámú rendszerek között. Az elkövetkezendő években ezek a rendszerek egyre fontosabb szerepet fognak játszani a notebookok, a mobiltelefonok és a menedzserkalkulátorok hálózatba kapcsolásánál. A következő bekezdésekben a műholdas személyhívó rendszerekkel, a vezeték nélküli telefonokkal, a celluláris telefonhálózatokkal és más hasonló technológiákkal foglalkozunk majd. Ezek az eszközök ma már kezdenek összeolvadni, és olyan hordozható számítógépek jönnek létre, amelyek egyszerre képesek telefonálni, faxolni, elektronikusan levelezni, továbbá távoli adatbázisokban kutatni. Persze mindezt bárhol a világon megtehetik.

Az ilyen berendezéseknek már ma is óriási piaca van. Számtalan cég foglalkozik számítógépekkel, telefonokkal, műholdas rendszerekkel és egyéb termékekkel. A végeredmény pedig az, hogy teljes káosz uralkodik a piacon, a termékek és a szolgáltatások nagy része átfedi egymást, ugyanakkor sok esetben egymással nem kompatibilisek. Igen gyors a fejlődés, és minden országban tipikusan más irányba halad. A következőkben legalább az alapjait megpróbáljuk összefoglalni a jelenleg ismert technológiáknak, amikről bővebben (Bates, 1994; Goodman, 1991; Macario, 1993; Padgett és mások, 1995; és Seybold, 1994) műveiben olvashatunk.

### 2.7.1. Személyhívó rendszerek

Az első személyhívó rendszerek (paging system) az épületen belüli hangosbeszélők voltak. A kórházakban gyakran hallhatjuk, hogy a hangszórókon keresztül közleményeket mondanak be, például olyasmit, hogy: „Kérjük, Dr. Kovács Emőke hívja fel a 4321-es melléket.” Akiknek manapság személyhívóra van szükségük, azok egy pará-

<sup>2</sup> magyarul „csillagfény” (szerk.)

<sup>3</sup> magyarul „holdfény” (szerk.)

<sup>4</sup> magyarul „napfény” (szerk.)

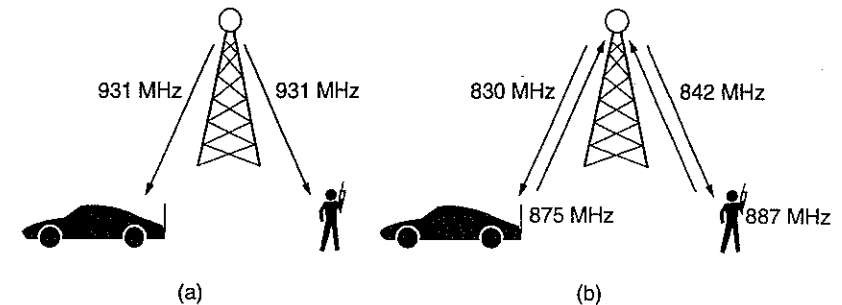
nyi csipogót tartanak maguknál. A csipogóknak általában van egy kis képernyőjük is, amire rövid üzeneteket tudnak kiírni.

Ha fel akarunk hívni valakit a személyhívóján, akkor először fel kell hívni a szolgáltatót, meg kell adni egy biztonsági kódot, majd a hívott csipogó számát, és ezután vagy a saját telefonszámunkat hagyjuk meg, vagy egy rövid üzenetet küldünk el. A hívást fogadó számítógép vezetékes vonalon továbbítja azt egy hegytetőn levő antennának, amely vagy egyből szétsugározza a hívást (helyi személyhívás), vagy továbbítja egy központi műholdnak (távolsági személyhívás), és az sugározza szét. Amikor a csipogó a saját számát érzékeli a beérkező rádióhullámokon, akkor jelez, és kírja a visszahívandó telefonszámot. Arra is van lehetőség, hogy egy hívással egyszerre több ember személyhívójára is üzenjünk.

A korszerűbb személyhívó rendszerek már közvetlenül a számítógéphez csatlakoznak, és nem csak telefonszámok, hanem hosszabb üzenetek fogadására is alkalmasak. A számítógép a beérkező adatokat egyből feldolgozza. Egy ilyen rendszerrel például egy kereskedelmi cég naprakészen tudná tartani az árait az utazó ügynökei hordozható számítógépében.

Jelenleg a legtöbb személyhívó rendszer egyirányú adatátvitelt valósít meg a központi számítógép és a sok-sok vevőkészülék között. Nincs gond azzal, hogy ki beszélhet következőnek, és a felhasználók nem versenyeznek egymással a csatornákért, mivel az egész rendszerben csak egyetlen adó van.

A személyhívó rendszerek sávzélességigénye kicsi, ugyanis minden üzenet legfeljebb 30 bájtot tesz ki. A régebbi személyhívó rendszerek különböző frekvenciákon üzemelnek a 150–174 MHz-es sávban. A mai korszerűbb rendszerek már a 930–932 MHz-es sávot használják. Ezen a frekvencián egy 1 Mb/s-os műholdas sáv percnként több mint 240 000 személyhívót tud kiszolgálni. A 2.53.(a) ábra egy egyirányú személyhívó rendszer működését szemlélteti, ahol az összes üzenet egy adott frekvencián egy irányba halad. Később látni fogjuk, hogy ez miben különbözik a mobiltelefon-rendszertől, ahol az üzenetek két irányba mennek, a két irány különböző frekvenciát használ, és hívásonként más és más frekvenciapár kerül kiosztásra. Ennek a rendszernek a működését a 2.53.(b) ábra szemlélteti. Az itt felsorolt különbségek miatt sokkal egyszerűbb egy személyhívó rendszer, és jóval olcsóbb üzemeltetni, mint egy mobiltelefon-rendszert.



2.53. ábra. (a) A személyhívó rendszer egyirányú. (b) A mobiltelefon-rendszer kétirányú

### 2.7.2. Vezeték nélküli telefon

A vezeték nélküli telefon eredeti célja az volt, hogy lehetővé tegye a telefonálást akkor is, amikor az ember a ház körül van. A vezeték nélküli telefon két részből áll: egy alapállomásból (base station) és egy telefonkészülékből. A kettőt mindig együtt árusítják. Az alapállomás hátlapján szabványos csatlakozó aljzat van, így az alapállomást (vezeték segítségével) a telefonhálózathoz lehet csatlakoztatni. A telefonkészülék kis teljesítményű rádióhullámokon keresztül kommunikál az alapállomással. A hatótávolság tipikusan 100 és 300 méter között van.

Mivel az első vezeték nélküli telefonok csak a saját alapállomásukkal kommunikáltak, ezért nem volt szükség szabványosításukra. Az olcsóbb készülékek egy része fix frekvenciát használt, amit a gyártó határozott meg. Ha véletlenül a szomszéd vezeték nélküli készüléke is ugyanazt a frekvenciát használta, akkor mindketten hallhatták a másiknak érkező hívásokat is. A drágább készülékek lehetővé tették, hogy a felhasználó maga állítsa be a kívánt frekvenciát.

A vezeték nélküli telefonok első generációja, amit az Egyesült Államokban CT-1, míg Európában CEPT-1 néven ismertek, még teljesen analóg volt. Gyakran előfordult, hogy ezek a készülékek zavarták egymást a rádióval vagy a tévével. A gyenge vételi lehetőség és a biztonság hiánya arra késztette a gyártókat, hogy kifejlesszenek egy szabványos digitális rendszert. Így született meg Angliában a CT-2. Az első CT-2 készülékek csak kezdeményezni tudták a hívásokat, fogadni nem. Ezért miután az első néhány darabot eladták, a gyártót erős kritika érte a hiányosság miatt, így gyorsan áttervezte a készülékeket. A CT-1 változathoz hasonlóan, a telefonkészülékek ennél is az alapállomás néhány száz méteres körzetében kellett lennie, ami alkalmassá tette a ház körüli vagy irodán belüli használatra, de nem tette lehetővé a használatát autóban és városi séta közben.

