



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

Dr. Henk Tamás, Németh Krisztián

# Távközlő hálózatok

*jegyzet*

(Verzió: THv1\_3\_1. Utoljára frissítve: 2005. február 22.)

*Felkért lektorok:*

Dr. Harangozó József  
Dr. Sallai Gyula  
Tatai Péter

BME-TMIT, 2005.

---

*E jegyzet még nincs befejezve, és egyelőre csak részben van lektoráltatva. A szerzők kérik az olvasót, hogy az esetleg megtalált hibákat, illetve a jegyzettel kapcsolatos észrevételeket juttassa el a [nemethk@tmit.bme.hu](mailto:nemethk@tmit.bme.hu) email címre.*

## Előszó

Ez a jegyzet a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán, a Műszaki informatika szakon oktatott „Távközlő hálózatok” című tantárgy anyagát tartalmazza. A tárgyat az oktatás hatodik félévében vehetik fel a hallgatók, és több, korábban tanult tárgyra épít. Közülük is különösképpen fontos a „Számítógép-hálózatok” című tantárgy ismerete e tárgy anyagának sikeres megértéséhez. A tárgynak folytatása is van azok számára, akiknek a téma megragadta az érdeklődését: az Infokommunikáció szakmacsoport négy szakiránya különböző mértékben foglalkozik az információközlő hálózatokkal, továbbá néhány választható tárgy is ide sorolható.

A tárgy egységes és kiegyensúlyozott szemléletmódban tárgyalja a távközlő hálózatokat és a számítógép-hálózatokat, ugyanakkor a távközlő hálózatok ismertetése hangsúlyosabb. Ez azt jelenti, hogy az első, bevezető részekben a távközlő hálózatok és számítógép-hálózatok együtt kerülnek ismertetésre, később azonban főleg a távközlő hálózatról lesz szó.

Tárgyunk tematikája két fő elemet tartalmaz: egyrészt a technológiai részben néhány hálózattípus felépítését és működését ismerteti, másrészt a diszciplináris részben általános, absztrakt ismereteket közöl az információközlő hálózatok összetett rendszeréről. Sajnos azonban e témák közül egyik sem érthető meg könnyen a másik ismerete nélkül. Azért, hogy feloldjuk ezt az ellentmondást, úgy építettük fel ezt a jegyzetet, hogy először átfogó bevezetést adunk számos távközlő és számítógép-hálózat technológiájáról, ezt követi a diszciplináris rész, majd végül részletesebben is megvizsgáljuk az előző részben röviden ismertetett hálózatok némelyikét.

Jegyzetünk írásakor különös figyelmet fordítottunk arra, hogy a szakszavaknak, szakkifejezéseknek lehetőség szerint a magyar nyelvű megfelelőjét használjuk. Emiatt például a viszonylag elterjedt „mobil” szó helyett a magyar szaknyelvben már korábban meghonosodott „mozgó” szót használtuk, és bár a „telefon” szót már a köznyelvben teljesen elfogadottnak tekintjük, magyarított megfelelője, a „távbeszélő” szó szintén gyakran előfordul a jegyzetben.

Reméljük, hogy jegyzetünk eléri célját, és könnyebbé, hatékonyabbá teszi a tárgy elsajátítását. Ehhez sok sikert kívánunk:

*A szerzők*

# 1 Az információközlő hálózatok alapismeretei

Ebben a fejezetben különböző – elsősorban technológia- és gazdaságtörténeti – szempontok szerint nyújtunk bevezetést az információközlő hálózatokkal kapcsolatos ismeretekhez. Mielőtt azonban ezt elkezdenénk, fontos tisztázni azt, hogy mi a különbség a távközlő, a számítógép- és az információközlő hálózatok között. Anélkül, hogy egyelőre pontosabban definiálnánk, távközlő hálózatoknak nevezzük azokat a hálózatokat, amelyek a távíró, távbeszélő szolgáltatások megvalósításához kapcsolódnak, illetve ezekből a hálózatokból fejlődtek ki. Ahogy a nevéből is kiderül, a számítógép-hálózatok azok a hálózatok, amelyeket számítógépek összekötésére terveztek. Végül pedig az információközlő hálózat kifejezés alatt egyszerűen a távközlő és a számítógép-hálózatok összességét értjük.

Ez a tárgy az információközlő hálózatokkal foglalkozik, de ahogy a nevéből is kiderül, a távközlő hálózatokra esik a nagyobb hangsúly. Lesz azonban szó számítógép-hálózatokról is, és ahogy ezt a bevezetőben leírtuk, erősen támaszkodunk a „Számítógép-hálózatok” című tantárgy keretében megszerzett tudásanyagra.

Végezetül megemlítjük, hogy bár most külön kezeljük a távközlő és a számítógép-hálózatokat, e hálózatok fejlődése egyértelműen a két hálózattípus konvergenciájának irányába mutat.

## 1.1 A technológia fejlődése

Az információközlő hálózatok robbanásszerű fejlődésen mentek keresztül megszületésük óta, és ez a fejlődés ma is töretlennek látszik. Mielőtt belekezdenénk a hálózati technológiák részletes megismerésébe, érdemes megvizsgálni, hogy mi tette lehetővé ezt a fejlődést, és hogy mire számíthatunk ezen a téren a közeljövőben. Az információközlő hálózatok fejlődést a megvalósításukban alkalmazott technológia tökéletesedése alapozta meg műszaki szempontból. A hálózatok fejlődésére elsősorban két tényező, a rendelkezésre álló számítási kapacitás mennyisége és az átviteli csatornák minősége volt hatással. Tekintsük át röviden a technológia fejlődését e két nézőpontból!

### 1.1.1 A számítási kapacitás fejlődése

A Boole algebra első, gyakorlatban is használható megvalósítása jelfogókkal (relay, relé) történt. Ugyanezzel az elektromechanikus technológiával memória elemeket is lehetett készíteni, így sorrendi hálózatok létrehozására is lehetőség volt. A jelfogók azonban nagy térfogatúak voltak viszonylag nagy teljesítményfelvétellel és alacsony működési sebességgel – igaz, mindezek ellenére a jelfogós távbeszélőközpontok hosszú évtizedekig sikeresen működtek. Hosszú távú tárolóként először papír alapú memóriát, lyukszalagot használtak, ezt a módszert először a távgépíró-hálózatokban alkalmazták, majd később átkerült a számítástechnikába is.

A fejlődés következő lépése az elektroncsöves technológia volt. Ezeknek az elemeknek a helyigénye és fogyasztása mai szemmel nézve még mindig óriási volt, viszont legalább már nem tartalmaztak mozgó alkatrészt. Sajnos azonban ezek az eszközök nem voltak hosszú élettartamúak, és mivel nagyon sok kellett belőlük, – egy számítógép néhány tízezer darab elektroncsövet tartalmazott – a korabeli számítógépeknek nem a megbízhatóságuk volt a fő erényük.

Az igazi áttörést a tranzistorok feltalálása, majd azok egy lapkára való minél magasabb fokú integrálása és végső soron a mikroprocesszorok megjelenése jelentette. A processzorok fejlődése egyelőre még töretlen, a korlátot majd itt is az alkalmazott technológia jelentheti. A mikrotechnológia napjainkig exponenciálisan fejlődött, azonban a megvalósítható tranzistorok méretének alsó határát lassan elérjük: jelenleg gyártási szinten körülbelül 120 nm-es méretekkel dolgoznak, laboratóriumi körülmények között 70 nm-essel kísérleteznek. A jelenleg alkalmazott mikrotechnológiában a méretek csökkentésének a molekulák mérete szab határt. A fejlődés azonban valószínűleg nem fog megállni e határ megközelítésekor, ugyanis laboratóriumi szinten már működőképes a nanotechnológia, amelyben már a molekulaméretekkel egy nagyságrendűek az áramkörti építőelemek méretei.

### 1.1.2 Az átviteli csatornák fejlődése

Talán a számítási kapacitás fejlődésénél is látványosabb a fizikai jelátviteli technológiák tökéletesedése. A kezdeti nem sodort rézhuzalos átvitelt felváltották a sodort, majd a koaxiális kábelek, amelyek kedvezőbb átviteli tulajdonságaik révén lényegesen nagyobb sáv szélességet és jobb átviteli minőséget tettek lehetővé. Marconi 1896-ban szabadalmaztatta a szikratávíró, mellyel megszületett a vezeték nélküli, rádióhullámú átvitel is. Természetesen az itt alkalmazott technológiák szintén nagyon sokat fejlődtek azóta, és fejlődnek jelenleg is. A vezetékes átvitelben jelentett forradalmi változást egy új technológia, a fényvezető szálak megjelenése.

Tanulságos végiggondolni, hogy mennyit is fejlődött a technika ebből a szempontból az utóbbi néhány évtizedben. Míg a számítógép-hálózatok hőskorában – a '60-as, '70-es években – a jellemző adatátviteli sebesség jó esetben is néhány száz kbit/s volt, napjainkban a fémvezetős hálózatok sáv szélessége – a fizikai határokat elérve – a néhány száz Mbit/s tartományban mozog. Mindez önmagában is szép eredmény, de ennél is sokkal fontosabb, hogy jelenleg már működnek optikai hálózatok a néhány Tbit/s átviteli sebességgel, sőt az optikai technológia elvi határa még ennél is sokkal magasabb: körülbelül 200 Tbit/s. Ha esetleg még ez sem lenne elég, akkor további jó hír az, hogy ez csupán egyetlen optikai szál sáv szélessége, és mivel a szálak vékonyak, könnyűek és viszonylag nem is drágák, semmi nem gátolja meg a hálózatépítőket abban, hogy több szálat fektessenek le egy kábelbe kötegelve. Az optika esetében ráadásul a szálak közötti áthallás sem okoz problémát, amely pedig a fémvezetőknél előfordulhat. Szintén előny, hogy az optikai átvitelt jóval nehezebb lehallgatni és nem lehet elektromágnesesen zavarni.

Ezzel a rövid áttekintéssel csak a fejlődés iramát és határait akartuk szemléltetni, a fizikai jelátvitel különböző technológiáit az ötödik fejezetben részletesen is tárgyaljuk. Összefoglalva az elmondottakat, kijelenthetjük, hogy a távközlés fejlődéséhez az optikai vezetők kapacitása még hosszú távon elegendő lesz, és a számítási kapacitás fejlődése is biztosnak látszik még egy jó darabig.

## 1.2 Az információközlő hálózatok fejlődése világszerte

### 1.2.1 Történelmi áttekintés

Tekintsük most át röviden, hogyan is kezdődött az információközlő hálózatok fejlődése!

Az információk nagyobb távolságra való eljuttatásának igénye az emberiséggel egyidős, és bár a telefonközpont kezelő távolról sem „a legősibb mesterség”, már az ősembernek is voltak „híradástechnikai” eszközei egyszerű csontsípok, dobok formájában. Az ezt az időszakot követő hosszú évszázadokban két jól bevált módszer szolgált az üzenetek továbbítására.

Az első, meglehetősen kézenfekvő megoldás az üzenetek futárok által történő továbbítása. Talán a legismertebb ehhez kapcsolódó esemény i.e. 490-ben történt, amikor is egy katona az athéni seregeknek a perzsák feletti győzelmének és a perzsák Athén városa ellen indított ellentámadásának hírért vitte futva Marathónból Athénba. Azonban már ennél is lényegesen korábban léteztek jól kiépített futárszolgálatok. Egyik ilyen volt az i.e. 1700-as években Babilóniában üzemelő rendszer, melyre még a Bibliában is találunk utalást:

„Futár futár elé fut, és hírmondó a hírmondó elé, hogy megjelentse a babiloni királynak, hogy bevétetett az ő városa mindenfelülről.” Jer. 51.31 (Károli G. ford.)

A futárok útján történő hírtovábbítás persze még hosszú ideig fennmaradt, s túlélte a korszerűbb távközlő készülékek megjelenését is. Amerikában pl. még 1860. április és 1861. október között is működött ilyen szolgáltatás, Pony Express néven. Az üzeneteket lovasok továbbították, egy lovas 150 km-t tett meg, 15 km-ként váltva a lovakat. A futárookra bízott üzenetek a Missouri és Kalifornia közötti 3200 km-es távot 10 nap alatt tették meg.

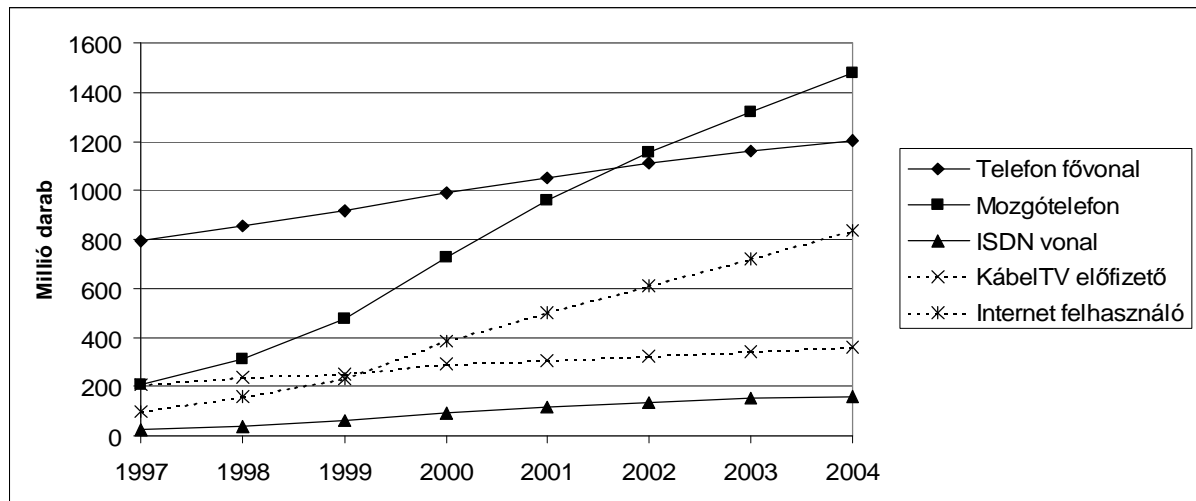
Az üzenetek továbbításának másik, némileg gyorsabb hagyományos módja különböző fény-, füst-, illetve egyéb látható jelzéseken alapszik. Ebben az esetben az üzenet továbbítói egymástól látótávolságban voltak és a látott jeleket ismételve juttatták el meglehetősen nagy távolságokra az információt. Ez a módszer is több ezer éves, erre szép példát találhatunk az ókori görög drámaíró, Aiszkülosz Agamemnon című drámájában, ahol a szerző részletesen leírja, miképp jelezte egy több mint 600 kilométer hosszan kiépült fáklyás lánc segítségével a görög sereg vezére, Agamemnon Trója elestét feleségének Argosz városába, valószínűleg i.e. 1184-ben. Az ilyen módon működő rendszerek is időtállóan bizonyultak, erre példa, hogy a tizenharmadik század végétől a Francia állam területén működött egy „távíró” rendszer, mely őrházakból, és a tetejükre szerelt, távolról is jól látható, karos szemaforokból állt. 1852-ben már 556 őrház segítségével 4800 kilométert tett ki a teljes hálózat, mely a 29 legnagyobb várost kötötte össze Párizssal.

Az elektromos úton, látótávolságon túl működő „távíró” kifejlesztésén többen is dolgoztak egymással párhuzamosan a tizenharmadik század második felétől a tizenkilencedik század első feléig. A későbbiekben leginkább elterjedt távíró az eredetileg festőművész Samuel Finley Breeze Morse készítette, és szabadalmaztatta a róla elnevezett ábécével együtt 1837-ben. A fejlődés innentől kezdve felgyorsult, Davis Edvin Hughes 1854-ben szabadalmaztatta a távgépíró, 1876. februárjában pedig Alexander Graham Bell nyújtotta be szabadalmát a telefonra. Természetesen a szabadalmi bejegyzések után hosszú hónapok teltek el az első gyakorlatban is megbízhatóan működő készülékek megszületéséig, és további évek az általános alkalmazásukig. Ez alól talán a telefonközpont a kivétel, mely Puskás Tivadar ötlete alapján Edison laboratóriumában született meg, és a szabadalmi bejegyzés után nagyon hamar, 1878. januárjában már működött az első kézi kapcsolású központ. Az első automatikus telefonközpont azonban még sokat kellett várni: 1889. tavaszán jegyeztette be a szabadalmát Almon B. Strowger, azonban az első működő automata központot csak 1892. novemberében avatták fel.

Sajnos jegyzetünkben nincs lehetőségünk bővebb történelmi ismertetést nyújtani, azonban az érdeklődő olvasók figyelmébe ajánljuk [Bartolits] cikksorozatát, amely alapján ez a fejezet is készült.

### 1.2.2 Az információközlő hálózatok fejlődési trendjei napjainkban

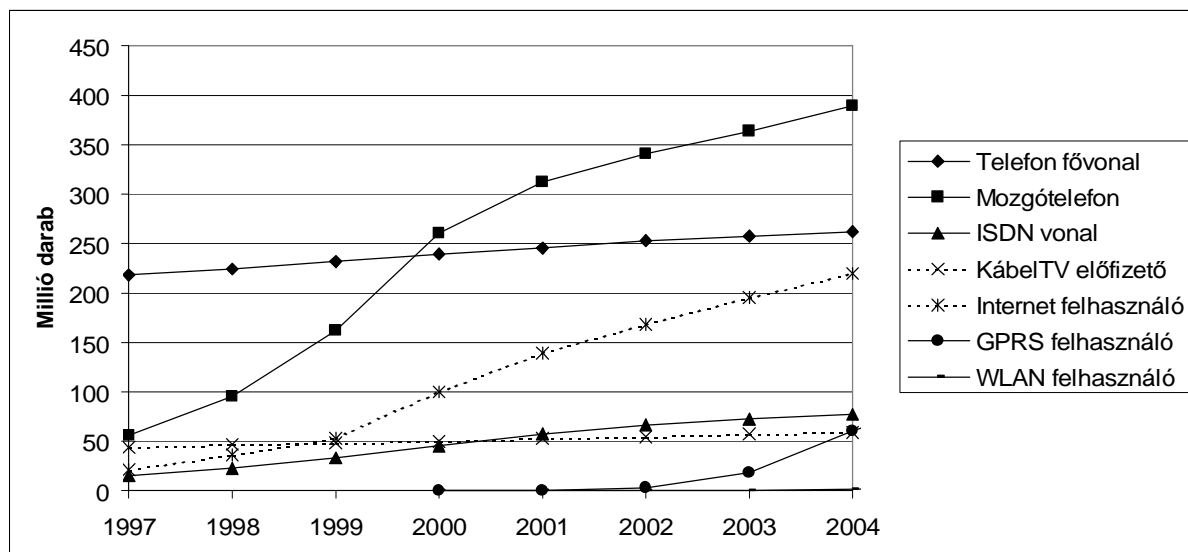
A rövid történelmi áttekintés után nézzük meg, hol is tart napjainkban ez a folyamat! A következő grafikon (1.2.1. ábra) a világ információközlő hálózatainak növekedési trendjeit mutatja 1997-től, valamint tartalmazza a 2002-2004 évekre vonatkozó becslést is. Az 1.2.1. – 1.2.4. ábrákhoz felhasznált adatok az [EITO] könyvből és az [ITU]-tól származnak.



1.2.1. ábra. A világ távközlési trendjei

Nézzük meg közelebbről is a grafikont! Láthatjuk, hogy a telefon fővonalak száma lassan, de határozottan emelkedett a vizsgált időszak alatt, ugyanakkor a mozgó készülékek számában robbanásszerű növekedés látható. A 2001-es évben még valamivel több vezetékes készülék volt, mint mozgó, azonban a becslés szerint minden bizonnyal a 2002. év végére ez az arány megfordul. Megfigyelhető az is, hogy az ISDN (Integrated Services Digital Network, integrált szolgáltatású digitális hálózat) térhódítása lényegesen kevésbé gyors, az ilyen digitális vonalak száma alig tíz százaléka a vezetékes telefonokénak. Különösen akkor lesznek figyelemre méltóak ezek az adatok, ha felidézzük, hogy az első telefonhálózatok a XIX. század végén már üzemeltek, az első ISDN hálózatok az 1970-es években álltak szolgálatba, míg a rádiótelefon készülékek térhódítása a nyolcvanas évek végén kezdődött. Szintén érdemes megfigyelni a kábeltelevíziók viszonylag lassabb elterjedését és az Internet gyors előretörését. Az is látszik azonban, hogy jelenleg még csak feleannyian használják a világhálót, mint ahányan a vezetékes vagy a mozgó távbeszélő-hálózatokat, és ez az arány még 2004-re is várhatóan csak kétharmad lesz.

Nézzünk most még egy hasonló grafikont, ezúttal Nyugat-Európáról (1.2.2. ábra):

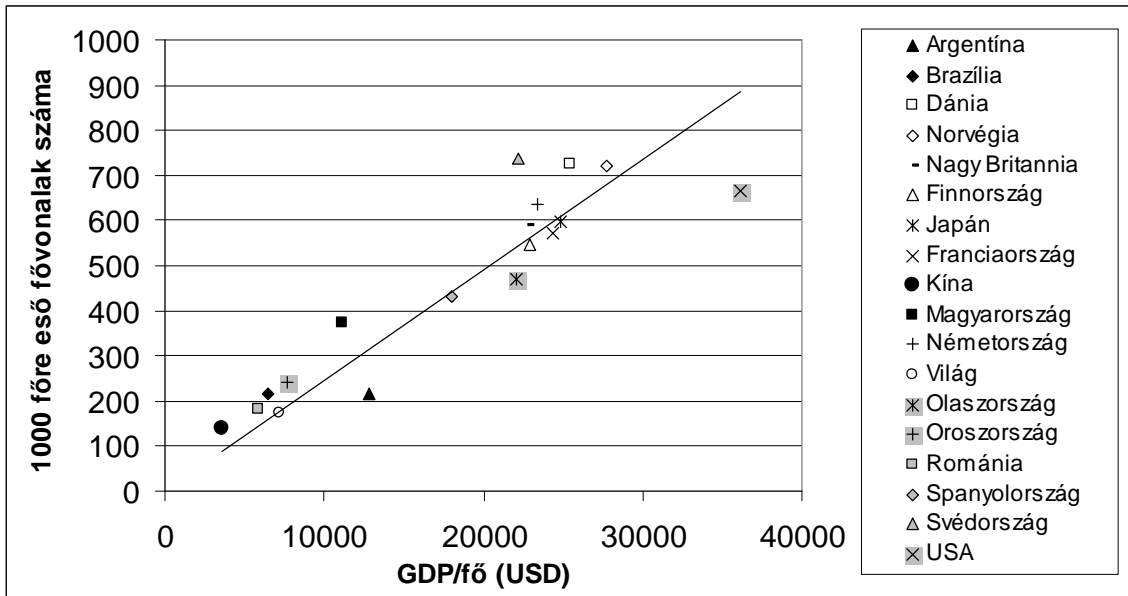


1.2.2. ábra. Nyugat-Európa távközlési trendjei

Összehasonlítva ezt az előző grafikonnal azt láthatjuk, hogy a fejlettebb Nyugat-Európában a telefonvonalak száma kezd már telítődni, hiszen már lényegesen kisebb itt a növekedés. A mozgó robbanás is hamarabb bekövetkezett és 2000-2001-től már csak mérsékelt a fejlődés e téren. Szintén hamarabb – 2000-ben – következett be az, hogy több mozgó, mint vezetékes készüléket használtak a térségben. Az ISDN készülékek száma a vezetékes készülékekének a húsz százaléka a térségben, ami duplája a világ átlagának, azonban így is elég alacsony. Az Internet térnyerése hasonló a régióban a világ tendenciájához, bár 2004-re a becslés szerint világméretű számítógép-hálózat nagysága Nyugat-Európában jobban meg fogja közelíteni a telefonhálózatok méretét, mint az egész Földön. A grafikonok tanulsága szerint a kábeltelevíziózás terén nincs nagy különbség a két régió között.

Az 1.2.2. ábra tartalmaz némi becslést az új vezeték nélküli technológiákra vonatkozólag. A grafikonon látható becslés szerint a GPRS felhasználók száma Nyugat-Európában 2004-re eléri az ISDN felhasználók számát, azonban a WLAN technológia még csak akkor kezd majd terjedni. Az UMTS hálózatokat nem ábrázoltuk a könnyebb áttekinthetőség végett, azonban ezek elterjedtsége a vizsgált időszakban várhatóan a WLAN hálózatok elterjedtségével fog megegyezni. Ennek a lemaradásnak részben az az oka, hogy az UMTS és a WLAN teljesen új eszközöket kívánnak mind a hálózat üzemeltetők, mint a felhasználók oldaláról. Ezzel szemben a GPRS a meglévő hálózati infrastruktúrába integrálható, és az új mozgó készülékek már szinte kivétel nélkül ismerik a GPRS protokollt, ráadásul például a vezetékes telefonokkal ellentétben a mozgó telefonoknál az a tendencia, hogy a felhasználók egy-két évente lecserélik a telefonkészüléküket.

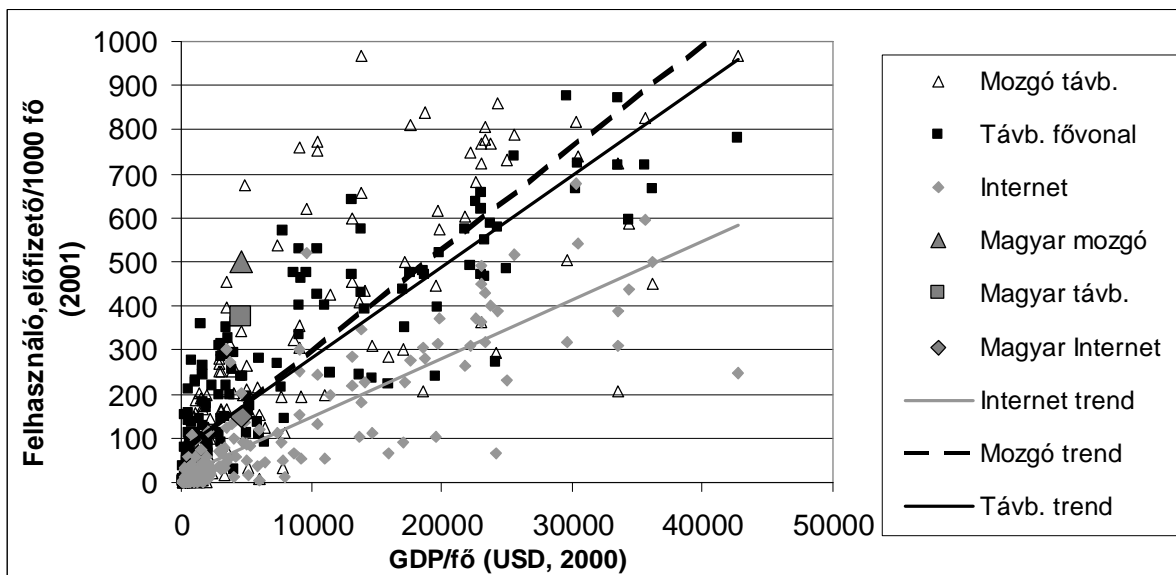
Végezetül nézzünk meg még egy grafikont, amely a telefon fővonalak számát mutatja a világ néhány különböző országában, az adott ország egy főre jutó GDP-jének függvényében (1.2.3. ábra).



1.2.3. ábra. A telefonvonalak száma különböző országokban a GDP függvényében (2001)

Jól látható az ábrán, hogy kisebb-nagyobb eltérésekkel egy egyenes mentén szóródnak a pontok, sőt az ábrán be is jelöltük ezt a lineáris trendvonalat. Megállapíthatjuk tehát, hogy jelenleg a világban a különböző országokban a gazdasági fejlettséggel nagyjából egyenesen arányos a vezetékes telefon ellátottság mértéke.

A következő grafikonon (1.2.4. ábra) hasonló az előzőhöz, azonban ezen a világ összes országát feltüntettük és a vezetékes távbeszélő ellátottságon kívül a mozgó távbeszélő hálózatok, illetve az Internet előfizetőinek a számát is tartalmazza az ábra. Kiemelve jelöltük a grafikonon a Magyarországhoz tartozó adatokat.



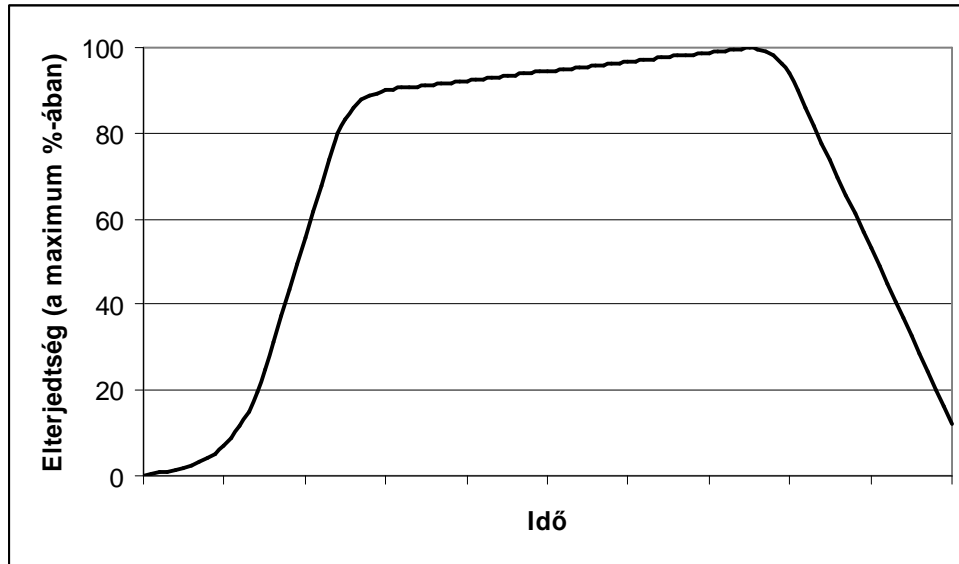
1.2.4. ábra. Információközlő hálózatok előfizetőinek száma a GDP függvényében (2001)

Az ábrán jól látszik, hogy a vezetékes hálózatok elterjedtsége valóban nagyjából lineárisan függ a GDP-től, azonban a mozgó távbeszélő hálózatok és az Internet előfizetőinek száma már lényegesen nagyobb szórást mutat.



### 1.2.3 Technológiák tipikus életgörbe-modellje

A különböző, a gyakorlatban is bevált technológiák az elterjedtség tekintetében nagyjából hasonló életpályát futnak be. Ez alól a különböző hálózattípusok sem kivételek, ezekre is jól illeszthető az egyik jellemző trend, amelyet az 1.2.5. ábrán mutatunk be.



1.2.5. ábra. Egy technológia tipikus életgörbéje

Az ábrán látható életgörbének a különböző szakaszai jól elkülöníthetőek. Az első szakaszra az exponenciális fejlődés a jellemző. Ebben a stádiumban a technológia már tökéletesen működőképes, és – a hálózatok témájánál maradva – minél több felhasználója van már a hálózatnak, annál több embert lehet ilyen módon elérni, és ezáltal annál nagyobb lesz az érdeklődés a hálózattípus iránt. Ez a szakasz tehát a robbanásszerű fejlődés időszaka, ezt egy visszafogottabb növekedési fázis követi, majd ahogy a felhasználók száma elkezd megközelíteni a fizetőképes kereslet felső határát, úgy eljutunk a telítődési tartományba. Ezt a tartományt az elterjedtség nagyon lassú, körülbelül lineáris növekedése jellemzi. Végül az utolsó szakasz a gyors hanyatlás időszaka, ez jellemzően akkor következik be, amikor egy másik, fejlettebb technológia kiszorítja a vizsgált rendszert a piacról.

Hasonlítsuk most össze az 1.2.5. ábrát az 1.2.1. és 1.2.2. ábrákkal! Láthatjuk, hogy a vezetékes telefonhálózat világméretű elterjedése még folyamatban van, bár a fejlődés üteme már nem túl gyors, míg ezzel szemben Nyugat-Európában ez a technológia már egyértelműen a telítődési fázisban van. A mozgó telefonhálózatokat megvizsgálva szintén azt látjuk, hogy az egész világot tekintve ez a hálózattípus éppen csak túl van életgörbéjének exponenciális kezdeti részén, míg Nyugat-Európában 2001-től lassan eléri a telítődési fázist. Szintén fontos momentum, hogy a mozgó készülékek esetében a telítődési szint magasabban van. Ez nem is túl meglepő is, hiszen amíg vezetékes készülékből általában egy darab elegendő egy háztartásban és a munkahelyeken is jellemzően többen használnak egy telefonvonalat, addig a mozgó készülékeknél már természetes igény, hogy minden embernek saját készüléke legyen.

### 1.2.4 Információközlő hálózatok növekedési modelljei

Ha a különböző információközlő hálózatok növekedési ütemét modellezni tudnánk, könnyen választ kaphatnánk például arra a kérdésre, hogy három év múlva hány mozgótelefon

előfizető lesz Magyarországon. Az ilyen kérdések megválaszolása például egy szolgáltató számára kulcsfontosságú lehet, de sajnos a növekedés üteme nagyon sok tényezőtől függ, így a modell elkészítése is igen nehéz.

Példaként mi egy viszonylag egyszerű modellt mutatunk be, az úgynevezett logisztikai görbét. A görbét meghatározó egyenlet a következő:

$$\frac{dL(t)}{dt} = \frac{a}{k} L(t)(k - L(t)), \quad (1.2.1)$$

ahol is  $L(t)$  a  $t$  időpontban az előfizetők száma; az  $a$  paraméter a hálózat növekedésének a sebességét jellemzi;  $k$  jelenti a teljes fizetőképes populációt, vagyis várhatóan ennyi előfizető lesz akkor, amikor a hálózat mérete eléri a maximumát:  $\lim_{t \rightarrow \infty} L(t) = k$ .

A differenciálegyenlettel körülbelül a következő elgondolást írjuk le: a hálózat növekedésének a sebessége ( $L(t)$  deriváltja) egyenesen arányos a már előfizető és a még nem előfizető emberek számának a szorzatával. Azaz, ha még kevés előfizetője van a hálózatnak ( $L(t) \ll k$ ), akkor minél többen lesznek ( $L(t)$  nő,  $(k - L(t))$  még alig változik), annál nagyobb a hálózat növekedésének a sebessége. Ez azt fejezi ki, ahogy korábban is említettük, hogy valaki minél több ismerősét tudja az új hálózaton keresztül elérni, annál nagyobb kedvet kap a csatlakozáshoz. Amikor pedig a hálózat kezd eljutni a telítődési szakaszba, azaz  $L(t) \approx k$ , akkor a hálózat növekedésére elsősorban az van hatással, hogy hány csatlakozni kívánó ember van még a populációban ( $L(t)$  már alig változik,  $(k - L(t))$  csökken).

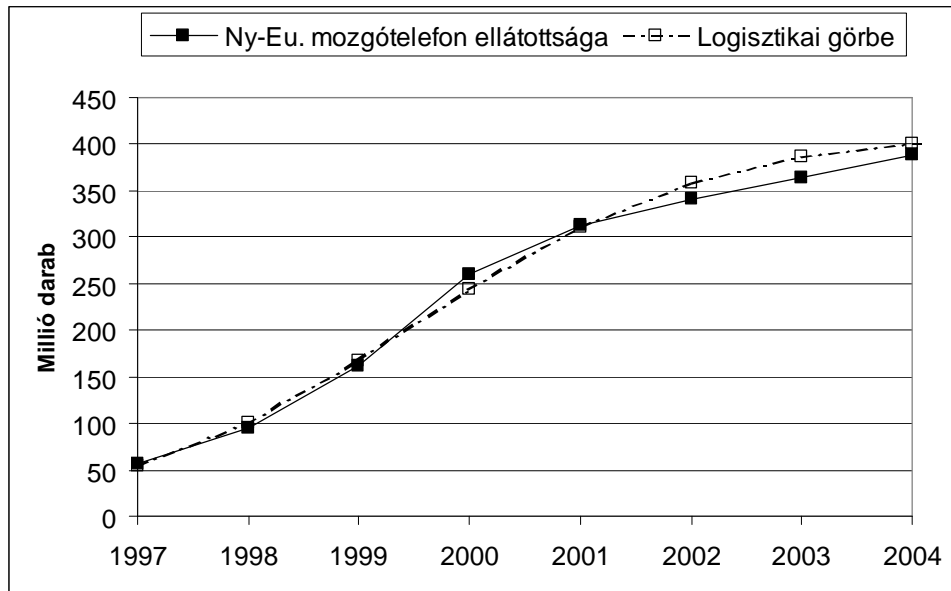
A differenciálegyenletet megoldva a következő képletet kapjuk:

$$L(t) = \frac{k}{1 + m \cdot e^{-at}}, \quad (1.2.2)$$

ahol  $k, m, a > 0$  és a következő képletből számítható  $m$ :

$$L(0) = \frac{k}{1 + m}. \quad (1.2.3)$$

Nézzük meg, hogyan is használható a logisztikai görbe a gyakorlatban. Példánkban az 1.2.2. ábrán látható, Nyugat-Európa mozgótelefon ellátottságát szimbolizáló görbére illesztjük a logisztikai görbét, melynek eredménye az 1.2.5. ábrán látható. A felhasznált paraméterek:  $k = 415$ ,  $m = 600$  ( $L(0) \approx 0.7$ ),  $a = 0.75$ ; ezen kívül az időskálát is eltoltuk, úgy, hogy a  $t = 0$  pont 1991-ben legyen. Az ábrán látható, hogy a logisztikai görbe egyszerűsége ellenére az adott helyzetben kellően jó közelítést ad.



1.2.5. ábra. A logisztikai görbe

### 1.3 A magyarországi távközlő és számítógép-hálózatok fejlődése

Ebben a fejezetben a hazai távközlés történelmét és jelenét tekintjük át. Három különböző korszakot fogunk megvizsgálni: a második világháborúig tartó időszakot, az 1945–1990-es időszakot, illetve az 1990-től napjainkig, azaz a 2002-ig tartó éveket. Három fő szempontunk lesz: a távközlési ipar fejlettsége, a szolgáltatások mennyisége és minősége, illetve a távközléssel kapcsolatos kutatás és fejlesztés színvonala.

#### 1.3.1 Az 1939-ig tartó időszak

A modern távközlés hőskorában, a XIX. század második felében hazánk, ha nem is volt világelső a távközlő rendszerek kiépítésében, de mindenképpen az e tekintetben élenjáró országok közé tartozott.

A magyarországi távközlési szolgáltatások elindulása akkori mércével mérve viszonylag gyorsan követte az egyes technológiák felfedezését. A *távíró*t például 1837-ben szabadalmaztatta Morse, az első Morse rendszerű távíró vonal azonban csak hét évvel később, 1844-ben épült ki Washington és Baltimore között. A rendszer Magyarországon mindössze két év múlva, 1846-ban debütált, a hálózatot elsősorban a vasút és a hadsereg használta. Bell szabadalma a *telefonra* 1876-ból való, első kereskedelmi használata a következő évben történt, ám igazán csak a rákövetkező évben kezdett el terjedni. Ugyanebben az évben, tehát 1878-ban avatták fel az első *telefonközpontot* is. A telefon magyarországi bevezetésére 1881-ben került sor – természetesen immár a telefonközpont alkalmazásával – megelőzve ezzel például Bécset, a Monarchia fővárosát. Budapesten azért jelenhetett meg ilyen hamar ez az újdonság, mert Puskás Tivadar és öccse, Ferenc elhatározták, hogy szülőházájukban is bevezetik ezt az akkor még ritka, de ígéretes találmányt.

Szintén Puskás Tivadar találta fel a *telefonhírmondót*, amely azt tette lehetővé, hogy az előfizetők egy telefonkészüléken hallgathassák a központból közvetített műsorokat, például híreket, zenét. A telefonhírmondó 1893-ban szólalt meg először – évtizedekkel megelőzve a rádiót – és majdnem negyven éven át működött, fénykorában több, mint tízezer előfizetővel. Éppen ezért érdekes, hogy miért nem alkalmazták ezt a jól bevált technológiát semelyik másik országban sem. Pedig ez a különleges rendszer, mely így hazai unikum maradt, nem más, mint a mai kábeltévé rendszerek korai előfutára. [Bartolits]

A szolgáltatások terén tehát ekkoriban Magyarország meglehetősen jó helyzetben volt, és a technológiák korai bevezetése után is arányosan fejlődtek a hazai hálózatok. 1938-ra például a hazai telefon-ellátottság 10%-os volt, ami megfelelt a hazai gazdasági fejlettségnek és közép-európai viszonylatban is jónak számított.

A távközlési iparunk is dinamikusan fejlődött ebben az időszakban. Ekkor alakult meg a teljesen magyar tulajdonú Tungsram vállalat, elsősorban az orosz katonai hírközlési igények kielégítésére. Szintén ez időben indult be a Standard gyár termelése, mely a nemzetközi, de főleg európai országokban működő ITT (International Telegraph and Telephone) cég leányvállalata volt. Ez a gyár automata telefonközpontokat készített, ilyen üzemből ekkoriban összesen csak tizenkettő volt az egész világon. Ugyancsak jelen volt ekkor már hazánkban a német Siemens vállalat is.

1938-ig hazai szakirányú kutatás nem volt kiemelkedő, csak a Tungsramnál és a Műszaki Egyetemen folyt ilyen tevékenység. Az általános jelenség az volt, hogy nemzetközi vállalatok a tehetséges szakembereket külföldre, az anyavállalatoknál működő kutató-fejlesztő központokhoz küldték.

### **1.3.2 Az 1945 – 1990 közötti évek**

A második világháború után a távközlési szolgáltatás színvonala – mind mennyiségi, mind minőségi értelemben – fokozatosan lemaradt a világ élvonalától. Jellemző adat, hogy az időszak végére a telefon-ellátottság még mindig 10% körül volt csak, és a szolgáltatás minősége sem sokat emelkedett a világháború óta.

Ennek a lemaradásnak fő oka, hogy sem az akkori szocialista országok, sem a nyugati világ nem tekintette érdekének, hogy hazánkban és a többi szocialista országban a távközléstechnika fejlődjön. A nyugati világ nézőpontja érthető, hiszen nekik érdekük volt az ellenséges rendszerek technológiai fejlődésének hátráltatása, éppen ezért embargót vezettek be a technikailag fejlettnak számító termékeikre. Ugyanebben az időben a szocialista országokban elsősorban a nehézipari fejlesztésekre helyezték a hangsúlyt, és a nyilvános távbeszélő-hálózat fejlesztését nem tekintették stratégiai kérdésnek.

A háború után, csakúgy, mint valamennyi gazdasági ágazatot, a távközlési ipart is államosították. A külföldi cégek leányvállalatai elszakadtak az anyavállalatoktól, így nem jutottak már hozzá az új kutatási, fejlesztési eredményekhez. Ezzel megkezdődött egy lassú lemaradás, amely az időszak végére mintegy tizenöt évnyi technológiai hátrányt eredményezett. Mindezek ellenére a hazai távközlési ipar mérete jelentős volt, mintegy 150 000 ember dolgozott a szakmában, sok cég működött, köztük olyan nagyok, mint az Orion, a Videoton vagy a BHG (a Standard utódja). A hazai távközlési ipar ekkoriban javarészt exportra, a KGST és a harmadik világ országainak piacára termelt polgári és hadi eszközöket, és fejlettebb volt, mint a korabeli hazai távközlési szolgáltatások.

A kutatás-fejlesztés fontos szereplői voltak az időszak elején Bay Zoltán, akinek a radarkísérleteit érdemes kiemelni, illetve Kozma László, aki a Műegyetemen jelfogókból épített számítógépeket. A szervezett kutatás-fejlesztés elősegítésére ebben az időben hozták létre az azóta leépült Távközlési Kutatási Intézetet (TKI), illetve szintén ekkor jött létre az Akadémia részét képező, és mindmáig magas színvonalon működő Számítástechnikai és Automatizálási és Kutató Intézet, a SZTAKI. Ami a munka eredményességét illeti, az szintén megsínylette, hogy a volt nemzetközi vállalatok leszakadtak az anyacégektől, és így nem jutottak el hazánkba az új eredmények sem. Volt ugyan egy szakmai élcsapat, amely követte a világszínvonalú technológia fejlődését, azonban a gyártást a hazai ipar fejletlensége és a nyugati embargó miatt már nem tudták ilyen ütemben fejleszteni.

### 1.3.3 Az 1990-től napjainkig tartó időszak

A szolgáltatások terén a rendszerváltás után rohamos fejlődés következett be. A kezdeti 10 %-os telefon fővonal ellátottságról 2000-re elértük a 40 %-os ellátottságot – ez 4 millió fővonalat jelent –, amely már gyakorlatilag azt jelenti, hogy a kínálat megegyezik a kereslettel. Hatalmas fejlődés ez, hiszen míg a '90-es évek előtt nem ritkán 15 évet is kellett várni egy telefonvonal bekötésére, addig ma már szinte minden sarkon pár perc alatt vehet az ember magának mozgó készüléket, és a vezetékes telefonvonalhoz való hozzájutás sem sokkal bonyolultabb. Mindezzel együtt a szolgáltatás minősége is látványosan emelkedett, köszönhetően elsősorban annak, hogy az analóg telefonközpontokat modern, digitális központokra cserélték.

Vizsgáljuk meg közelebbről, mi tette lehetővé ezt a látványos fejlődést! Induljunk ki az 1989-es helyzetből, amikor is a Magyar Posta még egy személyben a szolgáltató és a szabályozó. Ez az állapot még ebben az évben megszűnik, a szabályozó és a szolgáltató szétválik: szolgáltatónak megmarad a Posta, szabályozónak két új szerv jön létre, a Postai és Távközlési Felügyelet, illetve a Frekvenciagazdálkodási Intézet. 1990-ben újabb fontos lépés következik be: szétválik a Magyar Posta is: a távközlési feladatokat a Matáv örökli, a műsorszórást a Magyar Műsorszóró Vállalat (később: Antenna Hungária), a hagyományos postai feladatok pedig a Magyar Posta Rt.-nél maradnak. Szintén fontos momentum, hogy minisztériumi szinten is foglalkozik már a kormányzat a hazai távközléssel. 1993-ban ismét változás történik a szabályozás felépítésében, ugyanis létrejön a Hírközlési Főfelügyelet (HÍF) a Postai és Távközlési Felügyelet, illetve a Frekvenciagazdálkodási Intézet egyesítésével.

1992-ben a távközlési törvény részeként jogszabály születik bizonyos távközlési szolgáltatások koncessziójáról.

A koncesszió nem más, mint a piacra lépési engedély, amely által az állam a maga számára fenntartott piacon a jogait és kötelezettségeit átruházza egy vállalkozásra. A koncesszió a vállalkozás számára meghatározott piaci pozíciót biztosít – általában monopól vagy oligopól jogokat –, mindezért cserébe a vállalkozás a koncessziós szerződésben megszabott kötelezettségeken túl járadékot is fizet az államnak.

A magyarországi koncessziós távközlési szolgáltatások a következők voltak, zárójelben feltüntetve, hogy melyik cég kapta vagy nyerte el a koncessziót:

- helyi közcélú kapcsolt beszédátvitel (Matáv, illetve helyi szolgáltatók)
- belföldi távolsági közcélú kapcsolt beszédátvitel (Matáv)
- nemzetközi közcélú kapcsolt beszédátvitel (Matáv)
- mozgó közcélú beszédátvitel (lásd alább)

- személyhívó szolgáltatások (Easycall, Eurohívó)

Nem tartoztak a koncesszió alá az adatátviteli, bérelt vonali, kábeltelevíziós, értéknövelt és Internet szolgáltatások, valamint a magáncélú hálózatok.

A Matáv rendszerválasztó tendert írt ki a távbeszélő-hálózat kiépítéséhez szükséges eszközök beszállítására, melyen a Siemens és az Ericsson nyert. A győztes cégeknek a tenderben előírtak szerint leányvállalatokat kellett létrehozni Magyarországon, ahol a rendszerváltás után létrejött szabad verseny hatására összeomlott honi távközlési szektor újra feléledhetett. A Matáv hálózatának fejlesztése körülbelül hat évig tartott, és mivel a befektetés megtérülési ideje várhatóan további hat év volt, ezért tartott a koncessziós monopólium 2001. végéig. 2001. december 23-án a monopólium hivatalosan megszűnt és a vezetékes szolgáltatások terén megkezdődhetett a piaci verseny kialakulásának lassú folyamata.

A mozgó távközlési szolgáltatások tekintetében hazánkban az előfizetők száma megfelel az ország gazdasági fejlettségének, és a szolgáltatás színvonala is élvonalbeli. Mint korábban említettük, ez is koncessziós szolgáltatás. Hazánkban jelenleg három GSM szolgáltató működik, a Pannon GSM Távközlési Rt. (20-as körzetszám), a Westel Mobil Távközlési Rt. (30-as körzet), illetve a legfiatalabb piacra lépő, a Vodafone (V.R.A.M. Rt., 70-es körzet). Korábban működött egy negyedik – időrendben az első – szolgáltató is, a Westel 0660, mely NMT rendszerű szolgáltatást nyújtott (lásd a következő fejezetben), ügyfelei a 60-as körzetszámon voltak elérhetőek. Mára a fejlettebb GSM hálózatok a világon mindenütt gyakorlatilag kiszorították a piacról a korábbi NMT rendszereket, így hazánkban is az 1990. óta működő Westel 0660 végleg leállította a szolgáltatásait 2003. június 30-án, tizenhárom évnyi működés után.

Világszerte használják már a beszédhang átvitelére az Internet alapú hálózatokat is, ennek a technikának neve Voice over IP (VoIP, beszédátvitel IP felett; IP: Internet Protocol, Internet protokoll). E technika hazai bevezetését nem csak az alacsony ára indokolta, hanem az is, hogy ez a fajta beszédátvitel nem minősült koncessziós szolgáltatásnak. Pontosabban, szabad volt ilyen szolgáltatást nyújtani, de csak akkor, ha a minőség kellően alacsony volt, azért, hogy ez ne nyújtson közvetlen konkurenciát a koncessziós szolgáltatóknak. Ez konkrétan azt jelentette, hogy a csomagvesztés és a késleltetés elegendően nagy kellett, hogy legyen, és amennyiben a hálózati átvitel minősége ezeknél a paramétereknél kedvezőbb volt, akkor a minőséget mesterségesen kellett lerontani a csomagok késleltetésével, illetve eldobásával. Magyarországon a PanTel Távközlési és Kommunikációs Rt. volt a legjelentősebb úttörő a VoIP szolgáltatások téren. A vezetékes hálózatokban megszűnt koncesszióval természetesen a mesterséges minőségrontást is abba lehetett hagyni. Jelenleg a VoIP technológiát elsősorban nagy távolságú átvitelre, illetve cégek magánhálózataiban használják.

Érdekesen alakult a vizsgált időszakban a kutatás-fejlesztés és az ipar hazai helyzete. Míg a mechanikus telefonközpontok korában a távközlési iparban a legnagyobb kihívást az eszközök „ipari módszerekkel” történő legyártása jelentette, addig mára a hozzáadott érték jelentős részét az alkalmazott szoftver teszi ki. Ez azt jelenti, hogy kezd eltűnni a határ a fejlesztés és a gyártás között, legalábbis azokon a helyeken, ahol az iparnak a szoftver-fejlesztési része van jelen. Márpedig hazánk ilyen hely lett, amit az tett lehetővé, hogy a nemzetközi nagy cégek igyekeznek a teljes fejlesztési, gyártási folyamatukat úgy szétosztani a telephelyek (országok) között, hogy semelyik folyamatot ne csinálják egymással párhuzamosan több helyen.

Így a közelmúltban az országban több szoftverház alakult, melyek eleinte megrendelésre dolgoztak, de később egyre jelentősebbé vált az itt folyó kutatómunka is. Több

multinacionális cég is létesített kutató-fejlesztő vagy regionális kompetencia központot hazánkban, például az Ericsson, a Hewlett-Packard, a Lucent, a Motorola, a Nokia, a Siemens, a T-Systems, ez utóbbi a Deutsche Telecom érdekeltségébe tartozik. A hazai távközlési iparban a szoftverfejlesztés azonban nem kizárólagos, jelen van Magyarországon a készülékgyártás is, többek között a Nokia és a Flextronics révén.

Sajnos azonban a távközlési szektor dinamikus fejlődése 2000-ben megtört, és egy recessziós időszak következett, amely többé-kevésbé jelenleg is tart. Ennek az okait nehéz pontosan meghatározni, de felsorolhatunk néhány tényezőt, amelyek biztosan közrejátszottak a visszaesésben. Egyrészt az időszakban a világgazdaságra általában is a recesszió a jellemző, amely némely területeket jobban, némelyeket pedig kevésbé súlyt. Másrészt a dinamikus fejlődés következtében a tőzsdéken túlértékelődtek az információközléssel kapcsolatos vállalkozások, elsősorban is a „.com cégek” néven ismertté vált, Internet alapú, frissen alakult gazdasági társaságok. Mindez persze nem tarthatott örökké, és az „IT (információ-technológia) lufi kidurranása”, azaz a túlértékelés megszűnésével járó drasztikus árfolyamesések megrengették az iparágba vetett befektetői bizalmat. Szintén szerepet játszott a recesszióban a GSM hálózatok piacának lassú telítődése, bár talán ennek a komponensnek a legkisebb a jelentősége, hiszen ez a folyamat nagyjából előre látható volt.

A recesszió negyedik oka a leendő harmadik generációs mozgó információközlő rendszer, az UMTS nevéhez fűződik. (Az UMTS technológiáról a következő fejezetben beszélünk részletesebben.) Az történt ugyanis, hogy 2000-ben több európai ország kormánya tendert írt ki az UMTS hálózatok bevezetésére, amelyeken a győzelem feltétele volt többek között a koncessziós díj megfizetése, melynek összegét aukción határozták meg. A díjak néhány országban irreálisan magasak lettek, így Németországban 49,7, Nagy-Britanniában 38,2, Olaszországban 12,5 milliárd Eurót kellett a győzteseknek fizetniük. Az összegek nagyságrendjének érzékeltetésére megjegyezzük, hogy ezek a díjak az említett országok éves teljes GDP-jének rendre 2,5%, 2,5% és 1,1%-át teszik ki, illetve például a németországi koncessziós díj nagyjából megegyezik a 2000. évi teljes magyar GDP-vel. Ezek a díjak akkora tőkét vontak el a távközlési szektorból, hogy ez az egyik jelentős okozója lett a 2000. évtől a távközlési szektort sújtó recesszióknak. További kellemetlen mellékhatása az említett pályázatoknak, hogy mivel a szolgáltatóknak ki kell majd termelni az így kifizetett összegeket, a leendő UMTS felhasználók még hosszú ideig nem reménykedhetnek az alacsony szolgáltatási árakban. Az eset eredményeképpen több európai országban elhalasztották az UMTS tenderek kiírását. Ez hazánkban 2003. közepén még mindig nem történt meg, így a szolgáltatás bevezetése 2005. előtt nem várható. [HVG2001]

Szerencsére vannak azonban biztató jelek, folyamatok is. Ezek közé tartozik, hogy az Európai Unió kiemelten támogatja a távközlési szektorban a versenyt, amely nem csak a felhasználóknak lesz feltétlenül előnyös, de az egész iparágra várhatólag serkentően hat majd. Szintén perspektivikus a szélessávú számítógépes hozzáférési hálózatok gyors fejlődése és elterjedése, mind a vezetékes (pl. ADSL), mind a vezeték nélküli (pl. GPRS, majd UMTS) esetben. Ezzel párhuzamosan töretlennek látszik a mozgó távbeszélő hálózatok fejlődése is. Igaz ugyan, hogy a fejlett országokban a készülékek számának növekedése lassan megszűnik, hiszen telítődik a piac, de az új alkalmazások, szolgáltatások és az egyre nagyobb tudású készülékek a felhasználókat továbbra is új mozgó készülékek vásárlására, illetve a szolgáltatások folyamatos igénybevételére ösztönzik.

Mindezek alapján okkal reménykedhetünk a távközlési és informatikai szektor mielőbbi fellendülésében, amely természetesen igényelni fogja a magasan kvalifikált szakképzett munkaerőt.





## 2 Az információközlő hálózati technológiák áttekintése

Ebben a fejezetben különféle távközlő és számítógép-hálózati technológiákat ismertetünk röviden. Ezzel egyrészt szeretnénk a környezetében elhelyezni azokat a technológiákat, amelyeket a további fejezetekben részletesen is tárgyalunk, másrészt pedig itt mutatunk be néhány olyan hálózattípust is, amelyek részletes ismertetésére e tárgy keretében nincs lehetőségünk. Végül, de nem utolsósorban, ennek a résznek a feldolgozása teszi majd könnyebbé a következő fejezetekben leírt diszciplináris rész szemléltetését, megértését.

Az információközlő hálózatokat különféleképpen csoportosíthatjuk. Az egyik lehetőség a távközlő hálózatok és a számítógép-hálózatok megkülönböztetése. Egy másik lehetséges felosztás a mozgó, illetve rögzített információközlő hálózatok bevezetése. Egy harmadik csoportosítás szerint megkülönböztethetünk vezetékes, illetve vezeték nélküli hálózatokat. Ez utóbbi kettő között természetesen van összefüggés: a mozgó hálózatokat kivétel nélkül vezeték nélküli hálózatokkal valósítják meg; a rögzítetteket lehetséges vezetékes, illetve vezeték nélküli hálózatokkal is megvalósítani (a különbség általában csak a fizikai rétegben van).

Ezek alapján a fejezetet három részre osztottuk. Az első részben a rögzített távközlő hálózati technológiákról lesz szó, a másodikban a rögzített számítógép-hálózatokról írunk. A konkrét technológiák e kategóriákba való besorolása azonban néha nem egyszerű a két hálózati fajta közötti egyre erősödő konvergencia miatt, így például az ADSL hálózatok hovatartozása is nehezen meghatározható. Az ilyen hálózatokat – némileg szubjektíven – általában a távközlő hálózatok közé soroltuk. A harmadik részben a mozgó információközlő hálózatokat (azaz távközlő és számítógép-hálózatokat) együtt tárgyaljuk.

### 2.1 Távközlő hálózatok

Távközlő hálózatok alatt a távíró-, távbeszélő-, és az ezekből kifejlődött hálózatokat értjük. E hálózatok nem homogén rendszerek, hiszen a különböző részeikkel szemben más-más elvárásokat támasztunk, így azokat gyakran különböző technológiával valósítják meg. E részek önálló nevet is kaptak, így *hozzáférési hálózatnak* hívjuk azt a hálózatrészt, amelyik az előfizető és a helyi kapcsolóközpont között található. *Törzshálózatnak* – vagy néhol központközi hálózatnak – nevezik a távközlő hálózat többi, azaz a kapcsolóközpontok közötti részét. Végül *gerinchálózat* a törzshálózatnak a primer központok közötti része, ahol is primer központoknak azokat a távbeszélő-központokat nevezük, amelyeknek saját körzetszámuk van.

A távközlő hálózatokat *keskeny-*, illetve *szélessávú* osztályokba soroljuk az igénybe vett sávszélesség, illetve az adatátvitel sebessége szerint. Az osztályok közötti határ függ a hálózat jellegétől is, így digitális hálózatok esetén a következő sebességhatárokig beszélünk keskenysávú távközlő hálózatokról:

- mozgó hozzáférési hálózatban: 64 kbit/s,
- rögzített hozzáférési hálózatban: 2 Mbit/s,
- törzshálózatban: 140 Mbit/s.

E fejezetben csak a rögzített hálózatokkal foglalkozunk, a mozgó hálózatokat a 2.3 alfejezetben tárgyaljuk.

### **2.1.1 Keskenysávú távközlő hálózatok**

A keskenysávú távközlő hálózatokban a végberendezés általában egyszerű és olcsó, ami lehetővé teszi a széleskörű felhasználást. Az egyszerű végberendezés csak egy-két féle szolgáltatást tesz lehetővé egyféle szolgáltatásosztályban, az intelligencia döntően a hálózatban van megvalósítva. E hálózatok forgalma általában egy ismert séma szerint változik, éppen ezért jól becsülhető, ami fontos szempont a hálózat méretezésénél. A keskenysávú távközlő hálózatokban napjainkban tipikusan a hozzáférési hálózatok analóg módon, a törzshálózatok pedig digitálisan működnek.

#### **2.1.1.1 Távíróhálózat**

Az első elterjedt elektromos árammal működő távközlő hálózattípus a távíróhálózat volt [Bartolits][Izsák], amely Morse 1837. évi szabadalmán alapult. Ennek a hálózatnak igen egyszerű volt a felépítése: a csomópontok kézi billentyűs távíró adó és elektromechanikus jelíró alkalmazó vevő végberendezésekből álltak. Az adó oldalon a távírász rövidebb vagy hosszabb ideig tartotta lenyomva a billentyűt, a vevő oldalon ennek megfelelően a jelírók rövid vagy hosszú vonásokat rajzoltak egy papírszalagra. Mindez tulajdonképpen egy digitális jelátvitelt valósított meg, amihez a kódtábla a jól ismert Morse ábécé volt. Érdekesség, hogy a tervezők elképzelése az volt, hogy a távírászok a bejövő üzeneteket papírszalagon megjelenő jelsorozat alapján fogják dekódolni, azonban a kezelők hamar megtanulták pusztán az elektromágnes kopogásából megérteni az üzeneteket. A módszer olyannyira bevált, hogy később a gyártók szándékosan olyan készülékeket készítettek, amelyek hangos kopogásukkal segítették a távírászok munkáját. A hálózatban az összeköttetés légvezetékes, illetve később néhány speciális területen – például hajókon – rádiós átvitellel működött. Az átvitel sebessége nagyjából 10 bit/s-ra tehető.

A távíróhálózat mai szóhasználattal kifejezve kézzel elvégzett *üzenetkapcsolást* valósított meg. Ez azt jelenti, hogy a jelet üzenetegységekbe foglalva továbbították, úgy, hogy az üzenetet csomópontról csomópontra újra átvíratották, és minden csomópontban eldöntötték, hogy melyik úton továbbítsák azt. Ha egy csomópontban egyszerre két üzenetet kellett volna továbbítani egy irányban, akkor először az egyik üzenetet továbbították, és ennek adásideje alatt a másik üzenet papírszalagját tárolták. Megállapíthatjuk tehát, hogy a távíróhálózat volt az első elektronikus távközlő hálózat, amely a „tárolj és továbbíts” elvet alkalmazta – üzenet szinten. Már ebben a korai hálózattípusban felmerült az *útválasztás* kérdése, hiszen a csomópontok nem lineáris topológiában helyezkedtek el. E feladatot akkoriban manuálisan oldották meg, azaz a távírászok feladata volt eldönteni, hogy melyik vonalon továbbítsák az üzenetet.

Természetesen a távíróhálózat már régóta elavult, nem is szerepel a későbbi összehasonlításainkban, csak a technológia fejlődésének illusztrálása végett mutattuk be.

### 2.1.1.2 Táv gépiró-hálózat

A táv gépiró-hálózat [Bartolits][Izsák], avagy más néven a telex, a kézi távíró hálózat végberendezéseinek gépesítésével jött létre. Ebben a rendszerben a kézi billentyű és a jelíró helyét billentyűzettel ellátott elektromechanikus táv gépirók vették át, amelyek betűket és más karaktereket nyomtattak. Ennek az újításnak a segítségével a vonalsebességet kb. 50 bit/s-ra sikerült növelni, és még ennél is nagyobb előny volt az, hogy immár nem kellett a kezelőknek kézzel leírni a címzettnek kikézbcsítendő üzenetet, hiszen a távíró már mindenki által érhető formában vetette azt a papírra. A csomóponti tárolás és újraadás megvalósítására a táv gépiró lyukszalagot is tudott lyukasztani és olvasni, mindeközben az átviteli közeg egyre inkább a szimmetrikus vezeték, azaz a sodrott érpár lett.

Az üzenetek állomásról állomásra történő újraadását, azaz a kézi üzenetkapcsolást később felváltotta a kézi vagy gépi kapcsolású *valós áramkörkapcsolás*. Ez azt jelenti, hogy először felépítettek egy áramkört az üzenet küldője és a célállomása között, majd átküldték az üzenetet. A táv gépiró-hálózatban megvalósított első gépi kapcsolású valós áramkörkapcsolást 1932-ben helyezték üzembe, amelyen nyilvános előfizetői táv gépiró (telex) szolgáltatást nyújtottak. Ebben a rendszerben az előfizetőknek hívószámuk volt és két előfizető között a valós áramkört hívás segítségével építették fel. A valós áramkörkapcsolás azzal az előnnyel járt, hogy nem volt szükség többé az üzenetek lyukszalagos tárolására és újraadására az egyes csomópontokban, így felgyorsult az üzenetátvitel, sőt a felhasználók között „párbeszédre” is nyílt lehetőség. Az áramkörkapcsolás ugyanakkor hátrányokkal is járt: az átviteli utak kihasználtsága rosszabb lett, továbbá hívástorlódás léphetett fel.

### 2.1.1.3 Távbeszélő-hálózat

A távbeszélő-hálózat végberendezésekből (például távbeszélő-készülék), áramkörkapcsolókból, nyálábólókból, valamint ezek közti összeköttetésekéből, azaz átviteli utakból áll. Az egyes elemek lehetséges megvalósításait a további fejezetekben részletesen is ismertetjük, most csak egy rövid áttekintést adunk a technológiáról.

Itt jegyezzük meg, hogy a szakemberek a köznyelvi „telefonhálózat” szó helyett a szabatosabb „távbeszélő-hálózat” kifejezést használják, és ezt mi is követjük e jegyzetben.<sup>1</sup>

A kezdeti távbeszélő-hálózatok természetesen analóg rendszerűek voltak. A digitális technika megjelenése azonban változást hozott a távbeszélő-hálózatok felépítésében is: az analóg elemeket – elsősorban a törzshálózatban – fokozatosan digitálisra cserélték. Ez a folyamat nem egyik napról a másikra zajlott le, sőt napjainkban is tart. Ismerkedjünk most meg mindkét technológiával!

Az *analóg távbeszélő-hálózat* analóg átviteli utakból és kapcsolóközpontokból áll. A rendszer Bell 1876-os találmányáig nyúlik vissza és elsősorban beszédjel átvitelére alkalmas. A hanghullámok és az elektromos jelek közötti átalakítást távbeszélő-készülékben elhelyezett mikrofon és hangszóró végzi el. A távbeszélő-készüléket szimmetrikus vezetékkel megvalósított előfizetői vonal (hurok) köti össze az előfizetőt közvetlenül kiszolgáló

---

<sup>1</sup> A távbeszélő-hálózatokat szokás PSTN-nek (Public Switched Telephone Network, nyilvános kapcsolt távbeszélő-hálózat) nevezni, sőt a számítógép-hálózatokkal foglalkozó szakemberek – némileg lekicsinylően – néha POTS (Plain Old Telephone Service, egyszerű öreg távbeszélő szolgáltatás) néven is emlegetik, különösen az analóg rendszereket.

kapcsolóközponttal, az úgynevezett helyi kapcsolóközponttal (angolul local exchange). A kapcsolás elektromechanikusan történik, így itt *valós áramkörkapcsolásról* beszélünk. A kapcsolóközpontok közötti törzshálózatban a beszédjel átviteli sáv tartományát 0.3 – 3.4 kHz-re szűkítik és védősávokkal kiegészítve egy 4 kHz-es sáv szélességű, úgynevezett beszédcsatornát képeznek. Mint tudjuk, az emberi fül által érzékelhető frekvenciatartomány kb. 20 Hz és 15-20 kHz között van, így ennek csak egy kis része a távbeszélő-hálózatokon átvitt 3.1 kHz széles sáv. Ennek az az oka, hogy a távbeszélő-hálózatok tervezésekor gazdaságossági megfontolásból nem tűzték ki célul minden hallható hang tökéletes átvitelét, a cél csak a beszédhangok érthető átvitele volt, amelyre elegendő a szűk sáv is.

Több beszédcsatorna egyetlen átviteli közegre történő összefogását nevezzük *nyalábolásnak* (angolul multiplexing). Az analóg távbeszélő-hálózatokban a Számítógép-hálózatok tantárgyból megismert FDM (Frequency Division Multiplexing, frekvenciaosztásos nyalábolás [Tanen]) technológiát használva hierarchikusan nyalábolják a beszédcsatornákat a gerinchálózati átvitelhez. Ezzel a módszerrel lehetséges például kb. 10 000 csatornát összefogni egy kimeneti csatornára, ahol is a felhasznált kb. 60 MHz szélességű sáv  $10\,000 \cdot 4\text{ kHz} = 40\text{ MHz}$  hasznos sáv szélességből és a hierarchikus nyalábolással összhangban további védősávokból áll. Ennek a kb. 60 MHz sáv szélességű jelnek az átvitelére koaxiális vezeték vagy földfelszíni rádiós átvitel szolgálhat.

Ezt a rendszert is *valós áramkörkapcsolásúnak* nevezzük, annak ellenére, hogy a nyalábolás és az esetleges rádiós átviteli szakaszok miatt itt már nem beszélhetünk hagyományos áramkörökről. A lényeg ugyanis az, hogy a felhasználó nézőpontjából a felépített kapcsolat ekvivalens azzal, mintha egy 4 kHz sáv szélességű külön vezeték párral lenne összekötve a beszélgetőpartnerével.

Az analóg FDM nyalábolási technika mára már elavult, a fejlett országokban nem használják. Bár hazánkban már az 1970-es évektől üzemeltek digitális távbeszélő-hálózati elemek, a teljes áttérés a digitális távbeszélő-hálózatokra a rendszerváltás idejében kezdődött meg.

A *digitális távbeszélő-hálózat* kapcsolóközpontok közötti szakaszai (a törzshálózat) digitális átviteli utakból és digitális központokból állnak, a távbeszélő-készülékek és az előfizetői vonalak azonban gyakran továbbra is analóg módon működnek. A digitális távbeszélő technológia már több mint 40 éves, hiszen az első digitális átviteli utakat 1962-ben telepítették, az első digitális központokat pedig 1976-ban helyezték üzembe az USA-ban. Ebben a rendszerben a helyi kapcsolóközpont vonali egységében történik meg az analóg jelek digitálisra alakítása, azaz ha a hálózatot adatátvitelre használjuk, akkor az adatjelek is átmennek a digitalizálást végző beszédkódolón.

Az analóg jel digitalizálásának egyik módszere a PCM (Pulse Code Modulation, impulzuskód-moduláció) kódolás, amely során a 4 kHz-es beszédjelet a mintavételi tétel szerint 8 kHz-cel mintavételezik, és 256 jelszintre kvantálják, azaz 8 biten kódolják. Így az igényelt átviteli sebesség  $8\text{ kHz} \cdot 8\text{ bit} = 64\text{ kbit/s}$  lesz. Ma már léteznek a PCM-nél fejlettebb beszédkódolók is, melyek különféle tömörítési eljárások használatával a 64 kbit/s-nél lényegesen alacsonyabb digitális jelsebességet állítanak elő, ezekre majd a 4.4 alfejezetben visszatérünk. A digitális távbeszélő-hálózatokban a szintén a Számítógép-hálózatok tárgyából ismert TDM (Time Division Multiplexing, időosztásos nyalábolás [Tanen]) nyalábolási technológiát alkalmazzák a gerinchálózati átvitelhez. Csakúgy, mint az analóg FDM rendszereket, a digitális TDM rendszereket is *valós áramkörkapcsolt* hálózatoknak tekintjük, hiszen a felhasználóknak nyújtott szolgáltatás itt sem különböztethető meg egy dedikált, 4 kHz sáv szélességű, közvetlen analóg összeköttetés által nyújtott szolgáltatástól.

A digitális távbeszélő hálózatban a digitalizált beszédjel forgalomirányítását digitális kapcsolóközpontok végzik, a központok között pedig digitális törzs- vagy gerinchálózati technológiákat alkalmaznak. Ezek a digitális gerinchálózati átviteli technológiák nem csupán a távbeszélő-hálózatban használatosak, hanem alkalmazhatóak különböző adatátviteli hálózatokban is, sőt nemritkán ugyanazon a digitális gerinchálózaton többféle hálózattípus adatait továbbítják egyszerre. Így tehát e technológiák nem kapcsolódnak kizárólagosan a távbeszélő-hálózatokhoz, ezért ezeket a hálózatokat külön alcímek alatt tekintjük át – lásd például: PDH, SDH/SONET.

A digitális távbeszélő hálózatok megvalósítását és széleskörű elterjedését az integrált áramköri technológia fejlődése tette lehetővé. A meglévő sávszélesség gazdaságos kihasználását illetően azonban könnyen belátható, hogy a digitális technika kedvezőtlenebb az analógnál. Mint láttuk, analóg esetben egy beszédcsatorna átvitelére körülbelül 4 kHz sávszélesség elég. Digitális esetben PCM kódolót alkalmazva 64 kbit/s digitális adatfolyamot kapunk, és mivel a távbeszélő-hálózatokban 1 bit/s átvitele – figyelembe véve az alkalmazott vonali kódolást és a jelenlévő jel/zaj viszonyt – nagyjából 1 Hz sávszélességen lehetséges, ez 64 kHz sávszélességet jelent. Mindezek ellenére, amint az integrált áramköri technológia lehetővé tette, PCM-alapú digitálisra cserélték az analóg rendszereket, a 16-szoros sávszélességigény ellenére. Nézzük meg, miért volt ez kifizetődő, azaz mik a digitális technika főbb előnyei:

- a digitális kapcsolóközpont, a digitális átvitel és a digitális jelfeldolgozás megvalósítása egyszerűbb és megbízhatóbb az analógnál;
- napjainkban már olcsóbbak a digitális áramkörök;
- a jel/zaj viszony független a hálózat méretétől;
- a digitális berendezések gyártása nem igényel egyenkénti beállítást;
- azonos funkcionalitás esetén a digitális eszközök helyigénye kisebb;
- tápigényük is alacsonyabb;
- a megvalósítható hálózati intelligencia magasabb fokú az analógnál;
- sokkal kifinomultabb jelzésátvitel lehetséges;
- adat és beszédjelek egységesen kezelhetőek;
- egyszerűbb a karbantartás;
- kapcsolás megvalósítható mozgó alkatrészek nélkül;
- ha az átvitel is és a kapcsolás is digitális, akkor két kapcsolóközpont közötti átvitel során nem kell a többszörösen nyalábolt jelet teljesen lebontani, hanem a kapcsolás az első nyalábolási szinten elvégezhető.

Végezetül ismét megemlítjük, hogy már léteznek a PCM-nél újabb beszéd-digitalizálási eljárások (ld. 4.4 alfejezet), amelyek használatával csökkenthető az analóg és digitális technológiák sávszélesség-felhasználása közötti különbség.

#### ***2.1.1.4 PDH alapú gerinchálózat***

A PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy, pleziokron digitális hierarchia) volt az első digitális gerinchálózati nyalábolási technológia, amelyet 1962-ben vezettek be. A „pleziokron” görög eredetű szó, jelentése „majdnem egyidejű”, ami arra utal, hogy a

mintavevő és a különböző szintű nyaláboló és bontó berendezések órajelei csak névlegesen azonosak, de azokat egymással nem szinkronizált kvarcoszcillátorokkal állítják elő.

A PDH hierarchikus nyalábolási technika, amely öt hierarchiaszinttel rendelkezik, és a nyalábolást időosztással (TDM) valósítja meg. Az összeköttetés ebben az esetben is valós áramkör alapú. Az egyes PDH szintek sebessége Európában és Amerikában eltérő, a szokásos kerekített átlagsebességeket a 2.1.1. és 2.1.2. táblázatokban mutatjuk be (az „Átviteli közeg” sorok magyarázatát lásd alább). A nulladik oszlopot csak a teljesség kedvéért tüntettük fel a táblázatokban, hiszen az tulajdonképpen nem PDH hierarchiaszint, hanem a 64 kbit/s-os PCM jelnek felel meg.

A hierarchiaszintek elnevezésében az „E” az „European” (európai), a „T” a „Transmission” (átvitel) szavak rövidítése. Szintén elterjedt a T1, T2, stb. helyett a DS1, DS2, stb. jelölés (DS: Digital Signal, digitális jel): elvileg a T1 a vivőt, a DS1 a formátumot jelöli, mi azonban most nem teszünk a kettő között különbséget. Ebben a jelölésrendszerben az E1, E2, ...-nek a DS-1E, DS-2E, ... felel meg. Megjegyezzük, hogy Japánban egy harmadik fajta PDH szintrendszert vezettek be, de azzal e jegyzetben nem foglalkozunk.

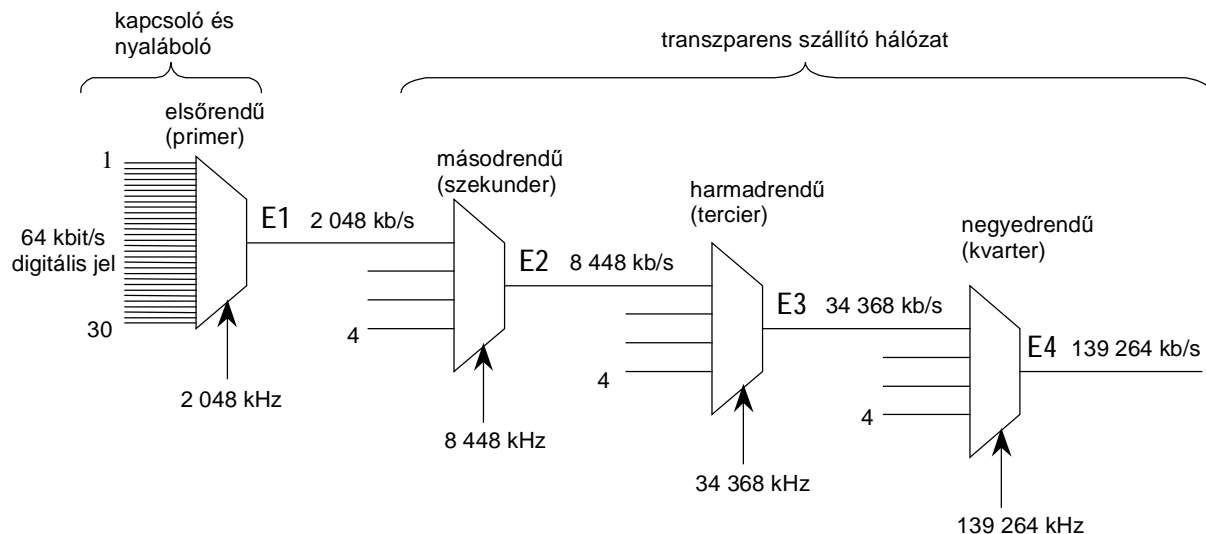
| EU hierarchiaszint         | 0                              | E1 | E2              | E3             | E4              | E5               |
|----------------------------|--------------------------------|----|-----------------|----------------|-----------------|------------------|
| Névleges sebesség [Mbit/s] | 0,064                          | 2  | 8               | 34             | 140*            | 565              |
| Beszédcsatornák száma      | 1                              | 30 | 4·30 =<br>120   | 4·120 =<br>480 | 4·480 =<br>1920 | 4·1920 =<br>7680 |
| Átviteli közeg             | szimmetrikus kábel             |    |                 |                |                 |                  |
|                            |                                |    | koaxiális kábel |                |                 |                  |
|                            | földfelszíni és műholdas rádió |    |                 |                |                 |                  |
|                            |                                |    |                 |                | fénykábel       |                  |

2.1.1. táblázat. Az európai PDH hierarchia felépítése  
\* gerinchálózati sebesség

| Amerikai hierarchiaszint   | 0     | T1  | T2        | T3            | T4              |
|----------------------------|-------|-----|-----------|---------------|-----------------|
| Névleges sebesség [Mbit/s] | 0,064 | 1,5 | 6         | 45*           | 274             |
| Beszédcsatornák száma      | 1     | 24  | 4·24 = 96 | 7·96 =<br>672 | 6·672 =<br>4032 |

2.1.2. táblázat. Az amerikai PDH hierarchia felépítése  
\* gerinchálózati sebesség

A 2.1.1. ábra szemléletesen mutatja az egyes európai hierarchiaszintek nyalábolóit az E4-es szintig.



2.1.1. ábra. Az európai PDH hierarchia szemléltetése

A PDH alapja a 64 kbit/s sebességű digitális jel; számos alkalmazásban azonban – például adat-, bérelt-vonali vagy ISDN hálózatok – az  $n \cdot 64$  kbit/s-os digitális jelsebesség is használatos, ahol  $n \leq 30$ . Amennyiben analóg beszédjelek érkeznek a primer nyaláboló bemeneteire, akkor a mintavételezés a nyalábolóban történik, közös órajellel. Ha digitális jelek vannak a primer eszköz bemenetein, akkor azoknak azonos órajelűnek kell lenniük azért, hogy egyszerűen lehessen nyalábolni azokat.

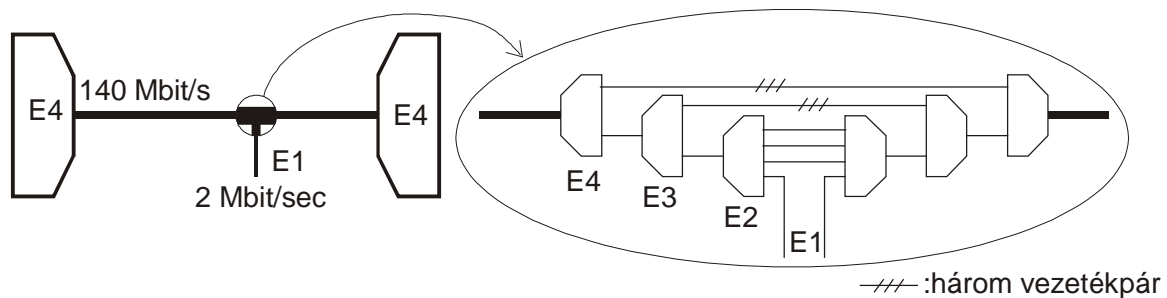
A 2.1.1. táblázatban összefoglaltuk a nagytávolságú gerinchálózati alkalmazásban lehetséges átviteli közegeket is, ahol egy átviteli szakasz hossza 50-100 km. A táblázatban kiemeltük a koaxiális kábelt, mert a PDH bevezetésekor ez volt a domináns átviteli közeg, így például ennek a sávszélessége határozta meg a definiált PDH gerinchálózati sebességszinteket. A táblázatból az is látszik, hogy koaxiális és fénykábeleket nem használnak alacsony sebességű átvitelre. Ennek oka elsősorban a technológiák magas ára, azonban a koaxiális kábel azért sem használható alacsony frekvenciákon, mert ott áthallások keletkeznének a kábelek között.

A táblázatban feltüntetettek mellett kisebb kiterjedésű, tehát helyi hálózatokban a szimmetrikus kábel (sodrott érpár, érnégyes) is alkalmazható 140 Mbit/s-ig (sőt, a Gbit/s sebességű Ethernet hálózatok jelét is át lehet vinni szimmetrikus kábelen néhány méter távolságra) és koaxiális kábel is 565 Mbit/s-ig. Ezeket azonban nem jelöltük a táblázatban, hiszen a PDH gerinchálózati technológia, amellyel nagy távolságok – nagyságrendileg 100 km – hidalhatóak át.

A PDH bevezetésekor fénykábel még nem létezett, ilyen átviteli lehetőség csak később vált valóra, a fémvezetékekkel megvalósított nagytávolságú gerinchálózatban pedig a maximális sebesség 140 Mbit/s Európában, és 45 Mbit/s az amerikai rendszerben (ezeket a 2.1.1., 2.1.2. táblázatokban csillaggal jelöltük). Az eltérés oka, hogy a PDH rendszert először Amerikában dolgozták ki, de mire világszabvánnyá vált, már nagyobb sebességű berendezéseket is meg tudtak vele valósítani, az európai országok pedig szakmapolitikai okokból ragaszkodtak is a nagyobb sebességű megoldáshoz.

Térjünk most vissza arra, miért is pleziokron e rendszer. Ahogy már említettük, a különböző órajel-generátorok nincsenek szinkronizálva, ezért a különböző földrajzi helyekről érkező digitális jelynyalábok sebessége eltérő a szekunder és annál magasabb hierarchiaszintű nyalábolókban az órajelet előállító kvarcoszcillátorok kismértékű pontatlansága miatt. A primer nyalábolókban nincs ilyen probléma, hiszen ott a mintavételezés helyben történik,

illetve digitális bemenet esetén is követelmény az azonos órajel. A némileg eltérő sebességű jelnyalábokat a hierarchiában következő PDH nyaláboló fokozat úgy egyesíti, hogy a bemeneti jelek sebességeit szabályozott bitbeékelésekkel felkerekíti egy olyan értékére, amely valamivel nagyobb, mint a bemeneteken megengedett maximális sebesség. Emiatt a névleges kimeneti bitsebesség nem egyenlő a névleges bemeneti bitsebesség egész számú többszörösével, hanem annál egy kicsit nagyobb. Ez viszont azt jelenti, hogy a kimeneti jelet minden nyalábolási szinten újra is kell keretezni, így egy magasabb szintű PDH nyaláboló csak az eggyel alacsonyabb hierarchiaszintű jeleket tudja nyalábolni. Bontáskor minden PDH szint keretszinkron órajelét külön-külön vissza kell állítani, tehát a vevő oldalon lépésről lépésre az összes felsőbb hierarchiaszintet vissza kell bontani az alacsonyabb szintű nyaláb visszanyeréséhez. Éppen ez a PDH rendszerek egyik legnagyobb hátránya, azaz hogy például egy E4-es gerinchálózati vonalról egy E1-es csatornát csak úgy lehet leágaztatni, hogy lebontjuk a hierarchiát egyesével az E1-es szintig, majd újra nyalábolunk E4-ig (2.1.2. ábra).



2.1.2. ábra. Leágazás PDH esetében

### 2.1.1.5 Adathálózatok

Az adathálózat adatátviteli szolgálatok ellátására tervezett és optimalizált távközlő hálózat, amely hatékonyan képes adatok közvetítésére a hálózat végződési között. Szinonimái az adatközlő hálózat, adatátviteli hálózat kifejezések.

Néhány évtizeddel korábban a szolgáltatók úgy gondolták, hogy két, egymástól és a távbeszélő hálózattól többé-kevésbé független adathálózatot fognak üzemeltetni: az egyik a nyilvános, áramkörkapcsolt adathálózat (Public Circuit Switched Data Network, PCSDN), amely bérelt vonali (Leased Line, LL) szolgáltatásokra volt elsősorban alkalmas, a másik a nyilvános, csomagkapcsolt adathálózat (Public Packet Switched Data Network, PPSDN), mellyel magánhálózatokat (Private Network, PN) lehetett kialakítani. A megvalósítás mindkét esetben digitális eszközökkel történt, az áramkörkapcsolt hálózatok esetében PDH-val, a csomagkapcsoltaknál pedig az X.25 technológiával.

A csomagkapcsolt X.25 adathálózatot [Tanen] 1972-ben vezették be, és fémvezetőkre tervezték, amelynek nagy volt a hibaaránya az áthallás miatt. Ezért az X.25 kapcsoló minden csomópontban újraküldéses hibajavítást és szakaszonkénti áramlásszabályozást végez, ami a mai jobb minőségű átviteli utak esetében már felesleges. Hozzáférési sebessége 16 kbit/s, gerinchálózati sebessége 64 kbit/s, ezek mai szemmel nézve már nagyon kis értékek.

Az X.25 az adatátvitelre látszólagos áramköröket alkalmaz. A látszólagos áramköri átvitel a csomagkapcsolt hálózatokban ugyanazt hivatott megvalósítani, mint a valós áramköri átvitel az áramkörkapcsolt hálózatokban. A cél tehát itt is az, hogy a felhasználó úgy érezze, mintha egy olyan adatcsatornát használna, amely a közte és a célállomás között van kiépítve és teljesen független a hálózat többi részétől. A megvalósítás egyik fontos eleme, hogy a



kapcsolat idejére az adatcsomagok útvonala rögzített, így a késleltetés ingadozása minimalizálható, ugyanakkor kihasználhatóak a csomagkapcsolt hálózatok előnyei. A látszólagos átvitel technológiáját használják még az X.25-ön kívül a később bemutatott ATM és a kerettovábbítás (Frame Relay) hálózatok is.

Az adathálózat kiépítése helyett gyakran a távbeszélő-hálózatot, a kábel-TV hálózatot vagy a műsorszóró hálózatot veszik igénybe, mint hordozó hálózatot úgynevezett *másodlagos adatátvitelre* valamilyen modem segítségével. Ha a távbeszélő-hálózatra adatátviteli modemet csatlakoztatunk, akkor az adatjel áthalad a felhasználót kiszolgáló kapcsolóközpontba telepített beszédkódolón, vagyis az adatjelet ilyenkor a beszédcsatornán visszük át 2,4 - 33,6 kbit/s sebességgel.

Néhány évvel ezelőtt a modemek sebességének gyors növekedésének lehettünk tanúi. A távbeszélő-hálózatok jel/zaj viszonya gyorsan javult, ami lehetővé tette, hogy a maximálisan elérhető adatsebesség a kezdeti néhányszor száz bit/s értékről rohamosan növekedjen: hamarosan a 9600 bit/s sebességű modemek terjedtek el, majd ezeket követték az egyre gyorsabbak: 14400, 28800 majd 33600 és végül 56000 bit/s sebességek váltak elérhetővé ugyanazon a távbeszélő-vonalon. Felmerül a kérdés, hogy vajon hol van ennek a fejlődésnek a határa? Sajnos, úgy néz ki, elértük ezt a határt. Nézzük, miért nem számíthatunk további jelentős előrelépésre e téren!

Shannon törvénye szerint egy tisztán analóg hálózaton megvalósítható digitális kommunikáció sebességét csak a hálózat jel/zaj viszonya és a sávszélessége határozza meg, más felső korlát nincs:

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right),$$

ahol C a kapacitás (bit/s), B a csatorna sávszélessége (Hz), S és N a jel és a zaj teljesítménye. A gyakorlatban azonban a távbeszélő-gerinchálózatok már digitálisak, így az ilyen távbeszélő-vonalon átvihető adatok sebességének elvi felső korlátja 64 kbit/s, hiszen a PCM kódolás után ilyen sebességű digitális csatornán viszik át a beszédet.

Ez a 64 kbit/s sebességű maximum el is érhető, amennyiben sikerül megszabadulni az analóg/digitális és digitális/analóg átalakítások okozta pontatlanságtól. Pontosan ezt teszi az ISDN (lásd a következő szakaszt), amelynek a B csatornája így 64 kbit/s sebességű. Ha azonban valamilyen – például anyagi – okból ragaszkodunk ahhoz, hogy az előfizető és a helyi kapcsolóközpont közötti szakasz analóg maradjon, akkor szembe kell néznünk a már említett zajtényezőkkel. Ebben az esetben a napjainkban elérhető 33,6 kbit/s már nagyon közel van a gyakorlatban megvalósítható maximumhoz.

Megjegyezzük, hogy megvalósítható analóg elérésű távbeszélő-hálózaton 56 kbit/s sebességű adatátvitel is, többek között ilyen elérést is nyújt manapság a legtöbb Internet-szolgáltató. Ez a sebesség azonban csak az egyik irányban – az előfizető felé – tartható, a másik irányban továbbra is 33,6 kbit/s a maximum. A rendszer működésének a kulcsa az, hogy ebben az esetben a szolgáltató digitálisan éri el a távbeszélő-hálózatot, így az általa küldött adatok nem mennek át a digitális gerinchálózat határán lévő analóg/digitális átalakítón, így nem terheli azt az ilyen átalakításkor keletkező ún. kvantálási zaj. Természetesen a gerinchálózat elhagyásakor a digitális/analóg átalakítás nem marad el, de ennek a zajtényezője már lényegesen alacsonyabb, így érhető el a 64 kbit/s-ot már jól megközelítő 56 kbit/s-os sebesség.

### 2.1.1.6 ISDN hálózat

Az ISDN (Integrated Services Digital Network, integrált szolgáltatású digitális hálózat) a hagyományos távbeszélő-hálózat továbbfejlesztése. Amikor az ISDN-t is továbbfejlesztették, azaz megtervezték a szélessávú megfelelőjét, akkor a rendszer új nevet kapott, így innentől

kezdvé a „hagyományos” ISDN-t N-ISDN-nek, azaz keskenysávú (Narrow-band) ISDN-nek nevezték, szemben a szélessávú (Broadband) B-ISDN-nel. Amikor azonban az ISDN szó csak magában áll, mindig N-ISDN-t értünk alatta, így most is erről lesz szó.

Ahogy a neve is mutatja, az ISDN egyetlen hálózaton többféle szolgáltatást is nyújt, így például a hang-, a video- és az adatátvitelt. Az ISDN hálózatokban egészen a végberendezésekig digitális az átvitel, ezért például a beszédkódoló a távbeszélőkészülékekbe van beépítve. Ennek a megoldásnak előnye, hogy az adatjelek elkerülnek a beszédkódolótól, így jobb minőségű adatátvitel válik lehetővé. Gazdaságossági megfontolásból fontos, hogy az ISDN-végberendezéseket ugyanaz a sodrott rézvezeték-pár csatlakoztatja a hálózathoz, mint az egyszerű analóg távbeszélő-végberendezést. Így lényegesen könnyebb és olcsóbb az áttérés az analóg hozzáféréstől az ISDN-re, hiszen csak az előfizetőhöz menő vezeték-pár végén lévő berendezéseket kell lecserélni, a vezeték-párt nem.

Az első kereskedelmi ISDN hálózatot 1987-ben valósították meg, de az elterjedése csak vontatottan haladt, mivel viszonylag későn jelent meg a piacon, és addigra a felkínált átviteli kapacitás már sok felhasználó számára túl kevés volt. Szintén az ISDN elterjedését hátráltatta, hogy időközben az általa nyújtott szolgáltatások többségével felruházták az analóg távbeszélő rendszereket is; ilyen például a hívásvárakoztatás, hívószámjelzés, hívásátirányítás. Később az Internet otthoni számítógépről való elérésének igénye fellendítette az ISDN iránti vásárlási kedvet, így e hálózatok elkezdtek növekedni. Jelenleg azonban az ISDN hálózatok még mindig csak kis részét teszik ki a hagyományos távbeszélő-hálózatokénak, ahogy az az előző fejezet 1.2.1. és 1.2.2. ábráin is látható.

Az ISDN két csatornatípust használ: a B- és D-csatornákat (jelentésük: B: Basic, alap; D: Data, adat). A B-csatorna áramkörkapcsolt, sebessége 64 kbit/s és 2 vagy 30 darab bocsátható egy felhasználó rendelkezésére. A D-csatorna csomagkapcsolt, sebessége 16 vagy 64 kbit/s és egy darab tartozik egy felhasználóhoz. Az ISDN hálózat tehát a 64 kbit/s – 2 Mbit/s sebességtartományban biztosít hozzáférést a lehetséges 2·B+D (2·64+16 kbit/s), illetve 30·B+D (30·64+64 kbit/s) konfigurációkkal.

Több B-csatorna használata esetén a felhasználó egyidejűleg akár több hívást is felépíthet, amelyekhez különböző számú B-csatornát rendelhet. A leggyakoribb 2·B+D kiépítés esetén például a két B-csatorna használható például egy darab 128 kbit/s sebességű adatátvitelre, vagy két darab, független távbeszélő-kapcsolat felépítésére. A többsebességű kapcsolás (multirate switching) – melynek során egyszerre több adatcsatornát építenek ki ugyanazon az útvonalon – megvalósítása azonban igen bonyolult feladat, és a kapcsolók többségében nincs is implementálva. A D-csatorna jelzésátvitelre és alacsony sebességű adatátvitelre is szolgál.

### **2.1.2. Szélessávú távközlő hálózatok**

A végfelhasználóig eljutó szélessávú adatátvitel lehetősége mindeztidáig csak nagyobb cégek, egyetemek, intézetek kiváltsága volt. Napjainkban mindez szerencsére kezd megváltozni, köszönhetően az újonnan megjelent (pl. ADSL, kábel-TV alapú adatátvitel) és a hamarosan megjelenő (pl. EDGE, UMTS) hozzáférési hálózati technológiáknak.

A szélessávú hálózati technológiákat azonban jelenleg jellemzően a törzshálózatokban használják. Ezek vagy kizárólag más hálózatok jeleinek nagysebességű továbbítására (az ún. hordozó szolgáltatásra) alkalmasak, vagy ezen túl elvileg csatlakoztathatók hozzá terminálok közvetlenül is, de ezeket a hálózatokat ennek ellenére szinte csak a hordozó hálózatként

használják. Az előbbi kategóriára példa a SONET és az SDH, az utóbbira pedig az ATM és a keretvábbítás (FR).

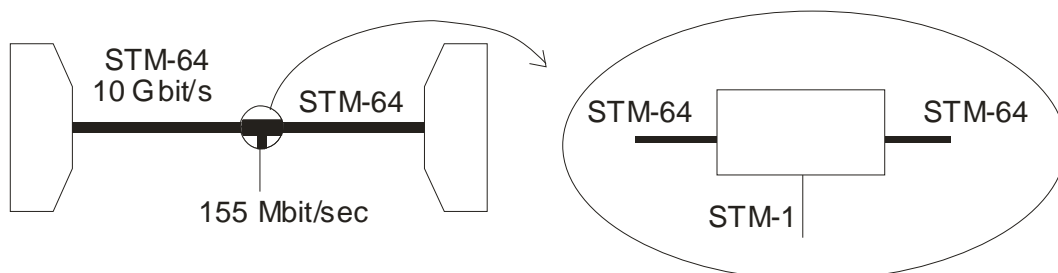
A továbbiakban röviden áttekintjük a fontosabb szélessávú távközlő hálózati technológiákat.

### 2.1.2.1 Szinkron hálózatok: SDH és SONET

Az első optikai kábelt 1980-ban fektették le, akkor még PDH átvitelre. Hamarosan kiderült azonban, hogy az új fizikai közeg által kínált lehetőségek jóval tágabbak, mint amennyit a PDH ki tud használni. Az optikai szál a koaxiális kábelnél három szempontból is jobbnak bizonyult: egyrészt a lényegesen nagyobb sáv szélessége nyitott új távlatokat az adatátvitelben, másrészt nem volt áthallás, így kisebb volt a bithibaaránya, harmadrészt a késleltetése állandó volt, míg a koaxiális kábel esetében ez változott, például az időjárás függvényében. Ezzel párhuzamosan a digitális eszközök számítási kapacitása is gyorsan fejlődött, így lényegesen bonyolultabb rendszerek váltak megvalósíthatóvá, mint például a PDH tervezésének idejében. E lehetőségek kiaknázására született meg 1984-ben az első ANSI (American National Standards Institute, Amerikai Országos Szabványügyi Intézet) szabvány az optikai kábelben történő átvitelre SONET néven (Synchronous Optical Network, szinkron optikai hálózat).

Hasonlóan a PDH-hoz, a SONET is időosztásos nyalábolást (TDM) használ. Ebben az esetben azonban az első hierarchiaszinten

A szinkronitás miatt a SONET-nél az egyes nyaláboló fokozatok kimeneti bitsebessége pontosan egyenlő a névleges bemeneti bitsebességének egészszámú többszörösével, ezért keretszinkron jel mindig csak az összetett jel legfelső hierarchiaszintjéhez társul. Bontáskor tehát nem szükséges minden SONET szint órajelét külön-külön visszaállítani, hanem elegendő csak az egyikét, és a többi fokozat órajele egyszerű frekvenciaosztással vagy -szorzással előállítható. Ebben az esetben tehát, ellentétben a PDH-val, a vevő oldalon egy lépésben hozzá lehet férni bármely alacsonyabb szintű nyalábösszetevőhöz (2.1.3. ábra).



2.1.3. ábra. Leágazás SDH esetében

A SONET hálózat sebességtartománya 52 Mbit/s-nál kezdődik, lényegében ott, ahol a fémvezetékes amerikai PDH hálózat sebességtartománya befejeződik. A felső határt az optikai jeladó modulációs sebességének felső korlátja szabja meg, így a SONET hálózat az 52 Mbit/s – 10 Gbit/s sebességtartományban működik. A SONET is hierarchiaszintekbe rendezetten nyalábol időosztással: az első szinten háromszoros, a többi szinten négyszeres a sebességnövekedés. Ez a felépítés kompromisszum eredménye, ugyanis így a második szint az európai fémvezetékes gerinchálózati sebességtartomány felső határához (140 Mbit/s) igazodik. E megoldás érdekében az ANSI módosította az eredeti SONET szabványt.

A CCITT (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique, Nemzetközi Táviró és Távbeszélő Tanácsadó Bizottság) – a mai ITU-T (International Telecommunication

Union – Telecommunication Standardisation Sector, Nemzetközi Távközlési Egyesület – Távközlési Szabványosítási Ágazat) elődje – 1988-ban a SONET-hez nagyon hasonló SDH (Synchronous Digital Hierarchy, szinkron digitális hierarchia) ajánlást fogadta el. Az SDH és a SONET hierarchiák főbb névleges sebességeinek értékeit és a nagytávolságú gerinchálózati szakaszokon (50-100 km) alkalmazható átviteli közegeket a 2.1.3. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatban kiemeltük a fénykábelt, mert az SDH és a SONET bevezetésekor ez volt a domináns átviteli közeg, az ezzel elérhető sávszélesség határozta meg a definiált sebességszinteket. Helyi hálózatokban a feltüntetett technológiákon kívül szimmetrikus vezeték (sodrott érpár) is alkalmazható 155 Mbit/s-ig, valamint koaxiális kábel is 622 Mbit/s-ig.

A SONET, illetve az SDH rendszer hierarchiaszintjeinek különbözőek az elnevezései: az STS Synchronous Transport Signal-t azaz szinkron szállító jelet, az STM Synchronous Transport Module-t, azaz szinkron szállító modult jelent. A különböző elnevezések ellenére a két rendszer kompatibilis, azaz az azonos sebességű SONET és SDH jelek egymással kölcsönösen együttműködnek. Az SDH Európában egyeduralgató szélessávú gerinchálózati nyalábolási technika, Amerikában azonban a SONET a domináns.

| SDH hierarchiaszint   |                                | STM-1                             | STM-4                 | STM-16                  | STM-64                     |
|---|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|
| SONET hierarchiaszint   | STS-1                          | STS-3                             | STS-12                | STS-48                  | STS-192                    |
| Névleges, kerekített átviteli sebesség (Pontos érték, kbit/s) | 52 Mbit/s (51 840)             | 155 Mbit/s (155 520)              | 622 Mbit/s (622 080)  | 2,5 Gbit/s (2 488 320)  | 10 Gbit/s (9 953 280)      |
| Nyalábolt beszédcsatornák száma                               | 672                            | $3 \cdot 672 = 2016$<br>vagy 1920 | $4 \cdot 1920 = 7680$ | $4 \cdot 7680 = 30 720$ | $4 \cdot 30 720 = 122 880$ |
| Átviteli közeg  | földfelszíni és műholdas rádió |                                   |                       |                         |                            |
|   | fénykábel                      |                                   |                       |                         |                            |

2.1.3. táblázat. A SONET és az SDH hierarchiák felépítése

A táblázatban a „Nyalábolt beszédcsatornák száma” sor igényel némi magyarázatot. STS-1 esetén a 672 pontosan a T3 PDH szint által szállítható beszédcsatornák száma, azaz itt az STS-1 szinten egy T3-as csatornát viszünk át. Az STS-3/STM-1 esetében két lehetőségünk van: vagy három darab STS-1-et nyalábolunk, vagy egy darab E4-es PDH csatornát viszünk át, amely pedig 1920 beszédcsatornát tud nyalábolni (lásd a 2.1.1. és 2.1.2. táblázatokat). A magasabb hierarchiaszintek esetén természetesen végig megmarad ennek a választásnak a következménye, mi a táblázatban az 1920-szal számoltunk tovább.

A SONET, illetve SDH átlátszó (transzparens) szállító hálózatként működik, egy magasabb szintű nyaláboló az alábbi bemeneti jeleket képes összefogni:

- valamennyi alacsonyabb szintű SONET és SDH jel,
- PDH jelek a 2 Mbit/s – 140 Mbit/s sebességtartományban (kivéve a 8 Mbit/s sebességű E2-t),
- ATM (lásd lejjebb) cellafolyam 155 Mbit/s vagy 622 Mbit/s sebességgel,
- IP hálózatok jelei.

Egy SONET vagy SDH berendezés megrendelésekor a vásárló írja elő, hogy a fenti jelek valamint a 2.1.3. táblázat szerinti átviteli közeg által meghatározott szabványos csatlakozófelületek közül melyek legyenek a berendezés vonali kártyáiban megvalósítva.

A szinkron hierarchia hálózatok, hasonlóan a PDH-hoz, valós áramkör alapúak. Nyalábolnak, de nem kapcsolnak, viszont a hálózat erőforrásait a hálózatmenedzser átrendezheti

vezérelhető *digitális rendezővel* (Digital Cross Connect, DCC vagy DXC). A rendező hasonlatos egy kapcsolóhoz, azonban ezt nem az ügyfél, hanem a hálózatmenedzser vezérli, viszonylag ritkán, és nem csatornánként külön-külön, hanem általában sok csatornát egyszerre, kötegelve.

A szinkron hierarchia hálózatokban a jelfrissítő és nyaláboló szakaszok automatikus *védelmi kapcsolással* rendelkeznek, azaz hiba esetén önműködően egy tartalék adatútra kapcsolnak. Ezt a költséges megoldást a nagy nyalábolt csatornaszám indokolja, és az alkalmazott – PDH-nál jóval fejlettebb – technológia teszi lehetővé. Az SDH hálózatok topológiája – éppen a megbízhatóság növelése végett – legtöbbször kettős gyűrűk rendszere, míg a PDH esetében a pont-pont összeköttetések a jellemzőek.

### 2.1.2.2 Hullámhosszosztású optikai hálózatok

Az időosztásos szinkron hierarchia hálózatok (SONET, SDH) nem képesek a fényvezető szál sávzsélességét kihasználni az optikai jeladók modulációs sebességének felső korlátja miatt. A digitális gerinchálózatok sebességét tovább növelni ezért frekvenciaosztással lehet úgy, hogy egyetlen szál bemenetén az egyes optikai jeladók vivő frekvenciáját (más szóval a színét, hiszen többé-kevésbé látható fényről van szó) különböző értékre választjuk. Ezt az eljárást a fizikusok által megszokott gondolkodás szerint WDM-nek, azaz Wavelength Division Multiplexing-nek, hullámhosszosztású nyalábolásnak nevezik, illetve tíznél több hullámhossz felett DWDM-nek, azaz Dense Wavelength Division Multiplexing-nek, sűrű hullámhosszosztású nyalábolásnak hívják.

A fizikusok számára a hullámhossz használata azért célszerű, mert ez közvetlenül összevethető az anyagi méretekkel. A hálózatmérnöki gyakorlatban azonban szerencsésebb hullámhossz helyett frekvenciával számolni, ugyanis a Fourier-transzformáció eltolási tétele miatt a moduláció során nem változik a jel frekvenciában kifejezett sávzsélessége, így a nyalábolt jel sávzsélessége egyszerű szorzással számítható. Mivel a hullámhossz és a frekvencia egymásból számítható mennyiségek, ezért természetesen a WDM-nek és az FDM-nek ugyanaz a működési elve. Természetesen egy hullámhosszon belül további nyalábolás lehetséges, például TDM módon.

Érdekes megfigyelni, hogy a korai FDM rendszerek a legmodernebb WDM technikában visszaköszönnék. Ez is példa a „spirális fejlődésre”, amely arra int, hogy érdemes a korábbi technológiákat is tanulmányozni, hiszen azok alapelvei némileg más köntösben ugyan, de mégis gyakran visszatérnek.

Nézzünk egy rövid példát a DWDM adta lehetőségekre. Az SDH felső határa ma 10 Gbit/s, egy ilyen STM-64-es csatornán kb. 120 000 db. beszédcsatorna fér el. Ha 160 ilyen SDH csatornát hullámhosszosztással tovább nyalábolunk (1,6 Tbit/s), akkor egyetlen fényvezető szálon mintegy 20 millió beszédcsatornát vihetünk át! Természetesen az SDH és DWDM rendszereket nem kizárólag beszédátvitelre használják.

A technológia mai fejlettségi szintjén ipari termékként már hozzáférhető az 1,6 Tbit/s sebességű DWDM rendszer, sőt, a laboratóriumi kutatás már 100 Tbit/s-nál tart. Az elvi határ a fényvezető szál, mint közeg sávzsélességéből ered, amely mintegy 200 Tbit/s. A DWDM hálózatok kialakításához rendelkezésre állnak az *optikai rendezők* (Optical Cross Connect, OXC), melyek segítségével a különböző hullámhosszakokat lehet egymásra leképezni.

### 2.1.2.3 ATM hálózat

Az ATM (Asynchronous Transfer Mode, aszinkron átviteli mód) [Perros] csomagkapcsolt hálózati technológia, melyről az első ajánlást 1988-ban jelentette meg a CCITT. Az ATM csomagok hossza 53 bájtra rögzített, ezeket celláknak nevezik. Minden cellán belül az első 5 bájt a fejléct tartalmazza, így a hasznos átvitt információ 48 bájt. Az ATM hálózatokban a küldőnek és a fogadónak (vagy fogadóknak) először fel kell építeni egy kapcsolatot, utána következhet az adatcellák küldése és fogadása, végül a kapcsolatot le kell bontani. E kapcsolatokat az ATM-ben *látszólagos áramköröknek* (Virtual Circuit, VC) nevezzük. Lehetőség van több – legfeljebb 4096 darab – látszólagos áramkört összefogni egy úgynevezett látszólagos útvonallá (Virtual Path, VP). Ez a kétszintű hierarchia azt teszi lehetővé, hogy az azonos irányba menő látszólagos áramköröket hatékonyan egy egységként kezelhessük.

Ahogy már az adathálózatok kapcsán említettük, a látszólagos áramköri átvitel célja az, hogy a felhasználó úgy érezze, mintha egy közte és a célállomás között kiépített, minden mástól független adatcsatornát használna. Az ebből fakadó egyik fontos követelmény, hogy a végponttól végpontig tartó késleltetés ne ingadozzon az átvitel során. Éppen ezért az ATM hálózatokban rögzített és kicsi az adatcsomagok (azaz a cellák) mérete és egy kapcsolat során minden cella ugyanazon az útvonalon halad. Mindez persze önmagában nem elégséges a kis késleltetés biztosítására, így a hálózat egyéb, a minőséget garantáló eljárásokat is alkalmaz. Az ATM hálózatok felépítése hasonlít az X.25 és kerettovábbítás hálózatokéhoz, hiszen azok is csomagkapcsolt és látszólagos áramkör alapúak. Nagyon fontos különbség azonban, hogy az ATM-ben már nincsen csomópontonkénti hibaellenőrzés, hiszen az alkalmazott fényvezető technológia már nagyságrendekkel kisebb hibaarányú átvitelt biztosít, mint az X.25 és a kerettovábbítás idejében alkalmazott fémvezetős megoldások.

ATM hálózatokban két mód van a látszólagos áramkörök felépítésére. Az egyik esetben a hálózat üzemeltetője a kapcsolókat közvetlenül programozva hoz létre permanens látszólagos áramköröket, ezeket nevezik angolul PVC-knek (Permanent Virtual Circuit). A másik esetben a VC-k dinamikusan épülnek fel és bomlanak le, egy ún. hívás alapján, hasonlóan a távbeszélő-hálózatok hívásfelépítéséhez. Az így kialakult VC-k az SVC-k (Switched Virtual Circuit, kapcsolt látszólagos áramkör). Az SVC-k alkalmazása az ATM specifikációjának része, sőt a gyártott eszközök is támogatják, azonban a használatuk mindezülig nem terjedt el. A VP-k kapcsolását még az ajánlások sem támogatják, azokat kizárólag a hálózatmenedzser állíthatja manuálisan.

Az ATM-ben a sebességnek és a távolságnak megfelelően különböző fizikai közegeket használhatnak, mely lehet szimmetrikus-, koaxiális- vagy fényvezeték, illetve rádiós közeg. Szintén többféle szabvány szerinti keretezéssel és kódolással adhatnak és vehetnek vonali jeleket az ATM berendezések:

- nyers ATM cellákat 25 Mbit/s vagy 155 Mbit/s sebességgel,
- n-64 kbit/s-tól 2,5 Gbit/s-ig minden PDH , SONET és SDH csatlakozófelületen,
- 25 Mbit/s LAN és 100 Mbit/s FDDI (lásd a következő alfejezetben) hálózati csatlakozófelületeken,
- ADSL (lásd alább) alkalmazásra kidolgozott felületeken;
- földfelszíni rádiós és műholdas rádiós átvitelre kidolgozott keretezéssel és kódolással.

Az ATM berendezés megrendeléskor a vásárló határozza meg, hogy a szabványos csatlakozófelületek közül melyeket támogassák a berendezés vonali kártyái.

Egy ATM hálózat végberendezésekből, ATM rendezőkből és a közöttük lévő útszakaszokból áll. A rendezők biztosítják a forgalomirányítást, és amennyiben a hozzájuk csatlakozó szakaszok sebessége nem azonos, akkor nyalábolást, illetve bontást is végeznek. Minden ATM eszköz (rendező vagy végberendezés) a hozzá csatlakozó útszakaszokon a szakaszra jellemző maximális sebességgel bocsátja ki a cellákat. Amennyiben az eszköz éppen nem kíván információt továbbítani, akkor is bocsát ki cellát a szomszédos berendezések szinkronja érdekében. Ezekben a jelszűnetekben olyan, úgynevezett üres cellákat iktat be, amelyek nem tartalmaznak hasznos információt.

A nyalábolás ezek után természetesen úgy történik, hogy a rendező a bemeneti jelfolyamokból törli az üres cellákat, és a hasznos cellákat átmásolja a kimeneti szakaszra, majd, ha még szükséges, üres cellákat szűr be. Amiatt, hogy a szakaszok kapacitása nincsen mindig teljes mértékben kihasználva, lehetőség van arra, hogy a nyalábolás során a kimeneti szakasz kapacitása kisebb legyen, mint a bemeneti kapacitások összege. Ezt nevezzük statisztikus nyalábolásnak (angolul statistical multiplexing). Természetesen, ha a bejövő cellák összesebessége nagyobb, mint a kimeneti sebesség akkor a cellák elveszhetnek. Ez ellen a kellemetlen mellékhatás ellen többféleképpen lehet védekezni: egyrészt ha ez a helyzet nem tartós, akkor egy megfelelő méretű pufferben eltárolhatjuk a többlet cellákat a kimeneti szakasz felszabadulásáig. A másik fontos lehetőség, hogy az adatfolyamok várható statisztikus paramétereinek figyelembevételével megfelelően kell méretezni a kimeneti szakaszt és az alkalmazott tárolót, így a cella vesztésének esélye, ha nem is lesz nulla, de legalább egy elfogadható szint alá csökkenthető. Ugyanez fordítva is működik, azaz lehetséges a bemeneti forgalom korlátozása is a torlódás elkerülése végett.

Végezetül az ATM hálózatokkal kapcsolatban fontos megemlíteni a garantált szolgáltatásminőség (Quality of Service, QoS) támogatását. Ez azt jelenti, hogy bár a hálózat csomagkapcsolt és statisztikus nyalábolást is alkalmaz, mégis tartalmaz olyan elemeket, amelyek segítségével garantálni lehet a cellák célba juttatásának statisztikus paramétereit, így például a késleltetésnek és a késleltetés ingadozásának a mértékét, a cella elvesztésének a valószínűségét. Ez azért is olyan nagy jelentőségű, mert például a TCP/IP (lásd 2.2 alfejezet) hálózatokban ez még ma sem teljesen megoldott kérdés.

A QoS támogatás teszi képpé az ATM-et a látszólagos magánhálózatok (Virtual Private Network, VPN) kialakítására. A VPN egy olyan szolgáltatás, amelyben a felhasználók úgy érzékelik, hogy egy saját hálózatuk van, amely azonban egy meglévő, nagyobb hálózat infrastruktúráját felhasználva került kiépítésre. Ebben az esetben a garantált sávszélességen túl követelmény az adatbiztonság is, illetve az, hogy a látszólagos magánhálózatba a hálózat többi részéből csak korlátozottan küldhessenek adatokat, és fordítva, a VPN-ből kifelé is felügyelt legyen az adatáramlás. Az ATM hálózatokban látszólagos magánhálózatokat a látszólagos áramkörök segítségével viszonylag egyszerűen létre lehet hozni.

#### **2.1.2.4 B-ISDN hálózatok**

Az 1980-as évek végén merült fel a CCITT-ben az ISDN továbbfejlesztésének a kérdése. Az a keskenysávú (Narrowband) N-ISDN utódjának tervezett hálózatot B-ISDN-nek (Broadband ISDN, szélessávú ISDN) nevezték el. Olyan architektúrát képzeltek el, amelynek hozzáférési

sebessége nagyobb, mint az első PDH szint sebessége, azaz Európában nagyobb, mint 2 Mbit/s.

A koncepció megfogalmazásakor úgy gondolták, hogy a B-ISDN hálózat az N-ISDN-ben kialakult szolgáltatásfilozófia és jelzésrendszer továbbfejlesztésével, és az ATM technológiára alapulva valósul majd meg. Természetesen ez a koncepció visszahatott az ATM tervezésére is. Azért lett például ilyen kicsi a cella mérete (53 bájt), hogy a beszédátvitelt gazdaságosan és kis késleltetéssel lehessen megvalósítani. A rögzített cellaméret mellett pedig azért döntöttek, hogy egyrészt a kapcsolás egyszerűen, és így a korabeli eszközökkel is nagy sebességgel kivitelezhető legyen, másrészt pedig a késleltetés ne ingadozzon.

A technológia fejlődése 1988-tól mostanáig azonban nem úgy alakult, ahogy azt annak idején az ATM tervezői elképzelték. Az 1980-as és 1990-es évekre a távközlő és számítógép-hálózati technológiák tömeges új megjelenése volt jellemző, ennek oka javarészt a mikroprocesszorok gyors fejlődése és az üvegszálás átvitel elterjedése volt. Ahogy az várható is volt, az 1990-es évek végére, a 2000-es évek elejére ez a fejlődés kezdett letisztulni: a hálózati technológiák többsége visszaszorult, néhány viszont erős fejlődésnek indult. Többé-kevésbé a „vesztes” kategóriába tartozik az ATM és vele a B-ISDN koncepció is, és egyértelműen győztes az IP.

Ugyanakkor napjainkra nagyjából valóban megvalósultak, illetve a közeljövőben megvalósulnak majd azok a szolgáltatások, amelyekre az ATM-et kitalálták, azaz például a végfelhasználókig eljutó, egyetlen hálózaton történő hang- mozgókép- és nagysebességű adatátvitel. Mindehhez a műszaki alapot azonban nem a távközlő hálózatokból kialakult ATM nyújtja, hanem a számítógép hálózatokból kifejlődött IP architektúra. Ennek legfőbb oka pedig az, hogy a közelmúltban az IP eszközök nagyon gyors fejlődésnek indultak, különösen az átviteli sebesség tekintetében volt lenyűgöző, és az ATM-et felülmúló ez a haladás. Így tehát a korábbi tervekkel ellentétben az ATM hálózatra nem fejlesztettek ki alkalmazásokat, de nem is tűnt el teljesen, hanem – köszönhetően jó menedzselhetőségének – mint IP hálózatot vagy keskenysávú távközlő hálózatot hordozó megoldás terjedt el a gerinchálózatokban és újabban az ADSL (lásd alább) hozzáférői hálózatokban, különösen Európában. A közeljövőben ezeken felül új szerep is vár az ATM-re, hiszen az UMTS hálózatok (lásd a 2.3.1 alfejezetben) vezetékes részének az infrastruktúráját ATM-mel fogják biztosítani az UMTS első időszakában. Mindez tehát azt jelenti, hogy bár az ATM-et használják, a hívás és ezáltal a kapcsolt virtuális utak felépítése csak elvi lehetőség maradt.

### **2.1.2.5 Kerettovábbítás**

A kerettovábbítás (Frame Relay, FR) az ATM és X.25 hálózatokhoz hasonlóan látszólagos áramkör alapú csomagkapcsolt adatátviteli hálózat. A felhasználók legtöbbször a bérelt vonalakhoz valamelyest hasonlóan látszólagos áramköröket, azaz adatsatornákat bérelnék a szolgáltatótól, bár a kerettovábbítást használhatják kapcsolt adathálózatokban a gerinchálózat megvalósítására is. A bérelt vonalaktól eltérően azonban itt egy csomagkapcsolt hálózat biztosítja a szolgáltatás műszaki hátterét, amely jobban illeszkedik a számítógép-hálózatok forgalmi igényeihez, így lényegesen gazdaságosabban megvalósítható az átvitel. Ez a hálózattípus különösen Amerikában terjedt el, hozzáférési sebessége 1,5 – 45 Mbit/s. Az ATM-hez hasonlóan itt is lehetőség van a látszólagos magánhálózatok kialakítására.