1992-ben megjelent a vezeték nélküli telefonok harmadik generációja, a CT-3, ami már lehetőséget biztosított az alapállomástól távoli barangolásra is. Ez a technológia már közel áll a celluláris telefon technológiájához, amiről a következő bekezdésekben lesz szó.

### 2.7.3. Analóg celluláris telefon

A mobil rádiótelefonokat a tengerhajózás és a hadsereg a 20. század első évtizedeiben még csak helyel-közzel használta. Az első autós mobiltelefon-rendszert 1946-ban építették ki St. Louisban. A rendszer egy magas épület tetején álló adótornyból állt, és mind az adáshoz, mind a vételhez ugyanazt az egy csatornát használta. Beszélgetéskor a készüléktulajdonosnak le kellett nyomnia egy gombot, ami engedélyezte az adást, és egyidejűleg kikapcsolta a vételt. Az ilyen **átkapcsolásos rendszereket (push-to-talk system)** nagyon sok városban használtak az 50-es évek elején. Gyakran látjuk a tévéfilmekben, hogy a taxisok és a rendőrök is ilyen CB-adó-vevőt használnak.

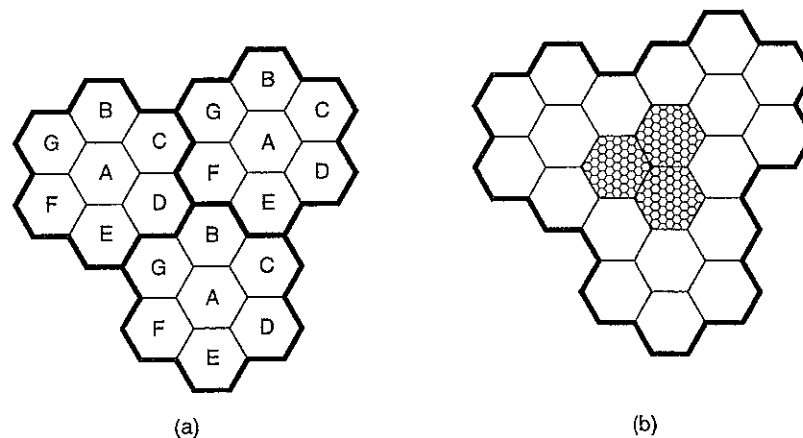
A 60-as években aztán jött a **javított mobiltelefon-szolgáltatás (Improved Mobile Telephone System, IMTS)**. Ez is nagy teljesítményű (200 W-os), hegytetőn

levő adókat használt, azonban az adáshoz és a vételhez külön frekvencia állt rendelkezésre, így a beszélgetésekhez többet már nem kellett az átkapcsoló gombot használni. Mivel a mobiltelefonokról kimenő hívások más frekvenciát vettek igénybe, mint a beérkező hívások, ezért a telefonálók nem hallhatták egymás beszélgetéseit (szemben a taxisok által használt CB-adó-vevőkkel).

Az IMTS 23 csatornát tartott fenn a 150 MHz és 450 MHz közötti frekvenciatartományban. A csatornák kis száma miatt a felhasználóknak gyakran hosszú ideig várakozniuk kellett a tárcsahangra. A nagy teljesítményű hegyi adótornyok miatt pedig a szomszédos rendszereket több száz kilométer távolságra lehetett csak telepíteni az interferenciák elkerülése érdekében. A lényeg az, hogy ez a rendszer nem volt praktikus a korlátozott kapacitása miatt.

### Korszerű mobiltelefon-rendszerek

Mindez alaposan megváltozott a **korszerű mobiltelefon-rendszer (Advanced Mobile Phone System, AMPS)** megjelenésével, amit először 1982-ben az Egyesült Államokban helyeztek üzembe. Ugyanezt a rendszert Angliában TACS néven, Japánban pedig MCS-L1 néven ismerik. A korszerű mobiltelefon-rendszerekben a földrajzi területet cellákra osztják, minden cella tipikusan 10–20 km átmérőjű területet fed le, és mindegyik más frekvenciakészlettel rendelkezik. A korszerű mobiltelefon-rendszer alapötlete az, hogy viszonylag kis cellák vannak, és az átviteli frekvenciákat többször is felhasználja az egymáshoz közeli (persze nem a szomszédos) cellákban. Ez az eddigi rendszerekhez képest nagyban megnöveli a kapacitását. Amíg a javított mobiltelefon-szolgáltatásnál 100 km-es körzetben csak egy hívást lehet egy adott frekvencián lebonyolítani, addig a korszerű mobiltelefon-rendszerben ugyanekkora területen 100



2.54. ábra. (a) A szomszédos cellák különböző frekvenciát használnak. (b) Több felhasználó esetén csökkenteni lehet a cellák méretét

különböző, 10 km átmérőjű cella fér el, és egy frekvenciát az egymástól távolabb eső cellákban összesen 5–10 hívásra lehet felhasználni. Ráadásul, a kisebb méretű cellák miatt kisebb sugárzási teljesítményre van szükség, ami lehetővé teszi kisebb és olcsóbb eszközök előállítását. A kézben is elférő mobiltelefonok sugárzási teljesítménye 0,6 W, az autókban található mobiltelefonoké pedig tipikusan 3 W, ami az FCC előírásaiban a legmagasabb megengedett érték.

A frekvenciák többszörös felhasználásának elvét a 2.54.(a) ábra szemlélteti. A cellák általában nagyjából kör alakúak, de most az egyszerűség kedvéért hatszögekkel ábrázoljuk őket. A 2.54.(a) ábrán látható cellák mérete megegyezik. A cellák hetesével egy-egy csoportot alkotnak. Az ábrán látható betűk a frekvenciacsoportokat jelölik. Vegyük észre, hogy az azonos frekvenciacsoportok között mindig kétcellányi távolság van, így a frekvenciacsoportok jól elkülönülnek egymástól, és csak kismértékben zavarják egymást.

Sokszor komoly gondot jelent a bázisállomás antennájának a földfelszín felett lehetőleg minél magasabban történő elhelyezése. Ennek a problémának a megoldása néhány távközlési szolgáltató céget arra késztetett, hogy tető alá hozzon egy megállapodást a római katolikus egyházzal, lévén hogy az egyháznak az antennák elhelyezésére kifejezetten alkalmas épületei vannak világszerte, és ezeknek az épületeknek egy közös gazdája van.

Azokon a területeken, ahol a felhasználók száma már olyan nagy, hogy a rendszer kezd túlterhelt lenni, csökkentették a sugárzási teljesítményt, és a túlterhelt cellákat további még kisebb cellákra osztották fel. Ezzel a módszerrel a frekvenciákat még többször lehet felhasználni, ahogy ezt a 2.54.(b) ábra is mutatja. A cellák méretének meghatározása igen bonyolult feladat, amiről többek közt (Hac, 1995) művében olvashatunk.

Minden cella közepén van egy bázisállomás, amely a cellában tartózkodó mobiltelefonok adásait veszi. A bázisállomás számítógépből és egy antennához csatlakozó adó-vevőből áll. Kisebb rendszerek esetén az összes bázisállomás egyetlen **mobiltelefon-központtal (Mobile Telephone Switching Office, MTSO)** vagy **mobil kapcsolóközponttal (Mobile Switching Center, MSC)** áll összeköttetésben. Nagyobb rendszereknél több mobiltelefon-központra van szükség, amelyek aztán egy másodsztíji mobiltelefon-központhoz kapcsolódnak, és így tovább. A mobiltelefon-központok lényegében olyan helyi központok, mint amilyenek a vezetékes telefonhálózatban vannak, és legalább egy ilyen központ valóban össze is van kötve egy vezetékes helyi központtal. A mobiltelefon-központok egymással, a bázisállomásokkal és a nyilvános kapcsolt telefonhálózattal csomagkapcsolt hálózaton keresztül kommunikálnak.