A kerettovábbítás technológiai és fejlődési szempontból az X.25 és az ATM között helyezkedik el. A látszólagos áramkör alapú hálózatok történeti fejlődése során az X.25-től a



kerettovábbításon át az ATM-ig egyre jobb lett a fizikai átviteli közeg minősége, és egyre nagyobb lett a sebessége, így egyre kevesebb hibaészlelési és hibajavítási mechanizmust kellett beépíteni a csomópontokba. A csomópontok feladatai így egyre szűkültek, ezért egyre nőtt a hálózati csomópontok sebessége is és csökkent a hálózat késleltetése, és ennek eredményeképpen nőtt az eredő átviteli sebesség. A kerettovábbítás esetében még van csomópontonkénti hibaellenőrzés, amely során a hibás kereteket a rendszer egyszerűen eldobja.

#### **2.1.2.6 DTM**

A DTM (Dynamic Synchronous Transfer Mode, dinamikus szinkron átviteli mód) hálózatokat sok szempontból hasonló céllal tervezték, mint az ATM hálózatokat. A mérnökök ebben az esetben is egy olyan hálózatot kívántak létrehozni, amely nagy sávszélességet kínál garantált minőségű szolgáltatással. Szintén közös vonás, hogy a tervek szerint a munkaállomások közvetlenül a DTM hálózathoz csatlakoztak volna, és DTM-et használó alkalmazásokat futtatnak. Ugyanakkor már a kezdetektől fogva lehetőséget kívántak teremteni arra, hogy a DTM az IP hordozó hálózatoként működjön, azaz az IP csomagok átvitelére DTM felett.

A DTM fejlesztői az áramkörkapcsolt, illetve a csomagkapcsolt technológiákat kívánták a DTM-ben ötvözni, úgy, hogy mindkét koncepciónak az előnyösebb tulajdonságait tartsák meg. A csomagkapcsolás legnagyobb előnye a hálózat hatékony kihasználása, hiszen amíg az egyik állomás éppen nem generál csomagokat, addig a többi által generált csomagok elfoglalhatják a teljes hálózatot. Áramkörkapcsolt esetben nem ez a helyzet, hiszen ott egy csatornához fixen hozzá vannak rendelve az erőforrások, és ezeket akkor sem használhatja ideiglenesen egy másik állomás, ha a csatornához rendelt csomópont éppen nem kíván adatot forgalmazni. Ugyanakkor cserébe az áramkörkapcsolt hálózatok garantált késleltetést és praktikusán nulla adatvesztést biztosítanak a csatornához előre meghatározott sávszélességgel.

A DTM az ún. gyors vagy más néven dinamikus áramkörkapcsolási technológiát alkalmazza, amelyben az áramkörkapcsolás előnyeit megtartva a csomagkapcsolás hatékonyságát a kapcsolatok dinamikus kezelésével kívánják elérni. Ezt egy olyan időosztásos (TDM) rendszerrel valósítják meg, amelyben a kapcsolatokat dinamikusán lehet felépíteni és lebontani, illetve a sávszélességüket változtatni a kapcsolat bontása nélkül. Ez utóbbi úgy valósítható meg, hogy kezdetben elosztják az állomások között a sávszélességet, majd az állomások menet közben, amennyiben éppen szükségük és lehetőségük van rá, kérhetnek egymástól időréseket, azaz sávszélességet. Szintén fontos tulajdonsága a DTM rendszernek, hogy pl. az ATM-mel ellentétben nem pont-pont összeköttetéseket használ, hanem többszörös hozzáférésű közegeket, amelynek azonban a topológiája sokféle lehet, például gyűrű, kettős gyűrű vagy kettős sín. A közegehez elosztott algoritmus biztosítja az igazságos hozzáférést.

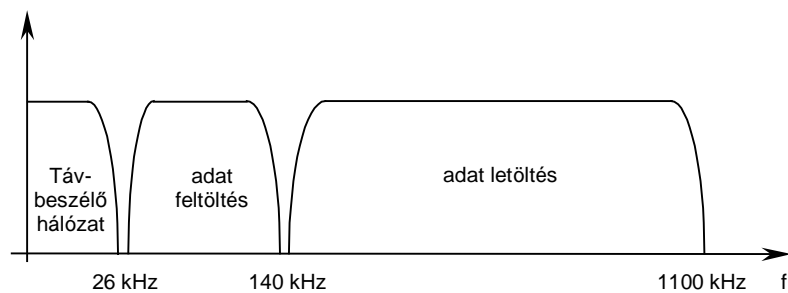
Egy (hálózati) technológia sikere nagyon sok tényezőtől függ, melyek közül a technológia műszaki kiforrottsága csak egy tényező, gyakran nem is a legfontosabb. Ez igaz a DTM-re is, amely perspektivikus tulajdonságai és létező implementációi ellenére még annyira sem terjedt el a gyakorlatban, mint az ATM.

#### **2.1.2.7 ADSL**

A lakossági felhasználókig elérő vezetékes hálózatok legköltségesebb része az előfizetői hurok, azaz a felhasználó otthonától az első központig tartó szakasz. Nem is a néhány kilométer szélessávú vezeték – akár fénykábel – kerül sokba, hanem ezeknek az összes

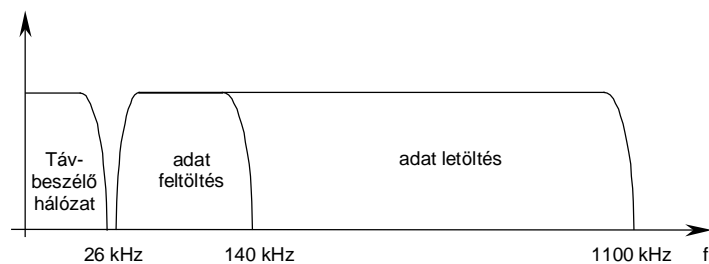
felhasználóig való eljuttatása, például az árkok ásása és az épületen belüli munkák. Éppen ezért, amíg csak lehet, célszerű nem kicserélni ezt a szakaszt. Szerencsére azonban a már amúgy is meglévő sodrott érpáras távbeszélő-vezetékek sávszélessége is meglehetősen nagy rövid távolságokon, így több olyan technológiát is kidolgoztak, amely ezt a sávszélességet ki is tudja használni.

Az egyik legelterjedtebb ilyen technológia neve ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line, aszimmetrikus digitális előfizetői vonal). Az ADSL alapötlete az, hogy a rendelkezésre álló sávszélességet három részre osztják a 2.1.2. ábrán látható módon FDM technológiával. A sáv egy részét megtartják a távbeszélő-szolgáltatás részére, amely ezáltal független lesz az adathálózattól. A fennmaradó sávszélességet pedig elosztják a központ, illetve az előfizető irányába folyó adatátvitel között. A két irány nem egyforma sávszélességet kap (innen az ADSL neve is), hiszen a felhasználók általában több adatot töltenek le a hálózatról, mint fel a hálózatra.



2.1.4. ábra. Frekvenciatartomány megosztása ADSL-nél

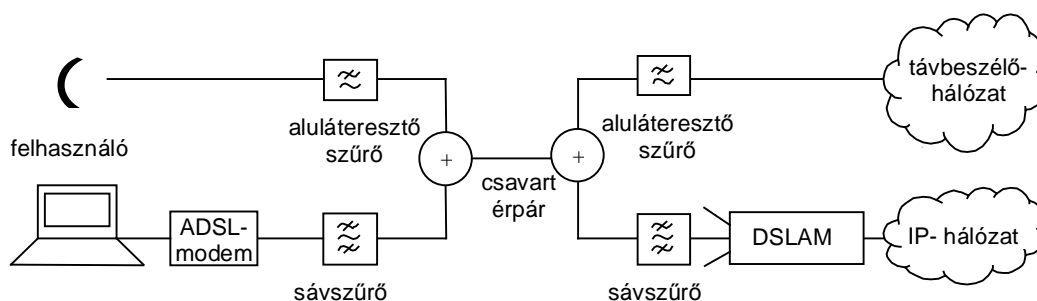
A 2.1.4. ábrán látható frekvencia értékek csak tájékoztató jellegűek, a sávok konkrét határa függ a használt modemek típusától, sőt az aktuális vonal minőségi paramétereitől is. A távbeszélő-hálózatnak fenntartott sáv szélessége is változik, aszerint, hogy analóg vagy 2B+D csatornás ISDN a távbeszélő-hálózat; az ábrán az analóg eset látható. Sőt, bizonyos esetekben arra is lehetőség van, hogy a fel- és letöltés sávjai átfedjék egymást, ebben az esetben a két különböző irányú jel szétválasztására ún. visszhangtörlőket alkalmaznak. Ezekről bővebben az 5.6 alfejezetben, a 2/4 huzalos átalakítás kapcsán írunk. Ez utóbbi esetben a feltöltés sávja változatlan az előzőekhez képest, azonban a letöltés lefedi a feltöltés sávját is a 2.1.5. ábrán bemutatott módon.



2.1.5. ábra. Frekvenciatartomány megosztása ADSL-nél, visszhangtörlőkkel

Az ADSL-ben a feltöltési sebessége 16 - 800 kbit/s lehet, a letöltésé pedig 0,1 - 8 Mbit/s. Az aktuális sebesség függ a sodrott érpár szakasz minőségétől és hosszától, de a szolgáltató is tovább korlátozhatja azt. Jelenleg hazánkban 64 kbit/s feltöltési és 384 kbit/s letöltési sebességet nyújtanak a szolgáltatók.

Az ADSL hálózatok felépítése a 2.1.6. ábrán látható:



2.1.6. ábra. Az ADSL hálózat bloksémája

Az ADSL-modem, mint végberendezésillesztő-egység és az IP hálózat végberendezése, a DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer, digitális előfizetői vonal hozzáférési nyálábóló) között ATM hálózat felett továbbítódnak az IP csomagok, azaz az ADSL-modem a hálózat felé ATM felületet mutat. A helyzetet egy kicsit tovább bonyolítja, hogy az ATM felett a PPP (Point-to-Point Protocol, pont-pont protokoll) adatkapcsolati protokollt használják, és csak a PPP-re épül az IP.

Az ábrán is jelezve van, de a nevéből is kiderül, hogy a DSLAM nyálábólást is végez, azaz egyszerre több ADSL modemmel is kapcsolatban áll. Az ADSL hálózatokban az adatátviteli út kikerüli a beszédkódolót, amely analóg esetben a távbeszélő-hálózat bemenetén, ISDN esetében pedig a távbeszélő-készülékben található.

## 2.2 Számítógép-hálózatok

Ebben az alfejezetben különböző vezetékess számítógép-hálózati technológiákat mutatunk be röviden. Bár e jegyzet a „Számítógép-hálózatok” című tantárgy ismeretére épít, mégis hasznosnak tartottuk kicsit feleleveníteni az ismereteket a diszciplináris rész könnyebb megértése érdekében. Természetesen most kissé más nézőpontból közelítjük meg a tématerületet, ráadásul olyan technológiákkal is foglalkozunk, amelyeket a „Számítógép-hálózatok” tárgy nem tartalmazott.

A számítógép-hálózatokkal foglalkozó könyvek, cikkek hagyományosan három kategóriába sorolják a hálózattípusokat azok kiterjedése szerint. A legkisebbek a LAN-ok (Local Area Network, helyi hálózat), a nagyobbak a MAN-ok (Metropolitan Area Network, nagyvárosi hálózat), és a legnagyobbakat nevezik WAN-oknak (Wide Area Network, nagy kiterjedésű hálózat). E felosztás szerint a helyi hálózatok kategóriájába tartozik például az Ethernet és a vezérjeles gyűrű (Token Ring), nagyvárosi hálózattípus az FDDI, a DQDB, az SMDS vagy a DTM, és WAN például az MPLS.

Mára azonban az Internet lett „a” számítógép-hálózat, és szinte az összes számítógép-hálózat ennek egy részeként fogható fel. Ebben a megközelítésben is jellemzően három fő típust különböztethetünk meg: a helyi hálózatokat, a hozzáférési hálózatokat, és a gerinchálózatokat – bár természetesen e felosztás alól is van kivétel. A *helyi hálózatok* a hagyományos értelemben vett LAN-okkal egyeznek meg, azzal a kiegészítéssel, hogy a felsőbb hálózati rétegekben a TCP/IP szerepel, és egy átjárón keresztül csatlakoznak az Internethez. Az Internetes *gerinchálózatokra* a nagy sáv szélességű kapcsolatok a jellemzőek, a csomópontok pedig speciálisan e célra tervezett, nagy teljesítményű IP útválasztók. Mivel nem csak a

sebesség, hanem az áthidalt távolság is nagy, ezért az Internetes gerinchálózatok a WAN kategóriába esnek. A *hozzáférési hálózatok* a legváltozatosabbak, közös jellemzőjük, hogy a helyi és a gerinchálózatok között találhatók – elképzelhető azonban az is, hogy egy helyi hálózat helyett csak egyetlen számítógép kapcsolódik a hozzáférési hálózathoz. A hozzáférési hálózatok gyakran MAN technológiákat alkalmaznak, de ez alól is sok kivétel van.

A továbbiakban ismertetett hálózattípusok két csoportba sorolhatók. Az első csoportba azok a számítógép-hálózatok tartoznak, amelyeket bár nem kizárólag, de napjainkban elsősorban az IP hordozó hálózatoként használnak. Ezt a csoportot két részben tárgyaljuk (LAN és MAN) a jellemző méretük szerint. A második csoportba a klasszikus TCP/IP hálózatok és azok különböző irányú – ám egymással legtöbbször mégsem inkompatibilis – továbbfejlesztései tartoznak.

### **2.2.1 Helyi hálózatok**

A helyi hálózatok, avagy LAN-ok jellemzője, hogy közvetlenül a végfelhasználók gépeit kötik össze egymással és esetleg további hálózatokkal. Tipikusan egy vállalat vagy intézet gépeit szokás egy helyi hálózatba kötni, sőt, nagyobb cégek, egyetemek esetén gyakran több, egymással összekötött LAN-t alakítanak ki. Az információ-technológia fejlődésével a helyi hálózatok napjainkban már fel-feltűnnek a háztartásokon belül is.

A helyi hálózatok legfontosabb jellemzője tehát a kis áthidalt távolság, ami általában néhányszor tíz, néhányszor száz métert jelent, de szinte mindig egy-két kilométeren belül marad.

#### **2.2.1.1 Ethernet**

Az Ethernet az egyik legkorábbi helyi hálózati technológia, amely hamar szinte egyeduralmukodóvá vált a vezetékes LAN-ok között, és folyamatos megújulásának köszönhetően sikerült napjainkig is megtartani ezt a pozícióját.

Az Ethernet eredetileg osztott, többszörös hozzáférésű közeggel dolgozik, melyhez hozzáférési módszerként a CSMA/CD-t (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, vivőjel-érzékeléses többszörös hozzáférés ütközésérzékeléssel) használja. E módszer lényege, hogy egy állomás egyből elkezdhet adni, amikor van elküldendő információja, az egyetlen feltétel, hogy meg kell bizonyosodnia arról, hogy a vonalon éppen senki nem ad. Amennyiben egyszerre ketten (vagy többen) kezdenének adni, akkor ún. ütközés lép fel, amely az interferencia miatt az összes kiküldött jelet tönkretesz. Ebben az esetben minden adó megszakítja az adását, várnak egy véletlenszerűen meghatározott ideig, majd újra próbálkoznak. Bár ez a módszer elvileg semmiféle felső korlátot nem nyújt a sikeres adás idejére vonatkozólag, a gyakorlatban mégis jól bevált.

Az Ethernet által használt kábelezési technológia többször is változott az idők folyamán. Az első kábeltípus az úgynevezett vastag Ethernet, amely egy vastag, legtöbbször sárga koaxiális kábel. A kábelhez való hozzáférés ún. vámpír-csatlakozással történik, azaz a kábelt egyszerűen megfúrják, hogy elérjék a közepén lévő fémvezetéket. A kábelhez közvetlenül egy adó-vevő (transceiver) csatlakozik, ezen keresztül éri el a hálózatot a csomópont hálózati kártyája. Az ún. vékony Ethernet technológia is koaxiális kábel alapú, azonban itt a kábel vékonyabb, flexibilisebb. A csatlakozás a megbízhatóbb szabványos BNC csatlakozós T-dugókkal történik. A legújabb, réz alapú kábelezés sodrott érpárat használ. Ebben

megváltozik a hálózat alakja is: az eddigi sín topológiától eltérően, sodrott érpár esetén csillag formájú lesz a hálózat, ahol is a csillagpontban egy elosztó (angolul hub) található. A fémvezetékes megoldásokon túl lehetőség van az optikai közeg használatára is, azonban ez csak ritkán, főleg nagytávolságú összeköttéseknél célszerű választás.

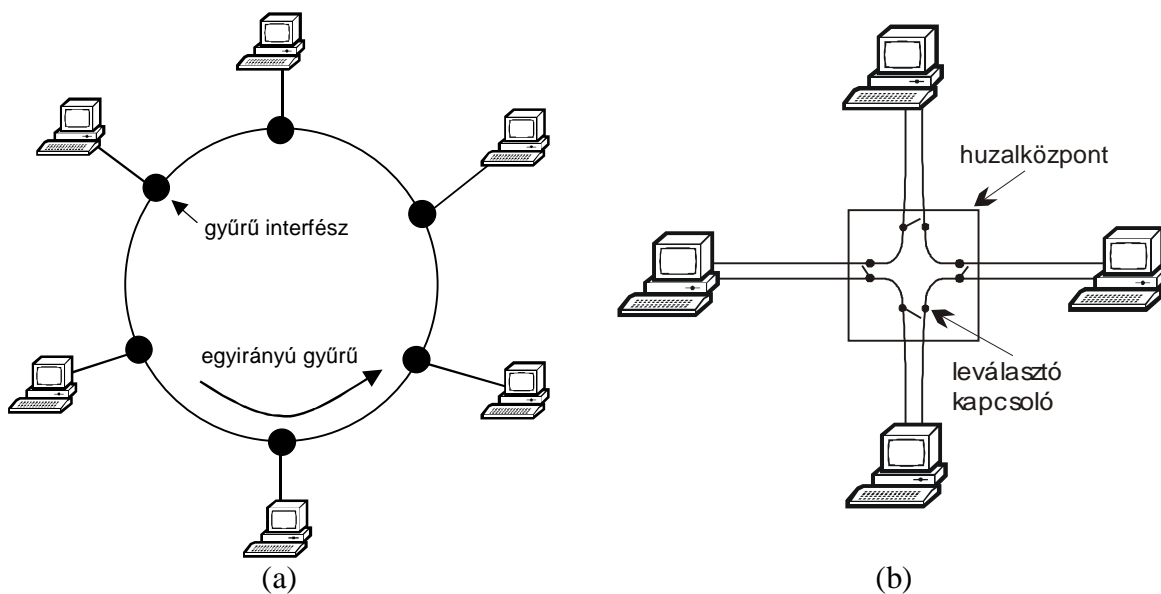
A hordozóközeggel együtt változott az átviteli sebesség is. A koaxiális kábeleket használó klasszikus Ethernet esetében az elvi maximális adatátviteli sebesség 10 Mbit/s volt, a sodrott érpárt használó ún. Gyors Ethernet (Fast Ethernet) hálózatokban a maximum 100 Mbit/s-ra nőtt. Vannak azonban olyan hálózati elemek, amelyek ez utóbbi kábelezési módot használják, de továbbra is csak 10 Mbit/s sebességgel működnek, a legtöbb eszköz azonban mind 10, mind 100 Mbit/s sebességet képes használni. Az Ethernet időtálló technológiának bizonyult, ezt mutatja az is, hogy nemrégiben megjelentek az 1 Gbit/s és a 10 Gbit/s sebességű, Gigabit Ethernet, illetve 10 Gigabit Ethernet nevű hálózatok is. Ezek a hálózatok üvegszálal összeköttetéseket használva már nagy távolságokat is képesek áthidalni, azaz a Gigabit és a 10 Gigabit Ethernet hálózatok átlélik a helyi hálózatok határait, és MAN, illetve WAN célokra is használhatóak. E technológia elterjedtségére példaként megemlítjük, hogy a Műegyetem hálózati infrastruktúráját korábban az FDDI, majd 100 Mbit/s Ethernet, illetve ATM összeköttetések adták, azonban mára a gerinchálózatot a gyorsabb Gigabit Ethernetre cserélték.

### **2.2.1.2 Vezérjeles sín és gyűrű**

Bár az irodákban az Ethernet kétségtelenül jól bevált, ipari alkalmazásokban azonban nem célszerű használni, mert a közeghozzáférési algoritmus nem nyújt felső korlátot arra, hogy egy állomás mikor fogja tudni elküldeni az adatait. E probléma megoldására fejlesztették ki az úgynevezett vezérjelet (angolul token) használó hálózatokat.

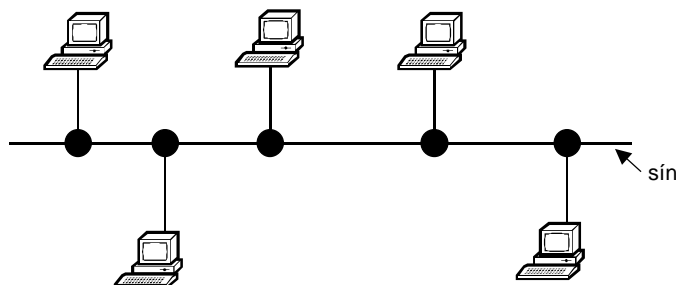
E hálózatok elsősorban a közeghozzáférési módszerben különböznek az Ethernettől és a többi CSMA elven működő hálózattól. A vezérjeles rendszerekben ugyanis egy állomás csak akkor adhat, ha éppen nála van a vezérjel, így nem fordulhat elő ütközés. A kiéheztetést pedig úgy kerülik el, hogy minden állomás csak egy korlátos ideig tarthatja magánál a vezérjelet, amelyet legkésőbb ez idő letelte után tovább kell adnia a soron következő állomásnak.

A két leginkább elterjedt ilyen típusú, fémvezetőt használó helyi hálózat a vezérjeles gyűrű (Token Ring) és a vezérjeles sín (Token Bus). A *vezérjeles gyűrű* esetében az állomások egy gyűrűre felfűzve helyezkednek el (2.2.1 (a) ábra). A vezérjel átadásakor használt sorrendjét a fizikai topológia határozza meg: minden állomás a mellette lévőnek adja tovább a vezérjelet. A gyűrű struktúrájának azonban megvan az a veszélye, hogy egy állomás vagy kapcsolat meghibásodása esetén a gyűrű szétszakadhat és így a hálózat működésképtelenné válhat. E problémára jelenthet megoldást egy úgynevezett huzalközpont beiktatása, ahová minden állomástól két csavart érpárt használó vezeték fut be. E huzalközpont belső felépítése olyan, hogy biztosítja a gyűrű topológiát, azonban lehetővé teszi egy esetlegesen meghibásodott állomás egyszerű leválasztását. Így bár továbbra is egy gyűrűvel dolgozunk, a topológia tulajdonképpen egy csillagra emlékeztet. Ezt nevezik csillag alakú gyűrűnek (2.2.1 (b) ábra).



2.2.1. ábra. Vezérjeles gyűrű:  
 (a) gyűrű topológia  
 (b) csillag alakú gyűrű

A vezérjeles sín adatszórásos sín vagy fa topológiát használ (2.2.2. ábra). Valójában azonban a vezérjeles sín is logikai gyűrűbe szervezi az állomásait, azaz minden állomáshoz kijelölnek egy szomszédot, amelynek majd átadja a vezérjelet. Mivel itt osztott közeget használnak, azaz egy állomás adása minden állomáshoz eljut, ezért a logikai szomszédok elhelyezkedése tetszőleges, azoknak nem kell fizikailag is szomszédosaknak lenniük.



2.2.2. ábra. Vezérjeles sín

A vezérjeles sín adatsebessége 1, 5 vagy 10 Mbit/s lehet, a vezérjeles gyűrűé pedig 1, 4 vagy 16 Mbit/s. Az CSMA hálózatokkal ellentétben azonban a vezérjeles hálózatok esetében a terhelt hálózat hasznos adatátviteli sebessége majdnem 100%-a lehet a névleges átviteli sebességnek.

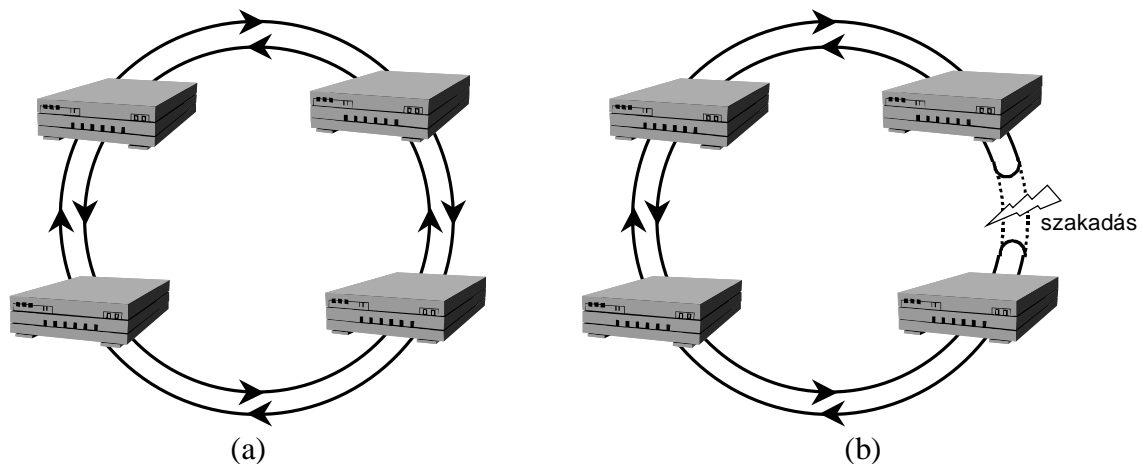
### 2.2.2. Nagyvárosi hálózatok

A nagyvárosi hálózatok, azaz a MAN-ok által áthidalható távolság elérheti a 100 km-es nagyságrendet. Bár legtöbbször önálló technológiának szánták ezeket, az Internet terjedésével vagy átalakultak az IP hordozóhálózatává, vagy teljesen eltűntek.

### 2.2.2.1 FDDI

Ahogy a nevéből is látszik, az FDDI-t (Fiber Distributed Data Interface, fényszállal szétosztott adat-határfelület) a fényszálas közeg alkalmazására fejlesztették ki. A hálózat névleges átviteli sebessége 100 Mbit/s és maximális kiterjedése 200 km, amelyet a fényszál kedvező tulajdonságainak köszönhet. Az FDDI megjelenésekor a 10 Mbit/s sebességű vékony és vastag Ethernet volt a legelterjedtebb LAN technológia, így sebessége igen nagyra számított. Bár az FDDI-t is helyi hálózatnak szánták, nagy bonyolultsága és magas ára miatt nem tudott erre a piacra betörni. Azonban az – akkori szemmel – impozáns sebessége és a vele áthidalható nagy távolság miatt gyakran alkalmazták nagyvárosi gerinchálózatnak. Példaként megemlíthetjük, hogy egy FDDI gyűrű biztosította az első nagy sebességű összeköttetést Budapest néhány egyeteme között, amelyek közé a Műegyetem is tartozik, sőt, ez a gyűrű a mai napig (2003. eleje) is üzemel.

Az FDDI két koncentrikus gyűrűt használ, melyek közül az egyikben az egyik irányba áramlanak az adatok, a másikon a másik irányba (2.2.3. (a) ábra). Amennyiben az egyik gyűrű meghibásodna, akkor a teljes adatátvitel a másik gyűrűben folytatódik. Ha pedig mindkét gyűrű megsérül ugyanazon a helyen (például egy helyen elszakítják a kábeleket), akkor lehetőség van a két gyűrű összekapcsolására a hibától balra és jobbra, így létrehozva egyetlen, körülbelül kétszer akkora gyűrűt (2.2.3. (b) ábra).



2.2.3. ábra. FDDI topológia:  
(a) normál topológia  
(b) szakadás mindkét gyűrűben ugyanazon a helyen

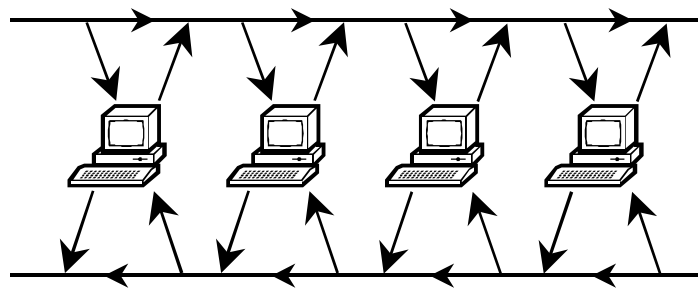
Az FDDI közeghozzáférési protokollja hasonló a vezérjeles gyűrű protokolljához, így itt is garantált a közeghez való hozzájutás ideje és biztosított a sávszélesség jó kihasználása. E hálózati technológia továbbfejlesztése az FDDI-II, amely az aszinkron adatátvitelen túl lehetőséget biztosít arra, hogy a sávszélesség egy részét szinkron, PCM kódolású hangátvitelre használják. A rendelkezésre álló 100 Mbit/s-on maximálisan 1536 PCM csatorna vihető át.

### 2.2.2.2 DQDB

A DQDB (Distributed Queue Dual Bus, kettős sín elosztott várakozási sorral) hálózatokat MAN-nak, azaz nagyvárosi hálózatnak szánták. Emiatt fontos jellemzője, hogy több száz állomás csatlakoztatható hozzá, a kiterjedése 100 km-nél is nagyobb lehet, továbbá a maga

idejében nagyon számított a maximális adatátviteli sebessége, amely az először 45 Mbit/s volt, később 155 Mbit/s lett.

A hálózat nevéből a működésének két legfontosabb tulajdonságára következtethetünk. Egyrészt a kettős sín topológiára, ahol – némileg hasonlóan az FDDI-hoz – az egyik sínen az egyik irányba haladnak az adatok, a másikon a másik irányba (2.2.4. ábra). Éppen ezért az állomásoknak tudniuk kell, hogy az általuk küldött adatok célállomása tőlük melyik irányban található. A másik fontos jellemzője a DQDB hálózatoknak egy ügyes algoritmus, amelyik az állomások között egy elosztott FIFO rendszerű várakozási sort valósít meg. Ezzel egy olyan közegehozzáférési eljárást hoznak létre, ahol minden állomás egyforma eséllyel indul, és ahol minden csomag pontosan akkor kerülhet a hálózatra, ha már az összes olyan csomag elküldésre került, amelyik a kérdéses csomagnál régebb óta várakozik. Mindebben az a kihívás, hogy e képzeletbeli várakozási sor megvalósítása elosztottan, azaz bármiféle központi entitás nélkül történik.



2.2.4. ábra. DQDB topológia

### 2.2.2.3 SMDS

Az SMDS (Switched Multimegabit Data Service, kapcsolt, több megabites adatátviteli szolgáltatás) szolgáltatást helyi hálózatok összekapcsolására fejlesztették ki az 1990-es évek elején [Minoli]. A cél tehát a LAN-ok összekapcsolása MAN, illetve WAN segítségével, melyhez az SMDS egy szabványos felületet nyújt. Maximális adatátviteli sebessége kezdetben 45 Mbit/s volt, később ez 155 Mbit/s-ra nőtt. Csomag alapú, kapcsolt szolgáltatásról van szó, amely például a DQDB-vel ellentétben lehetővé teszi egy világméretű hálózat kialakítását is. Amíg ugyanis a DQDB esetében egyetlen szegmens jelent egy hálózatot, addig az SMDS-nél kapcsolók segítségével tetszőlegesen sok szegmensen felhasználhatunk egy hálózat kiépítéséhez.

Az SMDS összeköttetés nélküli szolgáltatást kínál, ellentétben például a keretvábbítással. Itt tehát nincs szükség semmiféle előzetes kapcsolatfelépítésre, ha az egyik végpont adatot kíván küldeni egy másiknak. A szolgáltatás nem megbízható, azaz a hibák detektálása és javítása az SMDS felhasználóra van bízva. Bár az SMDS számítógép-hálózat, a távközlő hálózatokból fejlődött ki, amire legjobb illusztráció, hogy az SMDS címek tulajdonképpen kettes számrendszerben kódolt telefonszámok. Az SMDS technológia lehetővé teszi a többesadást (multicast), illetve a látszólagos magánhálózatok (Virtual Private Network, VPN) kialakítását is.

### 2.2.3 A TCP/IP hálózatok

Akárcsak távközlő hálózatok esetében, a számítógép-hálózatokra is jellemző, hogy az 1980-as, és '90-es években gombamód szaporodtak az új technológiák, amelyek közül



azonban az ezredfordulóra csak néhány maradt életben. Az egyértelmű győztes a TCP/IP, ezen kívül szinte csak azok a technológiák terjedtek el, amelyek hatékonyan képesek együttműködni e protokollcsaláddal.

A TCP/IP hálózatokon alapszik az Internet működése, így jelentőségük a mai számítógép-hálózatok között óriási. Mivel az Internet infrastruktúrája roppant változatos, ezért a TCP/IP protokollcsalád is rendkívül összetett, így e jegyzetben csak egy rövid áttekintésre, illetve a főbb továbbfejlesztések (IP QoS, MPLS, VoIP) ismertetésére szorítkozhatunk.

### 2.2.3.1 A TCP/IP protokollcsalád

A különböző hálózati protokollok egymáshoz képesti elhelyezkedését a legszemléletesebben a jól ismert hétszintű OSI hivatkozási modellel lehet bemutatni. Bár a gyakorlatban elterjedt protokollok nem teljesen illeszkednek ehhez a modellhez, ebben az esetben a szemléltetésre azért megfelelő lesz. A TCP/IP néven ismert protokollcsalád több protokollt tartalmaz, melyek együttesen biztosítják az Internet működését. Az ilyen protokollt használó hálózatokat TCP/IP alapúnak, vagy egyszerűen csak IP alapúnak szokták nevezni.

A TCP/IP protokollrendszer működése különbözik az összeköttetések típusától függően. Pont-pont összeköttetések esetén külön protokollok vannak definiálva a TCP/IP protokollrendszeren belül az adatkapcsolati réteg feladatainak az elvégzésére, míg az ennél bonyolultabb esetekben külön hálózat (pl. Ethernet) biztosítja a többpont-többpont kommunikációt. A pont-pont esetben két protokoll is létezik: az egyik a SLIP (Serial Line Internet Protocol, soros vonal Internet protokoll) [RFC1055], a másik a 2.1 alfejezetben az ADSL kapcsán már említett PPP (Point-to-Point Protocol, pont-pont protokoll) [RFC1661]. A kettő közül a SLIP volt a korábbi protokoll, amelyet ma már gyakorlatilag teljesen felváltott a fejlettebb PPP. A PPP tipikus alkalmazási területei az egymástól távoli útválasztók összekapcsolása, illetve az otthoni számítógépek modemen át az Internetre való kapcsolódásának biztosítása.

A TCP/IP család protokolljai közül az IP (Internet Protocol, Internet protokoll) felelős az OSI szerinti hálózati rétegbeli feladatai közül a címzésért és a forgalomirányításért, melyeket összeköttetésmentes szolgáltatással biztosít. Az IP-nek több verziója is létezik, jelenleg a legelterjedtebb a 4-es (IPv4), de hamarosan várható a fejlettebb IPv6 elterjedése is.

A szállítási rétegben több különböző protokoll is használható, melyek közül a két leggyakrabban használt a TCP és az UDP.

A TCP (Transmission Control Protocol, átvitelvezérlő protokoll) egyik legfontosabb funkciója egy bájtfolyam megbízható átvitelének biztosítása az egyébként nem megbízható IP felett. Ez azt jelenti, hogy a magasabb rétegekből érkező folyamat csomagokra tördeli, és e csomagok sorszámozásával, nyugtázásával és szükség szerint azok újraküldésével biztosítja, hogy minden adatsomag megérkezzen a célállomásra. Itt a TCP a beérkezett csomagokat újra sorrendbe rakja (ugyanis az IP a helyes megérkezési sorrendet sem garantálja), majd összeállítja azokat az eredetivel megegyező bájtfolyammá, és eljuttatja a felsőbb réteghez.

A TCP ezenkívül forgalomszabályozást is végez, azaz egy visszacsatolást biztosít a vevőtől az adóig annak érdekében, hogy egy gyors adó ne árásson el adatokkal egy lassabb vevőt. A forgalomszabályozás és a már említett végpontok közötti hibajavítás az OSI referenciamodellben is a szállítási rétegbe tartoznak, van azonban a TCP-nek egy olyan funkciója is, amely az OSI szerint a hálózati réteg feladata, ez pedig a torlódásvédelem. A

torlódásvédelem segítségével érhető el, hogy a csomópontok hálózati túlterheltség esetén csökkentik az adás sebességét, majd ha lehetőség nyílik rá, újra növelik.

A TCP funkciói a végberendezésekben van megvalósítva, azaz a hálózat viszonylag „buta” a terminálokhoz képest. Így például a torlódásvédelem is a végberendezések feladata, annak ellenére, hogy a torlódás valahol a hálózaton belül keletkezik. Azért célszerű megoldás a végpontokban megvalósítani ezeket a funkciókat, mert a nagyszámú végberendezés sokkal könnyebben ellátja az összességében nagy feladatot, mint a viszonylag kevés hálózati csomópont.

Összefoglalva, akkor érdemes a TCP protokollt választani, ha megbízható adatátvitelre van szükségünk, azaz pontosan azt akarjuk látni a vevő oldalon, amit az adó elküldött, és ezért némi késleltetést is hajlandóak vagyunk elszenvedni. Természetesen ez csak ún. adaptív források esetében működik, azaz ha a felhasználó, illetve az általa futtatott alkalmazás számára elfogadható a kisebb adatsebesség is. Ez a helyzet például egy fájl átvitelénél, amikor általában nem nagy probléma, ha kicsit hosszabb az átvitel ideje. Nem adaptív forrás például egy videoszerver, ahol a videokódoló határozza meg az adatfolyam sebességét, amelyet már nem lehet csökkenteni, akkor sem, ha a hálózat túlzsúfolt.

Az *UDP* (User Datagram Protocol, felhasználói adatcsomag protokoll) a TCP-nél lényegesen egyszerűbb szállítási protokoll, amely nem biztosít sem megbízható átvitelt, sem pedig forgalomszabályozást. Az UDP egyik tipikus felhasználási területe azok a kérdés-válasz protokollok, amelyeknél egy TCP kapcsolatot felépíteni feleslegesen bonyolult lenne néhány IP csomag erejéig, és az esetleges hibakezelést egyszerűbb a felsőbb szinten elvégezni. Erre példa a DNS (Domain Name System, tartománynév rendszer) kiszolgálók felé irányuló állomásnév – IP cím hozzárendelések lekérdezései. Az UDP alkalmazásának egy másik jellemző területe az, ahol egy adatcsomag elvesztése kellemetlen ugyan, de fontosabb tényező a késleltetés, azaz mire a forrás a csomagot újra küldhetné, addigra az már elveszítené jelentőségét. Ez utóbbi esetre példa az IP feletti beszédátvitel, ahol ha kimarad például egy szótag a partner beszédéből, az zavaró, de ha ez csak ritkán fordul elő, akkor általában még elviselhető. A TCP alkalmazása ebben az esetben a veszteséget korrigálná ugyan, de megengedhetetlenül nagy késleltetést eredményezne.

Mind a TCP, mind az UDP protokoll nyaláboló/bontó funkciót is megvalósít. Erre azért van szükség, mert egy számítógépen egyidejűleg több alkalmazás is kommunikálhat ugyanazt az IP címet használva. Ahhoz, hogy meg lehessen különböztetni, hogy melyik alkalmazásnak szól az adott csomag, a TCP és az UDP protokollok egy újabb mezőt definiálnak a TCP/UDP protokoll fejlécében, ez az úgynevezett kapu (angolul port) mező. Például a web-kiszolgálókat leggyakrabban a 80-as TCP kapuhoz rendelik, a levéltovábbító SMTP protokoll (lásd alább) kiszolgálóját pedig a 25-ös TCP kapuhoz. Így lehetséges, hogy egyetlen számítógép egyszerre lehessen webtartalom- és levelezéskiszolgáló, sőt akár sok másféle szolgáltatást is nyújthasson.

Tanulságos megvizsgálni, mit eredményez a TCP és UDP protokollok mechanizmusa, amennyiben a két protokoll adatcsomagjai egyszerre vannak jelen egy hálózaton. Mint említettük, a TCP adaptív, azaz csökkenti a források sebességét, ha a hálózat túlterhelt, az UDP nem. Ez sajnos az igazságosság rovására megy, hiszen így egy terhelt hálózatról az UDP képes kiszorítani a TCP-t.

Az alkalmazási rétegbe számos protokoll tartozik, melyek közül csak néhányat említünk most meg példaként. Az FTP (File Transfer Protocol, fájlátviteli protokoll) [RFC0959] funkciója

benne van a nevében: fájok átvitelét teszi lehetővé az Internetre csatlakoztatott számítógépek között. A HTTP (Hypertext Transfer Protocol, hiperszövegtovábbító protokoll) [RFC2616] elsősorban a weboldal-lekérdezések és az oldalak továbbítására szolgál a kiszolgálók és a böngészők között, az SMTP (Simple Mail Transfer Protocol, egyszerű levéltovábbító protokoll) [RFC2821] az elektronikus levelek továbbítását végzi. Végül a Telnet protokoll [RFC0854] a távoli számítógépek interaktív, szöveges módú elérését teszi lehetővé.

A TCP/IP családban használt további protokolloknak még a megszámlálása is igen komoly feladat lenne, hiszen a változatos hálózati infrastruktúra sok különböző, nem mindenhol használt protokoll alkalmazását eredményezi.

### 2.2.3.2 A QoS IP hálózatok

A klasszikus TCP/IP hálózatok továbbítási módját ma “Best Effort”, azaz legjobb szándékú átvitelnek nevezik. Ennek a filozófiáját a következő mondattal lehetne összefoglalni: „Megteszek minden tőlem telhetőt, de ígérni semmit sem tudok.” Ez azt jelenti, hogy a hálózat igyekszik minimalizálni például a csomagok késleltetését és vesztesét, de ezekre semmilyen minőségi garanciát nem vállal. Bár ez a hozzáállás sok esetben elfogadható, különösen a nem túlterhelt hálózatok esetén, a valósidejű alkalmazások többségének ez nem megfelelő. Például az IP feletti beszédátvitel nem megvalósítható, ha a csomagok késleltetése vagy vesztese meghalad egy adott értéket.

Az Internet felruházása a garantált szolgálatminőség (Quality of Service, QoS) képességével nagyon összetett feladat, és bár a mérnökök már hosszú évek óta dolgoznak a problémán, és vannak működő rész megoldások, a végponttól végpontig biztosított QoS ideje még nem érkezett el.

A következőkben röviden áttekintjük a jelenleg létező fontosabb javaslatokat az IP hálózatok minőségi garanciákkal való bővítésére.

#### IntServ

Az Integrated Services (IntServ, integrált szolgáltatású hálózat) volt a legkorábbi javaslat – a specifikációja [RFC1633] 1994-es keltezésű – az IP hálózatoknak a garantált szolgálatminőség lehetőségével való kiterjesztésére. Az architektúra egyik alapköve az úgynevezett *folyam* (flow), amely két vagy több végpont adott TCP, illetve UDP portjai között áramló csomagok összességét jelöli. A portok azért szerepelnek a definícióban, mert lehetséges, hogy két végpont között egyszerre több folyam is létesüljön. Egy másik fontos fogalom a *viszony* (session), amely egy folyamat jelöl a hozzá tartozó tárolt állapotokkal az útválasztókban és a végpontokban. Az IntServ esetében használt „viszony” így nagyjából megfelel a távbeszélő-hálózatok „kapcsolat” fogalmának. Ne keverjük össze tehát az OSI „viszonyrétegében” használt „viszony” szóval, hiszen az pusztán a két végpont közötti összeköttetésre utal, míg az IntServ viszonya a hálózati rétegben lévő összeköttetést jelzi.

Az IntServ hálózatban a felhasználók az adatcsere megkezdése előtt kezdeményezik a megfelelő viszony felépítését. Ekkor specifikálják a viszony minőségi paramétereit – mint például a maximális késleltetés vagy csomagvesztési arány – és a szükséges sáv szélességet

is.<sup>2</sup> Az IntServ hálózat ezek után megpróbálja felépíteni a kért viszonyt. Mivel a felhasználó a viszonyhoz minőségi garanciákat is kér, ezért nem biztos, hogy a kiépítési kísérlet sikeres lesz, hiszen elképzelhető, hogy nem áll elegendő szabad erőforrás rendelkezésre. A felépítési kísérlet után a hálózat értesíti a felhasználót annak sikeréről vagy kudarcáról, és az előbbi esetben el is kezdődhet az adatátvitel. Amennyiben az adatátvitel befejeződött, a viszonyt le kell bontani, hogy a lefoglalva tartott erőforrások felszabadulhassanak. Figyeljük meg, hogy a viszony bevezetésével az IntServ összeköttetésessé teszi az egyébként összeköttetésmentes hálózati réteget! Az IntServ hálózatok dinamikus útvonalkezelést valósítanak meg, azaz ha egy viszony egy csomópontja vagy összeköttetése elromlik, akkor a hálózat automatikusan megpróbál egy új útvonalat keresni számára. Ezért, illetve azért, mert az útválasztás továbbra is a csomagok cílcíme alapján (és nem egy külön viszony-azonosító alapján) történik, az IntServ esetében nem beszélhetünk látszólagos áramkörökről.

Az IntServ architektúrához elengedhetetlenül szükséges egy úgynevezett *erőforrás-foglaló protokoll*, amely a felhasználónak egy viszony felépítésére vonatkozó kérését juttatja el az útválasztókhoz, és azok válaszát vissza a felhasználóhoz. Tulajdonképpen tehát ez a protokoll felelős a viszony kiépítésének – és később a lebontásának – az összehangolásáért. Érdekes, hogy a protokoll specifikációja nem része az IntServ architektúrának, az viszont igen, hogy a protokoll milyen információs elemeket szállítson a különböző csomópontok között. Napjainkban az egyik legismertebb IP erőforrás-foglaló protokoll az RSVP<sup>3</sup> (nomen est omen: Resource ReSerVation Protocol, erőforrás-foglaló protokoll), melyet már több útválasztóban és operációs rendszerben is implementáltak [RFC2205]. Fontos azonban kihangsúlyozni, hogy az RSVP és az IntServ architektúra egymástól független fogalmak. Ez azt jelenti, hogy az IntServ megvalósítható más erőforrás-foglaló protokollokkal is, és fordítva, az RSVP más környezetben is használható (például az MPLS-nél).

### DiffServ

Bár az IntServ modell kis és közepes hálózatokon valóban működőképes, ellenzői szerint „nem skálázható”, ami azt jelenti, hogy nagy hálózatokban, nagy számú viszony esetében a rendszer teljesítménye elfogadhatatlanul lecsökken. Ennek az a fő oka, hogy minden egyes útválasztó csomópont minden rajta átmenő viszonyról állapotot tárol, ami folyamatos tárolási és számítási kapacitást igényel. Annak ellenére, hogy mind a számítási, mind a tárolási kapacitás egyre olcsóbb lesz és egyre nagyobb mennyiségben válik elérhetővé, ugyanez a helyzet a sáv szélességgel is, és mindezeket összevetve várhatóan az IntServ architektúra valóban nem alkalmazható világméretűekben. Ennek egy további oka az is, hogy egy kontinenseket áthidaló, ugyanakkor viszonylag rövid életű IntServ viszony felépítése komoly adminisztratív nehézségekbe is ütközne. Ennek az az oka, hogy a minőségnek ára van, és egy sok szolgáltató hálózatát használó, de esetleg csak pár perc időtartamú viszony számlázása egyelőre komoly nehézségekbe ütközik.

Az IntServ fenti problémáira – de elsősorban a skálázhatóság kérdésére – válaszként hamar született egy újabb javaslat, a DiffServ (Differentiated Services, differenciált szolgáltatású hálózat) [RFC2475, RFC3260]. Az hálózat működési területe egy *DiffServ tartomány*,

---

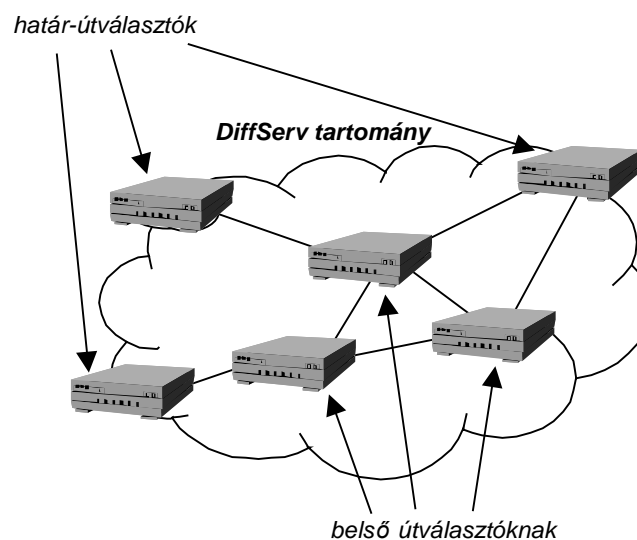
<sup>2</sup> A minőségi és mennyiségi paramétereikről bővebb információért lásd a 4.5.3. alfejezetet!

<sup>3</sup> Az eredetileg a meghívók, levelek végén használt francia R.S.V.P. rövidítés a „Repondez S'il Vous Plait” kifejezésre utal, melynek jelentése „kérem válaszoljon”.

amelyen belül biztosítja a szolgáltatminőséget. A tartomány méretére nincsenek megkötések, de valószínű, hogy például egy szolgáltató gerinchálózata, illetve egy helyi hálózat fog egy DiffServ tartományt alkotni. A tartományokat átívelő adatfolyamok minősége a szomszédos tartományok közötti kölcsönös megállapodásokkal biztosítható.

A DiffServ, ellentétben az IntServ-vel, nem biztosít a tartományon belül a folyamatoknak (melyeket az IntServ-nél definiáltunk) szigorú minőségi garanciákat, pusztán azok egymáshoz képesti prioritását szabályozza. Annak érdekében, hogy ezzel a módszerrel is lehessen minőséget biztosítani, a tartományok határán szigorú *hívásengedélyezést* (Call Admission Control, CAC) kell alkalmazni. A hívásengedélyezés feladata, hogy biztosítsa, hogy csak akkora forgalom lépjen be a tartományba, amekkora még nem terheli túl azt. Ez tehát azt jelenti, hogy bizonyos esetben a hálózathoz való hozzáférést meg kell tagadni annak érdekében, hogy a már elfogadott folyamatok minősége ne romoljon egy meghatározott szint alá. A hívásengedélyezési eljárásoknak is több típusa létezik, azonban a gyakorlatban megvalósíthatóak legnagyobb része megenged bizonyos hibaszázalékot az elfogadási döntések során. Ez pedig azt jelenti, hogy a DiffServ esetében általában nem beszélhetünk szigorú értelemben vett minőségi garanciáról, azonban ez a szolgáltatás mégis jó kompromisszumnak tűnik a megvalósítás komplexitása és a szolgáltatás minősége között.

A DiffServ útválasztók két csoportba vannak osztva: a tartomány határán helyezkednek el a *határ-útválasztók* (border router), míg a tartomány belsejében lévőket *belső útválasztóknak* (interior router) nevezzük (2.2.5. ábra). A határ-útválasztók feladata viszonylag összetett, azonban ezek kisebb forgalommal dolgoznak, mint a belső csomópontok. A tartomány szélén lévő végzők végzik a már említett hívásengedélyezést, és amennyiben elfogadtak egy folyamatot egy adott prioritási osztályba, akkor a hozzájuk tartozó csomagokat *megjelölik* (ez angolul a marking) egy néhány bites azonosítóval, a DSCP-vel (Differentiated Services Code Point, differenciált szolgáltatású architektúra kódpont). Szintén a határ-útválasztók feladata az ún. *rendszer szabályozás* (policing), amely a már elfogadott folyamat ellenőrzését jelenti, annak érdekében, hogy azokban a csomagok érkezési intenzitása ne lépje túl azt az értéket, amelyet a hívásengedélyezés során meghatároztak.



2.2.5. ábra. DiffServ tartomány

A belső útválasztóknak ezek után mindössze annyi dolga marad, hogy minden hozzájuk beérkező csomagnak megvizsgálják a DSCP jelölését, és az alapján a megfelelő prioritású kiszolgálásban részesítsék. A DiffServ esetében tehát a skálázhatóságot úgy kívánják elérni,

hogy a számításigényes feladatokat a tartomány határára tolják ki, ahol kisebb az adatforgalom, továbbá nem nyújtanak abszolút, csak relatív minőségi garanciákat.

#### Végponttól végpontig tartó garantált szolgáltatminőség

Ahogy a garantált szolgáltatminőségről szóló bevezetőben is említettük, a QoS biztosítása igen összetett feladat, és egyelőre nem is létezik nagyméretű kereskedelmi hálózatban működő QoS IP szolgáltatás. Vannak ugyan biztató részmegoldások, azonban a végső cél, a végponttól végpontig tartó garantált szolgáltatminőség elérése még várat magára. Ez pedig nélkülözhetetlennek tűnik a felhasználók szempontjából, hiszen mint tudjuk, minden lánc olyan gyenge, mint a leggyengébb láncszeme, így általában nem elég a minőséget garantálni az útvonalnak csak egy részén.

Már most látszik azonban, hogy sem az IntServ, sem a DiffServ nem képes az összes felmerülő problémát megoldani, azaz önmagában mindkét technológia kevés. A jövő QoS IP hálózata tehát valószínűleg egy inhomogén architektúra lesz (csakúgy, mint maga az IP), amelyben várhatóan lesznek IntServ elemek a hozzáférési hálózatban, DiffServ tartományok a gerinchálózatban, mindez esetleg az MPLS-sel kombinálva [RFC2998], és tartalmaz még sok kiegészítő technológiát, amelyek a további problémákat hivatottak megoldani. Ilyen további probléma például a számlázás kérdése, vagy a szolgáltatók közötti, egymás hálózatának használatát engedélyező szerződések gyors, automatikus megkötésének lehetősége.

#### 2.2.3.3 MPLS

Az MPLS (MultiProtocol Label Switching, többprotokollos címkekapcsolás) protokoll a klasszikus IP egyik továbbfejlesztése. Bár az MPLS az IP-re épül, működése azonban némileg ellentétes az IP felfogásával. Az IP-ben ugyanis, csakúgy, mint minden csomagkapcsolt hálózatban, egy útválasztó a következő feladatokat hajtja végre egy csomag beérkezésekor:

1. A csomag célcím mezejének kiolvasása.
2. Amennyiben a célcím az útválasztó (egyik) saját címe, akkor a csomag feldolgozása.
3. Ellenkező esetben a továbbítási táblázatból a célcím alapján annak meghatározása, hogy a csomagot merre kell továbbítani.
4. A csomag továbbküldése a megfelelő kimeneti csatolón.

Bár ez az algoritmus elvileg helyes és a gyakorlatban is megfelelően működik, mégis egyre többen kritizálták. A legfőbb érv ellene az, hogy e módszer minden csomagot külön egységnek tekint, amelyen újra végre kell hajtani a teljes algoritmust. Ezzel pedig az a baj, hogy a harmadik pont, azaz a továbbítási táblázatban való keresés igen számításigényes művelet.

Ennek az az oka, hogy a táblázatban nem egyszerűen *célcím – kimeneti csatoló* párok szerepelnek, hiszen a célcímek nagy száma miatt nem lehet mindegyikre külön bejegyzést létrehozni. Ehelyett tehát *címtartomány – kimeneti csatoló* párokat tartalmaz a táblázat, és ezekben kell azt a tartományt megkeresni, amelyikbe a keresett cím is tartozik. Ráadásul a tartományok nem feltétlenül diszjunktak, hanem előfordulhat, hogy az egyik teljes egészében tartalmazza a másikat. Ha pedig egy cím ezek után több tartományba is beleesik, akkor a legszűkebb tartományhoz tartozó bejegyzést kell kiolvasni.

Olyan ez, mintha valahol Kanada közepén a következő feliratú útjelző táblát helyeznénk el:  
„Vándor, ha Európa bármelyik országába kívánsz utazni, keletre indulj! Ha az Egyesült

*Államokba kívánsz utazni, dél fele menj! Ha azonban Alaszkába kívánsz utazni (ami ugye az USA része), akkor nyugatra vedd az irányt!”*

Ezt a nagy számításigényt úgy lehet csökkenteni, hogy felismerjük az azonos cél irányába tartó csomagokat, és azokra csak egyszer hajtjuk végre a keresés hosszadalmas műveletét. Mivel viszonylag gyakran fordul elő, hogy egyik csomóponttól a másikig több csomag is halad – hiszen már egy kép átvitele is sok csomagot igényel, nem is beszélve például egy filmről – érdemes ezt kihasználni, úgy, hogy az útválasztáshoz a táblázatbeli keresést csak egyszer hajtjuk végre és ennek eredményét a többi csomagra is alkalmazzuk. Ez tehát az MPLS alapötlete, nézzük most, hogyan is valósítja ezt meg.

Az MPLS úgynevezett *LSP*-ket (Label Switched Path, címkekapcsolt útvonal) definiál. Egy *LSP* tulajdonképpen egy útvonal a hálózaton belül, amelyet azok a csomagok használhatnak, amelyek útjuk során áthaladnak az *LSP* két végpontján, továbbá, ha van definiálva, akkor megegyezik a szolgáltatminőségi osztályuk is. Az *LSP* felfogható egy csőnek is, amelyiknek a csomagokat az egyik végén betéve előbb-utóbb a másik végén kipottyannak. Természetesen egy MPLS hálózatban sok *LSP* épülhet ki, például egy gerinchálózat esetében akár a tartomány mindegyik határcsomópontja között egy-egy. Az MPLS-re jellemző a dinamikus útvonalkezelés, azaz ha egy címkekapcsolt út egy csomópontja vagy összeköttetése elromlik, akkor a hálózat automatikusan megpróbál új útvonalat rendelni az *LSP*-hez. Az *LSP*-k kiépítéséért az ún. címke terjesztő protokoll (Label Distribution Protocol, *LDP*) a felelős, ám ezt a szerepet is betöltheti a már említett *RSVP*.

A *címkekapcsolás* működése nagyon egyszerű. Az *LSP* elején lévő útválasztó megnézi, hogy a hozzá beérkezett csomag áthalad-e majd a célja felé az adott *LSP* végpontján. Amennyiben igen, úgy be kell kerülnie az *LSP*-be, ezért ellátja azt az *LSP*-t jelző címkével, és továbbítja az útvonalon. Az *LSP*-n elhelyezkedő útválasztók pedig egyszerűen megnézik a csomag címkéjét, és ez alapján döntenek, hogy merre továbbítsák. Mivel a címke rögzített hosszúságú, és minden címkéhez pontosan egy bejegyzés tartozik az útválasztó címke alapú továbbítási táblázatában, ráadásul ez a táblázat nem is túl hosszú, ezért ez a döntés jóval egyszerűbb, mint a teljes keresés a hagyományos továbbítási táblázatban. Ezeknek a címke alapú továbbítási táblázatoknak a feltöltése az *LSP* felépítésekor történik meg.

Tartozunk még az MPLS nevének magyarázatával. A címkekapcsolásról már írtunk, de arról még nem, hogy miért is „többprotokollos” az MPLS. A szó arra utal, hogy az MPLS elvét különböző protokollokban is meg lehet valósítani: az MPLS az OSI modellben a második (adatkapcsolati) és a harmadik (hálózati) réteg között helyezkedik el, és elvileg többféle adatkapcsolati és hálózati rétegbeli protokollal használható. A gyakorlatban azonban egyelőre hálózati réteggént csak az IP-vel használják, ugyanakkor valóban többféle alsóbb rétegbeli protokollal működik együtt, például az Ethernettel vagy az ATM-mel.

Érdeemes pár szót ejteni arról is, hogyan is néz ki az MPLS-nek a már említett *címkéje*. Erre a kérdésre azonban nincs általános válasz, az ugyanis függ a konkrétan alkalmazott protokolloktól is. Például ha ATM-et alkalmaznak az IP alatt, akkor a címke az ATM cellák VPI/VCI mezőinek tartalma lehet. Ha Ethernet felett használják az MPLS-sel kiegészített IP-t, akkor a leggyakrabban alkalmazott lehetőség egy plusz fejléc beszúrása az IP fejléc elé, azaz tulajdonképpen az IP csomag újracsomagolása. Ezt az új fejléct nevezik *shim header*-nek, amit magyarra talán „hézagkitöltő fejléc”-ként fordíthatnák. Újabban az MPLS sikerén felbuzdulva megalkották annak kiterjesztését, a *GMPLS*-t (Generalized MultiProtocol Label Switching, általánosított többprotokollos címkekapcsolás). Ebben a „címke” fogalmat már

sokkal általánosabb értelemben használják, amely jelenthet például egy TDM rendszerben egy adott időrést vagy egy WDM rendszerben egy hullámhosszt is.

Vizsgáljuk most meg az MPLS előnyeit a hagyományos IP hálózatokkal szemben! Az egyiket már említettük, azért fejlesztették ki, hogy segítségével gyorsabbá válják a csomagok továbbítása. Mára azonban az útválasztók teljesítménye oly mértékben megnőtt, hogy ez az előny csak kisebb jelentőségű. A protokoll másik kedvező tulajdonsága, hogy az egy cél felé haladó csomagok együtt kezelhetőek. Ez jelentősen megkönnyíti a hálózat üzemeltetőinek a dolgát, hiszen így különböző üzemeltetési feladatokat könnyebben megoldhatnak. Ilyen feladat például a forgalomnak a szabályozott terelése, azaz annak az elérése, hogy az egyes adatfolyamok a hálózat üzemeltetőjének szempontjából optimális útvonalon haladjanak. Egy másik fontos üzemeltetési feladat a bekövetkező hálózati hibákra történő reagálás a hálózat erőforrásainak átrendezésével, sőt néhányan ebbe a körbe sorolják a címkekapcsolt útvonalakhoz történő erőforrás-hozzárendelést is, amely tulajdonképpen a garantált szolgáltatminőség része. Az ilyen feladatokat hívjuk összefoglaló néven *forgalomszervezésnek* (traffic engineering). Erre a célra az MPLS ideális eszköznek bizonyult, olyannyira, hogy mára az „MPLS” és a „forgalomszervezés” szavak szinte összetartoznak. Végül pedig megjegyezzük, hogy az MPLS kiválóan alkalmas látszólagos magánhálózatok kialakítására is, melyeket a címkekapcsolt utak segítségével viszonylag egyszerűen létre lehet hozni.

Végezetül megemlítyük, hogy az MPLS esetében is megfigyelhető a már említett *fejlődési spirál*: az információt a távírók korában a csomagkapcsolásra emlékeztető üzenetkapcsolással továbbították, majd a valós áramkörkapcsolás következett a távbeszélőknél. Ezt követte a látszólagos áramkörkapcsolás, majd a számítógép-hálózatokban a csomagkapcsolás. Az MPLS és az IntServ pedig rögzített útvonalakat használ a csomagok számára (melyek azonban hiba esetén dinamikusan változhatnak, ezért nem beszélhetünk látszólagos áramkörökről), amely erősen emlékeztet az áramkörkapcsolásra.

#### 2.2.3.4 VoIP

Az első fejezetben röviden volt már szó az IP feletti beszédátviteli technológia (Voice over IP, VoIP) gazdasági vonatkozásairól, most a VoIP technikai hátterét tekintjük át.

Első ránézésre a beszéd átvitele a minőségi garancia nyújtására is képes IP hálózatokon pusztán az alkalmazási rétegbe tartozó problémának tűnhet, így felmerülhet az olvasóban a kérdés, hogy miért tárgyaljuk itt, a különböző hálózattípusok között. A kérdés részben jogos, hiszen valóban léteznek pusztán szoftveres beszédátviteli megvalósítások. Látni fogjuk azonban, hogy egy összetettebb VoIP rendszer külön e célra készült eszközöket és protokollokat is használ, így joggal tekinthetjük önálló hálózati technológiának.

A VoIP IP feletti beszédátvitelt jelent, ez a kifejezés azonban több, egymástól jelentősen különböző rendszert takarhat. A legegyszerűbb – a távbeszélő-hálózatot leginkább változatlanul hagyó – esetben két vagy több távbeszélő-alközpontot köthetünk össze egy IP hálózattal, így várhatóan gazdaságosabbra cserélve a trónkvonalakat. Ebben az esetben az alközpontok és a végberendezések közötti hálózatrészt nem érinti a változás.

A távbeszélő-hálózat nagyobb részét cserélik IP alapúra abban az esetben, amelyben a végberendezés (a távbeszélő-készülék) továbbra is változatlan, azonban ez vagy egy speciális IP útválasztóhoz, vagy egy személyi számítógép erre a célra készített kártyájához csatlakozik. Ebben az esetben az említett eszközök emulálják a távbeszélő-hálózatot a végberendezés felé, azaz szükség szerint tárcsahangot generálnak, fogadják a távbeszélő-készülekről elküldött hívószámokat, előállítják a csengetési visszhangot vagy a foglaltsági jelzést, valamint a



csengetést indukáló jelet. Szintén ezekben az eszközökben történik az analóg beszédjel digitalizálása és IP csomagokba tördelése.

Teljesen megszabadulunk a hagyományos távbeszélő-hálózatok elemeitől akkor, ha ún. IP távbeszélő-készülékeket használunk. Ezek a már ma is kapható eszközök külsőre nem sokban különböznek egy hagyományos analóg vagy ISDN távbeszélő-készüléktől, azonban az előző bekezdésben felsorolt összes feladatot ezek a készülékek látják el. Természetesen az IP távbeszélő-készülék nem a távbeszélő-, hanem az Internet hálózatra csatlakozik, tipikusan egy sodrott érpáras Ethernet interfésszel.

Végezetül, ahogy a bevezetőben is említettük, lehetséges az IP távbeszélő-készüléket teljesen szoftveres úton is emulálni, ez esetben a végberendezés egy számítógép lesz, amely központi processzorát, hálózati- és hangkártyáját használva valósítja meg a szükséges funkciókat.

Természetesen, ahogy az az eddig leírtakból is látszik, a VoIP és a hagyományos távbeszélő-hálózatok nem feltétlenül különálló rendszerek, a hálózatok ún. VoIP átjárók segítségével összekapcsolhatóak.

Minden digitális hálózatban, amelyen beszédhangokat továbbítunk, ún. kódolókat alkalmaznak az analóg beszéd digitális jelfolyammá alakítására. Így van ez a digitális távbeszélő hálózatokban és a ISDN-ben is, ahol a már ismertetett PCM kódolókat használják, és például a GSM hálózatokban is, ahol immár többféle kódoló is használható. Természetesen nincs ez másképpen a VoIP esetében sem, sőt, itt már nagyon sokféle szabványos kódoló alkalmazható, melyeknek különböző például a sáv szélesség és számítási kapacitás igénye, de különböző a minősége is (ld. 4.4 alfejezet).

A kódoló által előállított keretnek nevezett adatsomagokat az RTP (Real-time Transport Protocol, valósidejű szállítási protokoll) protokoll segítségével juttatják el a címzethez. Az RTP az UDP-re épül, és legfontosabb feladata az átvitt adatsomagok időbélyeggel való ellátása. Az RTP tehát önmagában nem tudja biztosítani az átvitt információknak például a fix késleltetését (erre valók az IP QoS kiegészítései), azt azonban lehetővé teszi, hogy a címzett ugyanolyan időzítéssel dolgozhassa fel a csomagokat, ahogy azt a küldő generálta. Ez pedig elengedhetetlenül szükséges például a hang lejátszásának helyes ütemezéséhez.

A VoIP technológia bevezetéséhez sok további problémát meg kellett oldani, amelyeket most csak röviden felsorolunk. Az elsőként felmerülő probléma a címzés kérdése. Amíg ugyanis a távbeszélő-hálózatokban a címzés a kapcsolási szám alapján történik, addig az IP hálózatokban erre az IP cím szolgál, így szükség van valamilyen leképezésre a kettő között. Több lehetséges megoldás létezik, például tartományonként egy központi adatbázis használata, amelytől lekérhetők a kapcsolási szám – IP cím hozzárendelések.

Említettük már, hogy szükség van garantált minőségű IP szolgáltatásokra is, hiszen a túl nagy értékű és ingadozású késleltetés és csomagvesztés a beszélgető számára nagyon zavaró lehet. Ennek biztosítása a már tárgyalt QoS IP hálózatok segítségével lehetséges, a VoIP-ban nincs saját QoS biztosító algoritmus. Igaz, arra bizonyos esetekben lehetőség van, hogy beállítsunk egy határt, amelynél több hívást nem engedélyez a rendszer: ez tulajdonképpen egy egyszerű hívásengedélyezési módszer.

Fontos megemlíteni azt is, hogy a VoIP működéséhez új jelzésrendszerek kifejlesztésére is szükség volt. Egyelőre a legelterjedtebb az ITU-T H.323 nevű protokollja, de új jelöltként

megjelent az IETF (Internet Engineering Task Force, Internet tervezési szervezet) SIP-je (Session Initiation Protocol, viszonylétesítő protokoll) is.

## 2.3 *Mozgó információközlő hálózatok*

Ebben a fejezetben a mozgó információközlő hálózatokat ismertetjük, a hálózati csomópontok elhelyezkedése szerint megkülönböztetve a földfelszíni és a műholdas hálózatokat.

### 2.3.1 Földfelszíni mozgó információközlő hálózatok

A földfelszíni mozgó információközlő hálózatok között is érdemes különbséget tenni távközlő és számítógép-hálózatok között. Igaz, ez a csoportosítás a két hálózattípus konvergenciája miatt még nehezebb feladat, mint a vezetékes hálózatok esetében. Jegyzetünkben elsősorban a hálózatok kialakulása alapján végeztük el e besorolást, de ismét felhívjuk a figyelmet arra, hogy ez némiképpen szubjektív, hiszen például a GSM/GPRS és az UMTS rendszerek sok szempontból a számítógép-hálózatokhoz állnak közelebb.

#### *2.3.1.1 Földfelszíni mozgó távközlő hálózatok*

A földfelszíni mozgó távközlő rendszereknek közös jellemzőjük, hogy a lefedett területet kisebb egységekre, úgynevezett cellákra bontják, és egy cellát egy bázisállomással szolgálnak ki. A cellás felépítés lehetővé teszi, hogy a nagy területi lefedés mellett gazdaságos legyen a működés, és kicsi legyen a végberendezés. A cellák használatával ugyanis lehetőség nyílik a frekvenciák újrahelosztására, továbbá a végberendezés bázisállomástól mért távolságának csökkentésére, ami a kisugárzott teljesítmény korlátozása miatt lényeges. Minél kisebb ugyanis a szükséges adóteljesítmény, annál kisebb fogyasztású készülékeket lehet előállítani, amelyek ugyanakkor az emberi szervezetet is kevésbé terhelik. A digitális mozgó távközlő rendszerek esetében az ISDN-hez hasonlóan a beszédkódoló a mozgó végberendezésben van elhelyezve, így az adatjelek nem haladnak át rajta. A mozgó üzemmód az áramkörkapcsolás érdekes változatát eredményezi: ha a mozgás bázisállomás-váltást tesz szükségessé, akkor az áramkör útvonala egy híváson belül változik meg a mozgó hozzáférői hálózatban.

Az *első generációs (1G)* mozgótelefon rendszereknek az analóg cellás rendszereket nevezzük, melyek bevezetése az 1970-es évek legvégére, illetve a következő évtized elejére-közepére tehető. Egységes rendszerről ekkor még szó sem volt, hiszen csak Európában kilenc inkompatibilis hálózattípust használtak a különböző országokban az évek során. Ezek közül csak egyet, az először Skandináviában bevezetett *NMT* (Nordic Mobile Telephone System, északi mozgó távközlő rendszer) rendszert emeljük most ki. Ennek oka egyrészt, hogy ez volt az első nemzetközi telefonrendszer<sup>4</sup> – 1981-ben indították el a szolgáltatást Norvégiában, Svédországban, Finnországban és Dániában –, másrészt, hogy Magyarországon is ezt a rendszert vezették be. Az NMT rendszer dominánsan a 450 MHz körüli frekvenciatartományt

---

<sup>4</sup> Megjegyzendő, hogy a rendszer csak abban az értelemben volt nemzetközi, hogy több országban is használták, azonban a szolgáltatók közötti barangolásra (roaming) nem volt lehetőség.

használja a beszédátvitelre, azonban léteznek, illetve léteztek változatai, amelyek ennél alacsonyabb, illetve magasabb frekvenciatartományban üzemelnek.

E korai rendszer előnye, hogy egy bázisállomás viszonylag nagy – kb. 30-50 km átmérőjű – területet le tud fedni, hátránya azonban a beszédátvitel gyenge minősége, a szolgáltatások alacsonyabb száma, illetve a végberendezések nagyobb mérete és tömege. Hiába képesek manapság egyre több szolgáltatást nyújtani az NMT hálózatok, a második generációs hálózatok gyakorlatilag kiszorították a piacról. Ennek eredményeképpen napjainkban sorra szűnnek meg a – mondhatjuk – feladatukat betöltött NMT hálózatok, így a hazánkban is a Westel 0660 hálózata 2003. június 30-án végleg leállt.

A *második generációs (2G)* mozgótelefon-hálózatok már digitális rendszerek, melyek közül a legelterjedtebb a *GSM* (eredetileg: Groupe Spéciale Mobile, később: Global System for Mobile Telecommunication, világméretű mozgó távközlő rendszer). Jó tíz éves közös európai fejlesztés után, 1992-ben indulhattak el az első nyilvános GSM szolgáltatások. A rendszer három frekvenciasávot használ, Európában a 900 és az 1800 MHz körüli tartományt, az Egyesült Államokban és számos más országban pedig az 1900 MHz körüli sávot. A GSM napjaink legelterjedtebb mozgótelefon-rendszere, ezt hűen illusztrálja a következő két számadat is: 2002 végén a világ 170 országában 477 GSM szolgáltató működött [GSMORG].

A GSM-ben a beszédátvitel hagyományosan 13 kbit/s adatsebességre kódolva történik.

Az ezt megvalósító kódolót nevezzük teljes sebességű (Full Rate) GSM kódolónak. Újabb, szabványos kódolókkal azonban ennél alacsonyabb sebesség is elérhető. Az ún. javított teljes sebességű (Enhanced Full Rate) GSM kódoló adatsebessége 12,2 kbit/s, a fél sebességű (Half Rate) kódolóé pedig mindössze 5,6 kbit/s. Ez utóbbi azonban már kompromisszum a minőség és a sebesség között, hiszen az előzőeknél hallhatóan rosszabb átvitelt eredményez.

Adatátvitelre használva a GSM készülékünket eredetileg 9,6 kbit/s sebességet érhattünk el, amely később 14,4 kbit/s-ra emelkedett. Ennél is nagyobb sebességet tesz lehetővé a nemrég bevezetett HSCSD (High Speed Circuit Switched Data, nagy sebességű áramkörkapcsolt adatátvitel), amely lehetőséget teremt több 14,4 kbit/s-os csatorna összefogására. A rendszer elvileg maximálisan nyolc csatornát enged együttesen használni, de a gyakorlatban négyben maximálják ezt a számot, azért, hogy az így keletkező adatfolyam sebessége ne lépje túl a 64 kbit/s-ot, amely a csatlakozó rögzített PDH törzshálózat kapcsolható és nyalábolható áramköri alapsebessége.

A GSM hálózatok már a kezdetektől fogva több szolgáltatást nyújtottak az egyszerű beszédátvitelnél, éppen ezért e hálózattípust integrált hálózatnak tekintjük. A manapság legnépszerűbb funkciók közül elsőként megemlíthetjük az *SMS*-t (Short Message Service, rövid szöveges üzenet szolgáltatás), amely szolgáltatás segítségével, ahogy neve is mutatja, rövid szöveges üzeneteket küldhetnek és fogadhatnak a felhasználók. Az SMS egyik továbbfejlesztése az *MMS* (Multimedia Messaging Service, multimédia üzenetküldő szolgáltatás), amellyel már nem csak szöveget, hanem képeket, hang- és videoállományokat is lehetséges elküldeni. Az MMS rendszert a legtöbb GSM szolgáltató 2002-ben indította el a saját hálózatában. Az MMS bevezetését röviddel megelőzte az *EMS* (Enhanced Messaging Service, kibővített üzenetküldő szolgáltatás), mely az MMS-hez hasonló szolgáltatásokat nyújt (szöveg, kép, hang, dallam, illetve animáció átvitele), azonban az SMS szolgáltatásra épül, ami sok hátránnyal jár, bár a rendszer bevezetése egyszerűbb. Szintén egyre nagyobb teret nyerő funkció az először 1997-ben specifikált *WAP* (Wireless Application Protocol, vezeték nélküli alkalmazás protokoll), amely az Internet elérését teszi lehetővé a mozgó

készülékekről, a WWW-hez (World Wide Web, világméretű háló) hasonlóan, ám speciálisan a mozgó készülékek sajátosságainak megfelelő, leegyszerűsített formában.

A *GPRS* (General Packet Radio Service, általános csomag alapú rádiós szolgáltatás) – ahogy a neve is mutatja – a csomagkapcsolt adatátvitel lehetőségét teremti meg mozgó távközlő hálózatokban. A GPRS szolgáltatás megvalósítható a GSM hálózatok kiegészítésével, illetve az alább tárgyalt UMTS rendszereknek már a kezdetektől a része lesz. A GSM hálózatokban megvalósított GPRS rendszer 2001 óta működik a szolgáltatóknál, maximális adatátviteli sebessége kezdetben 56 kbit/s (a HSCSD-hez hasonlóan több csatorna összefogásával), amely a későbbi fejlesztések során akár a két-háromszorosára növekedhet. Ez a 64 kbit/s-ot meghaladó érték a HSCSD-vel ellentétben valóban el is érhető majd, hiszen ebben az esetben az adatok egy (IP alapú) csomagkapcsolt GPRS gerinchálózaton továbbítódnak és csak a beszédjelek haladnak át a PDH hálózaton. A GPRS további előnye, hogy bár adatsebessége jelenleg nem haladja meg a HSCSD sebességét, azonban a csomag alapú működésből fakadóan mégis lényegesen gazdaságosabban használható. A gyakorlatban ma GPRS segítségével a felhasználók az Internetre csatlakozhatnak, illetve a WAP szolgáltatást érhetik el. A kettő között az a különbség, hogy az előbbi esetben a felhasználó adatcsomagjai közvetlenül az Internetre jutnak ki, míg a WAP esetében csak az ún. WAP átjáróhoz, amely az Internetes WAP kiszolgálókkal kommunikál.

Szokták a GSM/GPRS-t (tehát a GPRS-sel kiegészített GSM rendszert) a „*két és feledik*” generációs (2,5 G) mozgó hálózatnak tekinteni, mert jelenlegi megvalósításaiban a második generációs GSM rendszerekre épül, de szolgáltatásaiban közelít a harmadik generációs rendszerekhez. Ügyeljünk azonban arra, hogy nem a GPRS önmagában a két és feledik generációs mozgó hálózat, hiszen egyrészt a GPRS nem egy önálló hálózat, hanem egy szolgáltatás – igaz, e szolgáltatás implementálásához a GSM hálózatokban változtatásokat kellett végrehajtani –, amelyet másrészt nem csak a GSM (2G) hanem az UMTS (3G) hálózatok is nyújthatnak.

Az *EDGE* (Enhanced Data Rate for Global Evolution, kb. továbbfejlesztett adatsebesség a globális fejlődésért; más források szerint: Enhanced Data Rate for GSM Evolution, kb. továbbfejlesztett adatsebesség a GSM fejlődéséért) technológia a GSM hálózatok adatátviteli sebességének megnövelésére szolgál, amelynek gyakorlati bevezetése 2002. végén, 2003. elején kezdődött. Az EDGE tulajdonképpen nem más, mint egy új rádiós modulációs technológia, amely a GSM frekvenciasávját felhasználva ugyanakkora spektrum (200 kHz) felhasználásával nagyobb bitsebességet biztosít az eredeti GSM adatsebességéhez képest. E módon az adatátvitel sebessége áramkörkapcsolt esetben 28,8 kbit/s lehet (ez háromszorosa az eredeti 9,6 kbit/s sebességnek), GPRS üzemmódban pedig 11,2 – 69,2 kbit/s csatornánként. Ez utóbbi esetben az aktuális átviteli sebesség a vételi minőség függvénye, és az átvitel során dinamikusan változhat. Továbbra is lehetőség van azonban több csatorna összefogására mind csomagkapcsolt, mind pedig áramkörkapcsolt módban – ez utóbbit, mint már említettük, HSCSD-nek hívják. Fontos megjegyezni, hogy az így megnövelt maximális sebességek jó rádiós vételi viszonyok esetén is legfeljebb az eredeti GSM cellaterület 90 – 95%-án érhetőek el és kis mozgékonyaságú felhasználót feltételeznek.

Az *UMTS* (Universal Mobile Telecommunications System, egyetemes mozgó távközlő rendszer) lesz a *harmadik generációs* mozgó információközlő hálózati rendszereknek az európai verziója. Szándékosan használtuk az információközlő szót, hiszen itt már a távközlő és a számítógép-hálózati funkciók összefonódnak. Jelenleg az UMTS-sel kapcsolatos szabványok már készen állnak, és bár már elvételek ilyen hálózatok, az igazi áttörés legkorábban 2003-ra várható. A rendszer lehetőségeit jól érzékelteti, hogy a maximális

adatátviteli sebessége 2 Mbit/s, igaz, ez csak ideális körülmények között valósulhat majd meg, rossz esetben ez akár 100 kbit/s-ig is lecsökkenhet. E sebesség a beszéd- és adatátvitelen kívül a multimédia kommunikáció előtt is megnyitja majd a kapukat. Az Internet protokolljának térhódítását jelzi, hogy az UMTS rendszer vezetékes (rádióállomások közötti) részében először ATM feletti IP fogja az átvitelt biztosítani, amelyet később teljesen IP alapúra terveznek átállítani.

### **2.3.1.2 Földfelszíni mozgó számítógép-hálózatok**

Térjünk most át a földfelszíni mozgó számítógép-hálózatok vizsgálatára. Mindenekelőtt tisztázzuk, hogy mozgó számítógép-hálózatokon ebben a jegyzetben nem azokat – az egyébként szintén létező – rendszereket értjük, amelyek azt biztosítják, hogy ha a felhasználó a számítógépét kikapcsolja, átviszi az egyik helyi hálózatról a másikra, majd ott bekapcsolja akkor azon semmit ne kelljen átállítani, és a hálózat mégis korrektül kezelje a helyzetet. E témáról az érdeklődő olvasónak az [RFC3344]-et ajánljuk a figyelmébe, azonban mi most nem ezzel, hanem a vezeték nélküli interfészt használó hálózatokkal foglalkozunk, amelyeket használva a felhasználó és végberendezése az adatátvitel közben is mozoghat.

Bár ilyen elvű számítógép-hálózatok működtek már az 1970-es években is (lásd például az ALOHA protokollt [Tanen]), tömeges elterjedésük csak napjainkban kezdődik. Ennek egyik oka természetesen az, hogy csak napjainkra jelentek meg azok a hálózatba kapcsolható számítógépek (laptopok és a náluk is kisebb, kézben tartható eszközök), amelyeket ténylegesen lehet és érdemes is mozgatni, és mozgás közben használni.

A földfelszíni mozgó számítógép-hálózatok megvalósítására az első kézenfekvő megoldás a meglévő mozgó távbeszélő-hálózatok használata modem segítségével. A módszer működik, bár az így elérhető sávszélesség meglehetősen alacsony, továbbá a csomagkapcsolt számítógép-hálózatok és az áramkörkapcsolt távközlő hálózatok közötti koncepcionális eltérést leginkább a felhasználók pénztárcája sínyli meg. Ezekben a problémákban enyhítenek a már bemutatott csomagkapcsolt GPRS, illetve az UMTS rendszerek, azonban léteznek más megközelítések is, amelyeket alább ismertetünk.

## **WLAN**

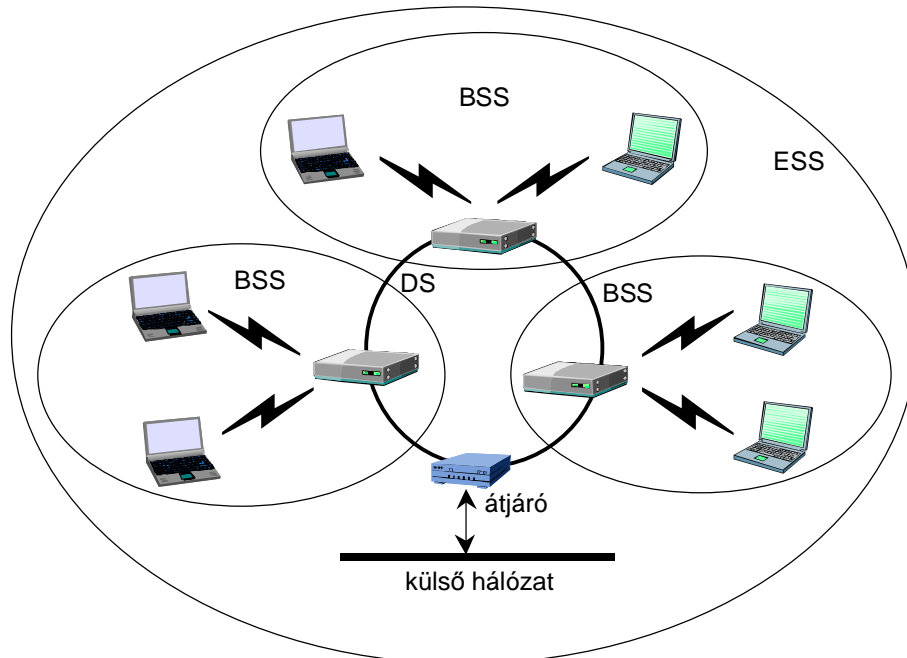
A WLAN (Wireless Local Area Network, vezeték nélküli helyi hálózat) koncepciója merőben más, mint a mozgó távközlő hálózatra épülő adatátviteli rendszerek. Ez a technológia kifejezetten a helyi hálózatokat teszi „vezetékmentessé”, a LAN-okra jellemzően nagy sávszélességet, alacsony üzemeltetési költséget, de kis térbeli elérhetőséget nyújtva. WLAN hálózatok már napjainkban is működnek, a hozzá szükséges eszközök kereskedelmi forgalomban kaphatóak.

A WLAN és a hozzá hasonló, rádióhullámokat használó vezeték nélküli technológiák fontos jellemzője, hogy milyen frekvenciatartományban működnek. A rádiófrekvencia ugyanis szűkös erőforrás, ezért használatát szerte a világon államilag szabályozzák. Az Egyesült Államokban ez a szabályzás az FCC (Federal Communications Commission, Szövetségi Hírközlési Bizottság) nevű szervezet hatáskörébe tartozik, amely 1985-ben nyitotta meg a kaput az új típusú vezeték nélküli eszközök fejlesztése előtt, az ún. ISM (Industrial, Scientific, Medical, ipari, tudományos és orvosi) sáv felszabadításával. Az ebben a sávban működő eszközök frekvenciaengedély nélkül használhatóak, két fontos korlátozással. Egyrészt a kisugárzott teljesítmény nem haladhatja meg az 1 W értéket, másrészt kötelező a szórt spektrumú átvitel alkalmazása. Ezekkel a megkötésekkel a sávot használó készülékek egymást zavaró hatását kívánták csökkenteni. Maga az ISM sáv tulajdonképpen három különálló frekvenciatartomány:

902-928 MHz, 2400-2483,5 MHz és 5725-5850 MHz. E rendelkezéseket Európában is átvették, azonban a teljesítményt itt az USA-beli érték tizedére, 100 mW-ra korlátozták. Ezen kívül a 900 MHz-es sáv sem használható itt, hiszen az a GSM rendszereknek van fenntartva, helyette a 433,05-434,79 MHz-es sávot bocsátották a felhasználók rendelkezésére. Ráadásul Magyarországon és még néhány európai országban az 5,8 GHz-es sáv katonai célokra van lefoglalva.

A WLAN specifikációja először 1997-ben jelent meg az IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Villamos- és Elektronikai Mérnökök Intézete) 802.11 ajánlásában. A specifikáció a hálózat fizikai rétegbeli és közeghozzáférési (Medium Access Control, MAC) alrétegbeli viselkedését írja le, a logikai kapcsolatvezérlési (Logical Link Control, LLC) alréteg már azonos a többi IEEE 802 helyi hálózatéval. A hálózatnak két üzemmódja van: az infrastruktúra alapú és az alkalmi mód.

Az *infrastruktúra alapú mód* egy vagy több hozzáférési pontot (Access Point, AP) tartalmaz, melyek a cellás mozgó távközlő rendszerek bázisállomásaihoz hasonlóan biztosítják a terület „lefedettségét”. Az azonos frekvencián kommunikáló, egy hozzáférési ponttal kapcsolatban lévő mozgó állomások alkotnak egy ún. alap-szolgáltatáskészletet (Basic Service Set, BSS). Ha több hozzáférési pont is van a hálózatban, akkor azokat egy ún. elosztó rendszer (Distribution System, DS) kapcsolja össze (lásd a 2.3.1. ábrát). A hozzáférési pontok közötti kapcsolat nem része az ajánlásnak, így az tetszőleges típusú összeköttetés lehet, gyakoribb a vezetékes, de elvileg vezeték nélküli is elképzelhető. A BSS-ekből és a DS-ből felépült rendszert nevezik együttesen kiterjesztett szolgáltatáskészletnek (Extended Service Set, ESS). A DS-nek része lehet egy átjáró is, amelyen keresztül az ESS egy külső hálózathoz, például az Internethez csatlakozik. Az infrastruktúra alapú módban a mozgó állomások csak a hozzáférési ponttal kommunikálhatnak közvetlenül, egymással nem.



2.3.1. ábra. WLAN hálózat infrastruktúra alapú módban

A WLAN hálózatok másik üzemmódja az ún. *alkalmi (ad hoc) mód*. Ebben az esetben a mozgó állomások közvetlenül egymással kommunikálnak, nincsen rögzített infrastruktúra, ezért általában nincsen lehetőség egy külső hálózat elérésére. Az azonban lehetséges, hogy az egyik állomás – amelyik az infrastruktúra alapú mód hozzáférési pontjával ellentétben semmilyen szempontból nem kitüntetett – csatlakozzon egy külső hálózatra, és ekkor az töltse

be az átjáró szerepét. Az alkalmi módon létrehozott szolgáltatáskészletet nevezik független alap-szolgáltatáskészletnek (Independent Basic Service Set, IBSS). Ebben az üzemmódban minden állomás útválasztóként is működik, és szükség szerint továbbítja az adatsomagokat az olyan állomások között, amelyek nincsen közvetlen rádiós kapcsolatban.

Az eredeti WLAN ajánlás (IEEE 802.11) a 2,4 GHz-es ISM sávban üzemelő rendszert specifikál, melynek legnagyobb adatátviteli sebessége 1,2 Mbit/s. A szabványt időközben többször módosították, ráadásul egymással párhuzamosan működő csoportok. Az új verziókat 802.11x jelöléssel látták el, az x helyén az ABC kisbetűit használva. A betűk azonban nem egyértelműen időbeli sorrendet, hanem valamilyen szempont szerinti továbblépést jelentenek.

A 802.11a kiegészítés az alap-szabványhoz képest a fizikai réteget érintette: megnyitotta az utat az 5GHz-es ISM sávba, ahol nagyobb sávszélesség áll rendelkezésre. Ennek megfelelően nőtt a rendszer maximális adatátviteli sebessége is, amely a fizikai rétegben 54 Mbit/s-ra növekedett, ez a hálózati rétegben azonban csak 32 Mbit/s.

A 802.11b a manapság legszélesebb körben elterjedt WLAN verzió, amelyik a szűkösebb 2,4 GHz-es ISM sávot használja, de abban képes megnövelt átviteli sebességet biztosítani. Ez az előrelépés a fizikai rétegben 11 Mbit/s-os, a hálózati rétegben maximálisan 5,5 Mbit/s-os átviteli sebességet jelent.

A 802.11 hálózatok fejlődése azonban e változatokkal még koránt sincs lezárva, több új verzió is folyamatban van a kidolgozása. Jelenleg a 802.11b változat a legelterjedtebb, így várhatóan a következő elterjedt változat ezzel felülről kompatibilis lesz.

## Bluetooth

A Bluetooth egy vezeték nélküli kommunikációs protokoll, melynek célja, hogy kisméretű és költséghatékony alternatívát kínáljon hordozható számítógépek, mobil telefonok és egyéb hordozható kézi készülékek egymással, illetve a rögzített számítógép-hálózatokkal való összekapcsolására. A Bluetooth rendszer névleges átviteli sebessége 1 Mbit/s, egyszerű kapcsolatok esetén a maximális adatátviteli sebesség egy irányban 721 kbit/s. A Bluetooth hálózat mind a pont-pont, mind a pont-többpont típusú kapcsolatokat támogatja.

A rendszer is a 2,4 GHz-es, külön frekvenciaengedély nélkül használható ISM sávban működik. Mivel ebben a szabadon használható sávban törvényszerűek a zavarok és az ütközések, a specifikáció a logikai csatorna kialakításához egy időosztásos nyalábolású, közös álvéletlen algoritmuson alapuló frekvenciaugrásos technikát ír elő. Ez tehát azt jelenti, hogy a csomópontok egy közös kezdeti értékből (random seed) kiindulva ugyanazt az álvéletlen számgeneráló algoritmust használva határozzák meg a következő használt frekvenciát. Az energiafogyasztás minimalizálása érdekében a felhasznált rádióadó hatósugara mindössze kb. 10 méter, de egy külön erősítő chip segítségével ez megnövelhető 100 méterre.

A Bluetooth egységek ún. *pikohálózatokba* (piconet) szerveződnek. A pikohálózat egy maximum nyolc Bluetooth egységből álló hálózat, amelyben egy kinevezett gazda (master) és legfeljebb hét aktív szolga (slave) van, de a pikohálózathoz további ún. parkolt szolgák is kapcsolódhatnak. A parkolt szolgák nem kommunikálhatnak, viszont nem vesztik el a szinkronjukat a gazdával. A gazda és szolga szerepek felcserélhetők: bármelyik csomópont lehet gazda és szolga is, hiszen a Bluetooth hálózatot egyenrangú, egyforma hardver és szoftver interfésszel rendelkező egységek alkotják.

Ha nyolcnál több egységből szeretnénk hálózatot építeni, akkor ún. *szétszórt hálózatot* (scatternet) kell használnunk. Egy szétszórt hálózat több pikohálózatból áll, ahol a pikohálózatok ún. átjáró (gateway) csomópontokon keresztül kapcsolódnak egymáshoz. Az átjáró egy olyan Bluetooth eszköz, amely időosztásban több pikohálózatnak is része, és a pikohálózatokat csomagkapcsoltan, tárol-és-továbbít módszerrel köti össze.

Érdekes kérdés, hogy a IEEE 802.11b és a Bluetooth hálózatok hogyan hatnak egymásra, hiszen mindkét rendszer ugyanabban a 2.4GHz-es ISM sávban működik. Ezt a jelenséget megvizsgáló megalakult egy munkacsoport az IEEE-n belül, mely arra az eredményre jutott, hogy a Bluetooth rendszer jelentősen zavarhatja a 802.11b adatkommunikációját. Így, ha egy Bluetooth eszköz 10 cm-nél közelebb van egy 802.11b eszközhöz, akkor annak a kiépített kapcsolata teljesen megszakad. Ha ezt a távolságot egy méterre növeljük, akkor a 802.11b eszköz kapcsolata még mindig 50%-os csomagvesztéssel szenved. Ugyanez a zavarás – bár nem ilyen mértékben – fordítva is fennáll. Így, ha a két eszköz 10 cm-nél közelebb van egymáshoz, akkor a Bluetooth kapcsolatban 60%-os adatvesztés lép fel.

### **2.3.2. Műholdas mozgó információközlő hálózatok**

A műholdas mozgó információközlő hálózatok bázisállomásai nem a föld felszínén, hanem az űrben keringő műholdakon helyezkednek el. E megoldás előnye, hogy ily módon akár a teljes földfelszín is ellátható szolgáltatással, hátránya többek között a magas ára, a földi rendszerekénél bizonyos esetekben lényegesen nagyobb késleltetése és a nagyobb teljesítményigénye.

Egy ilyen rendszernek nagyon fontos paramétere műholdjainak földfelszín feletti magassága. Ugyanis minél kisebb ez a magasság, annál kisebb lesz a jelterjedésből adódó késleltetés és értelemszerűen a teljesítményigény is. Másrészt viszont minél nagyobb ez a magasság, egyetlen műhoddal annál nagyobb területet lehet lefedni, és így annál kevesebb műhold szükséges a működéshez. E kérdéssel részletesen foglalkozunk még az 5.5.1 alfejezetben, most összefoglalásként csak annyit jegyzünk meg, hogy a körpályán mozgó műholdak esetében a gyakorlatban három magassági tartományt használnak, amelyeknek a nevei alacsony Föld körüli pálya (Low Earth Orbit, LEO, pályamagasság: 400 – 1500 km), közepes Föld körüli pálya (Medium Earth Orbit, MEO, 5000 – 13000 km) és geostacionárius pálya (Geosynchronous Earth Orbit, GEO, 35785 km).

Több műholdas mozgó információközlő hálózat is kiépült már, illetve épül jelenleg is, azonban ezek igen költséges megoldások, ezért viszonylag nehezen terjednek el – az egyik fő hajtóerőt ebben az esetben is a katonai alkalmazások jelentik. E rendszerekből ismertetjük most a legfontosabbakat.

#### ***2.3.2.1 Műholdas mozgó távközlő hálózatok***

Az *Iridium* volt az első műholdas rendszer, amelyik (a földi mobiltelefonokhoz hasonló) kézben tartható végberendezés segítségével elérhető globális távbeszélő szolgáltatást kínált. Az Iridium a beszédátvitelen túl 2,4 kbit/s sebességű adatátviteli lehetőséget nyújt bármely más számítógéphez, vagy szolgáltatóhoz tartozó modem számát felhívva, azonban az Iridium rendszert, mint Internet szolgáltatót használva maximálisan 10 kbit/s-os átvitel is elérhető. Az



Iridium<sup>5</sup> rendszer 66 darab 780 km magasan keringő – tehát LEO pályás – műholdat használ.  
[Iridium]

Bár az Iridium rendszer úttörő volt a kategóriájában és műszakilag is sikeresnek mondható, mégis majdnem a nevéhez kapcsolódott a távközlési szektor egyik legnagyobb üzleti kudarca is. A rendszerre ugyanis a tervezettnél lényegesen kevesebben fizettek elő, így 2000 márciusában – alig 18 hónappal a szolgáltatás elindítása után – az üzemeltető csődöt jelentve kénytelen volt a szolgáltatást leállítani. A kudarc oka elsősorban az volt, hogy alábecsülték a konkurens földi mozgó távbeszélő hálózatok rohamos fejlődését, ám ezen felül az alkalmazott marketingstratégia sem bizonyult helyesnek.

Ekkoriban komolyan szó volt arról, hogy a műholdakat visszatérítik a Föld légkörébe, ahol elégnék majd, illetve roncsaik az óceánba zuhannak. A hálózatot végül a Pentagon mentette meg a csúfos pusztulástól, amely felismerte a globális szolgáltatás hadászati jelentőségét és jelentős tőkeinjekcióval támogatta a szolgáltatás újraindítását. Így 2001 márciusában, egy év szünet után a szolgáltatás újra elindulhatott, és a katonai célú felhasználással egyidejűleg ismét a polgári előfizetők rendelkezésére is áll. [Sárkány1][Sárkány2]

Sajnos az Iridium rendszer bevezetése komoly fejtörést okozott a rádiócsillagászat foglalkozó szakemberek számára is. E tudomány a világűr vizsgálja, azonban nem a szokásos optikai tartományban, hanem a rádiófrekvenciás sávokban. A problémát pedig az Iridium műholdról a földre irányuló jelének frekvenciatartománya jelenti, amely az 1616 – 1626,5 MHz-es tartományba esik. Ez sajnálatos módon túl közel van a hidroxil (OH) molekulák egyik emissziós sávjához (1610,6 – 1613,8 Mhz), így az Iridium műholdak jelei zavarják ezeket a rádiócsillagászati szempontból nagyon fontos, világűrből érkező jeleket. A problémára tulajdonképpen félmegoldás, hogy az Iridium üzemeltetői szerződéseket kötöttek különböző obszervatóriumokkal, melyben vállalják e zavarás korlátozását. Például a világ legnagyobb rádióteleszkópja, a Puerto Ricóban található Arecibo [NAIC] felett minden éjjel 10 és reggel 6 óra között tilos az Iridium műholdaknak a Föld felé adatot sugározni.

A *Globalstar* rendszer főprofilja szintén a globális távbeszélő szolgáltatás, de természetesen adatátvitelre is lehetőséget nyújt, 9,6 kbit/s sebességgel. A rendszer 48 darab 1414 km magasan lévő – tehát szintén LEO pályát használó – műholdból áll. Hasonlóan az Iridiumhoz, illetve az alább ismertetett műholdas mozgó távbeszélő rendszerekhez, a *Globalstar* használható távbeszélő-készülékeknek is két üzemmódjuk van: a földi cellás hálózat használata (ilyen például Európában a GSM, de támogatnak más rendszereket is), illetve a műholdas kapcsolat használata. Lehetőség van az üzemmódok közötti automatikus váltásra is, például célszerű a földi hálózatot használni, amikor csak lehet, és ha az nem elérhető, akkor átkapcsolni a műholdas módra.

A *Globalstar* rendszer – ellentétben az Iridiummal – nem használ közvetlen műholdak közötti összeköttetést. Azaz amennyiben például a föld két távoli pontján álló *Globalstar* felhasználó telefonál egymással, akkor a felhasználók végberendezései egy-egy műholddal állnak közvetlen kapcsolatban, amelyek visszasugározzák a jeleket egy-egy földi állomásra. A földi állomások között az adatátvitel már egy földi (azaz nem műholdas) hálózat segítségével jut el (2.3.2.a ábra). Az Iridium esetében a két felhasználóhoz tartozó műholdak között a jel a többi Iridium műhold közvetítésével jut el (2.3.2.b ábra). [Globalstar]

---

<sup>5</sup> A rendszer a 77-es rendszámú irídium elemről kapta a nevét, ugyanis az eredeti tervek szerint 77 darab műholdból állt volna. Ezt a számot később 66-ra csökkentették, a hálózat neve azonban változatlan maradt. A 66-os rendszámú elem neve egyébként a kevésbé jól csengő diszprózium.



2.3.2.a ábra. Globalstar kommunikáció



2.3.2.b ábra. Iridium kommunikáció

A 2001-ben indult *Thuraya* rendszer szintén kézi készülékkel használható távbeszélő szolgáltatást, illetve 9,6 kbit/s sebességű adatátviteli lehetőséget nyújt. A dolog érdekessége, hogy ehhez egy GEO pályán keringő (más szóval a Földhöz képest GEO pályán álló) műholdat használ. Ez azért forradalmi, mert a *Thuraya* az első rendszer, amely a 35785 km magas GEO pályás műholddal a kommunikációt egy kis méretű – kb. a korai GSM készülékekkel megegyező nagyságú – kézben tartható végberendezéssel valósítja meg. Szintén érdekes tulajdonság, hogy a távbeszélő-észülékekbe GPS (Global Positioning System, globális helyzetmeghatározó rendszer) vevőt is építettek, amely nem csak a felhasználót segíti a tájékozódásban, de a *Thuraya* rendszert is hasznos információkkal látja el a felhasználók elhelyezkedéséről.

A *Thuraya* székhelye az Egyesült Arab Emírátságokban van. Jelenleg a rendszer mindössze egyetlen műholdat használ amellyel 99 országot fed le, bár egyelőre ezeknek csak egy részében vehető igénybe a szolgáltatás. A lefedett területek – amelyek központja a Közel-Kelet – a következők: Európa, Észak- és Kelet-Afrika, a Közel-Kelet, Közép-Ázsia és India. [Thuraya]

Az *Inmarsat* rendszer már 1979 óta nyújt globális beszédátviteli lehetőséget. Ehhez négy darab geostacionárius pályájú műholdat használ, melyeket időről időre cserélnek. E csere a műholdak korlátozott élettartama miatt szükséges, de egyben lehetővé teszi a szolgáltatások fejlesztését is. A hálózatot különböző képességű és méretű végberendezésekkel lehet használni, ezáltal különböző szolgáltatásokat elérve, természetesen más-más áron. Például az adatátviteli szolgáltatásait sebessége 600 bit/s-tól 144 kbit/s-ig terjed – ez utóbbi sebesség valójában már a szélessávú távközlő hálózatok kategóriájába tartozik. Sőt, a következő generációs műholdakkal már 432 kbit/s sebességű átvitelre is lehetőség lesz. Az *Inmarsat* készülékei részben járművekbe építhetőek, részben kézben hordozhatóak, azonban ez utóbbiak körülbelül egy aktatáska méretűek [Inmarsat].

A jelenleg megvalósítás alatt álló *ICO*<sup>6</sup> nevű rendszer a tervek szerint 10 darab 10390 km magasan (azaz MEO pályán) keringő műholdból és egy földi hálózatból, az *ICONET*-ből áll majd. A *Globalstar*hoz hasonlóan az *ICO* is a műholdakat csak a földi hálózat elérésére fogja használni, nem lesz tehát közvetlen műholdak közötti adatátvitel. A rendszer kézben tartható készülékkel használható távbeszélő szolgáltatást nyújt majd, kiegészítve a viszonylag nagy

<sup>6</sup> Az *ICO* (Intermediate Circular Orbit, közbenső körpálya) rövidítést szokták a MEO rövidítés helyett is használni azonos jelentéssel. Ebben az esetben azonban az *ICO* az adott műholdas hálózat neve, amely nem egy rövidítés. Igaz, az *ICO* rendszer a MEO pályákat használja, a névválasztás tehát valószínűleg nem csupán véletlen egybeesés.

sebességű (144 kbit/s) adatátvitel lehetőségével. Korábban a 2003. évet jelölték meg a szolgáltatás kezdeteként, azonban úgy tűnik ez nem lesz tartható.

Hasonlóan az Iridiumhoz, néhány évvel ezelőtt az ICO rendszer is majdnem csődbe jutott, bár ebben az esetben még meg el sem indult a szolgáltatás. A fizetésképtelen ICO kénytelen volt bírósági védelmet kérni a hitelezőivel szemben 1999 augusztusában, s csak 2000 májusában, jelentős tőkeinjekció után sikerült kikerülnie ebből az állapotból. [ICO]

### **2.3.2.2 Műholdas mozgó számítógép-hálózatok**

A Teledesic rendszerrel az USA-beli tulajdonosainak a célja egy világméretű, szélessávú műholdas számítógép-hálózat kiépítése. A céget 1990-ben alapították, akkori fő részvényesei Craig McCaw, a McCaw Cellular Communications alapítója és Bill Gates, a Microsoft alapítója. Az első tervek egy több mint 800 műholdat tartalmazó rendszerről szóltak, ezt a számot később 288-ra csökkentették, sőt, a mostani tervek már mindössze 30 szatellit tartalmaznak. Ezzel párhuzamosan változott a tervezett műholdak pályája is: eredetileg egy alacsony Föld körüli pályájú (LEO) rendszert terveztek ez mára közepes Föld körüli pályájúra (MEO) változott. A szolgáltatás elindítását jelenleg 2005-re tervezik.

A hálózatok nagy sáv szélességű, de rögzített helyű elérést nyújtanak majd. Ez azt jelenti, hogy a feltöltés sebessége 128 kbit/s és 100 Mbit/s között változhat, sőt a letöltés elérheti a 720 Mbit/s-t. A rögzített hely pedig azt jelenti, hogy a felhasználó eszköze nem mozoghat, tehát nem nyújtanak például mozgó távbeszélő jellegű szolgáltatásokat. A rögzített elérés alól kivétel a repülés és a hajózás, amelyek számára a cég elérhetővé kívánja tenni a szolgáltatásait.

Az adatátvitelre a rendszer tervezésének korai szakaszában egy önálló kommunikációs protokollt dolgoztak ki, amely – hasonlóan az ATM-hez – rögzített méretű, rövid cellákat használ, és garantálja a szolgálat minőségét. Ennél a protokollnál azonban a cellák a fejlécükben hordozzák a vevő végpont címét, és elképzelhető az is, hogy az egy folyamhoz tartozó cellák nem ugyanazon az útvonalon jutnak el a célba. A hálózat működési elvére gyors csomagkapcsolásként (Fast Packet Switching, FPS) hivatkoznak, és az alkalmazott csomagtovábbító eszközök pedig maguk a műholdak.

Szó volt arról is, hogy az ICO és a Teledesic egy holdingban egyesül, amelyben a távbeszélő szolgáltatásokat az ICO, az adatátvitelét pedig a Teledesic biztosítja, felhasználva a földi ICONET hálózatot. Hogy ez valóban így lesz-e, arról csak akkor tudunk majd biztosat, ha valóban megvalósulnak e rendszerek, és elindul rajtuk a kereskedelmi szolgáltatás.

### 3 Az információközlő hálózatok felépítésének elvei

Az előző fejezetben konkrét hálózati technológiákat ismertettünk, most áttérünk a diszciplináris részre. Ebben a részben, amely a harmadiktól a hatodik fejezetig tart, absztrakt ismereteket közlünk az információközlő hálózatokról, így konkrét megvalósításokat csak példaként, a könnyebb érthetőség kedvéért említünk.

E fejezetben az információközlő hálózatok felépítésének elveivel foglalkozunk. Ennek keretében először az elektronikus hírközlő hálózatok osztályozását ismertetjük, majd a hálózatok felépítésével különféle hálózati modellek bemutatása kapcsán ismerkedünk meg közelebbről. E különböző modellek segítségével más-más szempontok alapján vizsgálhatjuk az információközlő hálózatokat. A *topológiai modell* a hálózatok építőelemeit és azok kapcsolatát mutatja be különböző szinteken. Az úgynevezett *technológiai modellezés* a különböző hálózattípusok együttműködését írja le, egy hálózati technológiát, mint oszthatatlan egységet kezelve. Végül a *funkcionális modell* az egyes hálózati rétegek feladata szerint írja le a hálózat elemeit.

#### 3.1 Az elektronikus hírközlő hálózatok osztályozása

A elektronikus hírközlő hálózatok osztályozásakor két fontos tulajdonságot veszünk figyelembe: a hálózat *forgalomirányítási* és *torlódásvédelmi* képességét. Mint tudjuk, a forgalomirányítás felelős azért, hogy az információ a hálózaton belül a megfelelő útvonalon haladjon a forrásától a célállomásáig, a torlódásvédelem pedig az a funkció, amely megóvjaa a hálózatot a túlterheltségtől és az abból következő szolgáltatásminőség-romlástól és az esetleges összeomlástól.

Az elektronikus hírközlő hálózatokat a 3.1.1. táblázat szerint osztályozhatjuk. Mint a táblázatból is látszik, *elektronikus hírközlő hálózatnak* tekintünk minden olyan hálózatot, amely elektronikus úton információ továbbítására képes. Az „elektronikus” szó itt viszonylag tágan értelmezett, hiszen megengedjük, hogy csak a feldolgozás legyen elektronikus, maga a jel terjedhet például látható vagy infravörös fény, rádióhullám vagy más elektromágneses hullám formájában.

Megjegyezzük, hogy léteznek már olyan eszközök, amelyek optikai hálózatokban képesek különböző kapcsolási feladatokat tisztán optikai – azaz nem elektronikus – úton ellátni, például mozgatható prizmak, tükrök felhasználásával. Ezeknek az eszközöknek a funkcionalitása ma még korlátozott, és az optikai úton nem megvalósítható funkciókat továbbra is elektronikusan végzik el. Napjainkban azonban ezen eszközök igen gyors fejlődésének lehetünk tanúi, melynek során egyre több funkció valósítható meg optikai úton. Mindenesetre ebben a jegyzetben a részben vagy egészben ilyen eszközöket tartalmazó hálózatokat is elektronikus hírközlő hálózatoknak tekintjük.

| Elektronikus hírközlő hálózatok |                      |                        |                           |                      |
|---------------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|----------------------|
| Műsorközlő hálózatok            |                      |                        | Információközlő hálózatok |                      |
| Műsorszétesztő hálózatok        | Műsorszóró hálózatok | Műsorelosztó hálózatok | Távközlő hálózatok        | Számítógép-hálózatok |

3.1.1. táblázat. Az elektronikus hírközlő hálózatok osztályozása

### 3.1.1 Műsorközlő hálózatok

A *műsorközlő hálózatok* feladata valamilyen információt hordozó műsor – például televízió vagy rádióadás – eljuttatása a vevők egy csoportjához. E hálózatok megkülönböztető jellemzője, hogy nincs bennük forgalomirányítás, a csomópontok szórt adással (angolul broadcast) működnek.

A *műsorszétesztő hálózatok* feladata eljuttatni a műsort hordozó jeleket a műsorszóró, illetve műsorelosztó hálózatok bemeneteihez. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a televízió- és rádióstúdiókból kell a jeleket az adótornyokhoz, a kábelfejekhez és esetleg a műholdas állomásokhoz átvinni. E hálózattípusra is jellemző a szórt adás, mivel gyakran ugyanazt a jelet egyidejűleg több, egymástól távol lévő állomásra kell eljuttatni, hiszen egy műsort több földi rádiós vagy műholdas adó, illetve vezetékes hálózat is továbbíthat. A megvalósításukat tekintve léteznek analóg és digitális műsorszétesztő hálózatok.

A *műsorszóró hálózatokban* földi telepítésű vagy műholdas adók sugározzák ki a rádiófrekvenciás jeleket egy nagyobb területet lefedve. Műsorszóró hálózatokból is léteznek analóg és digitális megvalósítások is.

A *műsorelosztó hálózatok* képesek a jeleket fizikailag csak a kijelölt vevőkhöz – az előfizetőkhöz – eljuttatni. Jelenleg e kategória egyetlen tagja a kábeltelevízió-hálózat. Elvileg ide sorolható még a már több mint hetven éve megszűnt telefonhírmondó, sőt az is elképzelhető, hogy a jövőben születni fognak más műsorelosztó hálózatok is. A hagyományos kábeltelevízió továbbfejlesztése az interaktív kábeltelevízió, amely jelenleg kiépülőben van. Ez a rendszer például lehetővé teszi, hogy a megrendelő válassza ki, melyik filmet mikor kívánja megnézni, mintha csak egy videokazettát kölcsönzött volna ki. Ilyenkor lehetséges, hogy a hálózatot kiegészítik bizonyos fokú forgalomirányítási képességgel.

Egyre gyakoribb az az eset is, amikor egy meglévő kábeltelevíziós rendszert a kétirányú adatátvitel képességével egészítik ki. Ilyenkor jellemzően az Internet elérésére nyílik lehetőség a kábeltelevízió-hálózaton, így az számítógép-hálózatként is használható.

Megjegyezzük, hogy léteznek olyan műholdas rendszerek, amelyek szintén biztosítják a kábeltelevízió-hálózatokhoz hasonlóan azt, hogy a műsort csak a jogosult előfizetők nézhessék. Sőt e hálózatok sok esetben még arra is lehetőséget adnak, hogy különböző vevőkhöz eltérő műsorok jutassanak el a választott programcsomagnak megfelelően. Ezek a rendszerek mégsem tekinthetők műsorelosztó hálózatnak, hiszen a jelük fizikailag minden vevőhöz eljut egy adott körzetben, és egy magasabb szinten, kódolással biztosítják, hogy csak a jogosult előfizetők tekinthessék meg a műsorokat.

### 3.1.2 Információközlő hálózatok

Míg a műsorközlő hálózatok feladata egy központilag elkészített műsor eljuttatása a vevőkhöz, az *információközlő hálózatok* rendeltetése az egyes emberek – sőt, egyes gépek –

közötti információcsere lehetővé tétele. Az információközlő hálózatok jellemzője, hogy van forgalomirányítás, és a szórt adás – ha van rá lehetőség egyáltalán –, csak kiegészítő funkció.

Az információközlő hálózatoknak két fajtája van: a távközlő és a számítógép-hálózatok. Az előző fejezetben azt mondtuk, hogy távközlő hálózatok alatt a távíró-, távbeszélő-, és az ezekből kifejlődött hálózatokat értjük, míg számítógép-hálózatok azok, amelyek számítógépek összekapcsolására szolgálnak, illetve ezekből fejlődtek ki. A precízebb definíció megalkotásához a torlódásvédelem megvalósítása lesz segítségünkre: azt mondhatjuk, hogy a távközlő hálózatokban a torlódásvédelem áramkör alapú, míg a számítógép-hálózatok esetében ez áramkörmentesen történik.

A távközlő és a számítógép-hálózatokra a második fejezetben több példát mutattunk, így azokat itt nem ismételjük meg. Szintén csak emlékeztetünk a távközlő hálózatok csoportosítására, amely szerint megkülönböztetünk keskeny- és a szélessávú távközlő hálózatokat. A számítógép-hálózatok kategorizálása nem ilyen egyértelmű, a lehetséges csoportosításokról szintén az előző fejezetben írtunk.

Megjegyezzük, hogy az információközlő hálózatokat infokommunikációs hálózatoknak is szokták nevezni.

### 3.1.3 Áttekintés

Az elektronikus hírközlő hálózatokat két nagy csoportra bontottuk: a műsorközlő hálózatokra és az információközlő hálózatokra. E fejezet további alfejezeteiben csak az információközlő hálózatokkal foglalkozunk. Ennek egyik oka az, hogy a műsorközlő hálózatok részletes tárgyalása kívül esik a tantárgy keretein, a másik pedig az, hogy a műsorközlő hálózatok felépítése eltérő, de jóval egyszerűbb, mint az információközlő hálózatoké, hiszen e hálózatok szórt adással működnek.

## 3.2 *Az információközlő hálózatok topológiai modellezése*

Ebben az alfejezetben az információközlő hálózatok topológiai modellezését mutatjuk be. A hálózatok topológiai felépítését az OSI referenciamodell különböző rétegeiben vizsgálhatjuk, és ez alapján a hálózatról különböző modelleket készíthetünk. Most az OSI modell három alsó rétegével foglalkozunk, és ennek megfelelően definiáljuk a különböző topológiai modelleket, melyeket *fizikai hálózatnak*, *adatkapcsolati hálózatnak* és a *forgalmi hálózatnak* nevezünk.

Az OSI modellel kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy az csak a számítógép-hálózatok leírására alkalmas, ez a fejezet azonban egyaránt foglalkozik távközlő és számítógép-hálózatokkal. A 3.4 alfejezetben adni fogunk majd egy OSI-szerű rétegmodellt a távközlő hálózatok leírására is, egyelőre azonban elégedjünk meg annyival, hogy létezik egy távközlő hálózati rétegmodell, melynek alsó három rétege hasonlít az OSI modell alsó három rétegéhez. Emiatt tehát az ebben az alfejezetben elmondottak érvényesek mindkét hálózattípusra, de az egyszerűség kedvéért továbbra is csak OSI modellekről beszélünk.

Fontos tisztázni azt is, hogy az alább ismertetett modellek csak homogén, azaz azonos technológiájú hálózatok leírására alkalmasak. Az összetett technológiájú hálózatok topológiai modellezéséről a 3.3.6 alfejezetben lesz majd szó.

### 3.2.1 Fizikai hálózat

A fizikai rétegben vizsgálva a hálózatokat *fizikai hálózatról* beszélünk (angolul physical network). Ebben a modellben vezetékes hálózatok esetén – akár fémvezetékes, akár optikai vezetékes rendszerről van szó – lényeges, hogy merre haladnak az egyes vezetékek, és azokhoz milyen eszközök kapcsolódnak. Vezetéknélküli átvitel esetén számít az adók és vevők térbeli elhelyezkedése, továbbá minden egyéb tényező, amely az állomások közötti átvitelt befolyásolhatja.