A mobiltelefonok mindig valamelyik meghatározott cellában tartózkodnak, és az adott cella bázisállomásának felügyelete alá esnek. Amikor a mobiltelefon elhagy egy cellát, akkor a cella bázisállomása érzékeli a telefon jelének gyengülését, és körbekérdezi az összes szomszédos cellát, hogy azok mekkora teljesítményt érzékelnek a kérdéses telefonnál. A bázisállomás ezek után átadja a mobiltelefon felügyeletét annak a cellának, amelyik a legerősebb jelet veszi a telefontól, azaz ahol a telefon éppen tartózkodik. Ezt követően a mobiltelefon tájékoztatást kap az új központról, és ha éppen telefonbeszélgetés zajlik, akkor át kell térnie egy másik csatornára, ugyanis a régi

nem lehet használni egyik szomszédos cellában sem. Ez a folyamat, az **átadás (hand-off)**, ami kb. 300 ms-ig tart. A csatornakiosztást a mobiltelefon-központ végzi, amely egyben a rendszer irányítóközpontja is. A bázisállomások igazából csak rádiós relé állomások.

### Csatornák

A korszerű mobiltelefon-rendszer 832 duplex csatornát használ, amelyek közül mind-egyik két egyirányú csatornából áll. A 824 MHz-től 849 MHz-ig terjedő frekvenciatartományban 832 szimplex adócsatorna, míg a 869 MHz-től 894 MHz-ig terjedő frekvenciatartományban 832 szimplex vevőcsatorna van. Mindegyik szimplex csatorna sáv szélessége 30 kHz. Így tehát a korszerű mobiltelefon-rendszer frekvenciaosztásos multiplexelést (FDM) használ a csatornák szétválasztására.

A 800 MHz-es sávban a rádióhullámok kb. 40 cm hosszúak, és egyenes vonal mentén terjednek. A fák és a növények elnyelik ezeket a hullámokat, viszont a földről és az épületekről visszaverődnek. Megeshet, hogy a mobiltelefon egy jelzése többször is megérkezik a bázisállomáshoz: egyszer közvetlen egyenes úton, később pedig a földről vagy egy épületről visszaverődve. Ez visszhanghatáshoz vagy a jel torzulásához vezethet. Néha még az is előfordul, hogy egy távoli beszélgetés hangjait halljuk a többszörös visszaverődések következtében.

Az Egyesült Államokban a 832 csatornát minden városban az FCC osztja ki. Ezeknek felét a helyi telefontársaság kapja, amelyet **vezetékes szolgáltatónak (wireline carrier)**, vagy más néven **B oldali szolgáltatónak (B-side carrier)** neveznek. A csatornák másik felét a mobil távközlésbe újonnan belépett cégek, az ún. **A oldali szolgáltatók (A-side carrier)** kapják. Ez azért van így, hogy biztosan legyen legalább két konkurens celluláris telefonszolgáltató a piacon, amelyek egymással versyeznek mind a szolgáltatások minőségében, mind pedig az árakban.

Kissé zavaros a telefontársaságok és a celluláris telefonszolgáltatók szétválasztása, ugyanis a legtöbb telefontársaságnak van celluláris telefonhálózatot üzemeltető partnere, ráadásul, 1994-ben az AT&T egyesült a legnagyobb celluláris telefonszolgáltatóval, a McCaw Cellularral. Gyakori, hogy egy cég valahol A oldali szolgáltató, más-ahol pedig B oldali szolgáltató. A helyzetet tovább bonyolítja az, hogy a celluláris telefonszolgáltatók a 416 csatorna bármelyikének használati jogát eladhatják, üzletelhetnek vele.

A 832 csatornát négy kategóriába lehet sorolni, amelyek a következők:

1. Vezérlés (az alapállomástól a mobiltelefonhoz) – a rendszer felügyelete.
2. Hívás (az alapállomástól a mobiltelefonhoz) – a mobiltelefon használójának értesítése a neki szóló hívásokról.
3. Hozzáférés (kétirányú) – hívás felépítése és csatorna hozzárendelése.
4. Adat (kétirányú) – hang, fax és adatok továbbítása.

A rendszer irányítására 21 csatornát foglalnak le, amelyek minden telefonban egy PROM-ba vannak beégetve. Mivel ugyanazt a frekvenciát nem lehet használni a szomszédos cellákban, a hangátvitelre alkalmas csatornák száma jóval kevesebb, mint 832; ezek száma általában 45 körül van.

### Hívásmenedzsment

A korszerű mobiltelefon-rendszerben minden mobiltelefon egy 32 bites sorszámmal és egy 10 számjegyű hívószámmal rendelkezik. Ezek a számok a mobiltelefon PROM-jába vannak beégetve. A telefon hívószáma egy 10 biten tárolt 3 számjegyű körzetszámból, és egy 24 biten tárolt 10 számjegyű előfizetői számból áll. Amikor a mobiltelefont bekapcsoljuk, az végignézi a 21 előre beprogramozott vezérlési csatornát, és megkeresi közülük a legnagyobb teljesítménnyel adót. A mobiltelefonok úgy vannak beállítva, hogy vagy csak az A oldali szolgáltatók csatornáit nézze végig, vagy csak a B oldali szolgáltatókét, vagy az A oldal által kedvezményezett szolgáltatókét, vagy a B oldal által kedvezményezettéket attól függően, hogy a felhasználó milyen szolgáltatásokra fizetett elő. A személyhívó és a hozzáférési csatornák számait a vezérlési csatornán tudja meg.

Ezek után a telefon szétküldi a 32 bites sorszámmal és a 34 bites hívószámát. Mint minden vezérlési információ a korszerű mobiltelefon-rendszerben, ez a csomag is digitálisan, egymás után többször, és hibajavító kódolással továbbítódik annak ellenére, hogy a hangcsatornákon analóg átvitel valósul meg.

Amikor egy bázisállomás meghallja a bejelentkezést, akkor ezt közli a mobiltelefon-központtal, amely nyilvántartásba veszi az új ügyfelet, és tájékoztatja az ügyfél saját mobiltelefon-központját az ügyfél aktuális pozíciójáról. Normális működés esetén a mobiltelefon kb. 15 percenként újregisztráltja magát.

Telefonáláshoz be kell kapcsolni a telefont, beütni a felhívandó telefonszámot, majd megnyomni a SEND (küldés) gombot. A telefon a hozzáférési csatornán elküldi a hívott számot és a saját azonosítóját. Ha a csatornán ütközés van, akkor később újra próbálkozik. Amikor a bázisállomás megkapja az üzenetet, tájékoztatja arról a mobiltelefon-központ. Amennyiben a hívó fél az MTSO üzemeltetőjének (vagy egyik partnerének) ügyfele, akkor az MTSO keres egy üres csatornát a hívásnak. Ha talál ilyet, akkor a csatorna számát visszaküldi a vezérlési csatornán. A mobiltelefon ezután automatikusan átkapcsol a kiválasztott hangcsatornára, és megvárja, hogy a hívott fél felvegye a telefont.

A beérkező hívások máshogyan működnek. Az egész úgy kezdődik, hogy a telefon folyamatosan figyel a hívó csatornákat, és várja a neki szóló üzeneteket. Amikor bejut egy hívás (akár egy vezetékes, akár egy másik mobiltelefonról érkező hívás), akkor a telefon elküld egy csomagot a saját mobiltelefon-központjának, hogy kiderítse, hol van. Aztán elküld egy olyan üzenetet, mint amilyen például a következő: „14-es egység, ott vagy?” Erre a hívott készülék a következőt válaszolja a vezérlési csatornán: „Igen!” A bázisállomás ezek után valami olyasmit mond, hogy: „14-es egység, hívás érkezett neked a 3-as csatornán.” Ekkor a hívott készülék átkapcsol a 3-as csatornára, és csöngető hangot kezd generálni.