Egy fizikai hálózat csomópontokból és az azokat összekötő vezetékes, illetve vezetéknélküli útszakaszokból (angolul link) áll. Az *útszakaszok* megvalósíthatók irányított, illetve osztott közegek segítségével. *Irányított közegről* akkor beszélünk, ha a jel egy adótól csak egy vevőhöz jut el. Ilyen például az elágazásmentes vezeték, az irányított földfelszíni vagy műholdas rádiós átvitel. *Osztott közegben* az adó jele fizikailag sok vevőhöz jut el. Ilyen a sínvezeték, a szétsugárzott földfelszíni vagy műholdas rádiós átvitel.

A fizikai hálózatokban *csomópontnak* tekintünk minden olyan elemet, amely a vezetékekhez csatlakozik, illetve – vezetéknélküli esetben – adó és/vagy vevő interfésszel rendelkezik. Ilyenek például a fali csatlakozók, a kábelrendező szekrények, a jelfrissítők, az ismétlők, de természetesen a magasabb rendű eszközök is, mint például a hidak, az útválasztók, a nyalábolók és a kapcsolók. Ide tartoznak továbbá a végberendezések is, hiszen fizikai csatlakozóval, illetve adó-vevő interfésszel ezek is rendelkeznek. A magasabb szintű feldolgozást végző eszközök több fizikai be-, illetve kimenettel rendelkezhetnek, amelyekkel az átviteli közegre csatlakozhatnak. Ezeket a be- és kimeneteket szokás kapuknak (angolul port) is nevezni.

Mint említettük, a fizikai hálózatmodellnél fontos szempont a csomópontok és a vezetékek térbeli elhelyezkedése. Éppen ezért egy fizikai hálózati rajzon célszerű feltüntetni a térbeli elhelyezkedést befolyásoló elemeket, mint például a kábelalagutakat, kábelaknákat – ugyanakkor ezek a szokásos értelmezés szerint nem részei a fizikai hálózatnak.

### 3.2.2 Adatkapcsolati hálózat

Az adatkapcsolati rétegre összpontosító hálózatmodellt nevezzük *adatkapcsolati hálózatnak* (data link network), de speciálisan távközlő hálózatok esetében szokás ezt a modellt *szállító* vagy *transzport hálózatnak* is nevezni (angolul értelemszerűen transport network).

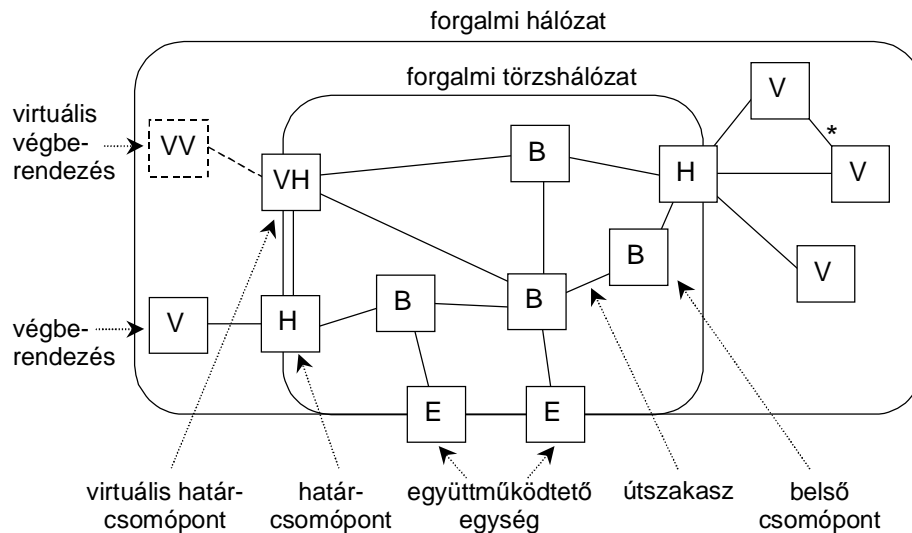
Az adatkapcsolati hálózat csomópontjai a hálózat azon elemei, amelyek második rétegbeli feldolgozást (is) végeznek. Ilyenek számítógép-hálózatok esetén például a hidak, útválasztók és a végberendezések. Távközlő hálózatokban ilyenek a nyalábolók, rendezők, kapcsolók és végberendezések.

A csomópontok helyzete és a közöttük lévő útszakaszok útvonala e modellben már nem lényeges, csak az számít, hogy melyik eszköz melyikkel áll közvetlen kapcsolatban.

### 3.2.3 Forgalmi hálózat

Ha az OSI harmadik rétegében, a hálózati rétegben vizsgáljuk az információközlő hálózatokat, akkor *forgalmi hálózatról* vagy más néven *logikai hálózatról* beszélünk (angolul traffic v. logical network). Ebben a modellben kizárólag a forgalmi hálózati csomópontokat és a köztük lévő útszakaszokat vizsgáljuk, és – hasonlóan az adatkapcsolati hálózathoz – nem foglalkozunk ezen összeköttetések megvalósításának a módjával, azaz például a kábelek térbeli elhelyezkedésével vagy az esetleg alkalmazott nyálábolással.

A forgalmi hálózat különféle *építőelemekből* áll, melyekről a 3.2.1. ábra nyújt áttekintést.



3.2.1. ábra. A forgalmi hálózat építőelemei

(a \*-al jelölt útszakaszhoz a magyarázat a 3.2.3 alfejezet végén következik)

Ez építőelemek első csoportjába a *forgalmi törzshálózat csomópontjai* (angolul core traffic network node) tartoznak. Ezeknek az elemeknek a feladata az információt hordozó jelek eljuttatása azok keletkezési helyétől a rendeltetési helyére vagy helyeire. E csomópontok képezik együttesen a *forgalmi törzshálózatot* (core traffic network). A forgalmi hálózati modellben azokat az eszközöket tekintjük törzshálózati csomópontnak, amelyek képesek a harmadik rétegbeli feldolgozásra, de a magasabb rétegek feldolgozására nem. Ilyenek például az útválasztók a számítógép-hálózatok esetében, és a kapcsolók a távközlő hálózatok esetében.

A csomópontoknak különféle feladatai lehetnek a hálózat típusától függően. E funkciók közé tartozhat a jelek tárolása, törlése – azaz például egy adatcsomag eldobása – vagy valamilyen módon való átalakítása, a hálózaton átfolyó adatok útválasztása vagy a szomszédos csomópontokkal való kapcsolattartás. A legfontosabb feladatuk mégis a jelek továbbítása, melynek három módját különböztetjük meg:

- egyesadás (unicast), ebben az esetben a jeleket egyetlen kimeneti útra továbbítja a csomópont,
- többesadás (multicast), ekkor több, előre meghatározott kimeneti útra történik a továbbítás,
- szórtadás (broadcast), ekkor a csomópont az összes kimenetén továbbítja az adatokat.



Megkülönböztetünk *belső csomópontokat* (interior node), illetve *határcsomópontokat* (edge node). Az előbbiek a törzshálózat belsejében találhatóak, és csak további csomópontokkal szomszédosak, míg az utóbbiak a törzshálózat határán találhatóak és a szomszédos törzshálózati csomópontokon kívül összeköttetésben állnak végberendezésekkel is.

Léteznek olyan eszközök is, amelyek elsősorban törzshálózati csomópontként viselkednek, azonban a végberendezés funkcióit is megvalósítják. Számítógép-hálózatok esetében ilyen például egy olyan útválasztó, amelyet egy személyi számítógép és egy azon futó megfelelő szoftver valósít meg. Ebben az esetben az eszköz az útválasztási funkciók (OSI 1.-3. réteg) mellett megengedi a magasabb szintű (1.-7. réteg) feldolgozást is. Ez azt jelenti, hogy például egy felhasználó leülve a gép elé webböngészőként is használhatja azt. Modellünkben az ilyen eszközöket kettéválasztjuk egy *virtuális határcsomóponttá* és egy *virtuális végberendezéssé*, ahogy a 3.2.1. ábrán is látható.

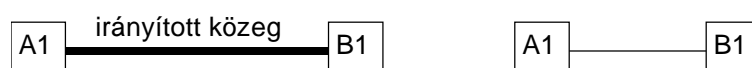
A forgalmi hálózat építőelemeinek második csoportjába tartozó *hálózati végberendezések* (network terminal unit v. equipment) olyan egységek, amelyek a határcsomópontokhoz kapcsolódva szolgáltatják a törzshálózat számára a közvetítendő információt. A hálózati végberendezéseket a végfelhasználó kezeli. Ilyen eszköz például egy telexgép, egy távbeszélő-készülék vagy egy személyi számítógép. Később, a hálózatok összekapcsolásánál látni fogjuk, hogy léteznek olyan hálózatok, amelyekhez nem kapcsolódnak közvetlenül végberendezések, csak további hálózatok.

A harmadik építőelem-csoport tagjai az úgynevezett *együtműködtető egységek*. Ezek a csomópontokon keresztül kapcsolódhat a hálózat egy másik hálózathoz. Amint az ábrán is látható, az együtműködtető egység csak félig része a hálózatnak, a másik fele már a másik hálózat része. Ezekkel az egységekkel részletesen is foglalkozunk majd a hálózatok összekapcsolásáról szóló 3.3 alfejezetben.

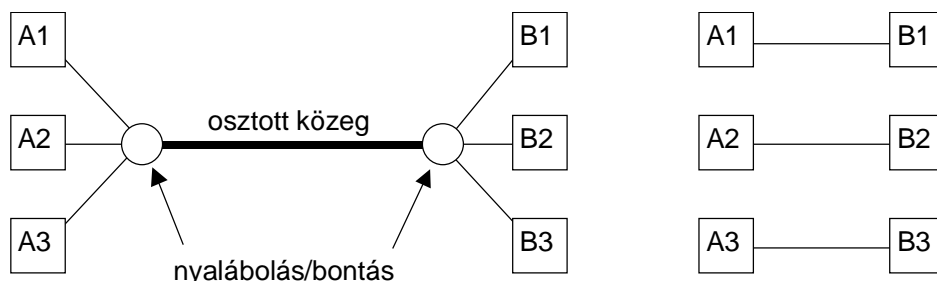
Végül a harmadik építőelem-csoport tagjai az *útszakaszok* (link), amelyek a csomópontok, az együtműködtető egységek és a végberendezések összekötésére szolgálnak.

Vegyük észre, hogy a terminológia megegyezik mindhárom topológiai modell – azaz a fizikai, az adatkapcsolati és a forgalmi hálózatok – esetében, hiszen mindhárom esetben csomópontokról és útszakaszokról beszélünk, azonban természetesen mást és mást értünk e fogalmak alatt.

A most következő részben két „útszakasz” fogalom között mutatjuk be az összefüggést: a fizikai útszakaszok leképezését ismertetjük logikai (forgalmi hálózati) útszakaszokra. Ezek a leképezések a közeg fajtájától függően többféleképpen történhetnek. Amennyiben irányított fizikai közegről van szó, akkor egy közeghez pontosan két állomás férhet hozzá, így azt egyszerűen egyetlen logikai útszakasszal modellezhetjük (3.2.2. ábra). Hasonló a helyzet olyan osztott közeg esetében is, amelyben valamilyen technológia (például frekvencia- vagy időosztásos nyalábolás) biztosítja, hogy több állomáspár is úgy lássa a közeget, mintha az irányított volna, és közöttük haladna. Ebben az esetben a közeget az állomáspárok közötti egy-egy logikai útszakasszal modellezzük. Ezt az esetet szemlélteti a 3.2.3. ábra, ahol három állomáspár kommunikál egy osztott közegen valamilyen nyalábolási technológiát használva.



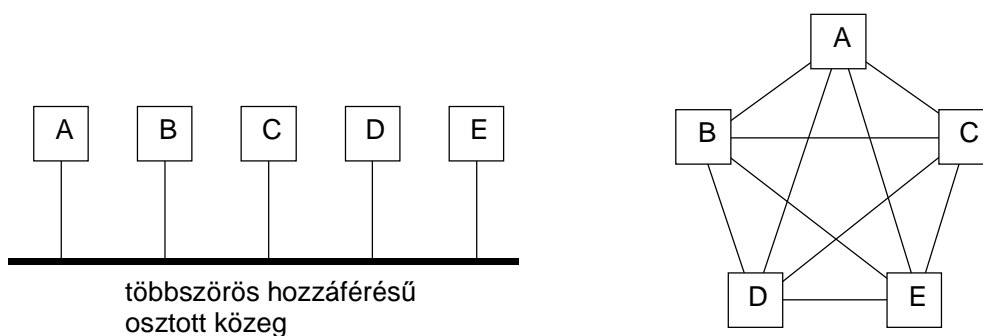
3.2.2. ábra. Irányított közeg és annak modellezése



3.2.3. ábra. Többszörös hozzáférés nyálábolással és annak modellezése

Az eddig bemutatott esetekben léteznek egy- és kétirányú logikai útszakaszok, az átvihető információ irányától függően. Egy egyirányú (szimplex, angolul simplex) útszakasznak csak az egyik kijelölt végétől a másik felé áramolhat az információ, ellenkező irányban sohasem. Értelemszerűen a kétirányú (angolul duplex) útszakaszokon mindkét irányban haladhatnak a jelek, azonban ez még mindig kétféleképpen történhet. Félduplex esetben (angolul: half-duplex) egyszerre csak az egyik irányban folyhatnak az adatok, azonban a különböző irányú adatok időben váltogathatják egymást ugyanazon az útszakaszon. Duplex esetben (angolul: full-duplex) lehetséges az is, hogy egyidejűleg folyjék információ mindkét irányban.

Az utolsó eset az olyan osztott közegek modellezése, amelyben több állomás éri el a közeget úgy, hogy bármelyik képes bármelyik másikkal kommunikálni. Ezeket *többszörös hozzáférésű osztott közegnek* nevezzük. Ilyen közeg például a koaxiális kábel, amelyet igen gyakran alkalmaztak még az 1990-es években is a helyi hálózatoknál. A többszörös hozzáférésű közegeket úgy modellezzük a forgalmi hálózatban, hogy minden állomás mindegyik másikkal össze van kötve (3.2.4. ábra). Sajnos ez az ábrázolás nem tudja visszaadni teljesen a valóságot, így például azt a tulajdonságot sem, hogy ameddig az egyik útvonalat használják, addig az összes többi használhatatlan. Hasonlóan nem jelenik meg rajta a szórtadás lehetősége vagy annak hiánya sem. Ezt úgy is fel lehet fogni, hogy a modellünk az egyszerűségéért cserébe nem tükrözi elegendően hűen a valóságot.



3.2.4. ábra. Többszörös hozzáférésű osztott közeg és annak modellezése

Ahogy a 3.2.4. ábrán is látszik, többszörös hozzáférésű osztott közegek használata esetén elképzelhető, hogy pusztán a második réteget használva a végberendezések közvetlenül kommunikáljanak egymással. Erre az esetre is mutat példát a 3.2.1. ábra, amelyben a csillaggal megjelölt útszakasz ilyen.

Az eddig ismertetteket összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az OSI modell alsó két rétegének technológiája és topológiája kihat a harmadik rétegbeli topológiára. Ugyanakkor igaz marad továbbra is, hogy a magasabb rétegek felé haladva a topológiák úgy egyszerűsödnek, hogy a bizonyos információk nem vesznek el, azaz egyfajta lényegkiemelés történik.

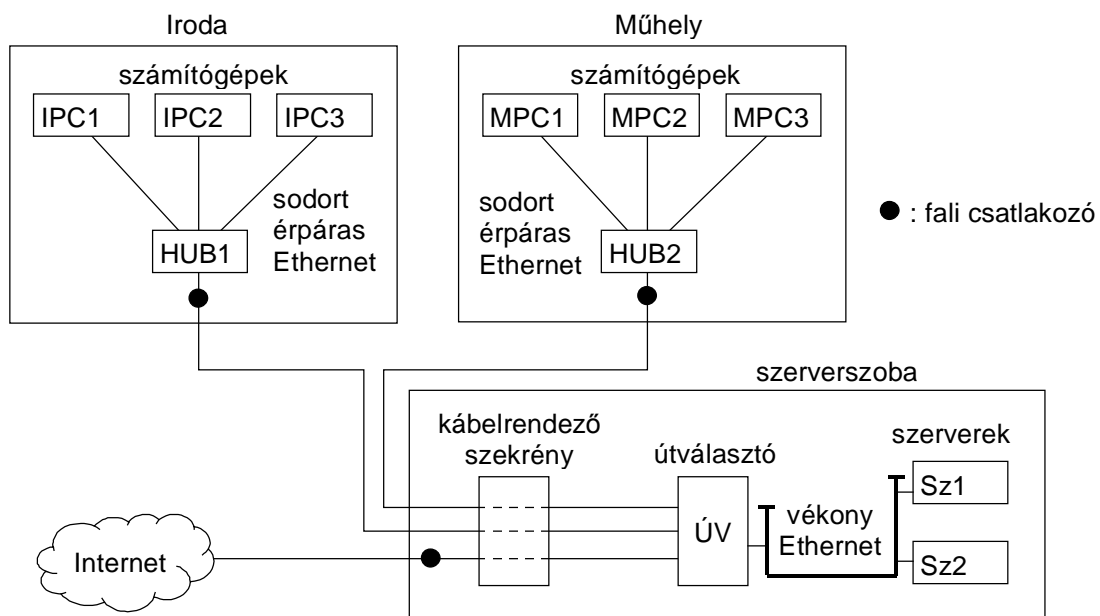
### 3.2.4 Példák a különböző hálózatmodellekre

Összefoglalásképpen nézzünk meg két összetettebb példán, hogyan is készíthetünk topológiai modellt egy hálózathoz a különböző OSI szinteken. Az első vizsgált hálózat legyen egy kisvállalkozás számítógép-hálózata, amely a következőképpen van felépítve (3.2.5. ábra):

- Az irodában és a műhelyben három-három számítógép működik, amelyeket egy-egy sodort érpár alapú Ethernet hálózat köt össze. E hálózatok központja egy-egy ún. kapcsoló elosztó (switching hub vagy röviden switch).

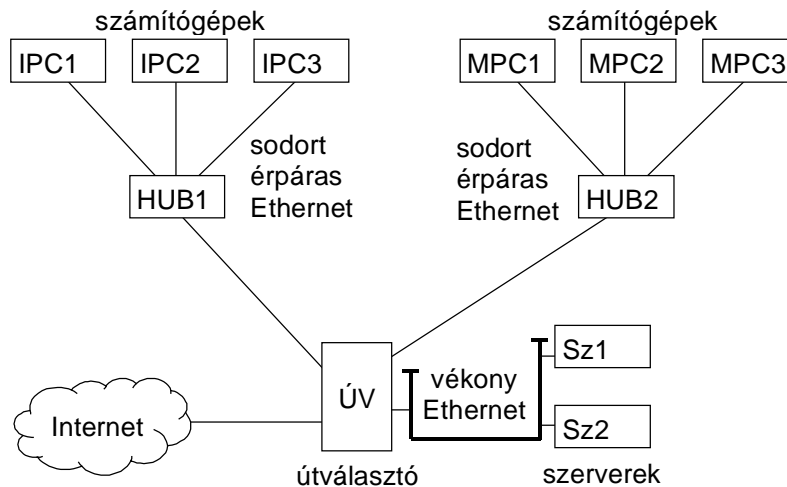
A kapcsoló elosztók olyan eszközök, amelyek funkcionalitásukat tekintve megegyeznek a hidakkal, de jellemzően több be/kimeneti kapujuk van.
- A két kapcsoló elosztó egy útválasztóval áll összeköttetésben, amelyhez a sodort érpáras vezetékek egy kábelrendező szekrényen keresztül jutnak el.
- Szintén a kábelrendezőn át jut el az útválasztóhoz az a vezeték, amelyik a helyi Internet-szolgáltató felől érkezik. Az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy az útválasztó képes e jeleket közvetlenül értelmezni, így nincs szükség további eszközre (például valamilyen modemre) ezen a vonalon.
- Az útválasztóval egy helyiségben van elhelyezve két szerver számítógép is, amelyek egymáshoz és az útválasztóhoz egy klasszikus, koaxiális kábel alapú vékony Ethernet hálózattal csatlakoznak.

A vállalkozás számítógép-hálózatának fizikai hálózati modelljét a 3.2.5. ábra mutatja. Látható, hogy az ábrán minden felsorolt hálózati elem jelen van.



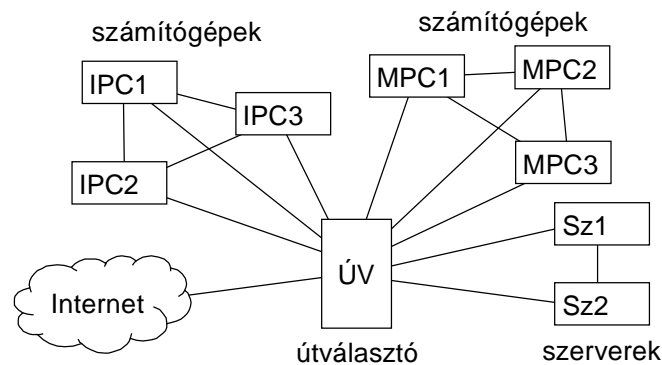
3.2.5. ábra. A fizikai hálózat

A 3.2.6. ábra az adatkapcsolati hálózatot mutatja ugyanebben az esetben. Az ábrán látszik, hogy az adatkapcsolati hálózatban már nincsenek benne a csak a fizikai réteghez tartozó elemek, mint a kábelrendező és a csatlakozók, továbbá látható, hogy a térbeli elhelyezkedés is jelentőségét veszti.



3.2.6. ábra. Az adatkapcsolati hálózat

Végül a forgalmi hálózatot a 3.2.7. ábra szemlélteti. Látszik, a forgalmi hálózatban a helyi hálózatokat teljes gráffal helyettesítettük, és többé már nincs különbség az összeköttetések (útszakaszok) között. A helyi hálózatok teljes gráffal való helyettesítése azonban igényel egy kis magyarázatot. Arról már volt szó, hogy többszörös hozzáférésű osztott közegeket a forgalmi hálózatban helyettesíthetünk teljes gráffal, hiszen ott bármelyik csomópont bármelyikkel közvetlenül kommunikálhat. Nos, pontosan ugyanez a helyzet például sodrott érpáras Ethernet esetén is, így a teljes gráffal való helyettesítés ugyanúgy indokolt, annak ellenére, hogy itt nem egy fizikai közegről, hanem egy – adatkapcsolati rétegbeli – hálózatról van szó.



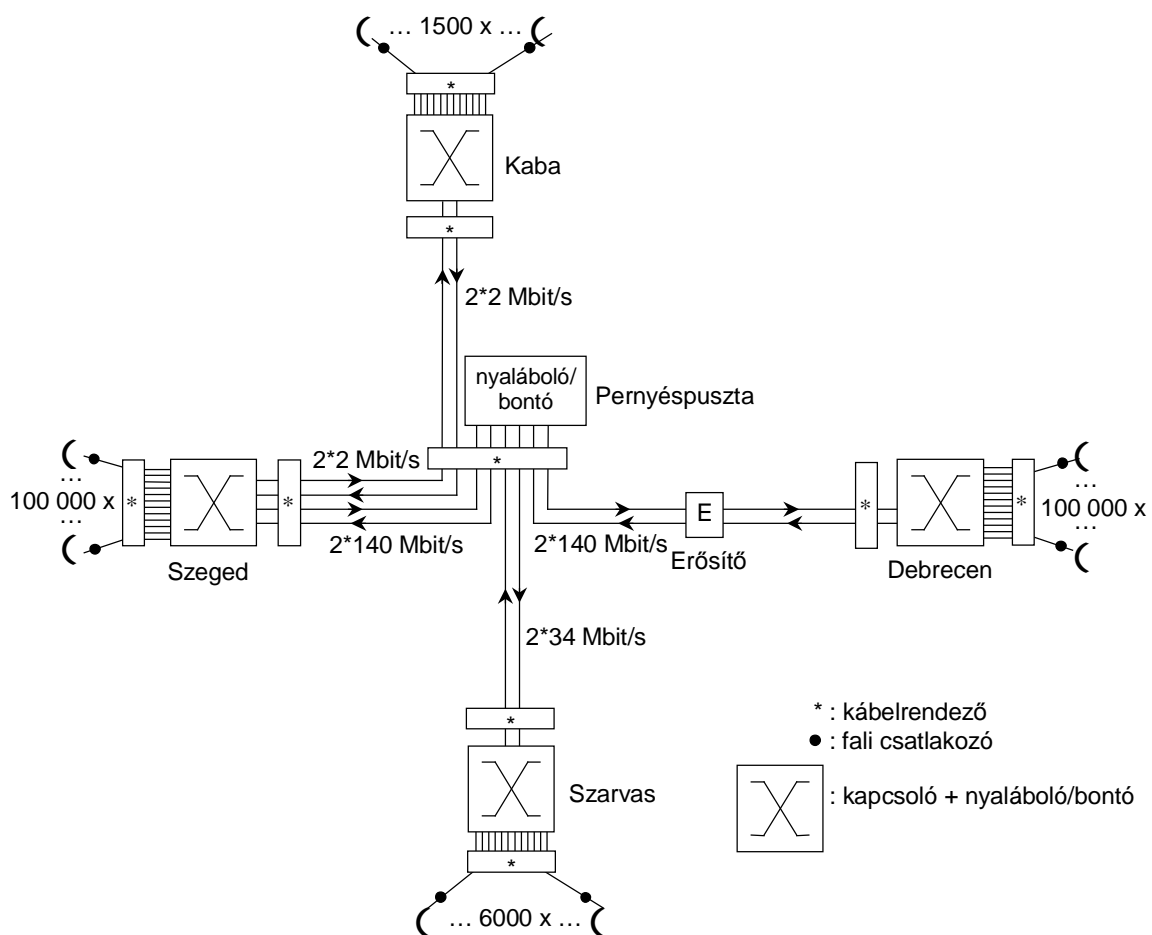
3.2.7. ábra. A forgalmi hálózat

A most vizsgált példa a számítógép-hálózatok köréből került ki. Nézzünk meg egy másik példát, ezúttal távközlő hálózatokra! Tekintsük egy kitalált távbeszélő-hálózat egy részét, mely négy települést köt össze:

- Szeged és Debrecen nagyvárosok, közöttük egy 140 Mbit/s sebességű (PDH E4) összeköttetés van létesítve. A kapcsolóközpontokhoz egyenként százezer előfizető kapcsolódik.
- Szarvas kisváros, melyhez a Szeged és Debrecen közötti összeköttetésből ágazik le két 8 Mbit/s (PDH E2) sebességű útszakasz. A leágazás egy nyaláboló/bontó csomóponton keresztül történik, amely a majdnem lakatlan Pernyépusztán található (ott nincsen előfizető). A Szarvasi kapcsolóközpont-hoz hatezer előfizető tartozik.

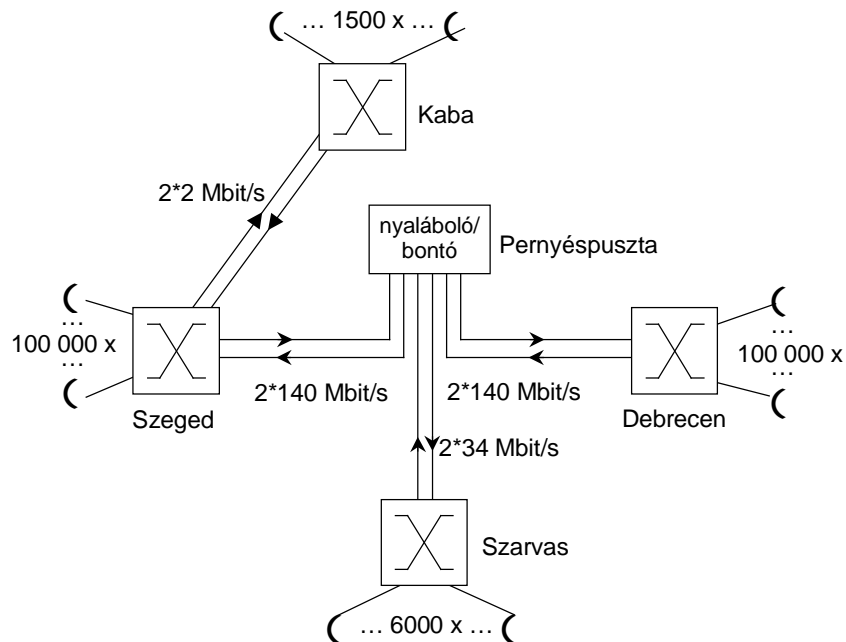
- A Peryépuszta és Debrecen közötti nagy távolság miatt félúton jelerősítőket szereltek fel.
- A kis Kaba ezerötszáz előfizetőt számlál, és kapcsolóközpontja közvetlenül Szegeddel van összekötve egy 2 Mbit/s-os (E1) útszakasszal. Bár a kapcsolat közvetlen, az összeköttetés mégsem egyenes, hanem átmegy Peryépusztán, és az ott lévő kábelrendezőn.

A távbeszélő-hálózat fizikai hálózati modelljét a 3.2.8. ábra mutatja. Az ábrán látható, hogy a központközi trónkvonalak egyirányúak, ezért a szomszédos kapcsolóközpontok között két-két ilyen vonal halad. Látható, hogy Peryépusztától Szarvas felé és vissza is 34 Mbit/s (E3) összeköttetés halad. Ennek az az oka, hogy mindkét irányba 2x8, azaz 16 Mbit/s elvezetésére lenne szükség, ilyen PDH sebesség azonban nincsen. Így tehát vagy két darab 8 Mbit/s (E2) vezetékpárt kell használni, vagy pedig egy vezetékpár elég, de eggyel magasabb sebességgel. Ez utóbbi az egyszerűbb és olcsóbb megoldás. Természetesen a Peryépuszta és Szarvas között fennmaradó 2\*18 Mbit/s egyszerűen kihasználatlan marad.



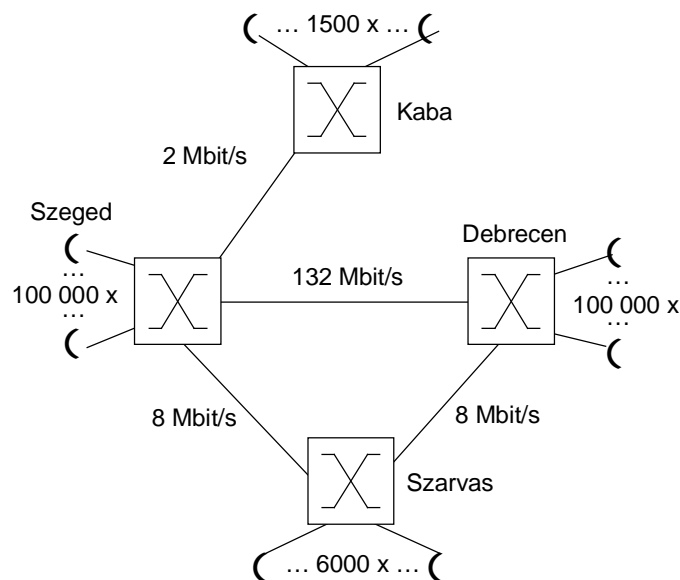
3.2.8. ábra. A fizikai hálózat

A 3.2.9. ábra ugyanennek a hálózatnak az adatkapcsolati topológiai modelljét mutatja. Ahogy a számítógép-hálózati példa esetében, itt is ugyanúgy látható, hogy az adatkapcsolati hálózatból hiányoznak a fizikai réteghez tartozó elemek, azaz a kábelrendezők, erősítők és a fali csatlakozók. Az egyes elemek, összeköttetések térbeli elhelyezkedése sem lényeges már.



3.2.9. ábra. Az adatkapcsolati hálózat

Nézzük, hogyan egyszerűsödik tovább az ábra, ha a forgalmi hálózatot tekintjük! A forgalmi hálózatot mutató 3.2.10. ábra már nem tartalmazza a nyalábolót, és a szomszédos kapcsolóközpontok között csak egy darab, kétirányú összeköttetés van. Ezen összeköttetések sebessége megegyezik a két központ közötti adatátvitel tényleges maximális sebességével.



3.2.10. ábra. A forgalmi hálózat

### 3.2.5 Áttekintés

Összefoglalásképpen megállapíthatjuk, hogy az egyes hálózatokat az OSI modell különböző szintjein vizsgálhatjuk. Az alkalmazott topológiai modell kiválasztása kizárólag a probléma jellegétől függ: mindig azt célszerű használni, amelyik már minden információt hordoz, amire szükségünk van, de lehetőleg semmivel sem többet, hiszen az csak zavarná a munkánkat. Éppen ezért ebben a fejezetben a továbbiakban elsősorban forgalmi hálózatokról fogunk írni.

### 3.3 Az információközlő hálózatok összekapcsolása

Tekintsük át röviden, milyen előnyökkel járhat a különböző hálózatok összekapcsolása! Segítségével különböző hálózatok felhasználói kapcsolatot teremthetnek egymással, és sok kisebb-nagyobb hálózatot egymáshoz kapcsolva viszonylag egyszerűen világméretű hálózat építhető fel. Erre legjobb példa maga az Internet, de ilyen a hagyományos távbeszélő-hálózat is. Természetesen lehetőség van nem teljesen azonos rendszerek csatlakoztatására is, így megvalósítható a különböző technológiák együttélése. Például egy elmaradottabb ország analóg távbeszélőrendszere is elérhető egy fejlettebb ország digitális hálózatáról, illetve mozgó hálózatból is felhívhatunk vezetékes hálózathoz tartozó készülékeket. Mindez segít az új hálózati technológiák elterjedésében is, hiszen gondoljunk csak bele, aki elsőként előfizetett egy mozgó távbeszélő szolgáltatásra nem nagyon tudott volna kit felhívni, ha a hálózata nem lett volna a vezetékes hálózattal összekötve. A hálózatok összekapcsolásának gazdasági előnyei is vannak, amire jó példa az IP feletti beszédátvitel. Az előnyök felsorolását még sokáig lehetne folytatni, ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy az összekapcsolás nem mindig egyszerű feladat, hiszen megvalósításához sokszor műszaki, gazdasági, sőt akár politikai problémákat is meg kell oldani. Ebben az alfejezetben ennek a kérdéskörnek a műszaki hátterét vázoljuk fel.

#### 3.3.1 Hordozó és távszolgáltató hálózatok

Mielőtt rátérnénk arra, milyen módokon lehetséges különböző hálózatokat összekapcsolni, célszerű a hálózatok egy eddig nem ismertett csoportosítását bevezetni:

*Hordozó hálózatnak* (angolul bearer network) nevezzük azon hálózatokat, melyek két vagy több pont közötti átlátszó – azaz a hálózat által nem értelmezett, nem feldolgozott – adatátvitelt biztosítanak. Ilyen hálózatokhoz nem csatlakozik közvetlenül végberendezés, nem tartozik hozzá alkalmazás, és így természetesen önmagukban nem fordulnak elő, csak más hálózatokkal összekapcsolva. A hordozó hálózatok által nyújtott szolgáltatást *hordozó szolgáltatásnak* (bearer service) nevezzük. Ilyen például a 64 kbit/s sebességű átlátszó adatátvitel, ahol nem törődünk azzal, mit reprezentál az átvitt adat.

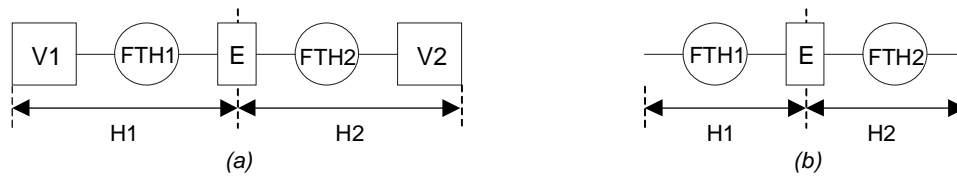
A *távszolgáltató hálózathoz* (angolul teleservice network) már létezik végberendezés, alkalmazás, és az átvitt információ ennek az alkalmazásnak megfelelő. Ennek következményeképpen a hálózat feldolgozhatja, átalakíthatja az átvitt jelet, mindaddig, amíg ez az alkalmazást nem befolyásolja. Az ilyen hálózat által nyújtott szolgáltatás neve *távszolgáltatás* (teleservice). Távszolgáltatás például a távbeszélő szolgáltatás, ahol a cél az érthető beszédjel átvitele, de annak belső reprezentálása különböző lehet: például 64 kbit/s sebességű digitális bitfolyam, avagy 4 kHz sávszélességű analóg jel.

Mind számítógép-hálózat, mind pedig távközlő hálózat nyújthat hordozó és távszolgáltatást, és bizonyos megkötésekkel a számítógép- és a távközlő hálózatokat akár külön-külön, akár vegyesen is összekapcsolhatjuk. Az összekapcsolt hálózatok típusát tekintve kétféle összekapcsolás lehetséges: hálózatok egyenrangú és hierarchikus összekapcsolása.

#### 3.3.2 Hálózatok egyenrangú összekapcsolása

Hálózatok egyenrangú összekapcsolására két távszolgáltató vagy két hordozó hálózat között van mód, vegyes összekapcsolás nem lehetséges. Az ilyen hálózatokat más néven egyenrangúan együttműködő hálózatoknak nevezzük. Az összekapcsolás struktúráját a

3.3.1. (a) és (b) ábrákon szemléltettük két távszolgáltató, illetve két hordozó hálózat összekapcsolásának a példáját. A 3.3.1. (a) és (b) ábrákon E-vel jelölt elemeket a távközlő hálózatokban *együtműködtető egységnek* (angolul interworking unit, IWU), a számítógép-hálózatokban *átjárónak* (gateway) szokás nevezni.



H1, H2: hálózatok                      FTH1, FTH2: forgalmi törzshálózatok  
V1, V2: végberendezések            E: együtműködtető egység

**3.3.1. ábra. Egyenrangúan együtműködő hálózatok:**

(a) két távszolgáltató hálózat együtműködése

(b) két hordozó hálózat együtműködése

A 3.3.2. ábra ugyanezeknek az összekapcsolásoknak egy egyszerűsített jelölését mutatja: ebben az esetben már nincs jelölt különbség a két hálózatfajta között.



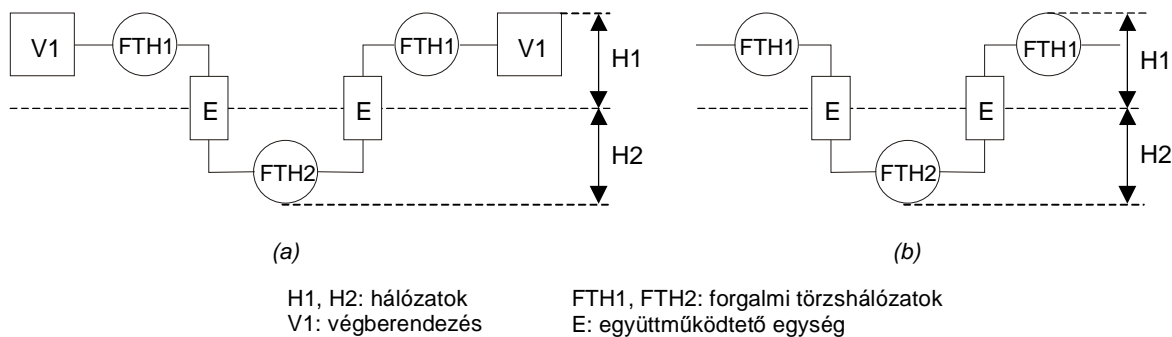
**3.3.2. ábra. Egyenrangúan együtműködő hálózatok egyszerűsített jelölése**

Az egyenrangú összekapcsolásra többféle okból is sor kerülhet, a két legjelentősebb ilyen ok a *technológiai* és az *igazgatási eltérés* a két hálózat között. Az előbbire példa egy vezetékes és egy mozgó távbeszélő hálózat összekapcsolása, amely nem is igényel sok magyarázatot. Az igazgatási eltérésre példa két magyarországi vezetékes (vagy két mozgó) távbeszélő szolgáltató összekapcsolása. Ebben az esetben ugyan elképzelhető, hogy a két szolgáltató hálózata teljesen ugyanazt a technológiát használja, mégis két összekapcsolt hálózatról beszélünk és nem egy nagyról. Ennek az az oka, hogy az egyes szolgáltatók a saját független hálózatukat üzemeltetik, azok belső működésére természetesen a másik szolgáltató nem lehet befolyással, a két hálózat közötti adatcserét pedig a szolgáltatók között megkötött szerződés szabályozza. Ide sorolható az az eset is, amikor egy vállalat a saját, TCP/IP alapú belső hálózatát (az úgynevezett Intranetjét) az Internethez kapcsolja. Ez esetben az együtműködtető egység lehet például egy tűzfal, amely elsősorban a belső hálózat integritását hivatott biztosítani a külső behatolások ellen. Természetesen az is előfordulhat, hogy két egyenrangúan együtműködő hálózat között mind technológiai, mind pedig igazgatási eltérés is van: gondoljunk csak egy vezetékes és egy mozgó távbeszélő hálózat összekapcsolására, amelyeket ráadásul különböző vállalkozások üzemeltetnek.

**3.3.3 Hálózatok hierarchikus összekapcsolása**

Két hálózat összekapcsolásának másik módja az ún. hierarchikus összekapcsolás, melynek struktúráját a 3.3.3. (a) és (b) ábrákon mutatjuk be.



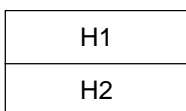


**3.3.3. ábra. Hierarchikusan együttműködő hálózatok:**  
 (a) Egy hordozó és egy távszolgáltató hálózat együttműködése  
 (b) két hordozó hálózat együttműködése

Az (a) ábrán a H1 hálózat távszolgáltatást nyújt, így végberendezéseket is tartalmaz. E hálózat ugyanakkor igénybe veszi a H2 hordozó hálózat szolgáltatásait jeleinek eljuttatásához a célállomásig. A két hálózat között értelemszerűen két illesztőegységre van szükség. Figyeljük meg, hogy a felső szinten mindkét oldalon a FTH1 forgalmi törzshálózat szerepel – ugyanarról a hálózatról van tehát szó, nem csupán egy ugyanolyanról. Ennek megfelelően a hozzájuk kapcsolódó végberendezéseket is azonos módon jelöltük.

Hálózatok hierarchikus összekapcsolására két hordozó hálózat között van lehetőség, vagy pedig egy hordozó és egy távszolgáltató hálózat között oly módon, hogy az alsó hálózat a hordozó. Más szóval hierarchikus összekapcsolás esetén a felső hálózat tetszőleges fajtájú lehet, de az alsónak mindig hordozó hálózatnak kell lenni. Amennyiben két hordozó hálózatot kapcsolunk össze, akkor természetesen a végberendezések elmaradnak (3.3.3 (b) ábra).

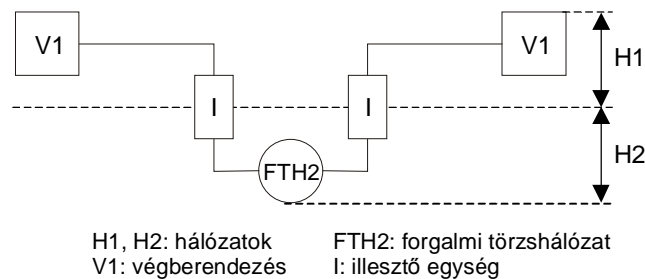
Hierarchikusan együttműködő hálózatok esetén a felső hálózatot *ráépített hálózatnak*, az alsót *alaphálózatnak* is nevezzük. A hierarchikusan együttműködő hálózatokat egyszerűbben a 3.3.4. ábrán látható módon jelöljük, függetlenül attól, hogy a H1 ráépített hálózat hordozó vagy távszolgáltató. A hierarchikus összekapcsolás akkor indokolt, ha a hálózatok technológiája különbözik, ehhez esetleg társulhat igazgatási eltérés is.



**3.3.4. ábra. Hierarchikusan együttműködő hálózatok egyszerűsített jelölése**

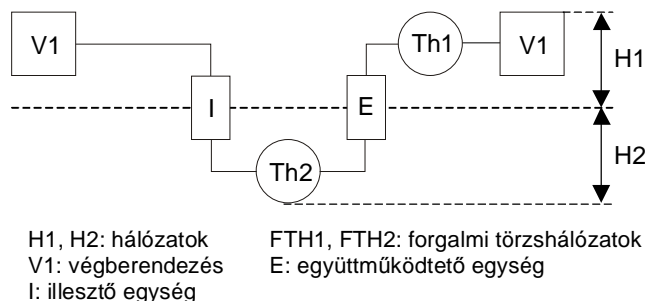
Nézzünk néhány példát hierarchikusan együttműködő hálózatokra! Gyakori megoldás PDH átvitele SDH felett (H1=PDH, H2=SDH). Ezzel a megoldással ötvözhetjük a két hálózati technológia előnyeit: az SDH nagy adatátviteli sebességét és az ehhez szükséges automatikus tartalékolási és menedzselhetőségi képességeket, valamint a PDH felhasználók számára közvetlenül hasznosítható szolgáltatásait, például a 64 kbit/s-os sebességű átvitelt és a kapcsolási képességet. Használják a hierarchikus összekapcsolási módot a távközlő hálózatok digitalizálásánál is, amikor az átállás idejére digitális távszolgáltató hálózatrészeket – „szigeteket” – kötünk össze analóg hordozó hálózattal (H1 a digitális, H2 az analóg távközlő hálózat). Egy nagyon hasonló példa a számítógép-hálózatok köréből az IPv6 bevezetése. Ennek során IPv6 távszolgáltató szigeteket kötnek össze IPv4 hordozó alaphálózattal (H1=IPv6, H2=IPv4). Ezt a megoldást a számítógép-hálózatok világában alagutazásnak (tunneling) nevezik.

Előfordulhat az is, hogy a H1 hálózat elfajul egyetlen végberendezéssé. Az együttműködtető egységet ebben az esetben *illesztő egységnek* (angolul adapter unit) nevezik. Ilyenkor a végberendezések közvetlenül az illesztő egységhez csatlakoznak, ahogy a 3.3.5. ábrán is látható. Erre az esetre példa két számítógép összekapcsolása egy távbeszélő hálózaton modemek segítségével. Elfajult esetben a végberendezések a számítógépek, amelyek egyben a számítógép-hálózat (H1) is, az illesztő egység a modem, a H2 hálózat pedig a távbeszélő-hálózat.



3.3.5. ábra. Hierarchikus együttműködés elfajuló távszolgáltató hálózattal

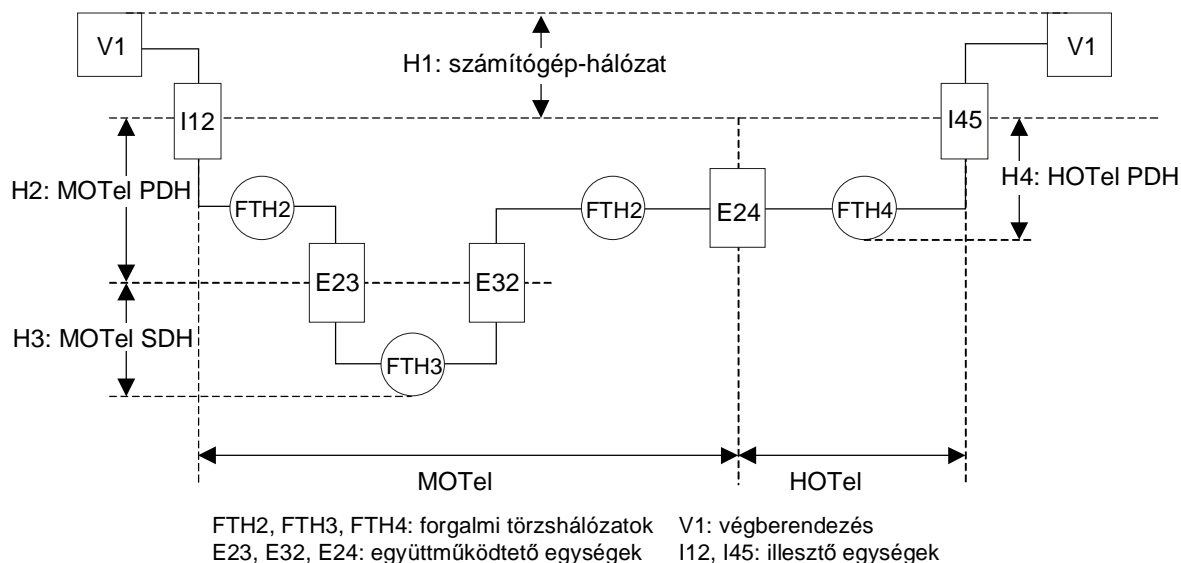
Természetesen az is lehetséges, hogy a hálózatnak csak az egyik fele fajul el, mint például amikor egyetlen számítógépet kapcsolunk modemek segítségével távbeszélő vonalon át az Internetre (3.3.6. ábra).



3.3.6. ábra. Hierarchikus együttműködés részben elfajuló távszolgáltató hálózattal

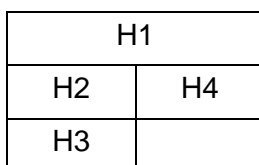
### 3.3.4 Példa együttműködő hálózatokra

Végül nézzünk meg egy összetettebb példát, amelyben az eddig bemutatott együttműködési típusokat immár kombinálva láthatjuk. Tegyük fel, egy budapesti és egy orosházai lakos szeretné számítógépét modemek segítségével a távbeszélő hálózaton át összekapcsolni. A budapesti felhasználó a fiktív Magyar Országos Telefonszolgáltató (MOTel) előfizetője, Orosházán pedig a hipotetikus Hódmezővásárhely–Orosháza Telefonszolgáltató (HOTel) a helyi szolgáltató. Ráadásul a MOTel PDH-t és SDH-t is használ, azonban a HOTel-nél Orosházán még csak a PDH hálózat van kiépítve. Az így kialakult rendszert a 3.3.7. ábra mutatja be.



3.3.7. ábra. Példa együttműködő hálózatokra

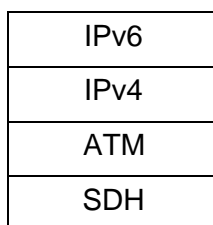
Az ábrán négy hálózat különíthető el. Az H1 jelű a számítógép-hálózat, amely elfajul két végberendezéssé, és a távbeszélő-hálózatot használja az adatátvitelre. Ez a távbeszélő-hálózatot jelen esetben egy összetett rendszer, amely három további hálózatból áll. A H2 jelű a MOTel PDH hálózata. Ez egyrészt hierarchikusan ráépül a MOTel SDH hálózatára (H3), másrészt egyenrangúan együttműködik a HOTel PDH hálózatával (H4). Ez utóbbi együttműködésre az igazgatási eltérés miatt van szükség. A rendszer egyszerűsített ábrázolását a 3.3.8. ábrán láthatjuk.



3.3.8. ábra. A példabeli rendszer egyszerűsített ábrázolása

### 3.3.5 Hierarchikus összekapcsolás és a technológiai modellezés

Amennyiben a hierarchikusan együttműködő hálózatok egyszerűsített jelölését tekintjük (lásd például a 3.3.9. ábrán található bonyolultabb példát), láthatjuk, hogy az egy rétegmodellre hasonlít.



3.3.9. ábra. Példa hierarchikusan együttműködő hálózatokra

Közelebbről megnézve megállapíthatjuk, hogy ez a jelölés valóban tekinthető rétegmodellnek abban az értelemben, hogy minden réteg csak a közvetlenül alatta és felette lévővel kommunikál, és abban az értelemben is, hogy a tényleges adatátvitelt a legelső réteg valósítja meg. Ezt a leírást *technológiai rétegmodellnek* nevezzük. E modellezésnek az a lényege, hogy

a teljes hálózatot úgy bontjuk kisebb részekre, hogy azonosítjuk az egyes – egymással hierarchikusan együttműködő – hálózati technológiákat.

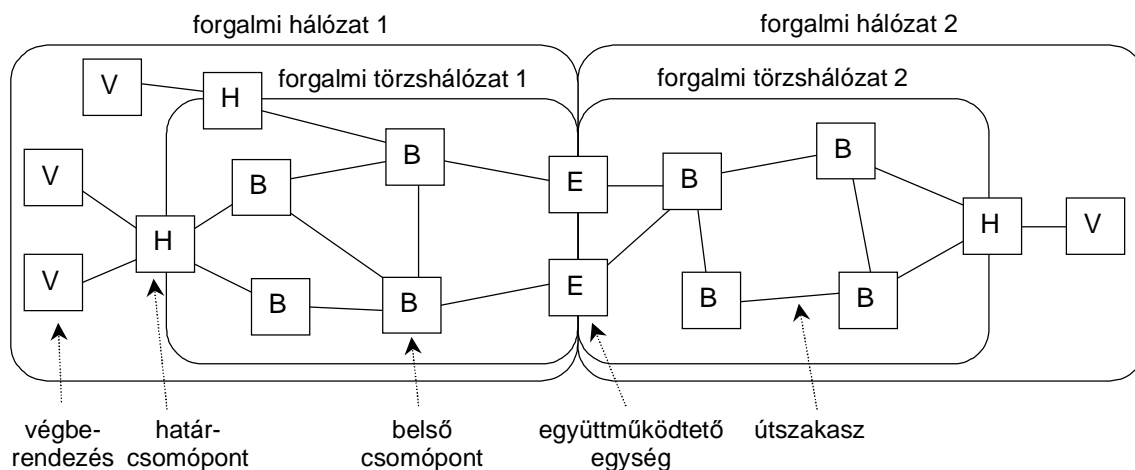
Természetesen egy technológiai réteg több funkcionális (OSI modellbeli) réteget is tartalmazhat, erről részletesebben a 3.4 alfejezetben írunk majd. A technológiai rétegzés a távközlő hálózatok körében gyakoribb, de a számítógép-hálózatok esetében sem ismeretlen: gondoljunk csak a 3.3.9. ábrán is látható IPv6 alagutas átvitelére IPv4 felett, avagy az Ethernet, illetve ATM felett megvalósított IP hálózatokra.

### **3.3.6 Együttműködő hálózatok topológiai modellezése**

Ebben az alfejezetben arra a kérdésre válaszolunk, hogy milyen hatással van a hálózatok összekapcsolása a topológiai modellezésre. A korábbi háromszintű tagolás helyett (fizikai, adatkapcsolati és forgalmi hálózati modell) most csak a forgalmi hálózati modellel foglalkozunk.

#### ***3.3.6.1 Egyenrangúan együttműködő hálózatok topológiai modellezése***

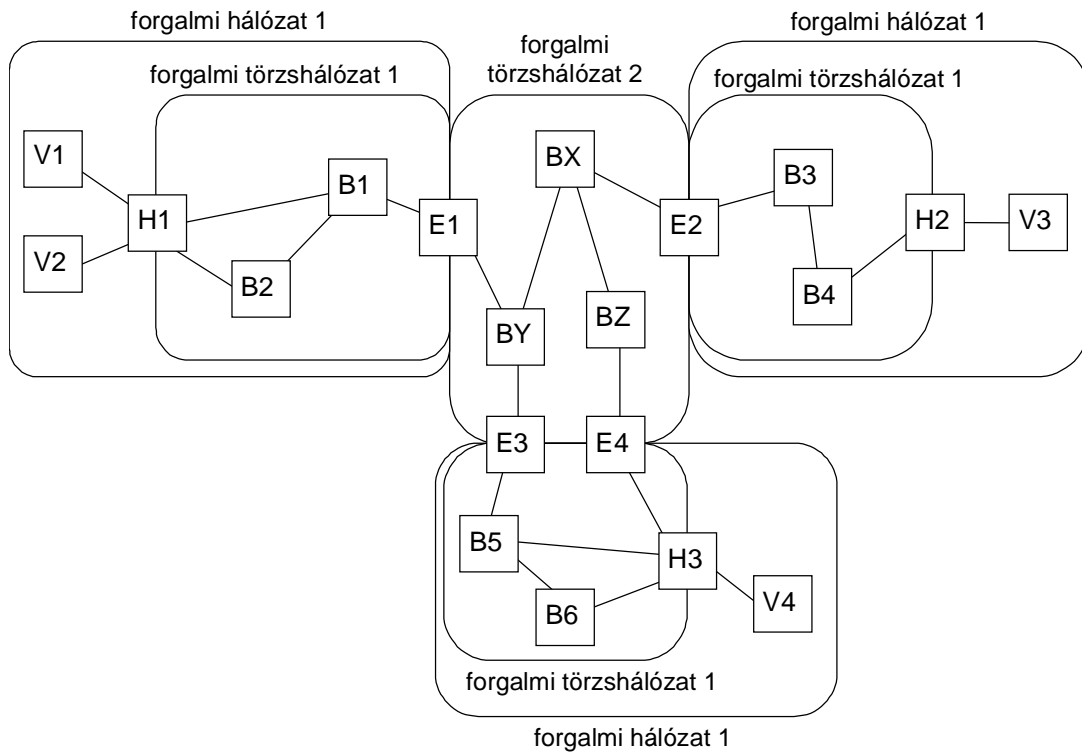
Az egyenrangúan együttműködő hálózatok topológiai modellezését a 3.3.10. ábrán mutatjuk be. Látható, hogy az együttműködtető egység mindkét forgalmi hálózatnak, sőt mindkét forgalmi törzshálózatnak a része, ahogyan azt a 3.2.3 alfejezetben már bevezettük. Az is látszik az ábrán, hogy két hálózat között lehetséges több együttműködtető egység is. Szándékos az is, hogy az együttműködtető egységekhez csak egy-egy útszakasz csatlakozik, ugyanis ezek az egységek általában nem végeznek útválasztást – kivételek azonban ebben az esetben is lehetnek.



3.3.10. ábra. Egyenrangúan együttműködő hálózatok forgalmi hálózati modellje

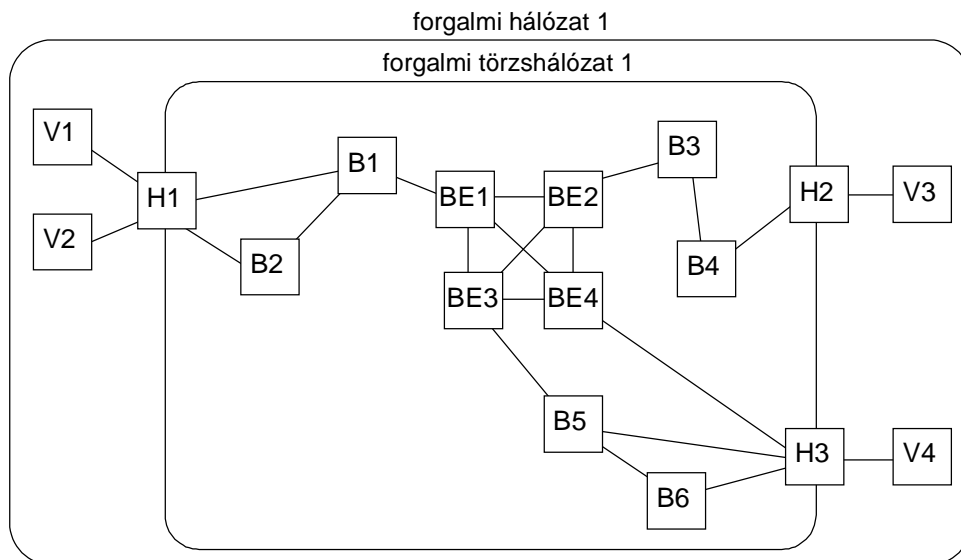
#### ***3.3.6.1 Hierarchikusan együttműködő hálózatok topológiai modellezése***

A korábban leírtakból is következik, hogy a hierarchikusan együttműködő hálózatok esetében a ráépített hálózat kettő vagy több együttműködtető egység segítségével fogja közre az alaphálózatot. Erre ad példát a 3.3.11. ábra, melyen a későbbi könnyebb hivatkozás érdekében megkülönböztető jellel láttuk el az egyes hálózati csomópontokat.