### A biztonság kérdései

Az analóg mobiltelefonok egyáltalán nem biztonságosak. Bárki megteheti, hogy egy, az összes sáv vételére alkalmas rádióvevővel (scanner) ráhangolódik egy adásra, és máris mindent hall az adott cellában. Így hallgatták le egyszer Diana hercegnő és szeretője beszélgetését is, amiből aztán világra szóló címlap sztori lett. Mivel a legtöbb mobiltelefon-tulajdonos nem is sejtí, hogy mennyire nem biztonságos a rendszer, gyakran közöl azon keresztül hitelkártyaszámot vagy más bizalmas információt.

Egy másik komoly probléma a vonalak lopása. A tolvaj egy olyan rádióvevőt csatlakoztat a számítógépéhez, amely az összes sáv vételére alkalmas, majd elkezd monitorozni a vezérlő csatornát, és rögzíti magának a hallható mobiltelefonok 32 bites sorszámmal és a 34 bites hívószámát. Néhány órányi hallgatás után egy egész nagy adatbázist tud felépíteni. Ezek után a tolvaj kiválaszt egy számot, és azt használja a hívásaihoz. Ez a trükk addig működik, amíg az áldozat hetekkel később meg nem kapja a telefonszámláját. Ekkor a tolvaj egy másik számot vesz elő.

Vannak olyan tolvajok, akik a lopott számok felhasználásával olcsó telefonálást kínálnak másoknak. Aztán vannak olyanok is, akik lopott számokkal újraprogramozzák a mobiltelefonokat, és eladják azokat. Így a vevő ingyen telefonálhat.

Az előbb említett problémák egy részére megoldást jelenthetne a titkosítás, de akkor a rendőrség nem tudná könnyen leleplezni a vezeték nélküli összeköttetést használó bűnözőket. Ez a terület rendkívül problematikus. Részletesebben a 7. fejezetben tárgyaljuk majd.

Szintén a biztonság általános kérdéséhez tartozik az antennákat és a bázisállomások sújtó vandalizmus és károkozás. Ezek bizony komoly problémák, ugyanis évente több százmillió dollár kár éri a mobiltelefon-hálózatok üzemeltetőit.

### 2.7.4. Digitális celluláris telefon

Az első generációs celluláris telefonhálózatok analóg elven működtek. A második generáció már digitális. Az Egyesült Államokban régen lényegében egyetlen rendszer volt: a korszerű mobiltelefon-rendszer (AMPS). Amikor elérkezett a digitális rendszerek ideje, megjelent három vagy négy konkurens cég, és megkezdődött a harc a túlélésért. Most egyelőre úgy néz ki, hogy két rendszer marad életben. Az egyiket, amelyik felülről kompatibilis a korszerű mobiltelefon-rendszer frekvenciáival, az IS-54 és az IS-135 szabvány specifikálja. A másik rendszer közvetlen sorszámkiosztáson (direct sequence spread) alapul. Ezt a rendszert az IS-95 szabvány írja le.

Az IS-54 rendszer kettős (analóg és digitális) működésű, és ugyanazokat a 30 kHz-es csatornákat használja, mint amiket a korszerű mobiltelefon-rendszer is használ. Egy csatorna adatátviteli sebessége 48,6 kb/s, és ezen egyszerre három felhasználó osztozik. Mindhárom felhasználónak 13 kb/s jut, a maradékot a vezérlés és a plusz időzítések veszik igénybe. A cellák, a bázisállomások és a mobiltelefon-központok ugyanúgy működnek, mint a korszerű mobiltelefon-rendszerénél. Csak a digitális jelzés és a digitális hangkódolás más. Az IS-95 rendszer egészen új. Erről majd akkor lesz szó, amikor a 4. fejezetben a csatornakiosztásról szóló részhez érünk.

Európában az előzőeknek pont az ellenkezője történt. A különböző országokban ötféle analóg rendszert használtak, így például egy angol gyártmányú készüléket nem lehetett Franciaországban használni. Ez a tapasztalat ösztönözte az európai PTT-eket arra, hogy kialakítsanak egy közös digitális rendszert. Ez lett a **globális mobilkommunikációs rendszer**, vagy ismertebb nevén a **GSM (Global System for Mobile communications)**. A GSM rendszer bevezetése megelőzte a konkurens amerikai rendszerek ottani bevezetését. A japán rendszer az eddig ismertett valamennyi rendszertől különbözik.

Mivel az európai rendszerek mind különbözőek voltak, ezért az tűnt a legegyszerűbbnek, hogy a tisztán digitális rendszer egy új frekvenciasávot (1,8 GHz) kap, persze megtartva a 900 MHz-es sávot is, ahol lehet. A GSM egyszerre használ frekvenciaosztásos és időosztásos multiplexelést. A rendelkezésre álló sáv szélesség 50 darab 200 kHz-es csatornára van felosztva. Egy csatornát egyszerre több felhasználó is igénybe vehet időosztásos multiplexeléssel.

Vannak olyan mobiltelefonok, amelyek egy CPU-t tartalmazó ügyes kis kártyát<sup>5</sup> használnak. A telefon sorszámát és a hívószámát is ez tárolja, nem pedig a telefon, így nagyobb a fizikai biztonság, ugyanis a telefonkészülék ellopása esetén a tolvaj nem jut hozzá sem a sorszámmhoz, sem a hívószámhoz. Titkosítást szintén alkalmaznak. A GSM-ről a 4. fejezetben lesz még szó.

### 2.7.5. Személyi hírközlő szolgáltatás

A telefonos világ álma egy olyan kisméretű, vezeték nélküli telefon, amelyet a ház körül is lehet használni, és a világon mindenhol el lehet vinni. Mindig ugyanaz lenne a hívószáma attól függetlenül, hogy éppen hol van, így az embereknek csak egy telefonszámmra lenne szükségük. (A korszerű mobiltelefon-rendszerben az otthoni vezetékes telefonnak és a mobiltelefonnak más a száma.) Már jelenleg is nagy erővel dolgoznak egy ilyen rendszer kifejlesztésén (Lipper és Rumsewicz, 1994), amelyet az Egyesült Államokban **személyi hírközlő szolgáltatásnak (Personal Communications Services, PCS)**, míg Európában **személyi hírközlő hálózatnak (Personal Communications Network, PCN)** hívnak. A távbeszélőrendszerek világában az Egyesült Államok mindig egy kicsit különködik. Szerencsére a műszaki megoldások nagy része megegyezik.

A személyi hírközlő szolgáltatás szintén a celluláris technológián alapul, de itt olyan mikrocellákat alkalmaznak, amelyeknek az átmérője csak 50 és 100 méter között van. Ez rendkívül kis sugárzási teljesítményt (1/4 W) tesz lesz lehetővé, aminek köszönhetően nagyon kicsi és könnyű készülékek jelentek meg a piacon. Ugyanakkor sokkal több cellára van szükség, mint a korszerű mobiltelefon-rendszerben, ahol egy cella átmérője 20 km. Ha úgy számolunk, hogy egy mikrocella átmérője 1/200-a a korszerű mobiltelefon-rendszerben használt celláénak, akkor egy ugyanakkora terület lefedéséhez 40 000-szer több cella kell. Egy teljesen új személyi hírközlő rendszer kiépítése persze nyilvánvalóan sokkal nagyobb infrastrukturális beruházást jelent, mint

<sup>5</sup> Magyarországon *SIM kártya* néven ismert.

egy korszerű mobiltelefon-rendszer kiépítése, még akkor is, ha a mikrocellák jóval olcsóbbak, mint a korszerű mobiltelefon-rendszerben használt cellák. Néhány telefon-társaság rájött arra, hogy a telefonpóznák kiváló helyet biztosítanak a kenyérpirító méretű bázisállomásoknak, így jelentősen csökkentek a beruházás költségei. A póznákra szerelt bázisállomásokat időnként **telepontoknak (telepoints)** is hívják. Az, hogy hányat és hová tegyenek belőlük, igen bonyolult kérdés, amiről többek közt (Steele és mások, 1995a, 1995b) műveiben olvashatunk.

Az Egyesült Államok kormánya (pontosabban az FCC) a személyi hírközlő szolgáltatás révén még a levegőből is pénzt csinált. 1994 és 1995 folyamán árverésre bocsátotta a személyi hírközlő szolgáltatás frekvenciatartományát (1,7–2,3 GHz). Az árverés 7,7 milliárd dollárt hozott az amerikai kormánynak. Ez az árveréses módszer a korábbi sorsolásos frekvenciakiosztási módszert váltotta le, ugyanis régebben azok a cégek, amelyek nem voltak érdekeltek a távközlésben, üzérkedtek a sávokkal. Amikor egy ilyen cég hozzájutott egy frekvenciasávhoz, akkor rögtön eladta több millió dollárért egy olyan cégnek, aki nem nyert a sorsoláson.

Azonban semmi nincs ingyen, még a kormánynak sem. Az 1,7 GHz és 2,3 GHz közötti frekvenciatartományt már teljes egészében kiosztották. Ezek a felhasználók kapnak majd egy másik sávot, és a kormány felszólította őket, hogy térjenek át arra a sávra. Igen ám, csakhogy az antennák mérete függ a frekvenciától, és emiatt a felhasználóknak most sok milliárd dolláros beruházásaikról (antennák, adókészülékek stb.) kellene egy csapásra lemondaniuk. Különböző érdekcsoportok javaslatokat terjesztettek elő az amerikai kormánynak arról, hogy ki fedezze mindezeknek a költségeit. A végeredmény az, hogy az ezredforduló előtt a PCS már valószínűleg nem terjed el széles körben. A frekvenciák felhasználásáról bővebben (Youssef és mások, 1995) művében olvashatunk.

## 2.8. Távközlési műholdak

Az 50-es években és a 60-as évek elején olyan fémbevonatú meteorológiai léggömbökkel kísérleteztek, amelyekről az elektromágneses hullámok visszaverődtek. Sajnos a visszavert hullámok olyan gyengék voltak, hogy gyakorlatilag semmire nem lehetett használni őket. Ekkor az amerikai haditengerészet észrevett egy állandó meteorológiai léggömböt az égen – ez a Hold volt –, és a hajók, valamint a szárazföld közötti kommunikáció céljára kiépítettek egy olyan működő rendszert, amely a Holdról visszaverődő hullámokat használta fel.

Az égi kommunikáció akkor kezdett el újból fejlődni, amikor 1962-ben fellőtték az első távközlési műholdat. Egy mesterséges műhold és a Hold között az alapvető különbség az, hogy a műhold a visszasugárzott jelet fel tudja erősíteni, s ez egy igen különleges jelenség a hatékony hírközlő rendszerek szempontjából.

A távközlési műholdaknak van néhány érdekes tulajdonsága, ami vonzó lehet bizonyos alkalmazások számára. A távközlési műholdat felfoghatjuk úgy, mint egy világűrben levő óriási mikrohullámú ismétlőt. A műhold számos **transzponderrel (transponder)** rendelkezik, amelyek közül mindegyik a frekvenciatartomány egy meghatá-

rozott részét figyeli, felerősíti a beérkező jeleket, és a beérkező jelek zavarásának elkerülése érdekében egy másik frekvencián visszasugározza azokat. A Föld irányában kibocsátott nyalábok lehetnek szélesek vagy keskenyek. A széles nyalábok óriási területet képesek lefedni a Föld felszínén. Ezzel szemben a keskeny nyalábok alig néhány száz kilométer átmérőjű területek lefedésére alkalmasak.

### 2.8.1. Geoszinkron műholdak

Kepler törvénye értelmében a műhold keringési ideje a Föld körüli pálya sugarának  $3/2$ -ik hatványával arányos. A Föld felszínéhez közel keringő műhold esetén a keringési idő kb. 90 perc. Ezek az alacsonyan keringő műholdak azonban problematikusak, ugyanis a földi állomások látóterében csak rövid ideig tartózkodnak.

Az egyenlítő felett 36 000 km magasságban keringő műhold keringési ideje viszont már 24 óra, ami megegyezik a Föld tengely körüli forgási idejével<sup>6</sup>. Egy földi megfigyelő az egyenlítő felett körpályán keringő műholdat egy helyben állónak és látszólag mozdulatlanak látja. Az égbolton egy helyben álló műholdak rendkívül hasznosak, ugyanis nem igényelnek drága forgatható antennákat a vételhez.

A technika jelenlegi állása mellett az egyenlítő 360 fokos síkjában nem célszerű 2 foknál közelebb tenni egymáshoz a műholdakat. Így ugyanis nem zavarják egymás adásait. Ha 2 fokos térközeteket hagyunk, akkor csak  $360/2 = 180$  geoszinkron műhold lehet egyszerre a világűrben. A lehetséges föld körüli állások (orbit slots) közül jó néhányat más célokra foglaltak le (pl. televíziós műsorszórás, kormányzati alkalmazások, hadi célok stb.).

Szerencsére a különböző frekvenciatartományokat használó műholdak nem zavarják egymást, így mind a 180 lehetséges műhold egyszerre tudna a Föld felé sugározni, illetve földi adásokat venni. Sőt, az is lehetséges volna, hogy egy pozícióban két vagy több műhold tartózkodjon, amennyiben különböző frekvenciákon működnek.

Annak érdekében, hogy az égbolton megakadályozzák a teljes káoszt, nemzetközi egyezményben rögzítették, hogy ki melyik föld körüli állást és melyik frekvenciát használhatja. A legfontosabb kereskedelmi frekvenciasávokat a 2.55. ábrán látható táblázatban foglaltuk össze. Elsőként a C sávot adták ki kereskedelmi műholdas adások számára. Két frekvenciasávot határoztak meg; az alacsonyabb sáv (a műholdról)

Sáv	Frekvencia	Lefelé irányuló (GHz)	Felfelé irányuló (GHz)	Problémák
C	4/6	3,7–4,2	5,925–6,425	Földi zavarások
Ku	11/14	11,7–12,2	14,0–14,5	Eső
Ka	20/31	17,7–21,7	27,5–30,5	Eső; drága berendezések

2.55. ábra. A legfontosabb műholdas frekvenciasávok

<sup>6</sup> A pontosság kedvéért, a Föld tengely körüli forgási ideje egy csillagászati nap, ami 23 óra 56 perc 4,09 másodperc.

a föld felé irányuló adáshoz, a magasabb sáv pedig (a műholdhoz) a földről felfelé irányuló adáshoz lett hozzárendelve. Duplex összeköttetés esetén mindkét egyirányú sávra szükség van. A C sáv már zsúfolásig megtelt, ugyanis a nem műholdas szolgáltatók is ezt a tartományt használják földi mikrohullámú összeköttetésekhez.