3.3.11. ábra. Hierarchikusan együttműködő hálózatok forgalmi hálózati modellje

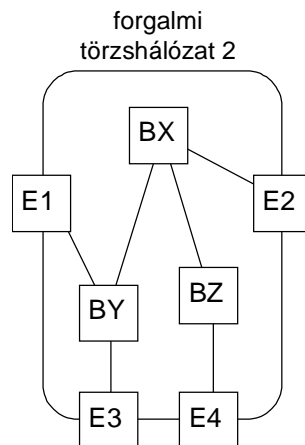
Az 3.3.11. ábrán látható modellt *abszolút szemléletű topológiai modellnek* is nevezzük, hiszen az mindkét hálózat összes forgalmi hálózati elemét tartalmazza. Egy másik megközelítést tükröz a *relatív szemléletű topológiai modell*, amelyben csak az egyik hálózat nézőpontjából vizsgáljuk az összetett rendszert. A 3.3.12. ábra a ráépített hálózat nézőpontját szemlélteti, míg a 3.3.13. ábra az alaphálózatét.



3.3.12. ábra. Relatív szemléletű topológia a ráépített hálózat nézőpontjából

A 3.1.12. ábrán látható BE1, BE2, BE3, BE4 jelű csomópontok belső csomópontokat jelölnek, amelyek a megfelelő együttműködő egységekből lettek származtatva. Látható, hogy mindegyik ilyen egység az összes többivel össze van kötve: így modellezzük azt, hogy az alaphálózat bármelyik kettő együttműködő egység között biztosítja a kommunikációt.

lehetőségét. A BE1, ..., BE4 csomópontok azonban ebben a relatív modellben már teljes értékű csomópontok abban az értelemben, hogy végeznek útválasztást, ellentétben az együttműködő egységekkel, amelyeknek a helyén állnak, és amelyek általában nem rendelkeznek ilyen képességgel.



3.3.13. ábra. Relatív szemléletű topológia az alaphálózat nézőpontjából

A 3.3.13. ábrán látható, hogy az alaphálózat szempontjából készített relatív topológiai modell igen egyszerű, hiszen megegyezik az abszolút modell alaphálózati részével. Ennek az egyszerű oka, hogy amennyiben csak az alaphálózatra vagyunk kíváncsiak, akkor nem kell törődnünk azzal, hogy honnan származik az az információ, amelyet ez a hálózat továbbít. Ebben az esetben pusztán az az érdekes, hogy melyek azok az együttműködő egységek, amelyek között biztosítja a hálózat az adatátvitelt, illetve természetesen az is fontos, hogy milyen ennek az alaphálózatnak a belső felépítése.

### 3.4 Az információközlő hálózatok funkcionális modellje

Ebben a részben a különböző információközlő hálózatok *funkcionális modellezésével* ismerkedünk meg. Ennek a modellezésnek a során a hálózati rendszert funkcionálisan dekomponáljuk, azaz a létrejövő részeket az általuk elvégzett funkciók alapján azonosítjuk. Továbbra is rétegmodelleket használunk, amelyben a teljes hálózat működését a különböző rétegek működésének összessége adja úgy, hogy az egyes rétegek csak a velük szomszédos rétegekkel állnak közvetlen kapcsolatban.

A funkcionális modellezési megközelítést leggyakrabban a számítógép-hálózatok esetében használják, ilyen modell a számítógép-hálózatok leírására született ISO OSI referenciamodell is. Bár e nagyon fontos modell alapos ismeretét feltételezzük, emlékeztetőként röviden mégis ismertetjük alább. Ezután bemutatjuk az Internet funkcionális rétegmodelljét, az úgynevezett tiszta Internet-modellt. A távközlő hálózatok működésének megértése és a számítógép-hálózatok és távközlő hálózatok egységesebb kezelhetősége érdekében ebben a részben ismertetjük a távközlő hálózatok körében alkalmazható *funkcionális* modellt is, és összevetjük azt a számítógép-hálózatok modelljével. Végül leírjuk, hogyan terjeszthetők ki a homogén hálózati technológiát leíró funkcionális rétegmodellek az összetett technológiájú együttműködő hálózatokra.

### 3.4.1 Az OSI modell

Az ismert hétrétegű ISO OSI hivatkozási modellt (3.4.1. ábra) számítógép-hálózatokhoz hozták létre, így az változatlan formában nem alkalmazható a távközlő hálózatokra.

|                         |
|-------------------------|
| 7. Alkalmazási réteg    |
| 6. Megjelenítési réteg  |
| 5. Viszony réteg        |
| 4. Szállítási réteg     |
| 3. Hálózati réteg       |
| 2. Adatkapcsolati réteg |
| 1. Fizikai réteg        |

3.4.1. ábra. Az ISO OSI hivatkozási modell

Annak érdekében, hogy az OSI modell alapján egy távközlő hálózatokra érvényes modellt létre tudjunk hozni, először nézzük meg, mi alapján különülnek el az OSI modell egyes rétegei:

- az egyes rétegek a hálózat topológiájának mely részeit érintik,
- az egyes rétegek adatcsere egységei,
- az egyes rétegek funkciói.

E felsorolt három szempontból fogjuk az OSI modell elemzését végrehajtani, és ugyanezen szempontok alapján vizsgáljuk majd a továbbiakban bemutatott információközlő hálózati rétegmodelleket is.

*Az első elemzési szempont* tehát az, hogy az egyes rétegek a hálózat mely részeire vannak hatással. Ezt a legegyszerűbben úgy lehet megállapítani, hogy megvizsgáljuk, milyen eszközökben van megvalósítva az adott réteghez tartozó protokoll. A fizikai, adatkapcsolati és hálózati rétegek protokolljai a forgalmi hálózat összes csomópontjában meg vannak valósítva, ideértve a belső és a határcsomópontokat, a végberendezéseket, illetve az együttműködtető vagy illesztő egységeket is. Fontos megjegyezni, hogy amíg a fizikai és az adatkapcsolati protokollnak csak két szomszédos csomópont között kell azonosnak lennie, addig az alkalmazott hálózati protokollnak meg kell egyeznie az egész hálózatban. A negyedik és az a feletti rétegek protokolljait csak a hálózati végződésekben valósítják meg, ami lehet végberendezés, illetve együttműködtető vagy illesztő egység, ha hordozó hálózatról van szó.

*A második szempont* az egyes rétegek adatcsere egységeinek vizsgálata. A fizikai rétegben a kommunikáció bit alapú, az adatkapcsolatiban keretnek nevezzük az adatátvitel egységét, a hálózati és a szállítási rétegekben pedig csomagokról beszélünk. A keretek és a csomagok tulajdonképpen csak a megnevezésükben különböznek, de mindkettő biteknek, illetve bájtoknak egy előre definiált struktúrájú halmaza.

Végül vizsgáljuk meg az OSI modellt *a harmadik szempont*, azaz az egyes rétegek által megvalósított funkciók szerint! Bár ez a fajta leírás már szerepelt a „Számítógép-hálózatok” című tantárgyban is, mégis érdemes röviden feleleveníteni (bővebben lásd: [Tanen]).

1. A fizikai réteg feladata a bitek továbbítása analóg csatornán, minél nagyobb sebességgel, minél kisebb hibaarányal és késleltetéssel.
2. Az adatkapcsolati réteg feladata a szomszédos – azaz egymással közvetlenül kommunikálni képes – csomópontok közötti megbízható adatátvitel biztosítása. Ide tartozik a forgalomszabályozás, amely a forrást adási sebességének csökkentésére utasíthatja, ha az túl nagy lenne a vevő számára. Amennyiben egy osztott közeget több adó használ, akkor a második réteg egyik fontos feladata a közeghozzáférés szabályozása, azaz annak biztosítása, hogy egyszerre csak egy csomópont adhasson. A közeghozzáférési probléma részének tekinthető a félduplex átvitel szabályozása is, azaz annak a meghatározása, hogy félduplex kommunikáció esetében a két fél közül mikor melyik adhat.
3. A hálózati réteg fő feladata az adatok végponttól végpontig való eljutásának biztosítása. Ehhez meg kell határozni a forrás és a nyelő végpontok között az információ terjedésének az útvonalát, ez a forgalomirányítás.

Joggal merülhet fel az olvasóban a kérdés, hogy mi a különbség a „forgalomirányítás” és az „útválasztás” között. Tulajdonképpen mindkét szó ugyanazt a fogalmat írja le más-más szemszögből. Az útválasztás az egyes csomópontok nézőpontját tükrözi, amelyeknek a feladata annak eldöntése, hogy egy bejövő csomagot vagy hívást melyik kimenetére – azaz melyik útszakaszra, útra – továbbítson. A forgalomirányítás a csomópontok útválasztó képességének az összessége, azaz a hálózat jellemzője, hiszen ekkor a teljes hálózat forgalmának az optimális utakon való elvezetéséről beszélünk. Éppen ezért az ilyen protokollokat is forgalomirányító protokolloknak nevezzük, azonban az e funkciót megvalósító csomópontokat útválasztóknak. Megjegyezzük, hogy az angol szaknyelv nem tesz különbséget a forgalomirányítás és az útválasztás között, és mindkettőre a „routing” szót használja.

A harmadik réteg további fontos feladata a torlódásvédelem, azaz annak a biztosítása, hogy a hálózatot ne árássa el több csomag, mint amennyit az feldolgozni képes. A torlódásvédelem megvalósítása különbözőképpen történik összeköttetéses és összeköttetésmentes hálózati rétegek esetén.

Nézzük meg röviden, mi is a különbség e két típus között. Tulajdonképpen nem csak a hálózati réteg, de bármelyik másik is lehet összeköttetéses, illetve összeköttetésmentes. Az előbbi esetben először fel kell építeni egy összeköttetést, ezután következhet az adatátvitel, majd le kell bontani a kapcsolatot – mint egy telefonbeszélgetéskor. Összeköttetésmentes esetben egyszerűen el kell küldeni az adatokat a célcímmel együtt, akár csak egy postai levelet. Mindkét típussal megvalósítható megbízhatatlan (de gyors) és megbízható szolgáltatás. Ez utóbbihoz az szükséges, hogy az adatokat nyugtával igazolja vissza a vevő, és szükség esetén az adó újraküldje a hibásan átvitt vagy elveszett információt. Mivel a hálózati rétegnek nem feladata a hibajavítás, így e réteg megbízhatatlan szolgáltatást nyújt csak, függetlenül attól, hogy az összeköttetéses-e vagy sem.

A hálózati rétegben az összeköttetés többféleképpen is kialakítható: valós áramkörökkel (például a távbeszélő hálózatokban), látszólagos áramkörökkel (például X.25-ben és ATM-ben), illetve dinamikus útvonalakkal (ilyet használ az MPLS vagy az IntServ).

Összeköttetéses hálózati rétegben a torlódás pusztán azáltal elkerülhető, hogy nem engedünk több összeköttetést felépíteni, mint amennyit a hálózat ki tud szolgálni. Összeköttetésmentes hálózati rétegben már jóval bonyolultabb feladat a torlódásvédelem



biztosítása. Egy egyszerű, de nem olcsó és nem is biztosan megfelelő megoldás lehet az, ha a hálózatot egyáltalán nem ruházzák fel torlódásvédelmi képességgel, viszont tervezésekor a várható forgalomhoz viszonyított túlméretezéssel biztosítják, hogy ne lehessen olyan helyzet, amikor a hálózat telítődik.

4. A szállítási réteg biztosítja a viszony rétegtől érkező adatok csomagokra tördelését és azok hibamentes eljuttatását a célállomásra. Pontosabban fogalmazva, a szállítási réteg meghatározhat különböző szolgáltatásokat, mint például megbízható, illetve nem megbízható átvitel, és ezeknek megfelelően biztosítja az adatok célba juttatását.

A szállítási réteg egy összeköttetésének megvalósítására alapesetben egy hálózati összeköttetést használ. Elképzelhető azonban több hálózati összeköttetés használata – például az átvitel gyorsítása végett –, illetve kevesebb is, azaz több szállítási összeköttetés megvalósítása egyetlen hálózati összeköttetésen. Ez utóbbi nyalábolás célja az erőforrások takarékosabb használata lehet. A szállítási réteg feladata annak biztosítása is, hogy egy végberendezés több kapcsolatot is kezdeményezhessen egyidejűleg, és az ezekhez tartozó adatok ne keveredjenek össze. Végül e réteg teendője az adatkapcsolati rétegnél megismert forgalomszabályozás megvalósítása, csak ebben az esetben nem a szomszédos csomópontok, hanem a végpontok között.

5. A viszony réteg feladata a végpontok közötti viszony kiépítése, amelynek a funkciója a felsőbb rétegtől érkező adatok átvitele mellett kiegészítő szolgáltatásokat is magában foglal. E szolgáltatások közé tartozik annak meghatározása, hogy mikor melyik fél adhat egy végponttól végpontig tartó félduplex rendszerben; a vezérjelkezelés olyan elosztott rendszerekben, amelyekben több fél közül egyszerre csak egy hajthat végre egy bizonyos műveletet; illetve az adatátvitel szinkronizációjának biztosítása, amely segítségével biztosítható, hogy egy megszakadt szállítási kapcsolat újrafelépítése után ne kelljen előlről kezdeni a teljes adatátvitelt.
6. A megjelenítési réteg biztosítja azt, hogy az esetlegesen eltérően működő végpontok azonosan értelmezzék a kicserélt adatokat. Így például, ha az egész számok gépi reprezentációja más az adó és a vevő végberendezésében, akkor e réteg feladata azt egy közös, szabványos struktúrába kódolva továbbítani. Ide tartozik még az adatok titkosítása, illetve tömörítése is.
7. Végül az alkalmazási réteg nyújtja a felhasználónak a távszolgáltatást. A réteg különböző, magas szintű – azaz a felhasználókhöz közeli – szolgáltatást nyújthat, mint például a fájlok átvitele, az elektronikus levelek továbbítása vagy a böngészés a világhálón (WWW). E szolgáltatások listája nincsen előre meghatározva, azok köre napról-napra bővül.

Összefoglalásképpen, az OSI modell három fő tulajdonsága a következő:

- funkcionális modell – az egyes rétegek a funkciók szerint különülnek el,
- homogén technológiájú hálózatokra alkalmazható csak – azaz összetett technológiájú együttműködő hálózatok leírására nem,
- csak csomag alapú hálózatok modellezésére szolgál.

E jellemzők bizonyos esetekben a modell korlátjai is egyben. A következő részekben átlépjük ezeket a korlátokat, és az OSI modellből kiindulva olyan rétegmodelleket alkotunk,

amelyekkel a nem csomag alapú hálózatok, valamint az együttműködő hálózatok is leírhatóak.

### 3.4.2 A tiszta Internet-rétegmodell

Bár eredetileg az OSI modellhez tartozó protokollrendszert működő számítógép-hálózati architektúrájának szánták, a gyakorlatban sosem terjedt el. A modell struktúrája azonban nagyon tiszta, a benne definiált funkciók jól elkülöníthetőek, ezért hivatkozási modellként továbbra is előszeretettel használják az OSI-t. Ezzel éppen ellentétes a TCP/IP protokollrendszer esete, amely a gyakorlatban nagyon elterjedt, azonban jól strukturálnak a legnagyobb jóindulattal sem mondható. Alább mégis bemutatunk egy rétegmodellt az Internet architektúrájának leírására, amely az Internet protokollrendszerének analizálásával készült. Itt tehát egy adott rendszerhez készítettünk egy rétegmodellt a könnyebb megértés céljából. Ezzel éppen ellentétes módon készült az OSI rendszer, ahol is először az egyes rétegek funkciói lettek meghatározva, és ezekhez készültek az (azóta szinte elfelejtett) protokollok.

Az előbb elmondottak miatt az alább bemutatott Internet-modellt – és az összes ilyen próbálkozást – némi fenntartással kell fogadni. Ez azt jelenti, e protokollrendszer bizonyos funkcióit meglehetősen nehéz elhelyezni az egyes rétegekben, ezért a réteghatárok meghúzése nem teljesen egyértelmű és így némiképp önkényes. További gond, hogy az Internetes protokollok körében viszonylag gyakoriak a réteghatár-sértések, azaz azok a helyzetek, amelyekben az egyes rétegek nem biztosítják más rétegek működésének az önállóságát, hanem felhasználják, sőt módosítják a másik réteg belső adatait.

Mindezek után lássuk az Internet-modellt, egyből az OSI modellel összevetve (3.4.2. ábra)! Az ábrán dőlt betűvel feltüntettük a tipikusan alkalmazott protokollokat is. Itt fontos megjegyezni, hogy a feltüntetett protokollokon kívül sok más protokoll jelenléte is szükséges egy valódi TCP/IP hálózat működéséhez, a könnyebb érthetőség céljából azonban itt és a következő hasonló ábrákon csak a didaktikailag legfontosabbakat emeltük ki. Az TCP/IP protokollcsaládnak ezt a legegyszerűbb modelljét *tiszta Internet-modellnek* nevezzük, így különböztetve meg a később (a 3.4.4 alfejezetben) bemutatott kiegészítéseitől.

| OSI modell           | Tiszta Internet-modell                              |
|----------------------|---|
| Alkalmazási réteg    | Alkalmazási réteg<br>(pld. FTP, HTTP, SMTP, Telnet) |
| Megjelenítési réteg  |   |
| Viszony réteg        |   |
| Szállítási réteg     | Szállítási réteg<br>(TCP, UDP)                      |
| Hálózati réteg       | Hálózati réteg (IP)                                 |
| Adatkapcsolati réteg | (Hálózatalérési réteg*)                             |
| Fizikai réteg        |   |

### 3.4.2. ábra. Az OSI és az Internet-modell

*\*a réteg megvalósítására a 3.4.4 alfejezetben térünk vissza*

Fontos tudni, hogy az ábrán az Internet-modellben az egyes rétegek vastagsága nem azzal arányos, hogy mennyi funkciót valósít meg az adott réteg, hanem pusztán azt jelzi, hogy OSI modell melyik rétegének funkciói tartoznak hozzá. Bár ez némileg ellentmondásosan hangzik, az igazság mégis az, hogy az Internet hálózati rétege legalább olyan összetett, mint például a szállítási rétege. Ennek oka részben az, hogy az OSI modellben sem igaz az, hogy minden réteg közel egyforma komplexitású.

Ahogy az ábrán is látható, az Internet-modell az alkalmazási rétegébe zsúfolja össze azokat a feladatokat, amelyeket az OSI a viszony, a megjelenítési és az alkalmazási rétegekbe tagol. Az Internet-modellben a szállítási réteg valósítja meg a torlódásvédelmet (amennyiben TCP protokollt használunk), így az átnyúlik az OSI hálózati rétegébe, azonban ezen az eltérésen kívül a szállítási és a hálózati rétegek nagyjából megegyeznek a két rétegmodellben.

A 3.4.2. ábrán az adatkapcsolati és fizikai rétegnek megfeleltethető hálózatalérési réteget zárójelbe tettük. Ennek az az oka, hogy ez a rész hiányzik a tiszta Internet-modellből. Ez azt jelenti, hogy a modell feltételezi egy ilyen réteg jelenlétét, és többé-kevésbé meghatározza a hálózati és a hálózatalérési réteg közötti szolgálatelérési pontokat – azaz a hálózatalérési réteg feladatait, funkcióit –, de maga nem definiál ilyen protokollokat. Más szóval a TCP/IP-nek általában szüksége van valamilyen infrastruktúrára, amely összeköti az egyes csomópontokat.

Eddig az Internet-modell funkcióit ismertettük. Tulajdonképpen ez is volt a fő célunk, de a könnyebb érthetőség kedvéért nézzük most meg, hogyan is valósítják meg a bemutatott funkciókat konkrét protokollokkal. A felső három réteg feladatait leggyakrabban a 3.4.2 ábrán zárójelben megadott protokollok látják el, bár, mint említettük, ettől eltérő protokollok is lehetségesek. Az igazán érdekes azonban a hálózatalérési réteg funkcióinak megvalósítása, amelyre a gyakorlatban többféle megoldás is elterjedt. Az első esetben a szolgáltatást egy külön hálózat nyújtja, amelyhez több Internetes számítógép is csatlakozik. Erre az esetre példa az a helyi hálózatokban gyakori eset, amikor Ethernet hálózat felett valósítjuk meg a TCP/IP hálózatot hierarchikus együttműködéssel. A megvalósításának a másik módja abban az esetben használatos, amikor mindössze két IP csomópontot kapcsolunk össze egy pont-pont összeköttetéssel. Ebben az esetben az adatkapcsolati réteg feladatainak az elvégzésére a

2.2.3 alfejezetben ismertetett PPP-t használhatjuk, valamilyen fizikai réteg (közeg) felett. E megoldás tipikus alkalmazási területei az IP útválasztók összekapcsolása, illetve az otthoni számítógépek az Internetre való kapcsolódásának biztosítása távbeszélő hálózat segítségével. Az alkalmazott fizikai réteget egy külön hálózattal valósítják meg – például ilyen a távbeszélő hálózat az otthoni, kapcsolt vonali internetezés esetén – hierarchikus együttműködéssel. Az ilyen rendszerek modellezésével a 3.4.4. alfejezetben külön foglalkozunk, így ott visszatérünk a hálózatelérési réteg lehetséges megvalósításaira is.

Arra a kérdésre, hogy az egyes rétegek a hálózat mely részeit érintik, a válasz gyakorlatilag következik az OSI modellnek való megfeleltetésből. A hálózatelérési és a hálózati réteg protokolljai a forgalmi hálózat minden csomópontjában jelen vannak, a szállítási és az alkalmazási réteg protokolljai pedig csak a végberendezésekben. Sajnos azonban, mint az Internet esetében majdnem minden szabályra, erre is akadnak kivételek: léteznek például IP útválasztók, amelyek a TCP/UDP portszámot is figyelembe veszik útválasztáskor.

Végül vizsgáljuk meg az egyes rétegek adatcsere egységeit! A hálózatelérési rétegben az egység attól függ, hogyan valósítjuk meg a réteg funkcióit, de általában itt is bitekről és keretekről beszélünk, akárcsak az OSI modellnél. A hálózati és a szállítási rétegek adatcsere egységei az Internet-modell esetében is a csomagok.

### **3.4.3 A távközlő hálózatok funkcionális modellje**

Nézzük most, milyen rétegmodell állítható fel a távközlő hálózatok leírására. Ebben az alfejezetben is kizárólag homogén technológiájú hálózatokról lesz szó, az összetett technológiájú hálózatok funkcionális modellezésével a következő alfejezetben foglalkozunk.

Először is figyeljük meg, hogy az adatcsere egység szerinti leírás sokkal kevésbé lehetséges, mint számítógép-hálózatok esetén. Amíg ugyanis ott az egyes rétegek mindig azonos adatcsere egységet használnak, addig a távközlő hálózatoknál ugyanazon réteg esetén jelentős különbségek lehetnek. Például az alább ismertetett átviteli rétegben a következő átviteli egységekkel találkozhatunk: az ATM hálózatok cellának nevezett csomagokat használnak, SDH-ban a megadott időrésekben bitfolyamként történik az átvitel, a teljesen analóg távbeszélő hálózatok pedig analóg jeleket továbbítanak.

Szerencsére a funkcionális megközelítés továbbra is lehetséges: az így felállított modellt a 3.4.3. ábra mutatja be, egyből az OSI modellel összehasonlítva.

| OSI modell           | Távközlő hálózati modell |
|----------------------|--------------------------|
| Alkalmazási réteg    | Alkalmazási réteg        |
| Megjelenítési réteg  |                          |
| Viszony réteg        |                          |
| Szállítási réteg     | Illesztési réteg         |
| Hálózati réteg       | Kapcsolási réteg         |
| Adatkapcsolati réteg | Átviteli réteg           |
| Fizikai réteg        | Fizikai réteg            |

3.4.3. ábra. Az OSI és a távközlő hálózati rétegmodell

Nézzük meg az egyes rétegek funkcióit:

1. A távközlő hálózati rétegmodell fizikai rétege gyakorlatilag megegyezik az OSI fizikai rétegével. Ide tartozik a kettő/négyszorosos átalakítás is, azaz a duplex átvitel megvalósítása abban az esetben, ha csak két fémvezető áll rendelkezésre.
2. Az átviteli réteg feladata az információ továbbítása a kapcsolni képes csomópontok között. E csomópontok lehetnek szomszédosak, illetve lehetnek közük ékelve olyan csomópontok, amelyek kapcsolni nem képesek, rendezni azonban igen. A rendezés tehát az átviteli rétegbe tartozik. Mivel a vezérelhető digitális rendezők forgalomirányítást is végeznek, ezért ez a réteg átnyúlik az OSI hálózati rétegébe.

Bár a második fejezetben már ismertettük a rendező és rendezés fogalmakat, elevenítsük fel ismét, mi a különbség a kapcsolat és a rendezés között. Egy kapcsolóhoz a végberendezésektől érkeznek kapcsolatfelépítési kérések. Ha egy felépítési kérést az útvonalon minden kapcsoló elfogad, akkor a kapcsolat sikeresen felépült. Ezután az egyes kapcsolók az adott kapcsolathoz tartozó beérkező jelet mindig a megfelelő kimenetükön továbbítják, nyalábolás alkalmazása esetén a megfelelő kimeneti időrésben (TDM) illetve frekvencián (FDM), vagy például ATM esetén a megfelelő VP, VC azonosítóval. Ez a folyamat a kapcsolat.

A rendezés szintén a bejövő adatok megfelelő kimenetre – nyalábolás esetén a kimeneten belül is a megfelelő időrésben/frekvencián – való továbbítást jelenti, akárcsak a kapcsolat. Az egyik különbség az, hogy a rendezőt nem a végfelhasználó, hanem a hálózatmenedzser vezérli, ráadásul viszonylag ritkán. A másik eltérés, hogy a rendező gyakran nem foglalkozik az egyes kapcsolatokkal külön-külön, hanem sok csatornát egyszerre, kötegelve kezel.

3. Ahogy a neve is mutatja, a kapcsolási rétegben van a kapcsolat megvalósítva. Ehhez azonban szükséges az útválasztási információk ismerete, így e réteg feladata a forgalomirányítás is. A kapcsolók mindemellett torlódásvédelmet is végeznek, hiszen áramkörkapcsolt rendszerekben is elképzelhető a kapcsolatfelépítési kérelmek torlódása – igaz, maguk az adatok már nem torlódhatnak. Ezen funkciók alapján a kapcsolási réteg jól megfeleltethető az OSI hálózati rétegének.

4. Az illesztési réteg feladata a kapcsolási réteg által felajánlott szolgáltatásnak az alkalmazási réteg felé való illesztése, azaz számára jobban hasznosítható formába alakítása. E réteg elsősorban az ATM hálózatokban jellemző, ahol e réteget ATM illesztési rétegnek (ATM Adaptation Layer, AAL) nevezik. ATM esetében a kapcsolási réteg egy cellafolyam garantált minőségű célba juttatását nyújtja, és erre építve kínál az illesztési réteg olyan absztraktabb szolgáltatásokat, amelyek közvetlenül használhatóak például a digitalizált beszédhang vagy az IP csomagok átvitelére. Az AAL által nyújtott többlétszolgáltatások közé tartozik például az adatfolyam cellákká tördelése, illetve a cellákból az adatfolyam visszaállítása; a hibák jelzése vagy javítása; időzítési információk küldése és feldolgozása valamint a nyálábolás és bontás.
5. Az alkalmazási réteg nagyjából megfeleltethető az Internet-modell alkalmazási rétegének, bár a távközlő hálózatokban jóval kevesebb feladatot kell e helyen ellátni. Éppen ezért a távközlő hálózati végberendezések is jellemzően egyszerűbbek a számítógép-hálózati végberendezéseknél. Ebbe a rétegbe tartozik például a PCM beszédkódolás is.

Végezetül vizsgáljuk meg a távközlő hálózatok rétegmodelljét a harmadik szempont alapján, azaz hogy mely rétegek mely részeit érintik a hálózatnak (3.4.4. ábra). A „hálózat” szó alatt most azonban kivételesen az adatkapcsolati hálózatot értjük, és nem a forgalmi hálózatot, mint a fejezetben eddig és majd ezután is. Ennek az az oka, hogy most foglalkozni kívánunk olyan eszközökkel is, amelyek nem részei a forgalmi hálózatnak, mint például a nyálábolók. Ugyanakkor azokat az elemeket, amelyek csak a fizikai hálózatnak részei, továbbra sem vizsgáljuk.

Vegyük észre, hogy éppen az ilyen esetek miatt volt célszerű többféle topológiai hálózati modellt felállítani: így kényelmesen ki tudjuk választani azt, amelyik már éppen minden olyan információt tartalmaz, amivel foglalkozni szándékozunk.

| Távközlő hálózati modell | Szállító törzshálózat | Kapcsolt törzshálózat | Hálózati végződés |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| Alkalmazási réteg        | û                     | û                     | ü                 |
| Illesztési réteg         |                       | ü                     |                   |
| Kapcsolási réteg         |                       |                       |                   |
| Átviteli réteg           |                       |                       |                   |
| Fizikai réteg            | ü                     |                       |                   |

3.4.4. ábra. Az egyes rétegek megvalósítása a távközlő (adatkapcsolati) hálózatok különböző részeiben

A fizikai és az átviteli réteg protokolljait az adatkapcsolati hálózat minden elemében implementálják. A hálózatnak azt a részét, ahol csak ezt a két réteget valósítják meg, *szállító törzshálózatnak* (transport core network) nevezzük. Mint korábban is említettük, ez a törzshálózatnak az a része, amely nem tartalmaz kapcsolókat, legfeljebb csak rendezőket, nyálábolókat. Működése egyszerű, ezért kevés szolgáltatást nyújt, de gyors és megbízható. A szállító törzshálózatokat leggyakrabban optikai vezetékekkel valósítják meg. Az ilyen törzshálózatra példa egy PDH alapú távbeszélő hálózatnak az a belső része, amelyik csak nyálábolókból áll.

A kapcsolási réteg már csak a végberendezésekben, együttműködtető vagy illesztő egységekben és a kapcsolt törzshálózatban (switched core network) van jelen. Ez utóbbi természetesen tartalmaz kapcsolókat, a szállító törzshálózatnál lassabb átvitelre képes, azonban összetettebb szolgáltatásokat nyújt. Ilyen például a PDH alapú távbeszélő hálózatban az első hierarchiaszint, amely kapcsolást is végez.

A számítógép-hálózatokhoz hasonlóan a távközlő hálózatok esetében is a felsőbb rétegek – azaz az illesztési és az alkalmazási réteg – protokolljait csak a hálózati végződésekben implementálják, ami távszolgáltató hálózatok esetében a végberendezés, a hordozó hálózatoknál pedig az együttműködtető vagy az illesztő egység.

### **3.4.4 Együttműködő hálózatok funkcionális modellje**

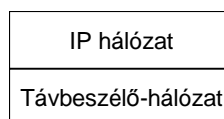
Mint azt a 3.4.1. alfejezetben is elmondtuk, az OSI modell csak homogén hálózatok leírására alkalmas, azaz összetett technológiájú együttműködő hálózatok leírására nem. Mi több, ez a többi rétegmodellre is igaz, amelyeket ebben a fejezetben eddig megvizsgáltunk. Éppen ezért szükség van arra, hogy két együttműködő hálózatot modellezni tudjunk a már megismert funkcionális modellek felhasználásával. Erről lesz szó ebben az alfejezetben.

#### ***3.4.4.1 Hierarchikusan együttműködő hálózatok funkcionális modellje***

Hierarchikusan együttműködő hálózatok esetében az elemi hálózatok funkcionális modelljeiből az összetett hálózat rétegmodelljének létrehozása viszonylag összetett feladat. A probléma ráadásul többféleképpen is megközelíthető, és az egyes megközelítések más-más modellt eredményeznek. A lehetséges megoldásokat a könnyebb érthetőség végett példák kapcsán mutatjuk be.

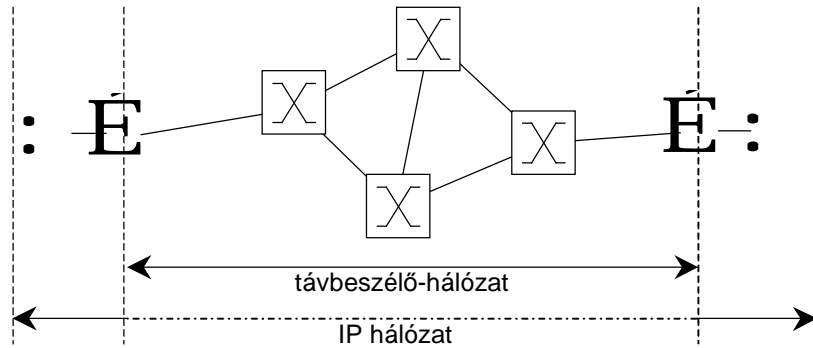
#### **IP távbeszélő hálózat felett és a PPP Internet-modell**

Az első példában tekintsünk mindössze két számítógépet, amelyek a TCP/IP protokollrendszert használják az egymás közötti kommunikációra. A gépek egymással modemek segítségével, egy kapcsolt távbeszélővonalon vannak összekötve, adatkapcsolati protokollnak a PPP-t használják (3.4.5. ábra).



*3.4.5. ábra. Példa PPP-t használó hierarchikusan együttműködő hálózatokra*

Az abszolút szemléletű forgalmi hálózatot a 3.4.6. ábrán láthatjuk. Ahogy azt korábban is említettük, a számítógép-hálózat ebben az esetben elfajul egy-egy számítógéppé és egy-egy modemmé.



3.4.6. ábra. Példa PPP-t használó hierarchikusan együttműködő hálózati topológiára

A hierarchikusan együttműködő hálózatok funkcionális modellezésére két megközelítés létezik, hasonlóan az ilyen hálózatok topológiai modellezéséhez: a relatív és az abszolút szemlélet. A *relatív szemlélet* esetében az egyik elemi hálózat szemszögéből nézzük az egész rendszert. Mivel a két hálózat bármelyikét választhatjuk nézőpontnak ezért ez a szemlélet önmagában is két modellt fog eredményezni, csakúgy, mint a topológiai modellezés esetén.

Vizsgáljuk az összetett hálózatot először az IP szemszögéből. Az IP hálózat számára az egész távbeszélő-hálózat csupán egy adatkapcsolati és fizikai réteget megvalósító összeköttetés, amely összekapcsolja a két IP csomópontot (számítógépet) egymással, amelyek ezáltal szomszédossá válnak. Ezt a szemléletet tükrözi a 3.4.7. ábrán látható rétegmodell, melyben az adatkapcsolati réteget a TCP/IP protokollrendszerhez tartozó PPP protokoll valósítja meg.

|                                       |
|---------------------------------------|
| Alkalmazási réteg                     |
| Szállítási réteg<br>(TCP, UDP)        |
| Hálózati réteg<br>(IP)                |
| Adatkapcsolati réteg<br>(PPP)         |
| Fizikai réteg<br>(távbeszélő-hálózat) |

3.4.7. ábra. Relatív szemléletű modell az IP hálózat nézőpontjából

Ugyanez a távbeszélő-hálózat szempontjából merőben másképp fest. A távbeszélő-hálózat ugyanis ebben az esetben hordozó hálózatként működik, amely nem foglalkozik azzal, hogy milyen adatokat is továbbít, csupán átviszi azokat. Éppen ezért számára az IP hálózat adatai a távbeszélő-hálózat alkalmazási rétegébe tartoznak, ahogy az a 3.4.8. ábrán is látható.

|                                   |
|-----------------------------------|
| Alkalmazási réteg<br>(IP hálózat) |
| Kapcsolási réteg                  |
| Átviteli réteg                    |
| Fizikai réteg                     |

3.4.8. ábra. Relatív szemléletű modell a távbeszélő-hálózat nézőpontjából



*Abszolút szemlélet* esetén tulajdonképpen összeillesztjük az előző két rétegmodellt (3.4.9. ábra). A figyelmes szemlélő észreveheti, hogy ez a modell két olyan réteget is tartalmaz, amelyek foglalkozik forgalomirányítással: a hálózati és a kapcsolási réteget, melyek ráadásul nem is közvetlenül egymás alatt helyezkednek el. Ez valóban furcsa első ránézésre, azonban a modellünk ilyen szempontból is pontos, hiszen a valóságban is a távbeszélő-hálózatban is és IP hálózatban is van forgalomirányítás, melyek ráadásul egymástól teljesen függetlenek.

|                                |
|--------------------------------|
| Alkalmazási réteg              |
| Szállítási réteg<br>(TCP, UDP) |
| Hálózati réteg<br>(IP)         |
| Adatkapcsolati réteg<br>(PPP)  |
| Kapcsolási réteg               |
| Átviteli réteg                 |
| Fizikai réteg                  |

3.4.9. ábra. Abszolút szemléletű modell

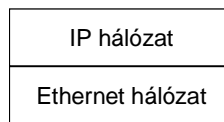
A 3.4.2 alfejezetben a tiszta Internet modell kapcsán már említettük, hogy a TCP/IP protokollrendszer csak egy meglévő hálózati infrastruktúrát felhasználva képes működni, melyet kétféleképpen lehetséges megvalósítani. Pont-pont kapcsolatok esetében a PPP és egy megfelelő fizikai réteg szolgáltatja a megoldást, a másik esetben a hordozó szolgáltatást egy valódi hálózat nyújtja, amelyhez több Internetes számítógép is csatlakozik. A most bemutatott példa természetesen az első esethez tartozik. Éppen ezért nagy jelentősége van a 3.4.9. ábrán látható modellnek, ez ugyanis a pont-pont topológiájú TCP/IP hálózatoknak az egységes modelljét adja meg, melyet *PPP Internet-modellnek* nevezünk. Jelentősége miatt a PPP Internet-modellt külön is ábrázoljuk, a tiszta Internet-moddellel összevetve (3.4.10. ábra).

| Tiszta Internet-modell                    | PPP Internet-modell                       |
|---|---|
| Alkalmazási réteg<br>(pld. FTP, HTTP,...) | Alkalmazási réteg<br>(pld. FTP, HTTP,...) |
| Szállítási réteg<br>(TCP, UDP)            | Szállítási réteg<br>(TCP, UDP)            |
| Hálózati réteg<br>(IP)                    | Hálózati réteg<br>(IP)                    |
| (Hálózatalérési réteg)                    | Adatkapcsolati réteg<br>(PPP)             |
|   | Fizikai réteg<br>(pld. távbeszélő h.)     |

3.4.10. ábra. A PPP Internet-modell

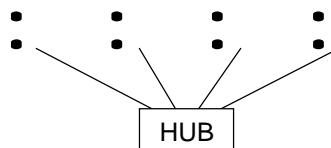
### IP Ethernet felett és a hibrid Internet-modell

A következő példa legyen egy nagyon gyakori helyzet: az Ethernet és IP hálózatok hierarchikus együttműködése (3.4.11. ábra).



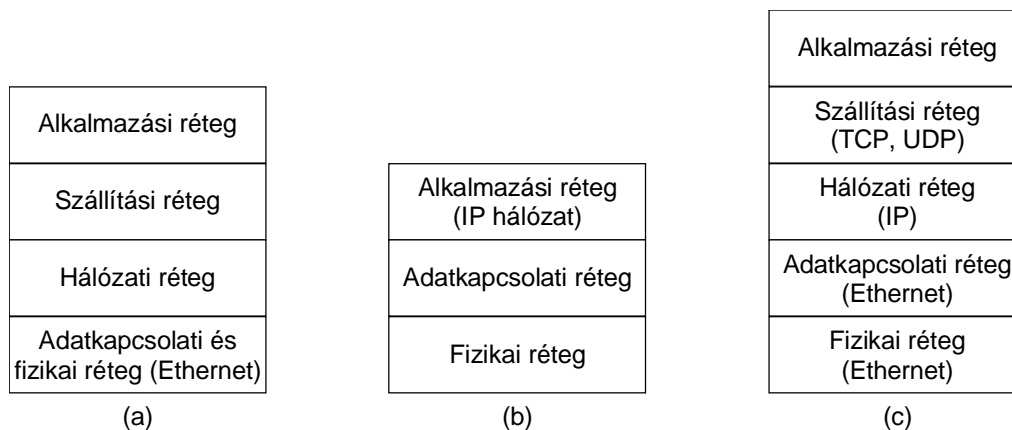
3.4.11. ábra. Példa IP és Ethernet hálózatok hierarchikus együttműködésére

Egy példa helyi hálózat adatkapcsolati hálózati modelljét mutatja be a 3.4.12. ábra. A hálózatban négy számítógép van, mindegyikben egy-egy Ethernet hálózati kártya, amelyek egy Ethernet elosztóhoz (angolul hub) csatlakoznak.



3.4.12. ábra. Példa hálózat IP és Ethernet együttműködésére

A számítógépek mind az Ethernet, mind a TCP/IP hálózatok protokolljait megvalósítják oly módon, hogy a fizikai és az adatkapcsolati rétegek funkcióit az Ethernet látja el, az e felettieket pedig a TCP/IP protokollok. Ez tehát egy hierarchikus együttműködés annak ellenére, hogy topológiailag nem különíthető el olyan élesen a két együttműködő hálózat, mint az előző példában. A 3.4.13. ábra szemlélteti az ide vonatkozó rétegmodelleket.



3.4.13. ábra. Modellek a példához:

- (a) relatív szemléletű modell az IP hálózat nézőpontjából
- (b) relatív szemléletű modell az Ethernet hálózat nézőpontjából
- (c) abszolút szemléletű modell

A most vizsgált hálózat jó példája annak az esetnek, amikor a TCP/IP egy másik hálózattal működik együtt, amelyik számára a hálózatalérési réteg funkcióit biztosítja, egyszerre több Internetes csomópontot is összekötve. Tehát e rendszer is két hálózat hierarchikus együttműködéséből áll, melyben a TCP/IP a ráépített hálózat. Az elmondottakból már következik, hogy a 3.4.13. (a) ábra gyakorlatilag megegyezik a tiszta Internet-moddellel. Az egyetlen különbség, hogy a legalsó réteget most nem hálózatalérési rétegnek neveztük, de a funkcióját tekintve pontosan ugyanarról van szó.

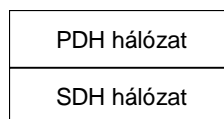
Szintén nagy jelentősége van a 3.4.13. (c) ábrán látható modellnek, ez ugyanis a többpont-többpont topológiájú TCP/IP hálózatoknak az egységes modelljét adja meg, csakúgy, mint a PPP Internet-modell pont-pont kapcsolatokra. Ezt a modellt *hibrid Internet-modellnek* nevezzük. Természetesen ez esetben a modell egyes rétegeit más protokollok is megvalósíthatják, így például az Ethernet helyett használhatunk mondjuk vezérjeles gyűrűt, a modell azonban változatlan marad. Fontossága miatt a hibrid Internet-modellt a 3.4.14. ábrán külön is bemutatjuk, a tiszta Internet-moddellel összevetve.

| <b>Tiszta Internet-modell</b>             | <b>Hibrid Internet-modell</b>               |
|---|---|
| Alkalmazási réteg<br>(pld. FTP, HTTP,...) | Alkalmazási réteg<br>(pld. FTP, HTTP,...)   |
| Szállítási réteg<br>(TCP, UDP)            | Szállítási réteg<br>(TCP, UDP)              |
| Hálózati réteg<br>(IP)                    | Hálózati réteg<br>(IP)                      |
| (Hálózatalérési réteg)                    | Adatkapcsolati réteg<br>(pld. az Etherneté) |
|   | Fizikai réteg<br>(pld. az Etherneté)        |

3.4.14. ábra. A hibrid Internet-modell

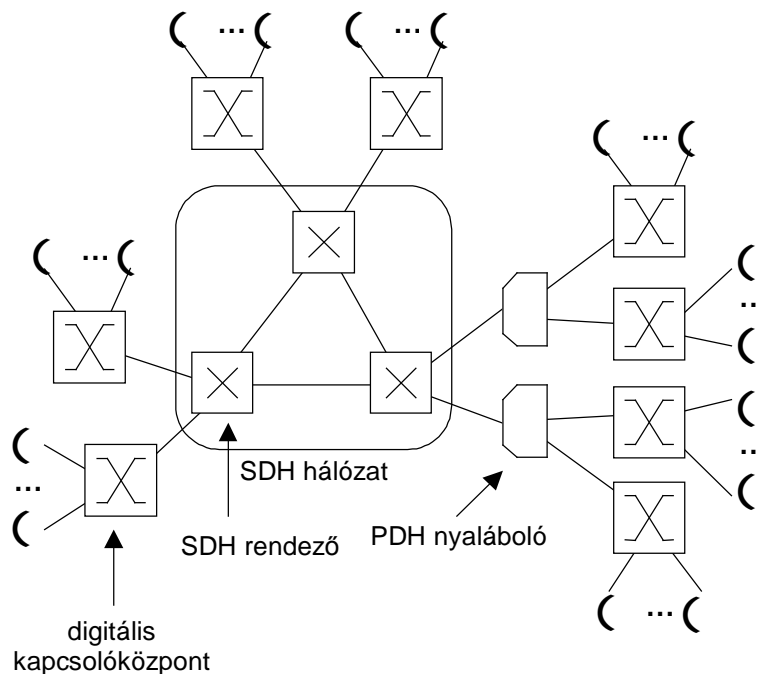
PDH SDH felett

Harmadik példánkat a távközlő hálózatok köréből vettük: a gyakorlatban igen elterjedt PDH–SDH hierarchikus együttműködést mutatjuk be (3.4.15. ábra).



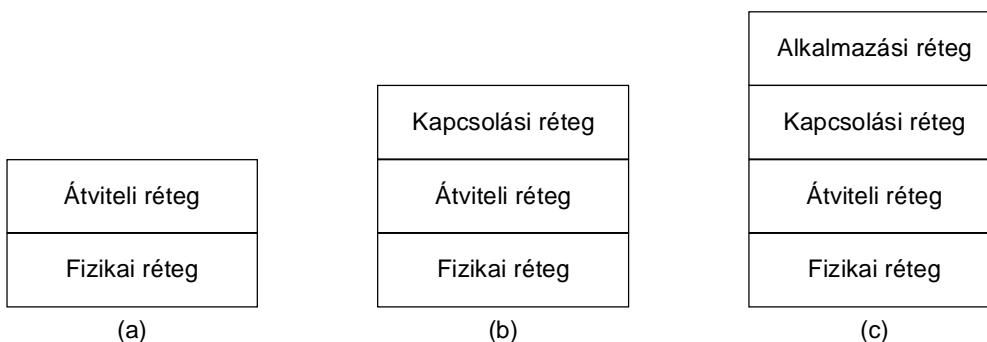
3.4.15. ábra. PDH és SDH hierarchikus együttműködése

Az adatkapcsolati hálózati topológia a 3.4.16. ábrán látható.



3.4.16. ábra. Példa PDH és SDH hierarchikus együttműködésére

Mielőtt az összetett hálózat rétegmodelljeit megismernénk, nézzük meg, hogyan is modellezhetjük a PDH és SDH hálózatokat külön-külön! SDH hálózat csak hordozó lehet, és – ahogy a 3.4.17. ábrán is látható –, csak a fizikai és átviteli rétegeket valósítja meg. PDH hálózat lehet hordozó és távszolgáltató is, ahogy az ábrán is látszik. A PDH a fizikai, átviteli, kapcsolási és alkalmazási rétegeket valósítja meg, az utóbbi kettőt azonban csak az első hierarchiaszinten lévő PDH csomópontok dolgozzák fel. Természetesen az alkalmazási réteg csak akkor van jelen, ha távszolgáltató a hálózat; ebben az esetben a tipikus alkalmazás a PCM kódolású beszédátvitel.



3.4.17. ábra. Távközlő hálózatok modellezése:

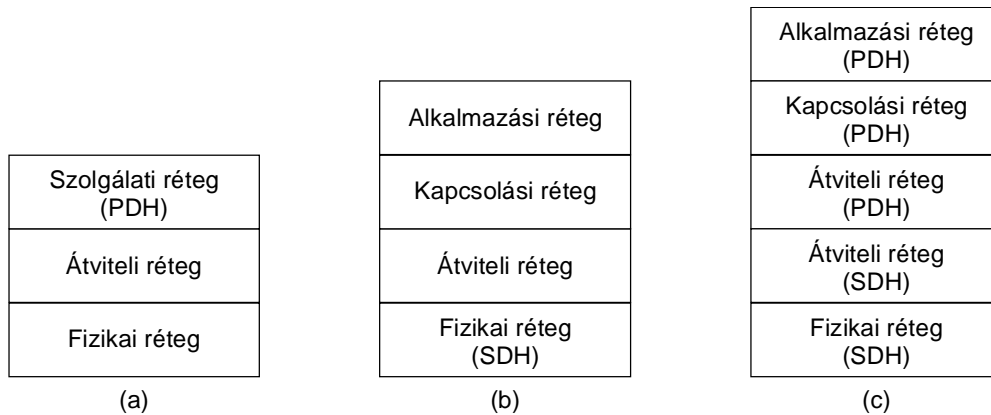
(a) SDH hálózat

(b) hordozó PDH hálózat

(c) távszolgáltató PDH hálózat

Ezek után nézzük a példabeli hálózat modellezését (3.4.18. ábra)! Az SDH szemszögéből készített relatív modellben feltűnik a „szolgálati réteg”, amellyel az SDH-ban nem létező összes felsőbb réteget modellezzük. Ez tulajdonképpen a korábbi esetek alkalmazási rétegének felel meg, az SDH esetében azonban az „alkalmazási réteg” kifejezés félrevezető lenne, hiszen egy hordozó hálózatnak nem lehet alkalmazási rétege. Ezen kívül az összetett

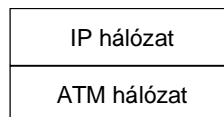
rétegmodellek nem igényelnek további magyarázatot, hiszen azok az előző példák mintájára készültek.



3.4.18. ábra. PDH és SDH együttes modellezése:  
 (a) relatív szemléletű modell az SDH hálózat nézőpontjából  
 (b) relatív szemléletű modell a PDH hálózat nézőpontjából  
 (c) abszolút szemléletű modell

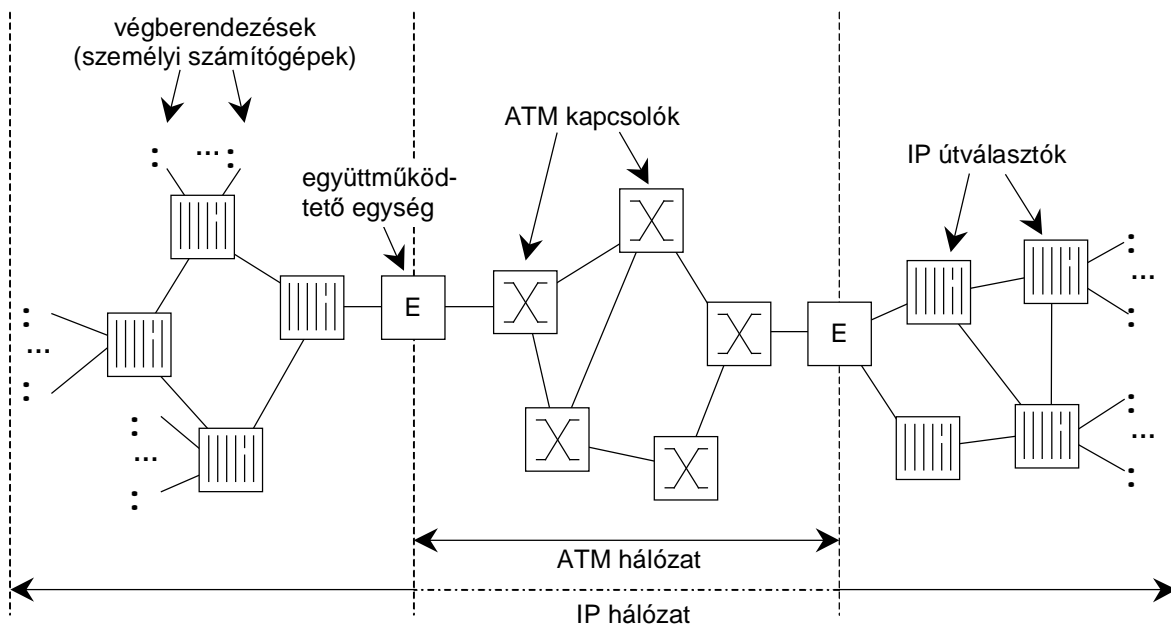
#### IP ATM felett

Utolsó példánkban két hálózat működik együtt hierarchikusan: egy távszolgáltató IP hálózat épül rá egy hordozó ATM hálózatra (3.4.19. ábra).



3.4.19. ábra. IP és ATM hierarchikus együttműködése

A rendszer forgalmi hálózati modellje a 3.4.20. ábrán látható.

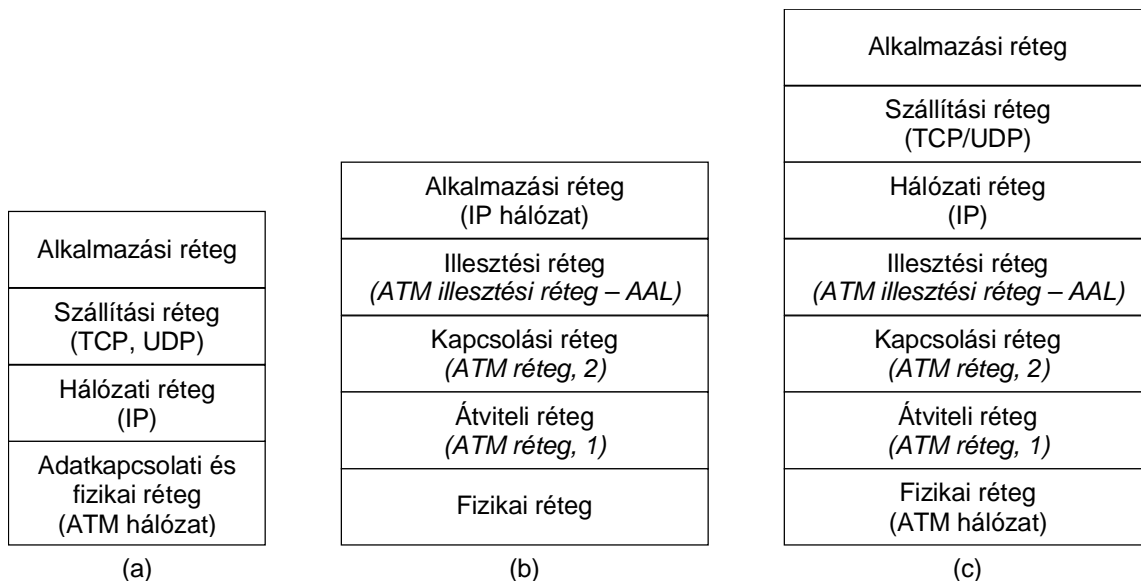


3.4.20. ábra. Hierarchikusan együttműködő hálózatok példa topológiája

Mint az ATM hálózatok ismertetésénél már utaltunk rá, az ATM használható hordozó és távszolgáltató hálózatként is. Eredetileg főleg távszolgáltató hálózatnak szánták, később azonban kiderült, hogy ez az elképzelés nem vált be, azonban mint hordozó hálózat sok helyen elterjedt az ATM.

Tételezzük fel, hogy az IP hálózat ATM-en kívüli része Ethernet felett van megvalósítva. Ez a kikötés ugyan elrontja a példa tisztaságát, egyszerűségét, de mint láttuk, ez elkerülhetetlen, hiszen „tisztá” TCP/IP hálózat nem létezik, mindig szükség van egy hordozó hálózatra is.

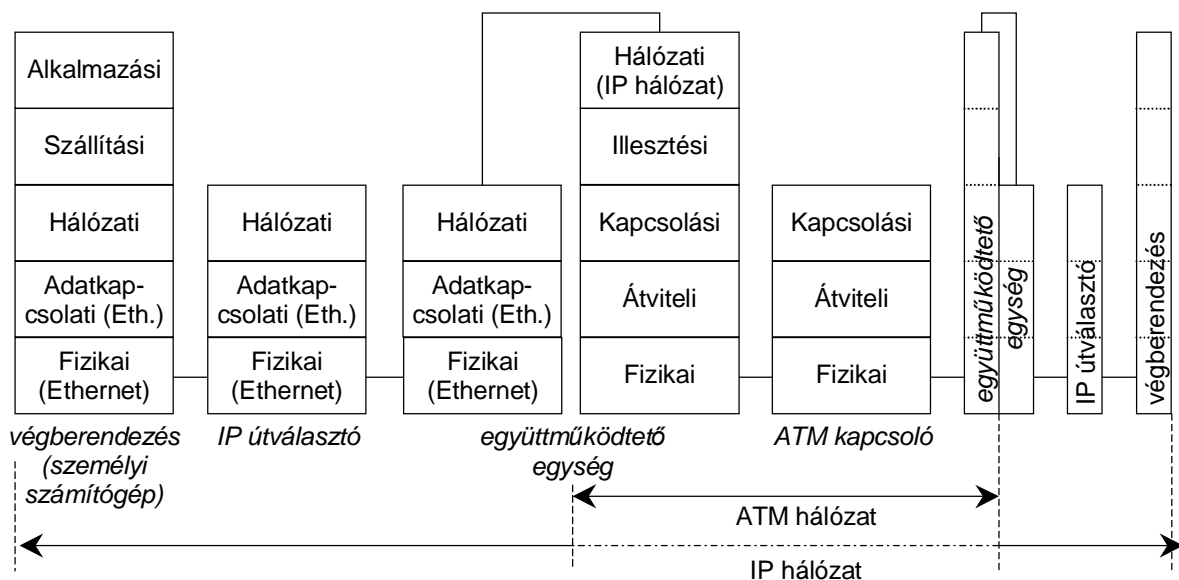
A rétegmodelleket a 3.4.21. ábra mutatja be. Csakúgy, mint az Ethernet felett megvalósított IP példa esetében, ebben az esetben is az IP hálózat nézőpontjából készített relatív modell gyakorlatilag megegyezik a tiszta Internet-moddellel – ez a tiszta Internet-modell definíciójából következik. A 3.4.21. (b) és (c) ábrákon dőlt betűvel feltüntettük az ATM hálózati terminológiában megszokott rétegneveket is ott, ahol azok eltérnek az általunk bemutatott távközlő hálózati modellben használttól. Ezzel kapcsolatban az is látható, hogy az ATM-ben szokásosan nem választják külön az átviteli és a kapcsolási réteget, hanem a kettő együtt képezi az úgynevezett ATM réteget.



3.4.21. ábra. Rétegmodellek a példához:

- (a) relatív szemléletű modell az IP hálózat nézőpontjából  
 (b) relatív szemléletű modell az ATM hálózat nézőpontjából  
 (c) abszolút szemléletű modell

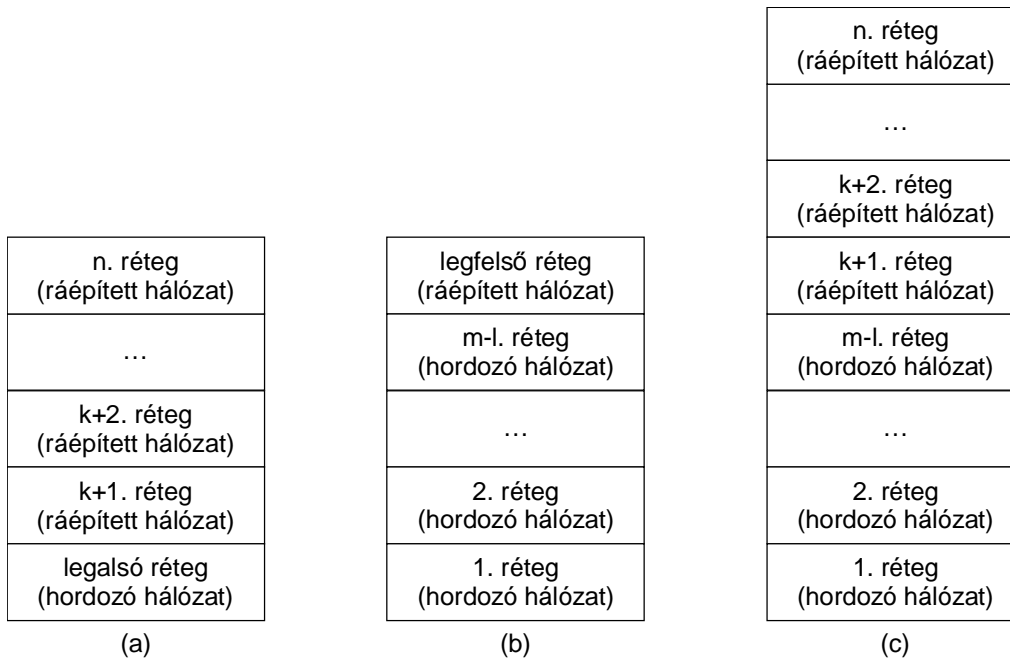
Végül megmutatjuk, hogy a hálózat egyes eszközei a modellek mely rétegeit dolgozzák fel (3.4.22. ábra). Az ábrán a könnyebb áttekinthetőség végett a jobb oldalon nem ismételtük meg az együttműködtető egység, az IP útválasztó és a végberendezés modelljét. Az IP hálózat ATM hálózaton kívüli részét a hibrid Internet-moddellel reprezentáltuk, amely alkalmas az ott lévő IP és Ethernet együttműködésének leírására. Fontos észrevenni, hogy az IP hálózat szállítási és alkalmazási rétegét csak a két végberendezés dolgozza fel. Az is látszik az ábrán, hogy az együttműködtető egységben az ATM oldalon az abszolút modellt alkalmaztuk. Ez azért célszerű így, mert ily módon tudjuk érzékeltetni, hogy az együttműködtető egység is csak a TCP/IP hálózati rétegéig dolgozza fel az IP hálózatból érkező adatokat.