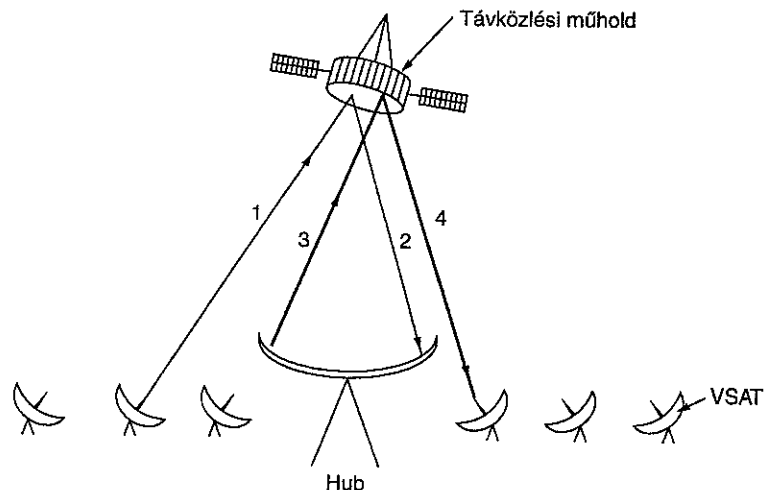
Az üzleti célú távközlési szolgáltatók számára biztosított következő legmagasabb frekvenciasáv a Ku sáv. Ez a sáv (egyelőre) még nem telt meg, és ezeknél a frekvenciáknál a műholdak akár már 1 foknyi távolságra is lehetnek egymástól. Viszont itt van egy kis probléma: az eső. Ilyen magas frekvencián ugyanis a víz elnyeli a mikrohullámokat. Szerencsére a nagyobb viharok helyét általában jól meg lehet határozni, így egyetlen földi adóállomás helyett több, egymástól távol eső állomás létrehozásával a problémát át lehet hidalni. Ilyenkor ugyanis gyorsan át lehet kapcsolni egyik állomásról egy másikra, bár igaz, ez plusz antennákat, kábeleket és elektronikus berendezéseket igényel. A Ka sávban is kialakítottak kereskedelmi célokra frekvenciasávokat, azonban a használatukhoz szükséges berendezések egyelőre még igen drágák. A kereskedelmi célú sávok mellett még számos, kormányzati és hadi célokra fenntartott sáv létezik.

Egy átlagos műhold 12–20 transzponderrel rendelkezik, amelyek mindegyike 36–50 MHz sávzélességű. Egy 50 Mb/s-os transzpondert vagy egyetlen 50 Mb/s-os adatsatornához használnak, vagy 800 különböző 64 kb/s-os hangcsatornához. Persze más felosztási variációk is lehetségesek. Ezenkívül két transzponder más-más irányban polarizálhatja a jeleket, így akár ugyanazt a frekvenciát is használhatják anélkül, hogy egymás adásait zavarják. Kezdetben a transzponderek frekvenciakiosztása statikus volt, azaz a teljes sávzélességet állandó csatornákra osztották fel (FDM). Ma már időosztást is alkalmaznak, hogy növeljék a rendszer flexibilitását.

Az első műholdak egyetlen sugarat bocsátottak ki, ami az egész Földet betérítette. Az árak, a méretek és a felhasznált teljesítmény drasztikus csökkenésének köszönhetően egy sokkal elméletesebb adatszórás módszer vált lehetővé. Minden műholdat több antennával és több transzponderrel szerelnek fel. A Föld felé irányuló sugarakat egy kis területre irányítják, így egyidejűleg több felfelé és lefelé irányuló adást lehet megvalósítani. Ezek az ún. **pontnyalábok (spot beams)** ellipszis alakúak, és az átmérőjük akár néhány száz kilométer keskeny is lehet. Az Egyesült Államok által használt műholdak az összefüggő 48 állam területére általában egy széles nyalábot sugároznak, míg Alaszkára, illetve Hawaiiira pedig egy-egy pontnyalábot.

A műholdas távközlés egyik újdonsága az olcsó mikroállomás, amit néha **nagyon kis apertúrájú terminálnak (Very Small Aperture Terminal, VSAT)** is hívnak (Ivancic, 1994). Ezeknek az apró termináloknak 1 m átmérőjű antennájuk van, sugárzási teljesítményük pedig kb. 1 W. A műhold felé irányuló adatátviteli sebesség 19,2 kb/s, viszont a Föld felé ennél jóval nagyobb, általában 512 kb/s. Sok VSAT rendszerben a mikroállomások teljesítménye túl kicsi ahhoz, hogy egymással tudjanak kommunikálni (persze műholdon keresztül). Ezért az ilyen rendszerekben egy speciális földi állomást, egy nagyméretű antennával és erősítővel felszerelt központot (**hub**) használnak a mikroállomások közötti adatátvitelre. A 2.56. ábrán egy ilyen megoldás vázlata látható. Ennél a működési módnál vagy az adónak vagy a vevőnek nagyméretű antennával és nagy teljesítményű erősítővel kell rendelkeznie. E rendszer előnye a mikroállomások alacsony ára, hátránya viszont a nagyobb késleltetés.





2.56. ábra. Hub-ot használó VSAT

A távközlési műholdaknak több olyan tulajdonsága is van, amelyek lényegesen eltérnek a földi két pont közötti összeköttetések jellemzőitől. Először is, annak ellenére, hogy a műholdas jelek fénysebességgel (kb. 300 000 km/s) terjednek, a nagy távolságok miatt jelentős késleltetés lép fel. A felhasználó és a földi állomás közötti távolságtól, valamint a műhold pályájának a földfelszíntől mért távolságától függően a végpontok közötti jelterjedési idő 250-300 ms. A tipikus érték 270 ms (miközben egy hub-os VSAT rendszerben 540 ms).

Összehasonlításképpen egy földi mikrohullámú összeköttetés esetén a jelterjedési idő kb. 3  $\mu$ s/km, míg egy koaxiális vagy egy optikai kábel esetén ez az érték kb. 5  $\mu$ s/km. (Az elektromágneses hullámok gyorsabban terjednek a levegőben, mint a szilárd testekben.)

A műholdak egyik leglényegesebb jellemzője, hogy természetüknél fogva adatszóró rendszerek. A transzponderrel ugyanannyiba kerül több ezer állomás számára sugározni, mint egyetlen állomás számára. Bizonyos alkalmazásoknál ez igencsak hasznos. Még ha az adatszórás két pont közötti összeköttetésekkel szimulálni is lehetne, nem kizárt, hogy olcsóbb műholdas adatszórás alkalmazni. Másfelől viszont mind a biztonság, mind a személyiségi jogok szempontjából a műholdas átvitel kész katasztrófa, ugyanis bárki bármit hallhat. Ha a biztonság megköveteli, a titkosítás nélkülözhetetlen.

A műholdak fontos jellemzője még az is, hogy az üzenetek továbbításának költsége független a távolságtól. Ugyanannyiba kerül egy tengerentúli hívás, mintha a szomszéd utcába telefonálnánk. A műholdak rendkívül kis hibaarányal működnek, és majdhogynem azonnal üzembe lehet helyezni őket, ami a hadsereg szempontjából igen előnyös.

## 2.8.2. Alacsony röppályás műholdak

A műholdas korszak első 30 évében nem nagyon használtak alacsony röppályás műholdakat (low-orbit satellite), ugyanis azok nagyon rövid ideig tartózkodtak a látómezőben. 1990-ben a Motorola új alapokat fektetett le ezen a területen, ugyanis engedélyt kért az FCC-től arra, hogy az Iridium projekt keretében fellőhessen 77 alacsony röppályás műholdat (az iridium ugyanis a 77. elem a periódusos rendszerben). A terveket később újra megvizsgálták, és 66-ra csökkentették a műholdak számát, így a projektet át kellett volna nevezni Dysprosiumra (ami a 66. elem), azonban ez úgy hangzott, mint egy betegség. Az elképzelés az volt, hogy amikor egy műhold kiesik a látótérből, akkor egy másik lép be a helyére. Ez az elképzelés teljesen megszedítette a többi távközlési céget. Hirtelen mindegyikük fel akart lépni egy sor alacsony röppályás műholdat. A továbbiakban mi az Iridium projektet ismertetjük röviden, de a többi projekt is hasonló volt.

Az Iridium projekt eredeti célja az volt, hogy egy olyan világméretű távközlési szolgáltatást valósítson meg, amely kézi eszközök között közvetlen összeköttetést tesz lehetővé az Iridium műholdak segítségével. A rendszer hang- és adatátvitelt, faxolást, személyhívást és navigációs szolgáltatásokat biztosítana bárhol a világon. Ha majd kiépül a műholdrendszer, akkor az minden bizonnyal a PCS/PCN vetélytársa lesz, sőt tulajdonképpen fölőlegessé is teszi azt.

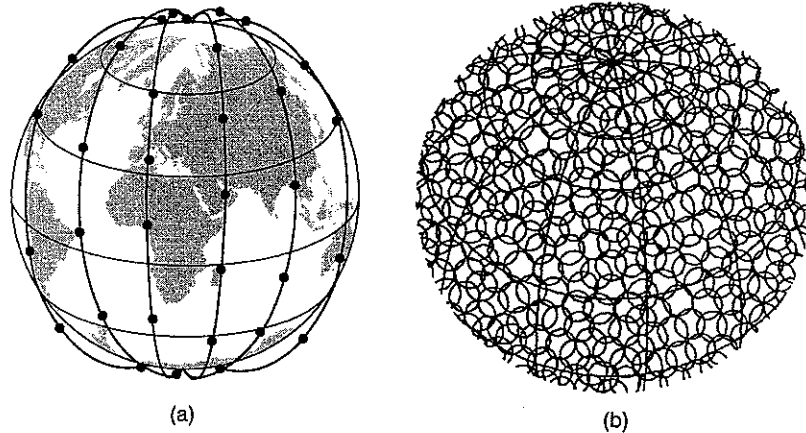
A celluláris rádiózás ötletét használták föl, csak egy kis csavarral. Az előbbinél ugyanis a cellák rögzítettek, és a felhasználók mozognak. Ennél a rendszernél viszont minden műhold egy csomó nyalábot bocsátana a Földre, miközben haladna. Ez azt jelenti, hogy mind a cellák, mind a felhasználók mozognának a rendszerben, de a cellaváltás módja ugyanaz lenne abban az esetben, amikor a felhasználó hagyja el a cellát, mint akkor, amikor a cella hagyja el a felhasználót.

A műholdakat 750 km magasságban állítanák Föld körüli körpályára. A Föld körül észak-déli irányú láncokat alkotnának oly módon, hogy 32 szélességi fokként lenne egy műhold. Hat műholdláncal a Föld teljes felszínét le lehetne fedni, ahogy ez a 2.57.(a) ábrán is látható. A kémiaiában nem túl jártas embereknek olyan ez az elrendezés, mint egy óriási dysprosium atom, amelynek a magja a Föld, az elektronjai pedig a műholdak.

Egy műhold legfeljebb 48 pontnyalábot sugározna, így összesen 1628 cellát lehetne kialakítani a Föld felszínén. Ez látható a 2.57.(b) ábrán. Akárcsak a hagyományos celluláris rádiónál, két cellával arrébb ugyanaz a frekvencia újból felhasználható lenne. Minden cella 174 duplex csatornával rendelkezne, ami világszerte 283 272 csatornát jelentene. Ezek közül néhányat a rendkívül kis sáv szélesség igényű személyhívásra és navigálásra használnának. (A személyhívók kétszori szöveget tudnának megjeleníteni.)

A felfelé és a lefelé irányuló csatornák az L sávban, 1,6 GHz környékén működnek, ami lehetővé teszi, hogy egy kisméretű elemes készülék segítségével kommunikáljunk a műholddal. Ha egy műhold olyan üzeneteket vesz, amelyek egy távolabbi műholdnak szólnak, akkor az üzeneteket a Ka sávban továbbítja a címzett műholdnak. A műholdak közötti kommunikációra a világűr irányába elegendő sáv szélesség áll rendelkezésre. Az egyetlen korlátozó tényező a felfelé és lefelé irányuló szegmenssek





2.57. ábra. (a) Az Iridium projekt műholdjai hat láncot alkotnak a Föld körül. (b) 1628 mozgó cella borítja a Földet

száma lenne. A Motorola becslései szerint erre a célra 200 MHz elég lenne az egész rendszernek.

A tervezett végfelhasználói díj percenként 3 dollár. Amennyiben ez a technológia a világon bárhol egységes szolgáltatást tud nyújtani ilyen kis pénzért, akkor aligha mond csődöt az ügyfelek hiánya miatt. Tömegesen jönnek majd az olyan ügyfelek, akik üzleti vagy egyéb útjaik alatt állandóan elérhetőket szeretnének lenni még a fejletlenebb vidékeken is. Ugyanakkor a fejlett területeken az Iridium projekt számára komoly kihívást jelent majd a PCS/PCN rendszer a telefonpóznákra szerelt mikrohullámú állomásaival.

### 2.8.3. A műholdas és a fényvezető szálás átvitel összehasonlítása

A műholdas és a földi távközlés összehasonlítása mindenképpen tanulságos. Nem is olyan régen, kb. 20 évvel ezelőtt még úgy nézett ki, hogy a távközlés jövőjét a műholdas rendszerek jelentik majd. A távbeszélőrendszer alig változott valamit az elmúlt 100 esztendő során, és nem sok jel utalt a változásra a következő 100 év alatt. Ez a gleccserlassúságú fejlődés nagyrészt annak a szabályozott környezetnek volt köszönhető, amelyben a telefontársaságoktól magas színvonalú, ugyanakkor olcsó szolgáltatásokat vártak el (amiket teljesítettek is), miközben garantálták a befektetéseik megtérülését. Az adatátvitelre 1200 b/s-os modemek álltak rendelkezésre. Ez akkor még bőven elegendő volt mindenre.

1984-ben a piaci verseny kialakulása gyökeresen megváltoztatta a helyzetet az Egyesült Államokban, illetve kicsivel később Európában is. A telefontársaságok elkezdték lecserélni a nagy kiterjedésű hálózataikat fényvezető szálás rendszerekre, és olyan új, nagy sávszélességű szolgáltatásokat vezettek be, mint amilyen az SMDS

vagy a B-ISDN. Véget vetettek annak a régóta fennálló gyakorlatnak, miszerint a nagytávolságú szolgáltatások árait mesterségesen magasán tartották, hogy abból fedezzék a helyi szolgáltatások veszteséges működését.

Hosszú távon egy csapásra a fényvezető szálás összeköttetések tűntek győztesnek. Ugyanakkor a távközlési műholdaknak volt néhány olyan felhasználói köre, amelyeket a fényvezető szálás távközlés nem tudott megszerezni magának. Most ezek közül mutatunk be néhányat.

Bár elvileg egyetlen fényvezető szál sávszélessége is már jóval nagyobb, mint amennyit a műholdas rendszerek valaha is elértek, mégis ez a sávszélesség a legtöbb felhasználó számára nem elérhető. Az utóbbi időben kiépített fényvezető kábeleket ugyanis a telefontársaságokban a nagytávolságú hívások lebonyolítására használják, és nem pedig arra, hogy egyes felhasználóknak nagy sávszélességet biztosítsanak. Ráadásul, egyes felhasználók az optikai csatornákhöz is hozzáférnek, ugyanis van akinek a régi jó csavart érpáros előfizetői hurok gondot okoz. Ha a helyi telefontársaság helyi központját 28,8 kb/s-os vonalon hívják fel, akkor sosem jutnak 28,8 kb/s-nál nagyobb sávszélességhez, hiába vannak jóval nagyobb sávszélességű közbülső vonalak. A műholdaknak köszönhetően egyszerűen csak fel kell állítani egy antennát az épület tetejére, és máris teljes egészében ki lehet kerülni a telefontársaságot. Sokan vannak, akiknek a telefontársaság kikerülése lényeges szempont.

Azoknak, akiknek (időnként) 40 vagy 50 Mb/s-os átviteli sebességre van szükségük, az egyik lehetséges megoldás az, hogy bérelnek egy 44,736 Mb/s-os T3 vonalat. Ez persze nem olcsó mulatság. Ha ilyen nagy sávszélesség csak ritkán kell, akkor jó megoldás lehet az SMDS, ami viszont a műholdas szolgáltatásokkal ellentétben nem mindenhol elérhető.