3.4.22. ábra. A példa hálózat eszközeinek funkcionális modellje

### Hierarchikusan együttműködő hálózatok modellezése általánosan

A példákban alkalmazott szabályokat megfogalmazhatjuk általánosan is. A ráépített elemi hálózat szempontjából az alaphálózat az alsó rétegbeli funkciókat valósítja meg (3.4.23. (a) ábra). Éppen ezért ebben a relatív modellben az összes  $n$  rétegből alsó néhány ( $k$ ) réteget az alaphálózat valósítja meg. Mivel a felső hálózat szempontjából vizsgáljuk a rendszert, ezért az alaphálózat rétegeit nem tüntetjük fel, azt egyetlen réteggént kezeljük. Hasonló gondolatmenettel kapjuk meg az alsó (alap-) hálózat szempontjából készített relatív modellt (3.4.23. (b) ábra). Ebben az esetben az összes  $m$  rétegből felső  $l$  réteget valósítja meg a ráépített hálózat, amelyet ebben az esetben is egyetlen réteggel modellezünk. Az abszolút modellt ezek után egyszerűen úgy származtatjuk, hogy a két relatív modellt összeillesztjük úgy, hogy a ráépített hálózat modelljéből hagyjuk az alsó réteget, és ez alá beillesztjük az alaphálózat szempontjából készült modellt, de annak is elhagyjuk a legfelső réteget (3.4.23. (c) ábra).



3.4.2.3. ábra. Hierarchikusan együttműködő hálózatok modellezése:

(a) relatív szemléletű modell a ráépített hálózat nézőpontjából

(b) relatív szemléletű modell az alaphálózat nézőpontjából

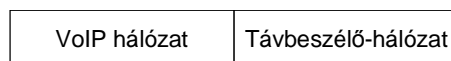
(c) abszolút szemléletű modell

Végül megjegyezzük, hogy gyakori eset, hogy a számítógép-hálózati szakemberek a távközlő hálózatokat egyszerűen a számítógép-hálózatok fizikai rétegének tekintik – különösen, ha a távközlő hálózat nem csomag alapú, mint például a PDH. Emiatt egy kevésbé tájékozott távközlő hálózati mérnök akár meg is sértődhet, mondván, hogy „Hogyan lehetséges a fizikai rétegnek tekinteni egy olyan bonyolult hálózatot, amely például forgalomirányítást is képes megvalósítani?” Nos a kettejük közötti további vita elkerülhető, ha ismerik a fent leírt három modellezési megközelítést: a relatív modelleket az alap- és a ráépített hálózat szemszögéből nézve, illetve az abszolút modellt. Ezek alapján belátható ugyanis, hogy tulajdonképpen mindkét félnek igaza van. A régi vicc szerint, aki azt állítja, hogy mindkét félnek nem lehet igaza, annak is igaza van. Most azonban szerencsére nem ez a helyzet, hiszen mindkét állítás lehet helytálló, attól függ csupán, melyik modellt használjuk.

### 3.4.4.2 Egyenrangúan együttműködő hálózatok funkcionális modellje

Egyenrangúan együttműködő hálózatok esetén az összetett hálózat modellezése lényegesen egyszerűbb, mint a hierarchikus együttműködés esetében. Az együttműködő hálózatokat ugyanis topológiailag két részre oszthatjuk a két elemi hálózat határán – az együttműködtető egységénél vagy egységeknél –, és mind a két részre külön-külön alkalmazhatjuk az oda vonatkozó rétegmodellt.

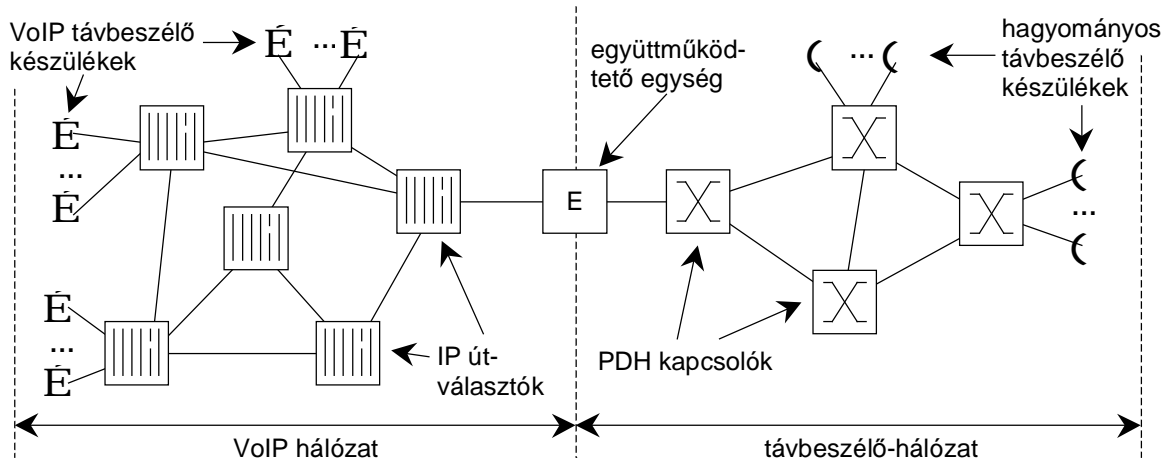
Példaként vizsgáljuk meg két távszolgáltató hálózat egyenrangú együttműködését: legyen e két hálózat egy IP alapú beszédátviteli hálózat (VoIP) és egy hagyományos PDH alapú távbeszélő-hálózat (3.4.24. ábra)!



3.4.24. ábra. Példa egyenrangúan együttműködő hálózatokra

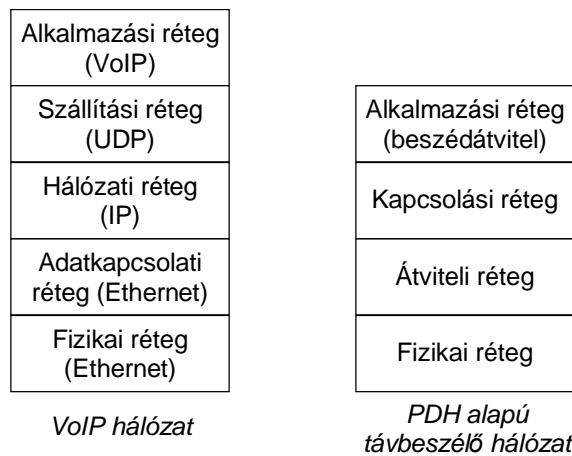


A 3.4.25. ábra mutatja a példa forgalmi hálózati modelljét. Csakúgy, mint az ATM feletti IP példában, itt is feltételezzük, hogy az VoIP hálózat Ethernet felett van megvalósítva.



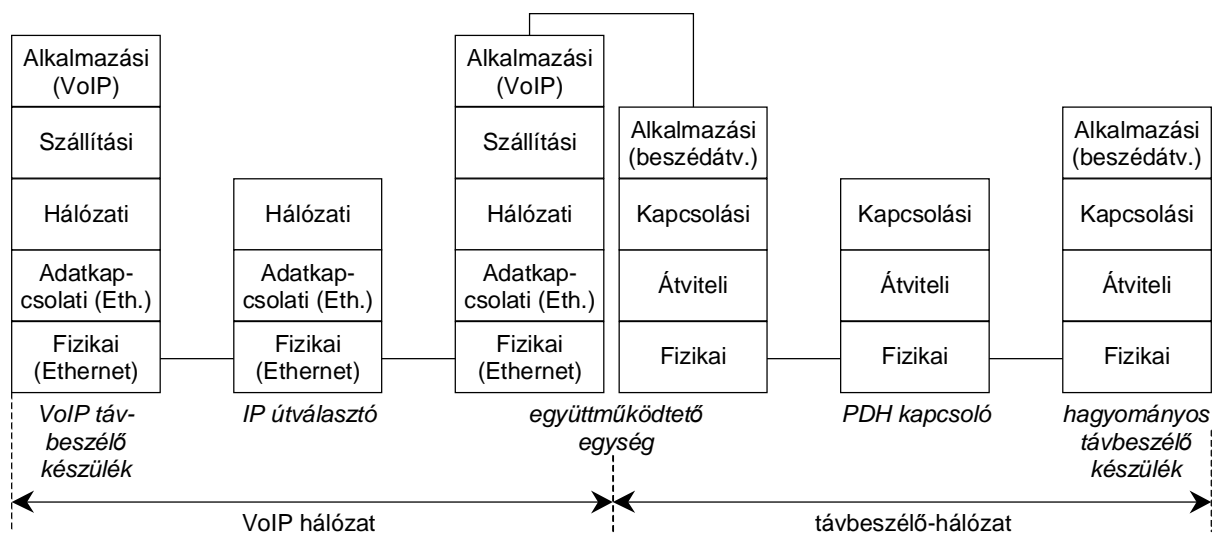
3.4.25. ábra. Egyenrangúan egyettműködő hálózatok példa topológiája

Mint mondtuk, az elemi hálózatok eszközeit külön-külön funkcionális modellel írjuk le, ezt szemlélteti a 3.4.26. ábra. Természetesen, akárcsak az IP-ATM példánál, itt is a hibrid Internet-modellt használjuk a VoIP hálózatra.



3.4.26. ábra. A példa hálózat funkcionális modellje

A 3.4.27. ábrán bemutatjuk, hogy az egyes eszközök a funkcionális modellek mely rétegeit dolgozzák fel. Látható, hogy az útválasztók, illetve a kapcsolók csak a hálózati, illetve a kapcsolási réteggel dolgozzák fel az általuk továbbított adatokat, a magasabb rétegek feldolgozása csak a végberendezésekben és az egyettműköd-tető egységben történik meg. Jól látható az is, hogy az egyettműköd-tető egység része mindkét elemi hálózatnak, következésképp ismeri mindkettő protokolljait. Mivel két eltérő hálózatról van szó, ezért az egyettműköd-tető egység kénytelen egészen az alkalmazási réteggel dolgozni az adatokat.



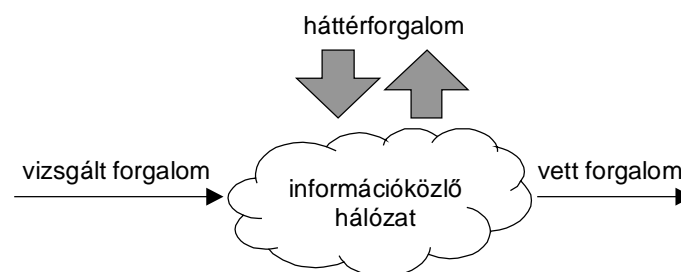
3.4.8. ábra. A példa hálózat eszközeinek funkcionál

## 4 Jelátviteli és forgalmi követelmények

Ebben a fejezet az információközlő hálózatokon átvitt jeleket, és azok továbbításának minőségi követelményeit mutatjuk be. Szintén ebben a fejezetben ismertetjük az ehhez szorosan kapcsolódó forgalmi paramétereket és követelményeket, amelyekkel a hálózatok terheltsége specifikálható. Mindezek megismerésére azért van szükség, hogy megértsük, mik a kiindulási feltételek az egyes hálózatok kialakításakor.

A továbbiak megértéséhez először tisztázzuk a *jel* és a *forgalom* fogalmak közötti különbséget. A jel kifejezést főleg akkor használjuk, ha a hálózaton átvitt információ reprezentálásáról beszélünk. A forgalomról a jel – vagy jelek összességének – a hálózaton való megjelenésekor beszélünk. Ekkor általában az a fontos, hogy a forgalom milyen hálózati erőforrásokat használ, és mennyi ideig. Például egy távbeszélő-hálózatnál az átvitt jel a beszédhang analóg vagy digitális módon reprezentálva, a hálózati forgalmat pedig az határozza meg, hogy hány felhasználó, milyen gyakorisággal és átlagosan mennyi ideig használja a hálózatot.

Az átviteli szolgáltatás minőségégi paramétereit, illetve a hálózati forgalom fogalmát különböző hálózatokra különbözőképpen definiáljuk. Az ezek közötti legalapvetőbb összefüggést azonban mégis egy közös modellel szemléltethetjük az összes infokommunikációs hálózatra. Ezt a modellt mutatja be a 4.1.1 ábra.



4.1.1. ábra. A jelátviteli és forgalmi követelmények modellje

Az ábrán látható módon a hálózaton átvisszük a *vizsgált forgalmat* (angol nyelven erre az előtér forgalom, foreground traffic kifejezést használják), ennek a kimenete a *vett forgalom*. Mindeközben természetesen nem ez az egyetlen forgalom a hálózaton, az összes többi együttesen *háttérforgalomnak* (background traffic) nevezzük. A cél olyan hálózat tervezése, amelyben a vizsgált forgalom minőségi paraméterei megfelelőek nagy háttérforgalom esetén is. Ugyanakkor természetesen a hálózaton jelenlévő háttérforgalom minőségi paramétereit is garantálni kell, hiszen abból is kiválaszthatnánk a vizsgált forgalmat. Új forgalmi igényt tehát akkor fogadhatunk el, ha garantálni tudjuk annak minőségét úgy, hogy ez nem megy a már a hálózatba bebocsátott forgalmak minőségének rovására.

## 4.1 Információtípusok, jelek és hálózatok

- Az információközlő hálózatokon különféle *információtípusokat* továbbítunk. Az információ forrásai és céljai lehetnek emberek vagy különféle gépek egyaránt. A teljesség igénye nélkül megemlítünk néhány információfajtát, amelyet információközlő hálózaton át lehet vinni:
- beszéd, párbeszéd
- zene (beszédhez hasonló jel, de magasabbak a hozzá tartozó minőségi követelmények)
- állókép
- mozgókép
- szöveges üzenet (pl. távirat, SMS, e-mail)
- mérési adatok
- bináris adat (pl. fájl, weblap, stb.)
- Az információ típusokat különböző *jelekkel* reprezentálhatjuk, melyek közül megkülönböztetünk analóg és digitális jeleket. Szintén a teljesség igénye nélkül felsorolunk néhány jelfajtát:
- Analóg jelek:
  - analóg beszédjel
  - analóg zenei jel
  - analóg mozgókép
  - digitális jel analóg csatornán
  - FDM nyálábolt analóg jelek
  - tápáram
- Digitális jelek:
  - digitalizált beszédjel
  - digitalizált zenei jel
  - digitalizált mozgókép
  - bináris adatok (bitsorozat)
  - TDM nyálábolt digitális jelek
  - hálózati jelzések

A felsorolt tápáram egy speciális jelnek tekinthető, amely nem hordoz információt, mégis a többi jellel együtt továbbítja a hálózat. Ennek a célja bizonyos eszközök – például a távbeszélő-készülékek – tápellátásának biztosítása: ezt távtáplálásnak nevezzük. A jelzések a hálózati csomópontok és/vagy a végberendezések egymás közötti kommunikációjára szolgálnak, ilyen például a hívott fél kapcsolási számának a továbbítása.

A különböző jeleket különböző *hálózatokon* vihetjük át. Léteznek olyan hálózatok, amelyeket *egyetlen jeltípus átvitelére terveztek*. Ilyen például a távbeszélő-hálózat, amely a beszédátvitelre szolgál. Hasonlóan, a kábeltelevízió-hálózatokat tévéműsorok átvitelére

terveztek. Ugyanakkor ez nem jelenti azt, hogy ezeken a hálózatokon csak egyetlen jeltípust lehet átvinni. Ezt úgy nevezzük, hogy az ilyen hálózatok elsődleges és másodlagos átviteli szolgáltatást nyújthatnak. A hálózatot az *elsődleges szolgáltatásra* terveztek, például a beszéd, illetve a tévéműsor átvitelére az előbbi példákban. *Másodlagos szolgáltatás* minden egyéb jeltípus átvitele, mint például a számítógép-hálózati adatok átvitele akár távbeszélő-, akár kábeltelevízió-hálózaton. A másodlagos szolgáltatás általában kompromisszumokkal jár és a bevezetése sem mindig egyszerű. Bizonyos esetekben nem is lehetséges: ADSL szolgáltatás például a távbeszélő-hálózatnak csak egy részén – általában a kapcsolóközpontokhoz közeli végpontokon – nyújtható.

Egy másik hálózatcsoport az *integrált hálózatok* csoportja, amelyeket eleve többféle jeltípus átvitelére terveztek. Ilyen például az ISDN, amelyen a beszédén kívül átvihető mozgókép (igaz, elég gyenge minőségben), és bináris adatfolyam is. Ennek a hálózatnak a neve is ezt tükrözi: ISDN – Integrated Services Digital Network, integrált szolgáltatású digitális hálózat. Integrált hálózat például a GSM is, hiszen azon is átvihető például beszéd, adat (csomag és áramkörkapcsolt módban is), SMS, MMS, és – ez is fontos – a hálózatot ennek megfelelően terveztek.

## 4.2 Beszédátviteli követelmények

Ebben a részben a beszédhang átviteli követelményeit ismertetjük. E követelmények többségét az ITU szabványosította, mivel azonban a szabványok nem tananyag jellegűek, így itt e szabványoknak csak a leglényegesebb aspektusait emeljük ki a könnyebb érthetőség végett.

### 4.2.1 Érthetőség

A beszédátvitel során az elsődleges követelmény az, hogy a mondatok érthetőségének aránya 95-97% legyen. Ezzel körülbelül ekvivalens követelmény, hogy a szótagoknak körülbelül 60-70%-a legyen érthető: a természetes nyelvek redundanciája miatt ez már elegendő. Ezek a követelmények azonban nem elég precízek, hiszen csak szubjektív módszerekkel és nehezen mérhetőek. (A szótagérthetőség mérése valamelyest egyszerűbb, mert ebben az esetben nagyobb a hibázás aránya.) Az érthetőségi feltételekből ezért olyan követelményeket származtattak, amelyek már objektíven, műszerekkel is mérhetőek: ezeket soroljuk fel jelen alfejezet további pontjaiban. E tényezők mindegyike hozzájárul a beszédérthetőséghez, és amennyiben mindegyik a megadott tartományon belül van, akkor az érthetőségi feltételek is teljesülni fognak.

Fontos, hogy az érthetőségen kívül más szubjektív követelményt nem támasztunk, így nem követelmény az sem, hogy felismerhető legyen a beszédpartner, vagy akár annak neve.

Ez a fajta érthetőségi kritérium meglehetősen régi. Mai szemmel nézve „nincs magasan a lécs”, hiszen a mai távbeszélő-hálózatok átviteli minősége ezt messze meghaladja – még például a viszonylag rosszabb minőségű hangátvitelt nyújtó GSM hálózaté is. Természetesen nem célszerű megállni a minimális követelmények teljesítésénél, hiszen a piaci versenyben a minél jobb minőségű beszédátvitel biztosítása fontos szempont a felhasználók bizalmának elnyeréséhez.

#### 4.2.2 Sávzélesség

Az érthető beszédátvitelhez elegendő a kb. 20 – 20.000 Hz-es, emberi fül által hallható hangtartománynak csak egy részét átvinni, így gazdaságosabban működtethető hálózatokat építhetünk. Különböző távbeszélőrendszerek különböző tartományt visznek át, azonban nyilvános távközlő hálózatokban leggyakoribb a 300 – 3400 Hz-es sáv átvitele. A különböző frekvenciatartományokban átvitt beszédhangok elemzése alapján a kutatók megállapították, hogy e tartomány továbbítása bőven teljesíti az érthetőségi kritériumot: kb. 90% szótag- és 99,9% mondatérthetőséget eredményez. Ezek az értékek azonban csak akkor helytállóak, ha a többi paraméter értéke optimális, azaz azok már nem jelentenek újabb zavaró tényezőt. Valódi hálózatokban nem ez a helyzet, ezért is célszerű ennek a viszonylag széles sávnak az átvitele.

#### 4.2.3 Csillapítás

A szabadtéri közvetlen kommunikáció során a távolság négyzetével arányosan csökken az érzékelt hangteljesítmény. (Ennek az az egyszerű oka, hogy a kibocsátott hangteljesítmény egy – beszélő középpontú – gömbfelszínén oszlik el közel egyenletesen, amelynek felszíne a sugár négyzetével arányos.) Távbeszélőkészülék alkalmazásakor gyakorlatilag nincs távolság a száj és a mikrofon, valamint a fül és a hallgató között. Ennek ellenére természetesen nem lenne célszerű, ha a hallgató fülébe ugyanolyan teljesítménnyel érkezne a hang, mint ahogy az a beszélő mikrofonjába érkezik. Éppen ezért a beszédátviteli rendszerekben kb. 30-40 dB értékű csillapítást kell megvalósítani. Ez a követelmény szerencsésen találkozik azzal a ténnyel, hogy a csillapítás a kettő/négyhuzalos átalakításnak amúgy is természetes következménye (erről az 5. fejezetben lesz szó).

Emlékeztetőül: a decibel (dB) két adott teljesítményszint esetén az erősítés, illetve csillapítás leírására alkalmas. Jelölje a decibelben kifejezett csillapítást  $a$ , a bemeneti teljesítményt  $P_1$ , a kimenetét  $P_2$ . Ekkor:

$$a \text{ dB} = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2},$$

ahol  $\lg$  a 10-es alapú logaritmust jelöli. A decibel nem hagyományos értelemben vett dimenziós mértékegység, csupán egy dimenzió nélküli szám jelölése. Ilyen például a radián (rad) is.

Az erősítés a csillapítással rokon fogalom, decibelben kifejezve a következő képlettel kaphatjuk meg:

$$A \text{ dB} = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} = -10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2} = -a \text{ dB}$$

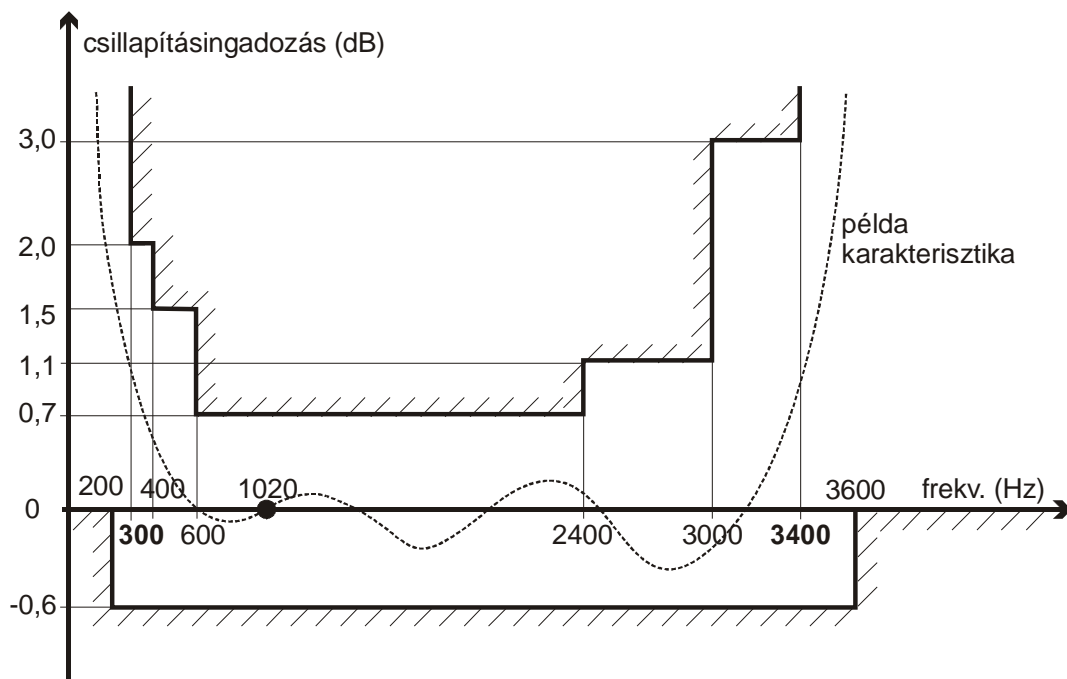
Megjegyezzük továbbá, hogy a decibel nem csupán akusztikai fogalom, hanem például elektronikai teljesítményre is általánosítható. Ebben az esetben amennyiben a teljesítményt a  $P=U^2/R$  képlettel számítjuk (ahol  $U$  effektív érték), és ha  $R_1=R_2$ , akkor az erősítés:

$$A \text{ dB} = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} = 10 \cdot \lg \frac{\frac{U_2^2}{R_2}}{\frac{U_1^2}{R_1}} = 10 \cdot \lg \frac{U_2^2}{U_1^2} = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}$$

#### 4.2.4 Csillapításingadozás

Egy távbeszélő-hálózat csillapítása különböző lehet a különböző átvitt frekvenciákon. A csillapításingadozás (vagy más néven csillapítástorzítás) a csillapítás eltérését mutatja a referenciacsillapítástól a frekvencia függvényében. Referenciacsillapítást az 1020 Hz-et választották.

Az ITU szabvány [G.712] által megengedett csillapításingadozás határoló görbéi (két analóg berendezés között, kéthuzalos rendszer esetén) a 4.2.1. ábrán láthatóak: a két vastag vonal közötti rész az elfogadható tartomány. Látható, hogy a csillapításingadozás lépcsős toleranciafüggvénnyel van megadva, mely a sáv szélén 2,0 – 3,0 dB értéket vesz fel, a sáv közepén 0,7-et. Az erősítés ugyanakkor mindenhol maximum 0,6 dB lehet (-0,6 dB csillapítás). Az ábra tartalmaz egy példa csillapításingadozási karakterisztikát is, amely megfelel a szabványnak.



4.2.1. A csillapításingadozás megengedett értékei (két analóg berendezés között, kéthuzalos rendszer esetén) és egy példa karakterisztika

#### 4.2.5 Jel/zaj viszony

- A jel/zaj viszony adja meg a hasznos jelteljesítmény és a zajteljesítmény arányának minimális értékét. A zavaró jel típusától függően két alsó korlát létezik:
- nem érthető zaj esetén a minimum 10-20 dB,
- érthető zaj esetén pedig a minimum 25-30 dB.
- Azért tesznek különbséget érthető és nem érthető zaj között, mert az emberi agy érthető zaj jelenlétében nehezebben tudja kiválasztani a hasznos beszédjelet, mint érthetetlen zaj esetén.

Az érthető zajnak két fő forrása lehet: az egyik az áthallás két áramkör között, a másik pedig a visszhang. Ez utóbbi probléma egyébként főleg csak nagy távolságú – különösen műholdas – összeköttetéseknel, illetve mozgó távbeszélőrendszerek esetében jelentkezik.

#### 4.2.6 Késleltetés

A beszédjel késleltetése az eltelt idő a között a két esemény között, hogy a beszélő kimond valamit, és hogy az a hallgató személy füléhez eljut. Szokás ezt a mennyiséget száj-fül késleltetésnek (mouth-to-ear delay), illetve egy másik szempont alapján egyirányú késleltetésnek is nevezni. A késleltetésnek két összetevője van: a jelek terjedési ideje, és az egyes hálózati elemek késleltetése. Rövid távolságot áthidaló kapcsolatok esetén csak az utóbbi a jelentős, azonban például műholdas átvitelt használó kapcsolatoknál a terjedési idő a domináns.

A késleltetésnek azt az értékét, amely még nem zavarja a beszélgetést, 250 ms-ban határozták meg. A késleltetés a jelátvitel minőségére nincsen semmilyen hatással, azonban a 250 ms-os határ felett a párbeszéd már nem igazán szinkron, nem lehet a beszélőnek azonnal válaszolni.

Egy geostacionárius pályát használó műholdas átvitelnél ez a követelmény igen szoros. Gondoljunk csak bele, a pálya magassága kb. 36 000 km, így – attól függően, hogy a föld mely két pontján vannak az adó-vevők – a jel oda-vissza több mint 72 000–84 000 km-t tesz meg. Ezt a fénysebességgel elosztva 240–280 ms-ot kapunk, amely már önmagában nagyon közel van a 250 ms-os határhoz, sőt, az esetek egy jó részében meg is haladja azt.

Ha az összeköttetés késleltetése meghaladja a 250 ms-os határt, akkor a beszélgetés nehézkessé válhat. Nehézkessé, de nem lehetetlenné: a felhasználók ugyanis tudatosan alkalmazkodhatnak ehhez a helyzethez. Kicsit lassabban célszerű beszélni ilyenkor, a mondatok végén megállni, és megvárni a partner válaszát. Ebben a helyzetben nincs helye az egymás szavába vágásnak...

Van azonban egy további probléma is. A távbeszélő-hálózatok sajátossága, hogy a vevő oldalon *visszhang* keletkezik, azaz a beszélő a saját hangját is vissza fogja hallani – természetesen valamelyest csillapítva – a késleltetési idő kétszeresének elteltével. Szintén kísérleti úton megállapították, hogy ez a jelenség kis késleltetésekre nem zavaró, hiszen ekkor olyan, mintha közvetlen (nem távbeszélőn át történő) beszélgetés közben a saját hangát hallaná a beszélő. Egy meghatározott érték felett ez azonban már kellemetlen, sőt zavaró. Visszhang jelenléte esetén az egyirányú késleltetésre vonatkozó küszöböt 12,5 ms-ban állapították meg. Amennyiben ezt meghaladja a késleltetés, akkor valamilyen visszhang-elynyomási technikát kell alkalmazni. A visszhang keletkezésének okait, illetve az alkalmazható visszhang-elynyomási módszereket az 5. fejezetben ismertetjük részletesen.

Ellentétben a nagy késleltetéssel, a visszhangos kapcsolaton történő beszélgetésre sajnos nincs igazán jó stratégia, az mindenképpen zavaró.

#### 4.2.7 Késleltetés ingadozása

A késleltetés mellett fontos annak ingadozása is (angolul: jitter vagy delay variation). A késleltetés ingadozását kétféleképpen is vizsgálhatjuk: a frekvencia és az idő függvényében.

A frekvencia függvényében változó késleltetés azt jelenti, hogy például a magasabb hangok késleltetése kisebb, így azok hamarabb érkeznek meg a hallgatóhoz. Ez főleg a régi vonalakra jellemző, ma már nem tipikus jelenség. A referenciafrekvencia (1020 Hz) késleltetéséhez képest a sáv közepén a megengedett eltérés  $\pm 30$  ms, a sáv szélén ez  $\pm 60$  ms-ig nőhet.

Változhat a késleltetés az időben is, azaz (egy adott frekvencián) egyik pillanatban nagyobb lehet, mint a másikban. Erre a paraméterre a megengedett ingadozás szintén  $\pm 30$  ms.



#### 4.2.8 Fázistolás

A fázistolás fogalmának bevezetéséhez célszerű néhány, a Jelek és rendszerek tantárgyból korábban megszerzett ismeretet feleleveníteni a lineáris, invariáns, stabilis átviteli rendszerekről. Egy rendszer  $h(t)$  impulzusválasza a rendszer kimenete egy olyan bemenetre, amely minden időben nulla, kivéve a nulla időpontot, ahol értéke a Dirac-impulzus. Az impulzusválasz  $H(j\omega)$  Fourier transzformáltját *átviteli karakterisztikának* nevezzük. (Itt is és a továbbiakban is az egyszerűség kedvéért a frekvencia ( $\omega$ ) helyett annak  $2\pi$ -szeresét, a körfrekvenciát ( $\omega$ ) használjuk.) A frekvenciatartományban egy  $S(j\omega)$  bemenetre adott  $Y(j\omega)$  válasz egyszerűen az átviteli karakterisztikával történő szorzással számítható ki:

$$Y(j\omega) = H(j\omega) \cdot S(j\omega)$$

Az átviteli karakterisztika a körfrekvencia komplex függvénye, melynek tekinthetjük külön az abszolút értékét és a szögét. Az előbbit *amplitúdó-karakterisztikának* nevezzük:

$$K(\omega) = |H(j\omega)|,$$

az utóbbit pedig *fáziskarakterisztikának*:

$$j(\omega) = -\arg H(j\omega).$$

A képletben a  $-1$ -szeres szorzót némileg önkényesen, kényelmi okokból vezettük be, ennek segítségével ugyanis pozitív fázistolásértékekkel számolhatunk tovább. Innen tehát:

$$H(j\omega) = K(\omega) \cdot e^{-j j(\omega)}.$$

Definiáljuk továbbá a *csoporthatási időt*, mely a fázisnak a körfrekvencia szerinti deriváltja:

$$t(\omega) = \frac{dj(\omega)}{d\omega}.$$

Amikor a 4.2.3, 4.2.4 pontokban a csillapításról és annak frekvencia szerinti ingadozásáról volt szó, akkor tulajdonképpen az amplitúdó-karakterisztikáról (pontosabban annak reciprokáról) beszéltünk. Most a fáziskarakterisztikáról, vagy más szóval a fázistolásról lesz szó, amelyet periodikus jelek esetén úgy is megfogalmazhatunk, hogy az a bemeneti és kimeneti jelek fázisának a különbsége a frekvencia függvényében.

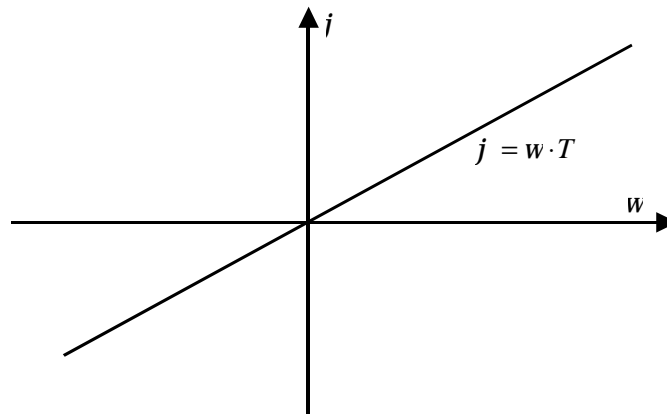
*Alakú átvitelről* akkor beszélünk, ha a kimeneti jel alakja megegyezik a bemeneti jel alakjával, megengedünk azonban egy konstans  $A$ -szoros erősítést és egy  $T$  idejű késleltetést. Ekkor tehát:

$$y(t) = A \cdot s(t - T),$$

illetve a frekvenciatartományban (az időeltolási tétel miatt):

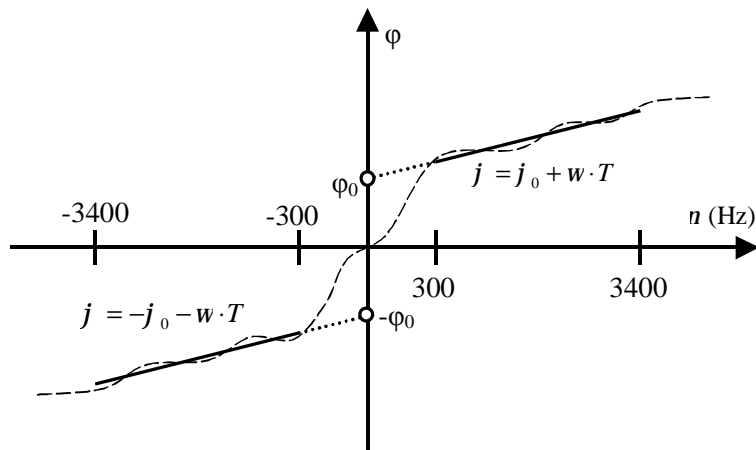
$$Y(j\omega) = A \cdot S(j\omega) \cdot e^{-j\omega T}$$

Ekkor látszik, hogy  $j(\omega) = \omega T$ , azaz a fáziskarakterisztika lineáris (4.2.2. ábra). Ez esetben a csoporthatási idő konstans, és épp megegyezik a késleltetéssel ( $T$ ).



4.2.2. ábra. Fázistolás alakhű átvitelnél

Hasonló karakterisztikájú átvitel megteremtése szükséges a távbeszélő-hálózati átvitelben is. Kihasználhatjuk azonban azt a tényt, hogy az emberi fül a fázistolás pontos értékére érzéketlen, annak csak a frekvencia szerinti változása (a csoportfutási idő) érzékelhető. Éppen ezért a fázistolás függvényét megváltoztathatjuk a 4.2.2. ábrához képest úgy, hogy egy  $j_0$  értékkel (az ún. nullfrekvenciás fázistolással) eltoljuk a görbét: a pozitív frekvenciatartományban pozitív irányba, a negatív tartományban negatív irányba. További könnyítés, hogy csak az átvitt tartományban (300-3400 Hz) kell a fázistolás karakterisztikájának megfelelőnek lennie. Mindez, és egy lehetséges valódi karakterisztika (szaggatott vonallal) a 4.2.3. ábrán látható.



4.2.3. ábra. Fázistolás távbeszélő-hálózatokban  
(a szemléletesség kedvéért a vízszintes tengelyen most a frekvenciát, és nem a körfrekvenciát ábrázoltuk)

A fázistolás tehát akkor megfelelő, ha a görbe az átviteli sávon közel van az egyeneshez, azaz a csoportfutási idő nagyjából konstans. Bár itt már nem beszélhetünk alakhű átvitelről, erre a speciális esetre is igaz, hogy a fázistolás görbéjének meredeksége (a csoportfutási idő) megegyezik az átvitt (beszéd)információ késleltetésével, amelyet a 4.2.6. pontban specifikáltunk.<sup>7</sup> A csoportfutási idő ingadozása pedig nem más, mint a 4.2.7. pontban ismertetett frekvenciafüggő késleltetés-ingadozás. Érdekes, hogy amíg beszédátvitel esetén a

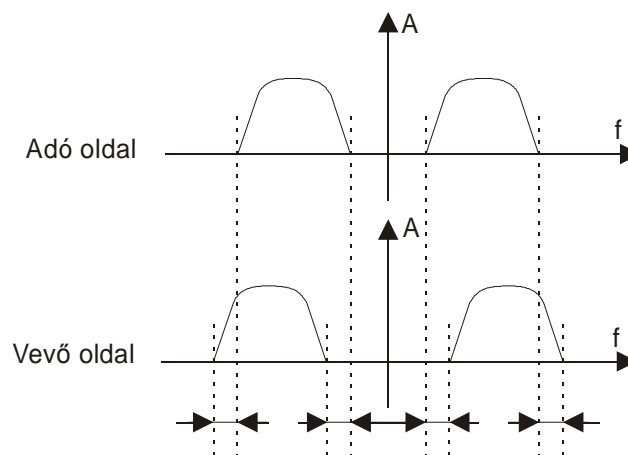
<sup>7</sup> Valójában ez az állítás csak akkor igaz, ha az elmondottakon kívül az átvitt sávon az amplitúdó-karakterisztika konstans, azaz az erősítés/csillapítás értéke független a frekvenciától.

csoporfutási idő megengedett értékeit specifikálják, addig adatátvitel esetében az itt bemutatott fázistolás változására léteznek megengedett értékek.

Felmerülhet az olvasóban a kérdés, hogy miért ábrázoljuk a negatív frekvenciákat is? A válasz egyszerű: amikor egy valós jelet Fourier transzformálunk, akkor a transzformációs képlet a negatív frekvenciákra is nullától különböző eredményt ad. A szabály az, hogy a valós és Fourier transzformálható jelek transzformáltja esetén a kapott komplex függvény abszolút értékét ábrázolva páros (a függőleges tengelyre szimmetrikus) függvényt kapunk, fázisát tekintve pedig páratlan (origóra szimmetrikus) függvényhez jutunk; azaz  $F(-j\omega) = \overline{F(j\omega)}$ , ahol a föléhúzás a komplex konjugáltat jelenti.

#### 4.2.9 Frekvenciaeltolási hiba

A frekvenciaeltolási hiba – vagy más néven additív frekvenciahiba – a jel spektrumának az eltolódását jelenti valamelyik irányba (4.2.4. ábra).



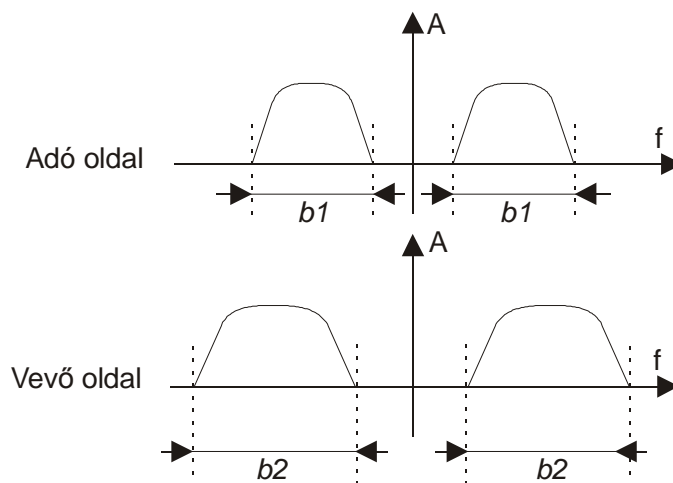
4.2.4. ábra. Frekvenciaeltolási hiba

Ennek maximális értéke beszédátvitel esetén  $\pm 20$  Hz lehet. Másodlagos adatátvitelnél kivételesen külön specifikáció létezik, mivel a modemeknek a vivőjelet könnyen meg kell találniuk. A követelmények ez esetben még szigorúbbak: ilyenkor legfeljebb  $\pm 7$  Hz eltérés engedélyezett.

Frekvenciaeltolási hiba leggyakrabban az FDM alapú rendszerekben fordul elő, hiszen ebben az esetben a multiplexer oldalon eltoljuk a spektrumot, a vevő oldalon pedig visszatoljuk azt az alapsávba. Ez a paraméter a két eltolás együttes pontosságát jellemzi.

#### 4.2.10 Multiplikatív frekvenciahiba

A multiplikatív frekvenciahiba azt jelenti, hogy az átvitt sáv szélessége nem egyezik meg az eredeti sáv szélességével (4.2.5. ábra).



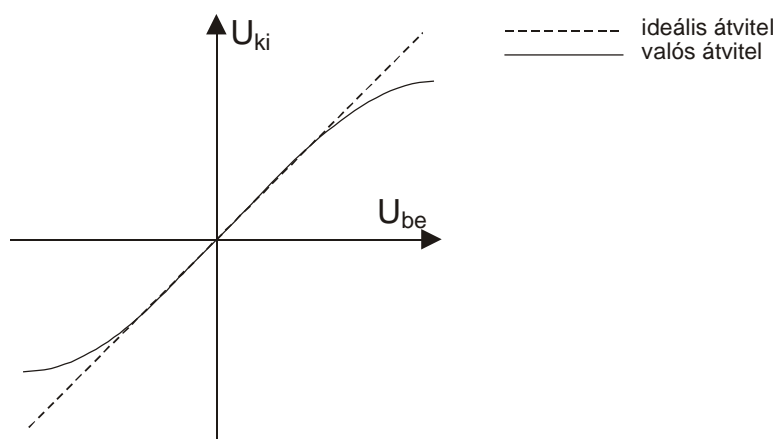
4.2.5. ábra. Multiplikatív frekvenciahiba

A multiplikatív frekvenciahiba akkor megfelelő a beszédátvitel szempontjából, ha:

$$0,9 \leq \frac{b2}{b1} \leq 1,1$$

#### 4.2.11 Nemlineáris torzítás

A nemlineáris torzítás azt jelenti, hogy a kimeneti jel erőssége a bemeneti jel erősségének nem konstansszorososa. Egy tipikus távbeszélő-hálózati torzítást mutat be a 4.2.6. ábra: a görbe átmegy az origón (azaz nulla jelre nulla a válasz), és ahhoz közel lineáris is, de nagyobb értékekre már nem. Ennek az a fő oka, hogy az alkalmazott erősítők nem lineárisak, egy bizonyos érték felett telítésbe mennek.



4.2.6. ábra. Nemlineáris torzítás

A nemlineáris torzítást az ún. teljes harmonikus torzítás (THD, Total Harmonic Distortion) mérőszámmal fejezhetjük ki. A THD-t úgy kapjuk meg, hogy a bemenetre a maximális megengedett amplitúdójú szinuszos jelet adjuk, és megvizsgáljuk a kimenő jelet. Ez egy torzított szinuszos jel lesz, melyet felbontunk szinuszos összetevőire. Jelölje az alapharmonikus amplitúdóját  $A_0$ , a felharmonikusokét pedig  $A_1, A_2, A_3, \dots$ . Ekkor a teljes harmonikus torzítást a felharmonikusok és az alapharmonikus amplitúdóinak az aránya adja meg a következő képlet szerint:

$$THD\% = \frac{\sqrt{\sum_{f=1}^{\infty} A_f^2}}{A_0} \cdot 100$$

A nemlineáris torzítást megengedett maximum értéke távbeszélő-hálózatokban régen 30% volt, újabban 10%.

Megjegyezzük, hogy az ebben a pontban leírtak nem csak a távközlő hálózatok jellemzői. A Hi-Fi rendszerekben szintén ugyanilyen torzítások lépnek fel az erősítők nemlinearitása miatt. Ott azonban természetesen lényegesen kisebb a torzítás megengedett értéke (kb. 0,5–1%).

Érdemes megemlíteni azt is, hogy a torzítás függ az erősítéstől is: ahogy a 4.2.6. ábrán is látszik, a torzítás kisebb kivezéreltség esetén lényegesen kisebb. Ha tehát valaki egy 100 Wattos erősítőt vesz, nem biztos, hogy a szomszédokat akarja bosszantani; lehetséges, hogy csak 10-20 Wattos, de kis torzítású hanghatásra vágyik, amit egy 20 Wattos erősítővel lényegesen nehezebb elérni.

### 4.3 Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése

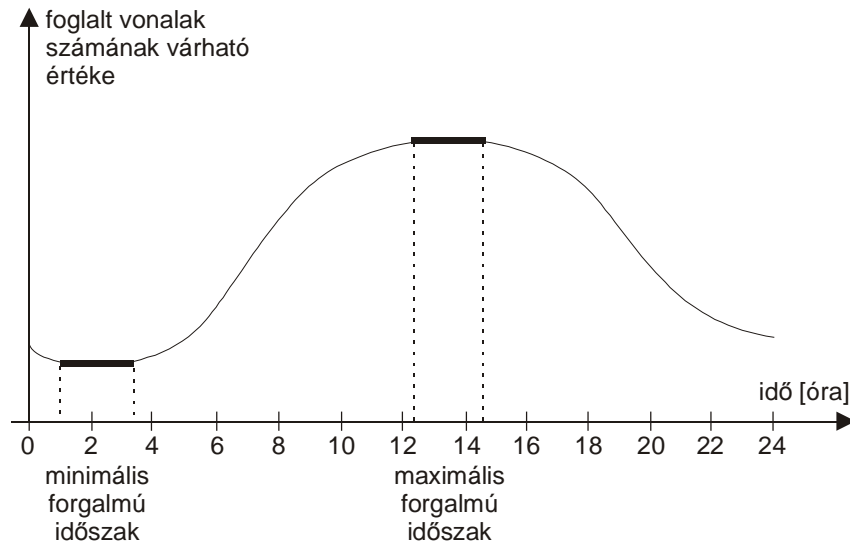
A távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzésének célja statisztikai paraméterekkel leírni, hogy az előfizetők mikor és milyen gyakran kezdeményeznek hívásokat, illetve, hogy azok mennyi ideig tartanak. E paraméterekre a hálózat méretezésekor van szükség.

Tekintsünk például egy központot, amelyhez 10 000 előfizető csatlakozik. Ez a központ nem képes egyidejűleg 10 000 hívás lekezelésére, és nincs is 10 000 vonallal összekötve a többi központtal. 10 000 egyidejű hívásra méretezni a központot ugyanis roppant gazdaságtalan volna, hiszen a gyakorlatban sohasem használják egyszerre az összes vonalat. Másrészt viszont, ha egyszerre túl kevés hívás lebonyolítása lehetséges csak, akkor a kezdeményezett hívások túl gyakran blokkolódnak – azaz hiúsulnak meg a központ vagy a hálózat túlterheltségéből fakadóan –, ami a hálózat használhatóságát jelentősen csökkenti. A kérdés tehát az, hogy ha ismert a felhasználók száma és azok beszélgetési szokása (bizonyos statisztikai paraméterekkel meghatározva), akkor melyik az a legkisebb hálózati kapacitás, amelyik elegendő ahhoz, hogy a blokkolás valószínűsége egy megadott érték alatt maradjon.

Ahhoz, hogy ezt a kérdést megválaszolhassuk, szükséges a hálózat forgalmi jellemzése. Ilyen jellegű problémák megoldásával a Tömegkiszolgálás című tantárgy foglalkozik [Tömegkisz], nekünk most nem célunk a számítások elvégzése, csupán a számításokhoz szükséges ismereteket közöljük.

A központba érkező hívásokat egy  $X(t)$  pontfolyamattal írjuk le, melynek értéke a  $[0, t]$  időintervallumban *beérkezett hívások száma*. Egy másik fontos jellemző a *hívások tartásideje*, amely megadja, hogy egy sikeresen felépült kapcsolat mennyi ideig áll fenn. A továbbiakban feltesszük, hogy a hívások tartásidejének eloszlása független attól, hogy melyik felhasználó kezdeményezte a hívást. Ezzel ugyan némileg csorbítjuk az általánosságot, de a gyakorlatban ez a közelítés megengedhetőnek bizonyult, és a számításokat lényegesen egyszerűsíti. Szintén feltesszük, hogy a tartásidő eloszlások egymástól is függetlenek, ami a gyakorlatban valóban teljesül is, hiszen egy telefonbeszélgetés hosszát a legritkább esetben befolyásolja a többi beszélgetés hossza. Azt azonban megengedjük, hogy a tartásidő eloszlása függjön az időtől.

Amennyiben az  $X(t)$  folyamat és a tartásidő eloszlása ismertek, elvileg kiszámítható a *hálózati forgalomnak* az eloszlása, azaz annak a valószínűségi változónak, amely leírja, hogy hány beszélgetés van egyidejűleg a rendszerben. (Ez esetben feltesszük, hogy a rendszer végtelen kapacitású, azaz nem történik hívásblokkolás.) Ahelyett azonban, hogy ezt a túl általános feladatot megoldanánk, vessünk egy pillantást a gyakorlati tapasztalatokra. A 4.3.1. ábrán láthatjuk a forgalom átlagának alakulását az idő függvényében (ez a fajta görbe üzleti városrészekben, hétköznap jellemző).



4.3.1. ábra. Távbeszélő-forgalom napi ingadozásának jellege egy központban

Az általános probléma egyik nehézségét az adja, hogy  $X(t)$  növekménye nem stacionárius, és a tartásidő eloszlása is lehet időfüggő. Ez szerencsére nem mindig van így: ahogy az ábrán látható, a forgalom néhol stacionáriusnak tekinthető. Ekkor stacionárius  $X(t)$  növekménye is, és a tartásidők is függetlenek az időtől. Ez a stacionaritás nap folyamán kétszer is fennáll: éjjel a minimális forgalmú időszakban és nappal a maximális forgalmú időszakban, mindkét esetben néhány óra hosszan. Számunkra az utóbbi időszak az érdekes, hiszen ennek stacionaritása szerencsésen egybeesik a követelménnyel, hogy a hálózatot a napi maximális forgalomra kell méretezni. A továbbiakban ezért mi is csak a legforgalmasabb az időszakokra koncentrálunk.

Stacionárius esetben a tapasztalat szerint  $X(t)$  jól modellezhető Poisson folyamattal. Ennek paramétere a *hívásgyakorosság*, mely azt adja meg, hogy egységnyi idő alatt átlagosan hány hívás érkezik a központhoz. A hívásgyakorosság jele  $\lambda$ , jellemzően használt mértékegysége az 1/óra (röviden:  $\lambda$  [1/óra]).

A tartásidő eloszlását exponenciális eloszlással szokás modellezni. Számunkra most azonban elegendő ennek a változónak a várható értéke, az *átlagos tartásidő*. Ennek jele:  $h$  [perc]<sup>8</sup>.

Az *A forgalomintenzitás* a hívásgyakorosság és az átlagos tartásidő szorzata:  $A = I \cdot h$ . Ennek a mennyiségnek nincs dimenziója ( $A$  [1]), azonban a mennyiség után mégis oda szokás írni,

<sup>8</sup> Órában is megadhatnánk, de a perc természetesebb, mert általában néhány percig, és nem néhány óráig tart egy beszélgetés. Igaz, a forgalomintenzitás kiszámításánál át kell majd számolnunk az értéket órába.

hogy Erl, amely az „Erlang”-nak<sup>9</sup> a rövidítése. Az Erlang tehát – hasonlóan a decibelhez és a radiánhoz – nem mértékegység, csupán egy jelölés, amely a dimenzió nélküli értéket segít értelmezni.

A fentieknek egyetlen előfizetőre is van értelme. Például, ha  $I = 3$  [1/óra] és  $h = 3$  [perc], akkor  $A = 3[1/óra] \cdot 0,05[óra] = 0,15[\text{Erl}]$ . Ez azt jelenti, hogy a forgalmas időszakban egy vonal várhatóan az idő 15%-ában foglalt. Értelemszerűen például egy 10 000 előfizetőt kiszolgáló központ egészére nagyobb számok a reálisak. Például: ha  $I = 20\,000$  [1/óra] és  $h = 3$  [perc], akkor a forgalomintenzitás:  $A = 20\,000[1/óra] \cdot 0,05[óra] = 1000[\text{Erl}]$ .

Ezek után amennyiben ismerjük az előfizetők számát és tudjuk, hogy mekkora maximális blokkolási valószínűséget szeretnénk elérni, akkor a Tömegkiszolgálás tantárgyból megismert Erlang B képlet segítségével meghatározhatjuk, egyszerre maximálisan hány hívás elvezetésére kell méreteznünk a hálózatot, ha a blokkolást egy adott valószínűség alatt szeretnénk tartani.

A teljesség kedvéért itt is bemutatjuk Erlang B képletét, annak levezetése nélkül. A továbbiakban azt, hogy hány hívás elvezetésére kell méreteznünk a hálózatot, röviden, bár némileg pontatlanul a kimeneti vonalak számaként említjük. Ez a formula veszteséges rendszerre alkalmazható, azaz olyanban, amelyben egy hívás meghiúsul, ha minden kimeneti vonal foglalt. (A várakozásos rendszereket – ahol a hívást várakoztatják, amíg az összes vonal foglalt –, a bonyolultabb Erlang C képlet írja le.) Az Erlang B képlet annak a valószínűségét adja meg, hogy minden kimeneti vonal foglalt lesz:

$$P(n) = \frac{A^n}{n!}{\sum_{i=0}^n \frac{A^i}{i!}},$$

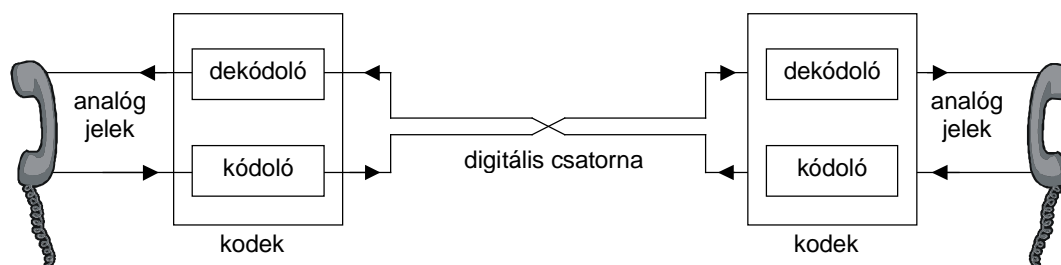
ahol  $n$  a kimeneti vonalak száma,  $A$  pedig az előbb ismertetett forgalomintenzitás.

## 4.4 Beszédkódolók

A távbeszélő-hálózatban történő beszédátvitelhez a beszédjelet – a levegő rezgését – megfelelően át kell alakítani. A kézibeszélőben lévő mikrofon és hangszóró analóg elektromos jellel alakítja a beszédet, amely analóg távbeszélő-hálózatban továbbítható. Digitális hálózat esetében az analóg jelet tovább kell módosítani: az adó oldalon digitális bitsorozattá kell leképezni, a vevő oldalon pedig ebből újra analóg jelet kell előállítani. Az analóg/digitális (A/D) és digitális/analóg (D/A) átalakítást végző eszközt nevezik *kodeknek* (KÓdoló / DEKódoló, angolul codec: COder / DECoder). A 4.4.1 ábra a digitális beszédátvitel elvi vázlatát mutatja.

---

<sup>9</sup> A jelölés Agner Krarup Erlang (1878 - 1929) dán matematikusról kapta a nevét, aki elsőként tanulmányozta a távbeszélő hálózatokban felmerülő blokkolási valószínűségeket, és akinek eredményeit a mai napig alkalmazzák.



4.4.1. ábra. Digitális beszédátvitel elvi vázolata

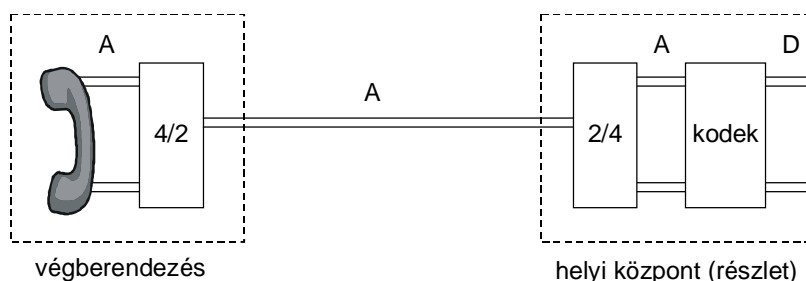
Megjegyezzük, hogy a kodek fogalma ennél általánosabb, általában valamilyen A/D – D/A átalakító párt értünk alatta, amely segítségével digitális formában tárolhatunk és/vagy továbbíthatunk analóg jeleket. Így például egy kodek készülhet beszédjel kódolására és dekódolására, illetve tetszőleges hang vagy zene digitális reprezentálására – ez utóbbi esetben nyilván magasabbak a minőségi követelmények. Kodeknek nevezik továbbá a videokódolókat is, amelyek a mozgóképből állítanak elő bitsorozatot, és természetesen a bitsorozatból újra mozgóképet. Ebben a jegyzetben csak a beszédcélú kodekekkel foglalkozunk, és ezeket beszédkodekeknek, beszédkódolóknak vagy röviden csak kodekeknek nevezzük.

Bár a következőkben néhány kodek működését is ismertetjük, elsősorban csak mint fekete dobozra tekintünk ezekre, azaz a kívülről megfigyelhető paramétereiket vizsgáljuk csupán. A kodekek belső működésével az Információelmélet és a Beszédinformációs rendszerek című tárgyak foglalkoznak.

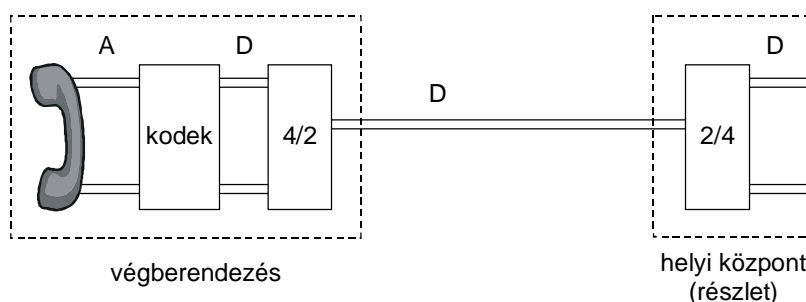
A digitális átvitel alaposabb megértéséhez tisztáznunk kell a *kettő-*, illetve *négyhuzalos átvitel* fogalmát. Négy huzal két érpárat jelent: az egyikben az egyik irányba áramlik az információ, a másikon a másik irányba. Kéthuzalos átvitel esetén valamilyen módon a két irányt egyetlen érpárra nyaláboljuk; így egy viszonylag összetettebb rendszert kapunk, melyhez azonban feleannyi vezeték is elegendő. A kéthuzalos megvalósítás részleteiről, illetve a kettő/négyhuzalos átalakításról bővebben az ötödik fejezetben lesz majd szó.