Egy másik előnyös alkalmazás a mobil kommunikáció. Manapság sokan vannak, akik kocogás, vezetés, vitorlázás vagy repülés közben akarnak telefonálni. A földi fényvezető szálás hálózatok nem alkalmasak erre, a műholdas rendszerek viszont elvileg igen. Persze a celluláris rádió és a fényvezető szálás hálózatok ötvözése is jó megoldás lehet a legtöbb felhasználó számára (bár akik tengeren vagy repülőn vannak, azoknak ez sem megfelelő).

A harmadik előnyös alkalmazást azok a szituációk jelentik, ahol nélkülözhetetlen az adatszórás. A műholdokról érkező adást több ezer földi állomás veheti egyszerre. Egy olyan cégnek, amelyik több ezer kereskedőjének el akarja küldeni a termékek nagyban, kiskiszorítású és egységárait, sokkal olcsóbb lehet egy műholdas rendszer, mint földi, két pont közötti összeköttetésekkel szimulálni az adatszóró rendszert.

A negyedik alkalmazási lehetőség az ellenséges területeken és a gyengén fejlett infrastruktúrájú területeken van. Indonéziának például saját műholdas rendszere van az országon belüli telefonálásra. Sokkal olcsóbb volt fellőni egy műholdat, mint több ezer tenger alatti kábelt kihúzni a szigetvilágban.

Végül a műholdas rendszerek ott is alkalmazhatók, ahol nehéz vagy túlságosan drága megszerezni a fényvezető kábelek útvonalengedélyét. Ezen kívül azokban a helyzetekben, amikor a gyors üzembe helyezés rendkívül fontos (például háború esetén), egyértelműen a műholdas rendszer a nyerő.

Összefoglalva az eddigieket úgy tűnik, hogy a jövőben a távközlés fő csapásiránya a földi optikai szálás hálózatokkal kombinált celluláris rádiózás lesz, de néhány spe-

ciális alkalmazás esetén a műholdas rendszerek kerülnek előtérbe. Azonban van egy dolog, ami mindezekkel ellentmondásban áll, ez pedig a pénz. Bár a fényvezető szálak jóval nagyobb sávszélességgel rendelkeznek, mégis könnyen megeshet, hogy a földi és a műholdas távközlés szoros árszoros versenybe kerül. Ha a technikai fejlődés következtében a műholdas rendszerek kiépítésének költségei radikálisan lecsökkennek (mert például egy űrhajó egyetlen fellövése alkalmával több tucat műholdat állít pályára), vagy az alacsony röppályás műholdak befutnak, akkor korántsem biztos, hogy a fényvezető szálak hálózatok minden piacot megszereznek.

## 2.9. Összefoglalás

A fizikai réteg minden hálózatnak az alapja. A természet két lényeges megszorítást teremtett az adatsatornáknak, amelyek meghatározzák azok sávszélességét. Az egyik korlát a Nyquist-tétel, amely a zajmentes csatornákra érvényes, a másik pedig a Shannon-tétel, ami viszont a zajos csatornákra érvényes.

Az átviteli közeg lehet vezetékes vagy vezeték nélküli. A vezetékes közegekhez tartozik a csavart érpár, a koaxiális kábel és a fényvezető szál. A vezeték nélküli közegekhez a levegőben terjedő rádióhullámok, mikrohullámok, infravörös sugarak és a lézersugarak tartoznak.

A legtöbb nagy kiterjedésű hálózatban kulcsfontosságú tényező a távbeszélőrendszer, amelynek a főbb komponensei a következők: előfizetői hurkok, trónkók és kapcsolók. Az előfizetői hurkok analóg, csavart érpáras áramkörök, amelyeknek modemekre van szükségük a digitális adatok továbbításához. A trónkók digitálisak, és a csatornákat többféle módon, például frekvenciaosztásos, időosztásos vagy hullámhosszosztásos multiplexeléssel lehet nyalábolni. A kapcsolók lehetnek keresztirányú, térosztásos vagy időosztásos kapcsolók. Mind a vonalkapcsolás, mind a csomagkapcsolás nagy jelentőséggel bír.

A jövőben a távbeszélőrendszerek teljesen digitálisak lesznek, és a hangon kívül nem-hang jellegű forgalmat is le tudnak majd bonyolítani ugyanazon a vonalon. Ennek az új rendszernek, az ISDN-nek két változatával is megismerkedtünk. A keskenysávú ISDN olyan vonalkapcsolt, digitális rendszer, amely a jelenlegi távbeszélőrendszerek továbbfejlesztett változata. Ezzel szemben a szélessávú ISDN egyfajta rendszerváltásnak fogható fel, ugyanis ez a cellakapcsolású ATM technológián alapul. Az ATM kapcsolóknak számos változata van. A legismertebb a kiűtő kapcsoló és a Batcher-banyan kapcsoló.

Mobil alkalmazásoknál a vezetékes távbeszélőrendszer nem megfelelő, ezeknél a celluláris rádió rendszerek és a távközlési műholdak jelenthetnek megoldást. A celluláris rádiózást egyelőre főleg a mobiltelefon-rendszerekben alkalmazzák, de hamarosan adatátvitelre is használható lesz. A jelenlegi celluláris rendszerek (pl. AMPS) még analóg elven működnek, de a következő generáció (pl. PCS/PCN) már teljesen digitális lesz. A hagyományos távközlési műholdak geoszinkronok, de már ma is nagy az érdeklődés az alacsony röppályás műholdas rendszerek (mint például az Iridium) iránt.

## Feladatok

- Adjuk meg az  $f(t) = t$  függvény Fourier-együtthatóit ( $0 \leq t \leq 1$ )!
- Egy 4 kHz-es zajmentes csatornát 1 ms-onként mintavételezünk. Mekkora a maximális adatátviteli sebesség?
- A televíziós csatornák 6 MHz sávszélességűek. Hány bitet lehet rajtuk másodpercenként továbbítani, ha négy szintű digitális jeleket használunk? Feltételezhetjük, hogy a csatornák zajmentesek.
- Ha bináris jeleket továbbítunk egy 20 dB jel-zaj viszonytal rendelkező 3 kHz-es csatornán, akkor mekkora az elérhető maximális adatátviteli sebesség?
- Mekkora jel-zaj viszony szükséges ahhoz, hogy egy T1 vivőt egy 50 kHz-es vonalon továbbítsunk?
- Mi a különbség a passzív csillag és az aktív ismétlő között egy fényvezető szálak hálózatban?
- Mekkora sávszélesség van egy 0,1 mikronos spektrumban, ha a hullámhossz 1 mikrométer?
- A számítógép képernyőjéről optikai szálon keresztül szeretnénk képeket továbbítani. A képernyő mérete  $480 \times 640$  pixel, és minden pixel 24 bites. Másodpercenként 60 képünk van. Mekkora sávszélesség kell ehhez, illetve hány mikrométeres hullámhossz szükséges ennél a sávnál 1,3 mikron esetén?
- Igaz-e a Nyquist-tétel az optikai szála is, vagy csak a rézvezetésekre?
- A 2.6. ábrán a bal oldali sáv keskenyebb, mint a másik kettő. Miért?
- A rádióantennák vételi jellemzői akkor a legjobbak, ha az átmérőjük megegyezik a rádióhullámok hullámhosszával. A szokásos antennák átmérője 1 cm és 5 m közé esik. Milyen frekvenciatartománynak felel ez meg?
- Az elhalkulás akkor a legnagyobb, amikor két hullám egymáshoz képest 180 fokos fáziskéséssel esik be. Mekkora útkülönbséggel kell rendelkeznie két 1 GHz-es hullámnak ahhoz, hogy egy 50 km-es összeköttetés esetén az elhalkulás maximális legyen?