A 4.4.1. ábrán is látható, hogy a kodeknek két bemenete és két kimenete van. Egy ki/bemenet egy érpárat jelent, így tehát a kodek egy négyhuzalos rendszerem. Analóg végberendezés és digitális hálózat esetén a beszédkódoló az első kapcsolóközpontban van, digitális (ISDN) végberendezés esetén pedig magában a végberendezésben. A központon belüli feldolgozás ma már mindig négyhuzalos (mert így egyszerűbb), az első központ és a végberendezés közötti ún. előfizetői hurok pedig mindig kéthuzalos (hiszen a viszonylag nagy távolságon feleslegesen drága lenne a négy huzal). Mindezt a 4.4.2. ábra szemlélteti, melyen egy vonal egy huzalt jelöl.





(a) analóg végberendezés



(b) digitális végberendezés

4.4.2. ábra. A beszédkodek helye analóg és digitális végberendezés esetén  
(A: analóg szakasz; D: digitális szakasz; 4/2, 2/4: 4/2, illetve 2/4 huzalos átalakító)

Vezetéknélküli távbeszélő-hálózatok esetén is a 4.4.2. ábrához hasonló a helyzet: analóg rendszerek esetén a bázisállomásban van a beszédkódoló, digitális (pl. GSM) rendszer esetén a végberendezésben. Ezekben az esetekben a 4/2, illetve 2/4 átalakítókat a rádiófrekvenciás adó-vevő berendezések helyettesítik.

#### 4.4.1 A beszédkódolók jellemzői

A beszédkódolókkal az 1960-as években kezdtek foglalkozni, és az azóta eltelt négy évtized alatt igen sok különböző kodeket fejlesztettek ki. Amennyiben ezeket – a fekete doboz vizsgálati módszert követve – a felhasználhatóság szempontjából kívánjuk összehasonlítani, több különböző nézőpontot célszerű figyelembe venni. Ezeket tekintjük most át röviden.

##### 4.4.1.1 Bitsebesség

Ez a mérőszám azt mutatja meg, hogy a kodek másodpercenként hány bitet állít elő. Természetesen a gazdaságossági szempontok miatt minél kisebb bitsebességre törekszünk a többi minőségi paraméter megfelelő szinten tartásával. Beszédkodekek esetén a bitsebesség tipikusan a 2,4 – 64 kbit/s tartományban van.

##### 4.4.1.2 Beszédhangminőség

Az átvitt beszédhang minősége természetesen az egyik legfontosabb mérce. Sajnos azonban ez amilyen fontos, olyan nehezen mérhető, hiszen nehéz pontosan megfogalmazni, hogy emberi beszéd esetében mi számít jónak, érthetőnek. Bár léteznek algoritmikus mérési módszerek, alapértelmezésben mégis egy szubjektív pontrendszert, a MOS-t (Mean Opinion Score, átlagolt véleménypontok) használják a beszédhangminőség vizsgálatokor.

E vizsgálat során 15 – 40 embernek mutatnak be különböző hangmintákat, amelyek érthetőségét, minőségét mindenkinek egy ötfokozatú skálán értékelni kell (1: elfogadhatatlan, 2: gyenge, 3: közepes, 4: jó, 5: tökéletes). Az összes hangmintára leadott összes értékelést átlagolják, ez lesz a MOS. A gyakorlatban a négynél nagyobb értékek nagyon magas minőséget jelentenek.

Fontos összefüggés, hogy általában minél kisebb a kodek bitsebessége, annál rosszabb a beszédhangminősége is, és fordítva.

#### **4.4.1.3 Kódolási késleltetés**

Különböző kodekek különböző nagyságú időszeletét vizsgálják egyszerre a feldolgozandó jelnek. Minél nagyobb ez az időszelet, annál több információ áll rendelkezésre az optimális kódoláshoz, azonban annál nagyobb az átviteli késleltetéshez a kodek által hozzáadott, ún. kódolási késleltetés is. Távközlő hálózatokban természetesen a minimális kódolási késleltetés a cél, elképzelhető azonban olyan eset is (pl. digitális üzenetrögzítő), ahol ez egyáltalán nem fontos. A gyakorlatban alkalmazott beszédkodek kódolási késleltetése a 0,125 – 80 ms tartományban van.

#### **4.4.1.4 Komplexitás**

Egy kodek elterjedését erősen befolyásolhatják a megvalósításhoz szükséges hardveres erőforrásigények, kiváltképp mozgó készülék esetében. A legfontosabb ilyen paraméterek a következők:

- számítási komplexitás
- memóriaigény
- teljesítményfelvétel
- kodek áramkör fizikai mérete

Ezek közül is kiemelten fontos a számítási komplexitás, amelynek a leírója a megvalósításhoz szükséges műveletek száma másodpercenként. Ennek leggyakrabban használt mértékegysége a MIPS (Million Instructions Per Second, millió utasítás másodpercenként).

#### **4.4.1.5 Robosztusság**

A gyakorlatban alkalmazott adatátviteli csatornák nem tökéletesek, így a rajtuk átvitt információ részben elveszhet vagy megváltoztat. Ennek az egyik legegyszerűbb mérőszáma a bithibaarány (Bit Error Rate, BER), amely a hibás bitek arányát mutatja meg az összes átvitt bithez képest. A különböző beszédkodek különböző módon tűrik az átviteli hibákat. Egy kódoló robusztusságát azzal a bithibaarányal jellemezzük, amelyik felett az átvitt beszéd minősége már jelentősen romlik.

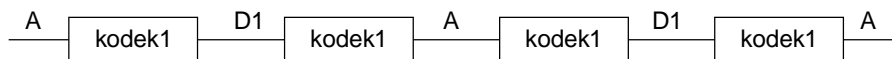
Egy csatorna bithibaaránya elsősorban az átviteli közegtől függ. Fényszálas optikai átvitel esetén például ez az arány olyan alacsony, hogy gyakorlatilag egyik kódolót sem zavarja. A rádiós átviteli szakaszok bithibaaránya azonban kb.  $10^{-3}$ , ami már sok kodeknek túl nagy. Ráadásul a hibák kezelésére a hiba detektálása utáni újraadás nem használható, mert az a valósidejű átvitelhez túl lassú. Megoldásképpen az ilyen csatornára szánt kodekekben

hibajavító kódolás (ld. Kódelmélet c. tantárgy) használata lehetséges – ezt távközlő hálózatok esetében FEC-nek (Forward Error Correction, előremenő hibajavítás) is szokás nevezni.

A hibajavító kódolás használatának a hátránya, hogy többletinformáció átvitelét igényli, ami adott átviteli sebesség esetén a minőség rovására tehető csak meg. Fontos tehát egy kódoló tervezésekor jól megválasztani a hibajavító információ arányát, természetesen tekintettel a majd alkalmazott közeg bithibaarányára.

#### 4.4.1.6 Tandemezhetőség és átkódolhatóság

Egy kodekpár használata esetén az analóg jelet digitálissá alakítjuk, továbbítjuk, majd visszaalakítjuk analóggá. Ha valamilyen okból a visszaállított analóg jelet újra digitalizáljuk egy ugyanolyan típusú kodekkel, mint az előzőek voltak, majd az átvitel után újra analóggá alakítjuk, akkor *tandemezésről* beszélünk (4.4.3. ábra). Erre például akkor lehet szükség, ha digitális távbeszélő-hálózati szigeteket kötünk össze analóg távbeszélő-hálózati szakaszokkal. (Ez Magyarországon 1990-96 között viszonylag gyakran előfordult, hiszen ebben az időszakban cserélték fokozatosan az analóg távbeszélő rendszereket digitálisra.)

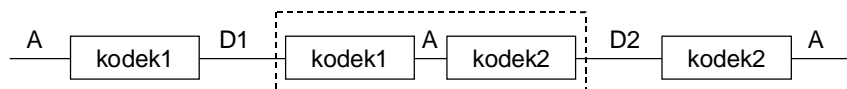


A: analóg jel  
D1: kodek1 által előállított digitális jel

4.4.3. ábra. Tandemezés

Nem minden kodek tűri egyformán a tandemezést. Fontos mérőszám tehát, hogy hányszor lehet önmagával tandemezni egy kodeket, hogy még elfogadható minőséget kapjunk a végponttól végpontig tartó beszédátvitelben. E mérőszámnak a kodekpárok számát tekintjük, 4.4.3. ábrán látható elrendezés tehát kétszeres tandemezést mutat.

*Átkódolás* az a folyamat, amikor több különböző kodeket használunk egy hálózatban, és az egyik kodek által használt digitális formátumról térünk át egy másik kodek digitális formátumára. Mivel a közvetlenül digitálisról digitálisra történő átalakítás általában nem megoldható, ezért köztes megoldásként visszaállítják az analóg jelet, bár ilyen formátumban általában nem történik továbbítás (4.4.4. ábra).



A: analóg jel  
D1: kodek1 által előállított digitális jel  
D2: kodek2 által előállított digitális jel

4.4.4. ábra. Átkódolás

Az átkódolást akkor használják, ha különböző beszédkódolókat használó hálózatokat kell összekötni. A kérdés most is az, hogy a végpontok közötti beszédminőség mennyire romlik az átkódolás miatt. Mivel ebben az esetben különböző kodekek együttes viselkedéséről van szó, az átkódolási minőség csak két különböző kodek által alkotott párra értelmezhető. Általánosan igaz, hogy az átvitt beszéd minőségét a legrosszabb hangminőségű kodek határozza meg. Nézzünk egy példát! Amennyiben egy európai GSM hálózathoz felhívunk egy amerikai vezetékességes telefont, akkor minimálisan a következő átkódolások történnek meg: GSM

kodek ↔ Európai PCM ↔ Amerikai PCM. E láncban a GSM kodek a legrosszabb minőségű, így gyakorlatilag ennek a minősége határozza meg a teljes átvitel minőségét.

#### **4.4.1.7 Átlátszóság**

A beszédkodekeket természetesen beszédátvitelre tervezik, ugyanakkor a távbeszélő-hálózatokon nem csak beszédjeleket visznek át. Erre példa az adatátvitel távbeszélő-hálózaton, vagy a DTMF (Dual Tone MultiFrequency, kéthangú többfrekvenciás jelzésátviteli rendszer) jelek átvitele.

A DTMF-et – amelyet a köznyelvben dallamkódos tárcsázásnak is neveznek – elsősorban a végberendezés és a központ közötti jelzésátvitelre használják a hívószám megadásakor. Másodsorban azonban a hívás sikeres felépítése után a végberendezések közötti egyszerű adatátvitelre is használható, mint például a telebank rendszerek esetében menüpontok kiválasztására, azonosítók megadására, stb. Nevét onnan kapta, hogy minden billentyűnek egy olyan hang felel meg, amelyet két, különböző frekvenciájú szinuszos jel összegeként állítanak elő.

Vannak kodekek, amelyek megfelelően viszik át az ilyen másodlagos jeleket, vannak azonban olyanok is, amelyek ilyen átvitelre gyakorlatilag teljesen alkalmatlanok. Ugyanakkor abban az esetben, ha a kodek a végberendezésben – és nem a helyi kapcsolóközpontban – van, ez nem probléma, hiszen ekkor az adatjeleknek nem kell a kodeken áthaladniuk.

#### **4.4.1.8 Adaptivitás**

Bizonyos kodekek képesek a hálózat terheltségéhez alkalmazkodni, és nagyobb terhelés esetén kisebb bitsebességű jelet előállítani – természetesen gyengébb hangátviteli minőség mellett.

Ennek a megoldásnak az az előnye, hogy sok esetben terhelt hálózatokon is lehetővé teszi a beszédátvitelt, azaz a hívások nem, vagy csak kisebb valószínűséggel blokkolódnak. Az egyik hátránya az, hogy terhelt hálózat esetén romlik az átvitt beszédhang minősége. A másik hátránya az, hogy megnehezíti a hálózattervezést: adaptív forrásokra nehezebb a hálózat forgalmi terheltségét és átviteli kapacitását értelmezni, emiatt például az Erlang képletek sem használhatóak.

### **4.4.2 Beszédkódoló típusai**

Napjainkban a beszédkódolóknak három fő típusát használják: a hullámforma kódolókat, a vokódereket és a hibrid kódolókat. Tekintsük át röviden ezek működési elvét!

#### **4.4.2.1 Hullámforma-kódolók**

A hullámforma-kódolók működése az átviendő analóg jel alakjának megőrzésén alapszik. Legegyszerűbb esetben ehhez a jelet először áteresztik egy sávszűrőn, majd mintavételezik, a mintákat kvantálják, végül valamilyen módon digitálisan kódolják. A vételi oldalon visszaállítják a mintavételi pontokat, majd egy aluláteresztő szűrőn át kiadják a jelet.

E módszer előnye, hogy jó minőségű átvitelt tesz lehetővé, egyszerűen implementálható, kis komplexitású és nem csak beszédjeleket, hanem tetszőleges jeleket lehet ily módon

digitalizálni. Hátránya, hogy viszonylag nagy bitsebességet igényel: csak 16 kbit/s felett lesz elfogadható az átvitt beszédhang minősége.

#### **4.4.2.2 Vokóderek**

A hullámforma-kódolókkal ellentétben a vokóderek erősen kihasználják, hogy a kódolandó jel emberi beszéd. Innen származik a név is: VOice CODER (vocoder; beszédkódoló, vokóder). A kódoló a bemeneti beszédjelből kiszűr néhány jellemző paramétert, és ezt kódolja digitálisan. A dekóder tulajdonképpen a kódolt jelet felhasználó beszéd szintetizátor. Mindez azt jelenti, hogy a visszaállított hang érthető lesz ugyan, de nyers, szintetikus, és nem nagyon hasonlít az eredeti beszédre. Cserébe viszont nagyon alacsony (4,8 kbit/s alatti) adatsebesség érhető el a vokóderekkel. Ezeket a kódolókat főleg katonai alkalmazásokban használják, ahol a természetes hangzás kevésbé fontos, mint az alacsony sáv szélesség, hogy könnyebben titkosítható és védhető legyen az átvitt beszéd. A vokóderek további előnye, hogy egyszerűbbek a következő pontban bemutatott hibrid kódolóknál.

#### **4.4.2.3 Hibrid kódolók**

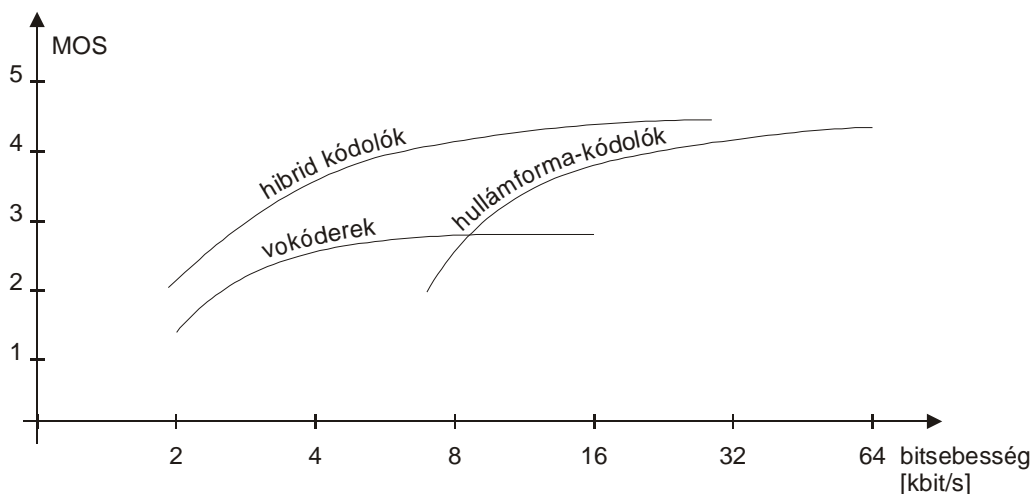
A hibrid kódolók egyfajta kompromisszumot képeznek a hullámforma-kódolók és a vokóderek között. A hullámforma kódolók ugyanis jó minőségű hangot adnak már 16 kbit/s sáv szélességnél, de ez alatt nem használhatók. A másik végletet a vokóderek jelentik, melyek 2,4–4,8 kbit/s-on érthető hangot szolgáltatnak, de természetesen hangzó beszédet nagyobb sáv szélességen sem adnak. A hibrid kódolók tehát elsősorban a 4,8–16 kbit/s tartományban használhatók, ahol elfogadható minőségű beszédkódolást nyújtanak.

A különböző hibrid kódolók működése egymástól lényegesen különböző lehet. Egyik lehetőség, hogy egy vokódert használnak, amely nagyjából előállítja az eredeti beszédet. Ezután az eredményt összehasonlítják a bemenettel, és a kettő különbségét egy hullámforma-kódolóval kódolják.

Ide szokták sorolni a frekvenciatartományban elvégzett kódolást is. Ebben az esetben a frekvenciatartományt több kisebb sávra bontják, és sávonként hajtják végre azokat a műveleteket, amelyeket a hullámforma-kódolóknál az időtartományban végeznek el: a mintavételezést, kvantálást, kódolást. Ily módon a zajokat lokalizálni lehet az egyes frekvenciasávokra, és a fül számára fontosabb sávban jobb minőséget lehet biztosítani.

#### **4.4.2.4 Összehasonlítás**

A 4.4.5. ábrán a különböző beszédkódoló-típusokat hasonlítjuk össze a minőség és a bitsebesség szempontjából. Ahogy azt korábban is írtuk, a hullámforma-kódolók nagyobb bitsebességek esetén nyújtanak nagyon jó teljesítményt, azonban 16–32 kbit/s alatt már célszerű inkább a hibrid kódolókat választani. A vokóderek minden tartományban rosszabb minőséget nyújtanak a hibrid kódolóknál, azonban egyszerűbbek, és főleg régebben, a hibrid kódolók megjelenése előtt használták ezeket.



4.4.5. ábra. Beszédkódoló-típusok összehasonlítása [Kondoz]  
(Az x tengely logaritmikus skálázású!)

### 4.4.3 Beszédkódoló-ajánlások

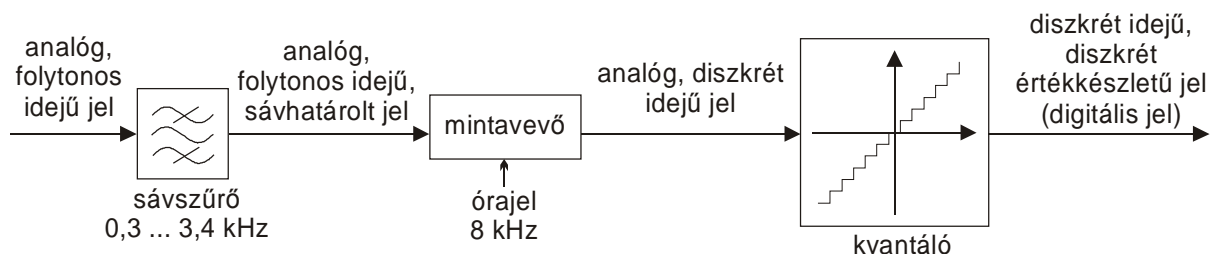
Ebben a szakaszban a legfontosabb beszédkódolók működését ismertetjük vázlatosan, majd összehasonlítjuk ezeket az előzőekben felsorolt szempontok alapján.

#### 4.4.3.1 PCM kódoló (G.711)

Jegyzetünkben már többször esett szó a PCM-ről (Pulse Code Modulation, impulzuskód-moduláció), ami nem véletlen, hiszen több szempontból is alapvető fontosságú kodekről van szó. Egyrészt ez a legrégebbi beszédkódoló: a PCM-et 1972-ben szabványosította a CCITT (G.711 sorszámmal)<sup>10</sup>. Másrészt a távközlési célú kodekek közül ennek a legjobb a hangminősége, így a többi kodeket is ehhez szokás hasonlítani. Harmadrészt pedig azért olyan fontos a PCM, mert nagyon elterjedt: a digitális távbeszélő-hálózatokban sokáig egyeduralkodó volt, de még most is többségében jelen van.

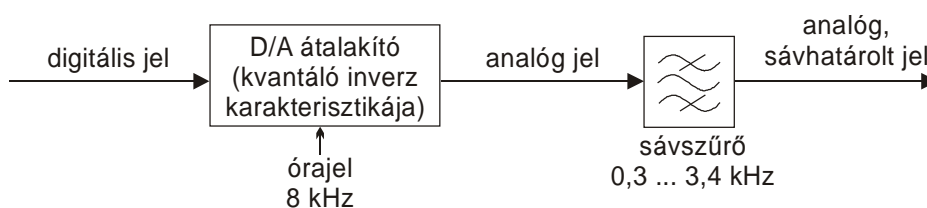
Nézzük meg, hogyan működik a PCM (4.4.6. ábra)! Az analóg beszédjelet először egy szűrővel a 0,3 – 3,4 kHz-es tartományra korlátozzák, majd ezt 8 kHz-el mintavételezik. Ekkor a mintavételi törvény értelmében egy maximum 4 kHz-es frekvenciát tartalmazó jel teljesen visszaállítható: ez a 3,4 kHz-hez képest tartalmaz egy kis tartalékot is. Ezt a kvantálás követi, amely azonban nem egyenletesen, hanem logaritmikusan történik. Ennek oka, hogy a kvantálót az emberi fül karakterisztikájához illesztették, amely a kis amplitúdójú jelek kis változásaira érzékenyebb, mint a nagy amplitúdójú jelek apró változásaira. E logaritmikus kvantálásra a gyakorlatban két eljárás is elterjedt, amelyek egyébként egymáshoz igen hasonlóak: Európában, Ausztráliában, Dél-Amerikában és még néhány helyen, az ún. A-törvényű (A-law) kvantálót használják, míg főleg Észak-Amerikában és Japánban az ún.  $\mu$ -törvényűt ( $\mu$ -law).

<sup>10</sup> A PCM elv első alkalmazására azonban már a II. világháborúban sor került. A szövetségesek SIGSALY néven készítettek és használtak egy PCM rendszerű digitális átviteli hálózatot. A cél természetesen ekkor a titkosítás volt, amelyet a SIGSALY szintén tartalmazott. Igaz, a rendszer hangminősége meglehetősen kezdetleges volt, és egy végberendezés valamivel több, mint 50 tonnát nyomott!



4.4.6. ábra. PCM kódolás

A PCM jelek dekódolása a kódolás fordított sorrendjében történik (4.4.7. ábra). Egy D/A átalakítóban a kvantáló karakterisztikájának inverzét alkalmazva megkapjuk az eredeti jel amplitúdóját: ezt az átalakítást a jelsebességnek megfelelően, másodpercenként 8000-szer elvégezzük. Az így előállított jelet ismét egy sávszűrőn engedjük át, így biztosítva, hogy a D/A átalakítás után esetleg jelen lévő nagyfrekvenciás tagok ne jussanak a kimenetre.



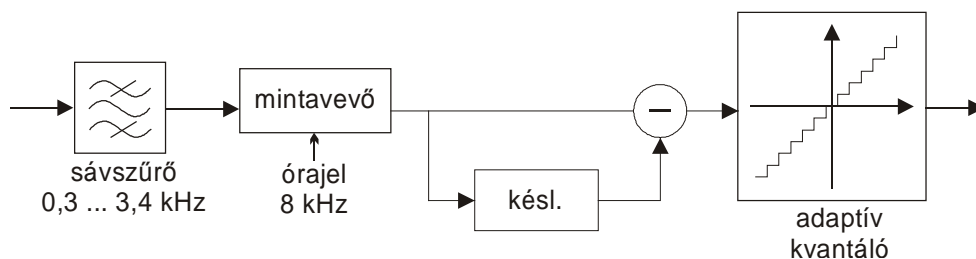
4.4.7. ábra. PCM dekódolás

Ahogy a 4.4.1. táblázatból is látható (4.4.3.5. alfejezet), a PCM kodek nagyon jó beszédminőséget biztosít nagyon kis késleltetéssel. A számítási komplexitása is nagyon alacsony, ami szükséges is volt az 1970-es évek elejének technikai fejlettségi szintjén. Cserébe e kodek igényi a legnagyobb sáv szélességet.

A PCM kodek igen jól tűri a tandemezést: amennyiben 8 bitre kvantálunk – ahogy az az Európai vezetékös távbeszélő hálózatokban történik –, akkor 13-szoros tandemezés még elfogadható minőséget produkál. 7 bites PCM esetében – amelyet például műholdas összeköttetéseknel használnak – ennél kevesebb, 10-szeres tandemezés engedhető meg.

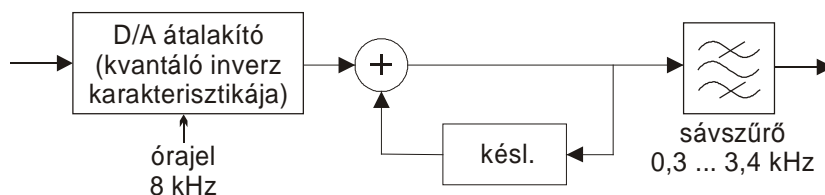
#### 4.4.3.2 ADPCM kódoló (G.721)

Az ADPCM rövidítés jelentése: adaptív differenciális PCM (Adaptive Differential PCM). Ez a hullámforma-kódoló a PCM továbbfejlesztése, melyet 1984-ben szabványosítottak G.721 sorszámmal. Működésének magyarázatát célszerű a „differenciális” szónál kezdeni. E megoldás azon az ötleten alapul, hogy a 4.4.6. ábrán látható mintavevő által egymás után kibocsátott értékek valós beszédjel esetén nem teljesen korrelálatlanok, ami esetünkben azt jelenti, hogy általában nincs túl nagy különbség egy minta és a következő között. Ha tehát csak a minták különbségét kódoljuk el, akkor az eredményt kevesebb biten is elegendő lesz ábrázolni, így összességében csökkenthető a kódoló bitsebessége (4.4.8. ábra). Az „adaptív” kiegészítés pedig annyit jelent, hogy a kvantálandó értékeket (amely tehát az egymást követő minták különbsége) nem mindig azonos kvantálón vezetjük keresztül, hanem a kvantálót adaptívan változtatjuk a jel függvényében: ha nagyobbak a kvantálandó értékek, akkor nagyobbak lesznek a kvantálási szintek közötti különbségek is.



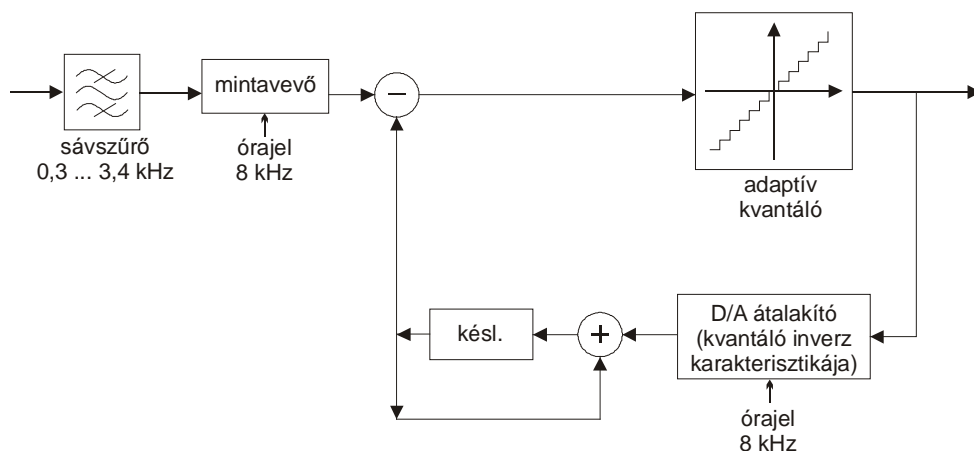
4.4.8. ábra. ADPCM kódoló egyszerűsített blokkvázlata

Mivel a kódoláskor különbségképzést végeztünk, ezért a dekódoláshoz összegezni kell az eddig bejött (analógra alakított) jeleket: ezt mutatja a 4.4.9. ábra.



4.4.9. ábra. ADPCM dekódoló blokkvázlata

A teljesség kedvéért megjegyezzük, hogy a differenciális kódolás nem pontosan a leírtak szerint történik. Ha ugyanis az egymást követő minták különbségét továbbítanánk, akkor a kvantálás pontatlansága miatt (amelyet a kvantálási zajjal írhatunk le) minden különbségérték kicsit pontatlanul érkezne meg a vevőhöz. Ezeket pedig össze kell adni a jel visszaállításához, ez esetben tehát a kvantálási zaj összeadódna, ami viszonylag hamar nagy pontatlanságot eredményezne. Szerencsére azonban az adó oldalon is tudjuk, hogy a vevő egy adott bemenetből milyen jelet állít vissza (a kvantáló inverz függvényének segítségével). Így megtehetjük azt, hogy nem az adó oldalon  $n$ -edik és az  $n+1$ -edik minták különbségét küldjük el, hanem a vevő által visszaállított (torzított)  $n$ -edik minta és a valódi  $n+1$ -edik minta különbségét (4.4.10. ábra). Ezzel a módszerrel a kvantálási zaj már nem adódik össze.



4.4.10. ábra. ADPCM kódoló javított blokkvázlata

További javítási lehetőség – amelyet alkalmaznak is –, hogy nem az előző (torzított) minta és az aktuális minta különbségét küldjük el, hanem mind az eddig beérkezett minták alapján becsüljük az aktuális mintát, és ezt vonjuk ki a valós vett minta értékéből. A vevő oldalon elvégezzük ugyanezt a becslést, és azt korrigáljuk a vett értékkel. Míg a korábban ismertetett esetben a becslés az előző minta volt, most általánosabban tetszőleges becslést megengedünk. Ettől természetesen azt várjuk, hogy még kisebbek lesznek a kvantálva, digitalizálva továbbítandó különbségek.

Az ADPCM bevezetésének a célja az volt, hogy megduplázzák a hálózatok beszédátviteli kapacitását. Ez sikerült is, hiszen az igényelt sávzélesség a felére csökkent (sőt, további



minőségromlás árán akár negyedelni is lehet). Cserébe a komplexitás növekedett, de szerencsére ezzel együtt fejlődött a technológia is, így e kodek valóban létjogosultságot nyert az 1980-as években. Az ADPCM beszédhangminősége alig marad el a PCM-étől, azonban például kevesebbszer lehet tandemezni.

#### **4.4.3.3 GSM kódolók**

A GSM kodekek részletes működésének ismertetése meghaladná e jegyzet kereteit, mivel azonban mára mindennapjaink részévé váltak, feltétlenül érdemes néhány szót szólni ezekről is. A leírtaknál bővebb információt például az [InfKódElm]-ben találhat az érdeklődő olvasó.

A GSM rendszerben több kódolót is szabványosítottak. Ezek közül egy adott beszélgetés során használt kódoló típusa a hálózat és a végberendezések közötti megegyezés eredménye.

A legkorábban bevezetett kodek neve GSM Full Rate (FR, teljes sebességű) kódoló. Ez is, mint az összes GSM kodek, a hibrid kódolók családjába tartozik, és GSM 06.10 számon szabványosították. Az ún. reguláris impulzus gerjesztésű algoritmust használja hosszú távú becsléssel (Regular Pulse Excitation – Long Term Prediction, RPE-LTP). Elfogadható hangminőséget állít elő (3,7 MOS érték) 13 kbit/s adatsebességgel és viszonylag alacsony számításigénnyel, ami a hordozható készülékek esetében fontos szempont. Bevezetése óta ugyanilyen adatsebességgel, bár némileg nagyobb számítási kapacitással lényegesen jobb kódolókat fejlesztettek ki. Akkoriban (1989) azonban ez egy jó kompromisszum volt, ami lehetővé tette a GSM korai bevezetését.

A félsebességű kódolót (GSM Half Rate, HR) a GSM 06.20 sorszámmal szabványosították. Működése a vektorösszeg gerjesztésű lineáris becslő (Vector-Sum Excited Linear Prediction, VSELP) algoritmuson alapszik, amely a kódgerjesztésű lineáris becslők (Code Excited Linear Prediction, CELP) családjába tartozik. 5,6 kbit/s mellett hangminősége alig marad el a teljes sebességű GSM kodektől (3,5 MOS érték), körülbelül háromszoros számításigény mellett.

Az időben később megjelent javított teljes sebességű GSM kódoló (GSM Enhanced Full Rate, EFR; GSM 06.60) az ún. algebrai kódgerjesztésű lineáris becslő (Algebraic Code-Excited Linear Prediction, ACELP) kódolási sémát alkalmazza, amely szintén a CELP családba tartozik. Adatsebessége megegyezik az FR kodekével (13 kbit/s), minősége azonban jobb annál (4,0 MOS). E kodek komplexitása nagyjából a háromszorosa az 1989-es FR kodekének, de mivel hat évvel később fejlesztették ki, addigra a mozgó végberendezésekben felhasznált elektronika fejlődése lehetővé tette a bevezetését.

A legutóbb megjelent GSM kódoló a GSM 06.90 sorszámot kapott adaptív többsebességű kódoló (Adaptive Multi-Rate, AMR), mely szintén az ACELP algoritmust használja. Egyik legfontosabb újítása, hogy több adatsebességgel is képes működni (4,75, 5,15, 5,9, 6,7, 7,4, 7,95, 10,2, 12,2 kbit/s) a hálózat terheltségétől függően. Ráadásul beszélgetés közben is lehetőség van az üzemmódok között váltani. MOS értéke 3,5 és 4,0 között változik az adatsebesség függvényében, számításigénye a teljes sebességű kodekének három-ötszöröse. Egyelőre még nem terjedt el, azonban a harmadik generációs mozgó távközlő hálózatokban ezt használják majd.

#### **4.4.3.4. G.723.1**

A G.723.1 sorszámmal szabványosított kódoló egy tipikus VoIP kodek: viszonylag kis sávszélességet igényel, így akár modem-es kapcsolatokon is működik. Számításiigénye viszonylag nagy, azonban ez VoIP rendszerekben általában nem jelent problémát, hiszen rögzített végberendezésekben nem szükséges annyira takarékoskodni a processzor-terheléssel és így a tápellátással, mint mozgó készülékek esetében. E kodeket ajánlja a H.323 internetes konferencia protokoll az alacsony adatsebességű átvitelre.

A kodek kétféle üzemmódban képes működni: az ACELP algoritmust használó üzemmódjának adatsebessége 5,3 kbit/s, az ún. többlepulis maximum-likelihood kvantálás (Multipulse Maximum Likelihood Quantization, MP-MLQ) algoritmust használó módjának adatsebessége 6,3 kbit/s.

#### **4.4.3.4. G.729**

A G.729-es kódolót szintén előszeretettel használják VoIP rendszerekben. 8 kbit/s-os adatsebessége nagyobb ugyan a G.723.1-énél, cserébe azonban jobb beszédhangminőséget, kisebb késleltetést és kisebb számításiigényt kapunk. Az alkalmazott algoritmus neve CS-ACELP (Conjugate Structure ACELP, konjugált struktúrájú ACELP).

#### **4.4.3.5. LPC-10**

Végezetül az érdekesség kedvéért megemlíjtük az LPC-10 kódolót, melyet még 1976-ban szabványosított az USA védelmi minisztériuma. Ez a kodek az ún. lineáris becslő kódoláson (Linear Predictive Coding, LPC) alapul. E klasszikus vokódernek az adatsebessége mindössze 2,4 kbit/s (a '70-es években készült!) és komplexitása is meglehetősen alacsony. Mindez azonban ez a beszédminőség rovására megy: az épp csak érthető, szintetikus hang 2,3-es MOS pontszámot kapott.

#### **4.4.3.6. Összehasonlítás**

A 4.4.1. táblázatban foglaltuk össze a fent ismertetett kodekek legfontosabb paramétereit. Hangsúlyozzuk, hogy csak néhány, általunk valamilyen szempontból fontosnak ítélt kodeket mutattunk be ebben a fejezetben, így ebben a táblázatban is, valójában ennél lényegesen többféle kódolót használnak napjainkban.

| Szabvány v. kódoló neve | Kódolási típus | Bevezetés éve | Adatsebesség (kbit/s) | Beszédhang-minőség (MOS) | Kódolási késleltetés (ms) | Számítási komplexitás (MIPS) |
|-------------------------|----------------|---------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|
| G.711                   | PCM            | 1972          | 64                    | 4,5                      | 0,125                     | 0,52                         |
| G.721                   | ADPCM          | 1984          | 32                    | 4,1                      | 0,125                     | 7,2                          |
| GSM 06.10 (FR)          | RPE-LTP        | 1989          | 13                    | 3,7                      | 20                        | 4,5                          |
| GSM 06.20 (HR)          | VSELP          | 1994          | 5,6                   | 3,5                      | 24,4                      | 17,5                         |
| GSM 06.60 (EFR)         | ACELP          | 1995          | 13                    | 4,0                      | 20                        | 14,4                         |
| GSM 06.90 (AMR)         | ACELP          | 1998          | 4,75-12,2             | 3,5-4,0                  | 20                        | 15-25                        |
| G.723.1                 | ACELP MP-MLQ   | 1996          | 6,3<br>5,3            | 3,9<br>3,6               | 30<br>30                  | 15<br>20                     |
| G.729                   | CS-ACELP       | 1996          | 8                     | 4,0                      | 15                        | 11                           |
| LPC-10                  | LPC            | 1976          | 2,4                   | 2,3                      | ≥ 22,5                    | 7                            |

4.4.1. táblázat. Beszédkódolók összehasonlítása<sup>11</sup>

#### **4.4.4. Beszéddetektor**

Különböző távközlő rendszerekben gyakran alkalmazzák az ún. beszéddetektort (angolul: Voice Activity Detector, VAD). Bár ez az egység nem beszédkódoló, azokkal szorosan együttműködik, ezért ebben a fejezetben tárgyaljuk.

A beszéddetektornak a feladata felismerni, hogy egy távbeszélő kapcsolat fennállása alatt a hozzá rendelt fél éppen beszél-e. Ha ugyanis az adott fél pillanatnyilag nem beszél (márpedig – kevés kivétellel... – senki nem beszél folyamatosan egy telefonbeszélgetés során), akkor nem is szükséges az általa (nem) generált jelet átvinni a hálózaton. Ezzel több legyet is üthetünk egy csapásra: egyrészt megspórolhatunk némi sávszélességet, másrészt így a kodek teljesítményfelvétele csökkenthető, sőt, a végberendezésben keletkező visszhangot is kiiktathatjuk. A sávszélesség megtakarítása azokban a hálózatokban jár valódi nyereséggel, amelyek képesek az így keletkezett többletkapacitást például statisztikus multiplexelés segítségével kihasználni. A teljesítmény csökkentése pedig elsősorban mozgó végberendezéseknél fontos az akkumulátor kímélése és az esetleges káros élettani hatások kockázatának csökkentése végett.

A beszéddetektor feladata tehát annak eldöntése, hogy az átviendő jel tartalmaz-e beszédjelet, vagy csupán háttérzaj, amelyet nem kell továbbítani. Zavaró lenne azonban, ha ez utóbbi esetben a másik fél semmit nem hallana – hiszen egy kis háttérzaj mindig jelen van – ezért ilyenkor a vevő oldalon ún. komfortzajt kell beiktatni. Ezt természetesen a vevő oldalon generálják, így az nem kerül a hálózaton átvitelre (esetleg csak annak az utolsó szakaszán). A beszéddetektorok működését nem ismertetjük részletesebben, az ugyanis meghaladná a jegyzet kereteit.

Beszéddetektorokat alkalmaznak például mozgó távközlő hálózatokban, VoIP és műholdas rendszerekben, sőt a távbeszélő-kihangosítóknak is gyakran ilyen használnak a visszhang és a gerjedés elkerülésére.

<sup>11</sup> Az adatok csak tájékoztató jellegűek, és mivel sok esetben különböző forrásból származnak, elképzelhető, hogy az összehasonlítás eredménye nem minden esetben felel meg teljesen a valóságnak.

## 4.5 Követelmények csomagkapcsolt hálózatokban

Ebben az alfejezetben a csomagkapcsolt hálózatokkal szemben támasztott jelátviteli és forgalmi követelményeket foglaljuk össze.

### 4.5.1 Csomagkapcsolt hálózatok alkalmazásai

A napjainkban használt csomagkapcsolt hálózatok – elsősorban az ATM és az IP alapú hálózatok – integrált hálózatok, hiszen nem egy konkrét jeltípus átvitelére tervezték azokat. (Igaz, a TCP/IP-t kezdetben csak aszinkron adatátvitelre használták – és erre is tervezték –, de ma már ennél lényegesen többre képes: gondoljunk csak a VoIP rendszerekre.) A különböző alkalmazások által generált hálózati forgalom lényegesen különböző, éppen ezért az ebben az alfejezetben felsorolt követelmények korántsem olyan egyértelműek és egységesek, mint például a távbeszélő hálózati beszédátviteli követelményei.

A következőkben felsorolunk néhány jellemző hálózati alkalmazást, az általa generált forgalom néhány fő paraméterével:

- e-mail: levelenként tipikusan néhányszor tíz kilobájtos aszinkron, egyirányú adathalmaz.
- telefonálás: kodektól függően 4-64 kbit/s sebességű, két- vagy többirányú adatfolyam.
- videotelefonálás: videokódolótól és képminőségtől függően kb. 32-1500 kbit/s, két- vagy többirányú adatfolyam. A hang átvitele a videó átvitelénél lényegesen kisebb sávszélességigényű. Ha kettőnél több résztvevő van egy kapcsolatban, akkor azt videokonferenciának is szokás hívni. (A terminológia ebben a tekintetben nem egységes, van, aki videokonferenciának nevezi a két résztvevős videotelefon kapcsolatot is).
- film megnézése hálózaton át: a videokódolótól, képminőségtől függően kb. 0,6-15 Mbit/s sebességű egyirányú adatfolyam. Fontos, hogy míg a beszédkodekerek jellemzően konstans bitsebességű forgalmat generálnak, addig a videokódolók tipikusan változó sebességű folyamat bocsátanak ki. Ez azt jelenti, hogy az említett 0,6-15 Mbit/s sebességet átlagértékként kell kezelni, rövidtávon ettől jelentős eltérés is elképzelhető.

A filmet a felhasználóhoz többféleképpen is el lehet juttatni. Az egyik lehetőség az ún. Video-on-Demand (VoD, szó szerint kb. „videó kérésre” avagy „igény szerinti videózás”, de a továbbiakban magyarul a kifejezőbb „hálózati videózás”-ként említjük).<sup>12</sup> Ebben az esetben a hálózati kiszolgáló pontosan akkor kezdi el küldeni a filmet, amikor azt a felhasználó kéri. Ilyenkor elképzelhető az is, hogy a felhasználó a filmet menet közben megállíthatja, előre vagy hátra „tekerheti”, azaz ugorhat a lejátszásban. Ideális esetben a VoD ugyanazt az élményt nyújtja, mintha a felhasználó videokazettáról vagy DVD-ről tekintené meg a filmet, de így még a kölcsönzöbe sem kell leszaladni a kazettáért vagy a lemezért. Ugyanakkor az igény szerinti videózás viszonylag nagy terhelést ró a hálózatra.

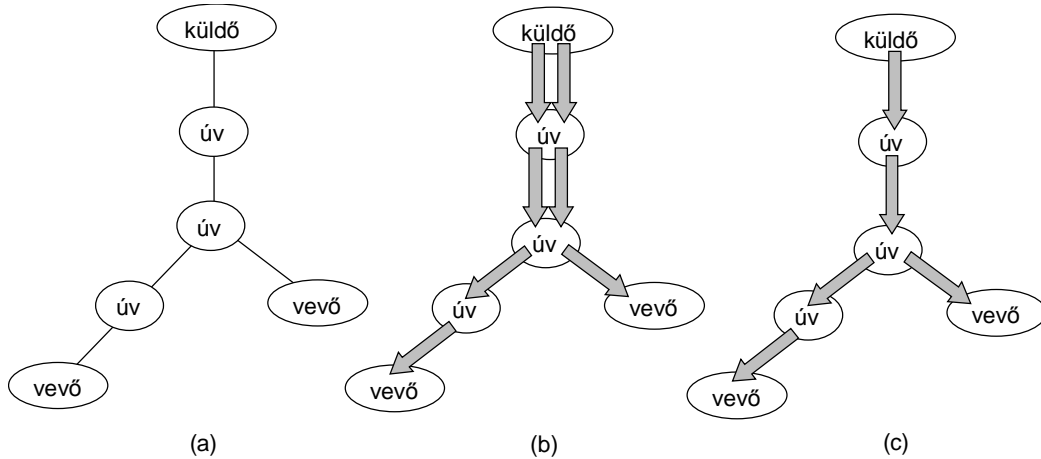
Egy másik esetben egy kiszolgáló egy adott időpontban kezd el lejátszani egy filmet. Ekkor a felhasználóknak nincs lehetőségük a film megállítására, illetve a lejátszás közben az előre vagy hátra ugrásra. Ez az eset leginkább a hagyományos televízió nézéséhez hasonlít. Ez kevésbé

---

<sup>12</sup> Bár könyvünk nem nyelvtankönyv, mégis megemlítünk egy különlegességet a videó szó helyesírásáról. A videó, videózás szavakat önmagukban hosszú ó-val kell írni, összetételben azonban már röviddel: videokódoló, videokazetta, stb.

kényelmes, mint az igény szerinti videózás, azonban lehetőség van az ún. többesadásos (multicast) terjesztésre, amivel jelentős hálózati kapacitást takaríthatunk meg.

A többesadás röviden azt jelenti, hogy a szerver az adatcsomagokat mindössze egyetlen példányban küldi ki, és a hálózati csomópontok másolják le több példányba azokon a helyeken, ahol erre szükség van (4.5.1. ábra).



4.5.1. ábra. (a) Példa hálózat (b) Egyesadás (unicast) (c) Többesadás (multicast)  
*úv = útválasztó*

#### 4.5.2. A jelforrások vizsgálatának szintjei

Csomagkapcsolt hálózatokban a jelforrásokat különböző szinteken jellemezhetjük, és ennek megfelelően a minőségi követelményeket különböző szinteken is megfogalmazhatjuk. Nézzük e szinteket sorban:

- *bitszint:* Ide tartozik a forrás által kibocsátott jel adatsebessége, melynek mértékegysége természetesen bit/s. Sok esetben fontos az adatsebesség átlagán kívül annak szórása, illetve egyéb, időbeli statisztikai paraméterei (pl. autokorreláció) is.
- *csomagszint:* Itt a csomagok hossza, illetve a másodpercenként elküldött csomagok száma a lényeges. Mivel az útválasztók, tűzfalak és más hálózati elemek egyszerre nem egy bitet, hanem egy csomagot dolgoznak fel, ezért sokszor fontos ez a szint is. Természetesen, ahogyan a bit szint esetében, itt is relevánsak lehetnek az egyes mennyiségek statisztikai leírói is.
- *löketszint:* Csomagkapcsolt hálózatokban jellemző, hogy a csomagok a hálózaton időben nem egyenletesen oszlanak el, hanem „összecsomósodnak”, „löketeket” (vagy „börstöt”, angolul burst) képeznek. Egy löketen belül az adatsebesség ( $r_{burst}$ ) lényegesen nagyobb lehet, mint az átlagos adatsebesség ( $r_{\text{átl}}$ ). (Az adatsebességet mérhetjük bit/s-ben, illetve csomag/s-ben, itt most nem teszünk a kettő között különbséget.) A csomósodás („börstösség”, angolul burstiness) mértéke:  $b = r_{burst} / r_{\text{átl}}$ . Csomagkapcsolt hálózatokban jellemzően ez az érték 1 és 200 között van. Egy körüli csomósodási érték esetén konstans bitsebességről (Constant Bit Rate, CBR) beszélhetünk, egynél lényegesen nagyobb érték esetén pedig változó bitsebességről (Variable Bit Rate, VBR). Ahogy az előbb írtuk, CBR például a legtöbb beszédkódoló kimenete, a videokódolóké pedig jellemzően VBR. A löketre jellemző paraméter még a löket hossza, illetve annak eloszlása. A löketekkel kapcsolatos érdekes, de kellemetlen tapasztalati tény,

hogy csomagkapcsolt hálózatokban a csomósodás aggregált forgalom – azaz több forgalom nyalábolása – esetén sem tűnik el.

- *viszonyszint*: A legtöbb esetben két végpont között nem csak egy-egy adatcsomag halad, hanem sok, egymással összefüggő csomag. Például egy fájl átvitele esetén a fájl a végpontban csomagokba tördelik, így e csomagok ugyanahhoz a viszonyhoz tartoznak. Hasonló a helyzet például egy IP alapú telefonbeszélgetésnél is: ilyenkor is sok, egymással összefüggő csomag kerül a hálózatra. Ebben az esetben viszonynak a telefonbeszélgetést tekintjük. (Most tehát nem az OSI viszonyrétegről beszélünk, a „viszony” itt egy alkalmazási szintű fogalom – ez leginkább az IntServ-nél használt „viszony” fogalomra emlékeztet.) E szinten vizsgálódva érdekes lehet például a viszonyok gyakorisága, azok hossza, illetve az egy viszonyhoz tartozó alacsonyabb szintű leírók, mint például a bitsebesség.

#### **4.5.3. Minőségi paraméterek**

Csomagkapcsolt hálózatokban a minőségi paramétereket leggyakrabban csomagszinten fogalmazzák meg. Általában a következő mérőszámokat specifikálják a szolgálatminőség (QoS) megadásánál:

- *csomagkésleltetés*: Az az idő, amíg egy adatcsomag eljut egyik adott hálózati pontból a másikba. Két összetevője a jel fizikai terjedési ideje, illetve az egyes hálózati elemek csomagfeldolgozási idejének az összege.
- *a csomagkésleltetés ingadozása (angolul packet delay variation, vagy packet jitter)*: Az előző mérőszám szórása.
- *csomagvesztési arány*: Az elvesztett (adott ideig meg nem érkezett) csomagok aránya az összes elküldött csomaghoz viszonyítva.
- *téves csomagkézbesítési arány*: Téves kézbesítés alatt azt értjük, hogy egy olyan csomagot kap egy végpont, amelyet hibátlan működés esetén nem kellett volna megkapnia. Ennek oka lehet többek között, hogy – például a csomag fejlécének meghibásodása miatt – rossz helyre kézbesít egy útválasztó egy csomagot, vagy egy nyugta elvesztése miatt többször juttatja el ugyanazt a csomagot a vevőnek.

Ahogy az alfejezet elején már említettük, az alkalmazások sokszínűsége miatt nem lehetséges abszolút határokat mondani a fenti mérőszámokra, amely felett az átvitel megfelelő, és amely alatt rossz. Néhány példát mindenesetre érdemes megnézni:

- Kétirányú beszédátvitel (VoIP) esetén az elfogadható *csomagvesztési arány* határa az alkalmazott kodektól függ, de kb. 5% csomagvesztés felett már gyakorlatilag az összes kodek esetében romlik a minőség, csökken az érthetőség.

Egyes VoIP eszközök az elvesztett csomagok tartalmát a megérkezett csomagok adataiból számított értékkel helyettesítik. E módszerrel valamelyest javítható veszteséges csatornán átvitt beszéd érthetősége. A tapasztalatok szerint – kodektól függően – ilyen rendszerekben 15-20%, sőt akár 30%-os csomagvesztési arány még javarészt érthető beszédet eredményez.

- A *csomagkésleltetés* beszédátvitel esetén 250 ms lehet, akárcsak a PSTN esetében. Ugyanígy a visszhangtörlő nélküli esetben 12,5 ms az elfogadható.

- A *csomagkésleltetésre* lényegesen nagyobb érték engedhető meg (akár 10-15 másodperc) az igény szerinti videózás esetében. Ez esetben ugyanis az nem probléma, ha az indítás gomb megnyomása után a film csak öt másodperccel indul el. Igaz, utána elvárjuk, hogy a lejátszás folyamatos legyen, éppen ezért ez esetben a *késleltetés ingadozásának* kellően alacsonynak kell lennie. Bizonyos határok között természetesen az ingadozás késleltetésre konvertálható egy puffer alkalmazásával.
- Fájlvitel (pl. FTP) esetén a fő szempont, hogy a fájlt minél előbb továbbítsa a hálózat. Emiatt a fenti mérőszámok jelentősége másodlagos, hiszen a hibákat kijavítja a TCP réteg, és a késleltetés sem probléma, ha az néhányszor tíz másodpercen belül van – ami a gyakorlati esetekben mindig teljesül. Ez esetben sokkal inkább a sávszélesség (a csatorna adatsebessége) a döntő faktor, amely a nagy fájlok letöltési idejét elsődlegesen befolyásolja. Itt jegyezzük meg, hogy a sávszélesség (adatsebesség) nem véletlenül maradt ki a fenti felsorolásból, az ugyanis nem minőségi, hanem mennyiségi paraméter.

Ez az állítás elsőre furcsának tűnhet, hiszen például a beszéd- vagy a videoátvitel minőségét is jelentős részben az alkalmazott sávszélesség határozza meg. Az ellentmondás feloldásához meg kell érteni, hogy itt nem az alkalmazás, hanem az átvitel minőségéről beszélünk: ennek mennyiségi paramétere az adatsebesség, a minőségi paramétereit pedig fent ismertettük.

Például lehet egy 64 kbit/s sebességű csatorna „jó minőségű”, ha kicsi a késleltetése és a vesztése, és lehet egy 1 Mbit/s-os átvitel „rossz minőségű”, ha mondjuk nagy a csomagkésleltetés. Az más kérdés, hogy esetleg jobb minőségű videokonferencia szolgáltatást lehet megvalósítani a „rossz minőségű” 1 Mbit/s-os csatornán (bár ez nagyban függ attól, hogy mennyire nagy például a késleltetése). Egy hasonlattal megvilágítva a kérdést: elképzelhető, hogy egy család részére kiadósabb és majdnem olyan finom vacsorát lehet főzni öt kiló „csúnya” krumpliból, mint egy kiló „szép”-ből. Ennek ellenére, a piacon meg kell mondani, hogy *mennyit* kérek és azt is, hogy *milyen minőségű* burgonyából.<sup>13</sup>

#### 4.5.4. Csomagkapcsolt hálózatok forgalmi modellezése

A forgalmi modellezés csomagkapcsolt hálózatok esetében ugyanazért fontos, mint a távbeszélő hálózatoknál: ez teszi lehetővé a hálózatok méretezésének tudományos megalapozását. Sajnos azonban ez esetben a probléma jóval összetettebb.

Mivel a csomagkapcsolt hálózatok egymástól is jelentősen különböznek, ezért az egyszerűség kedvéért a további leírást csak a legelterjedtebb csomagkapcsolt hálózatra, a TCP/IP alapú Internetre szűkítjük. A probléma megértése céljából vegyük először sorra, melyek a fő különbségek az Internet alapú hálózatok és a távbeszélő hálózatok között a forgalommodellezés szempontjából!

Talán a leglátványosabb különbség az *alkalmazások* terén látható. PSTN esetében szinte az egyeduralgkodó alkalmazás a beszédátvitel. Igaz, az utóbbi évtizedekben megjelent ezenfelül a telefax küldése és a modemes adatátvitel is, azonban az ezek által generált forgalomra is jól illeszthetőek a hagyományos modellek. Internet esetében azonban – ahogy a 4.5.1. alfejezetben is leírtuk – egymástól lényegesen különböző jellegű forgalmakat generáló alkalmazásokat használnak egy időben. A futtatott alkalmazások összetétele függ többek között a felhasználóktól, a napszaktól, a földrajzi helytől, ami persze mind a forgalom leírását

---

<sup>13</sup> Rizzsel ugyanez a helyzet, de azt legalább nem kell pucolni. Tésztát főzni még a rizsnél is egyszerűbb. Krokettet az ember egyen étteremben, ne otthon.

nehezíti meg. Ráadásul az egyes alkalmazások által generált forgalom megértése sokszor önmagában is nehéz. Például nem könnyű meghatározni, milyen az elküldött e-mailek bájtban kifejezett hosszának eloszlása. A helyzetet tovább bonyolítja, hogy évről évre újabb alkalmazások jelennek meg, melyek nemegyszer gyorsan kiszorítják a régieket, ezért még középtávra (néhány évre előre) is igen nehéz tervezni.

Egy másik különbség az igényelt *erőforrások*, és azok kihasználása. PSTN esetén ez is egyszerű: egy felhasználó egyszerre egy áramkört használ, amely teljesen hozzá van rendelve a kapcsolat fennállása alatt. Internet esetén ez is alkalmazásfüggő. Bizonyos alkalmazások (pl. VoIP, hálózati videózás) fix adatsebességet igényelnek: ha van is több, nem használják ki, de kevesebbnel nem érik be. Az alkalmazások másik csoportja ún. *elasztikus adatfolyamot* generálnak. E folyamatok számára nincs minimális vagy maximális bitsebesség: minél nagyobb a rendelkezésre álló adatátviteli kapacitás, annál jobb<sup>14</sup>. Ezek az alkalmazások lehetőség szerint adaptívan ki is használják a rendelkezésükre álló teljes átviteli kapacitást. Egy ilyen alkalmazás például a web-böngészés: bármilyen nagy is egy weboldal, arra a kérdésre, hogy mennyi idő múlva szeretné valaki a saját képernyőjén látni, a leggyakoribb válasz: „amilyen gyorsan csak lehet”. A TCP szállítási protokoll ezt lehetővé is teszi. Azonban amekkora áldás az elasztikus folyam a felhasználóknak, akkora átok a hálózattervezőknek. Ilyen folyamat jelenlétében ugyanis roppant nehezen értelmezhető az a kérdés, hogy „Mekkora a minimálisan szükséges sávszélesség adott forgalmi igények mellett?”.

A harmadik nagy különbség a távbeszélő és a TCP/IP hálózatok forgalma között a *források függetlenségében* rejlik. Amennyiben egy PSTN hálózatban nincs blokkolás – márpedig egy jól méretezett hálózatban gyakorlatilag soha nincs –, akkor a források függetleneknek tekinthetők. Internet esetében, amennyiben elasztikus folyamatok is jelen vannak, a TCP mohósága biztosítja, hogy a hálózat – legalábbis rövid ideig – teljesen ki legyen használva. Emiatt a különböző források adatsomagjai versengenek a hálózati erőforrásokért, ez pedig sajnos azt garantálja, hogy az egyes források forgalmai nem függetlenek.

Mindezek a PSTN-től jelentősen eltérő hálózati forgalmat eredményeznek. (A forgalmat IP alapú hálózatok esetében egy adott hálózati szakaszon a másodpercenként továbbított bájtok, illetve csomagok számaként értelmezzük.) Az egyik eltérő tulajdonság az időbeli összefüggés. A távbeszélő hálózatok forgalmáról azt mondhatjuk, hogy rövidtávon összefüggő, ami körülbelül – a képletek mellőzésével – azt jelenti, hogy az időben egymástól távol eső értékek közötti összefüggés (korreláció) elhanyagolhatóan kicsi. Az Internet forgalma ezzel szemben a mérések alapján *hosszútávon összefüggőnek* bizonyult, azaz a forgalom egymástól időben távoli értékei közötti korreláció sem elhanyagolható.

A hosszú távú összefüggés következménye az *önhasonlóság*, amely azt jelenti, hogy a forgalom különböző időskálákon vizsgálva is hasonló jelleget mutat. A gyakorlatban a forgalom alakulását mindig digitálisan reprezentálják, azaz diszkrét idejű és értékészletű minták sorozataként, amelyben egyetlen minta egy időszak átlagos forgalmát jelenti. Önhasonló esetben ennek az időszaknak a hosszát lényegesen különbözőre választva (pl. egy ezredmásodperctől az egy óráig terjedő tartományból) is hasonló forgalmi görbéket kapunk. E

---

<sup>14</sup> Egy minimumot célszerű azonban fenntartani egyrészt a TCP viszony lebomlásának elkerülése érdekében (hiszen azt újra és újra felépíteni feleslegesen bonyolult), másrészt azért is, hogy a felhasználó véges időn belül megkaphassa az elérni kívánt információt.



görbék egyik fontos közös jellemzője a *nagy börsztösség*, ami azt jelenti, hogy a 4.5.2. alfejezetben definiált csomósodás mértéke gyakran igen nagy.

Egy másik fontos különbség a felhasználók számával és a forgalom szórásának a nagyságával kapcsolatos. PSTN hálózatok esetében, ha a felhasználók száma az  $n$  szerezére növekszik, akkor a forgalom átlaga is  $n$ -szereződik, a szórása azonban csupán  $\sqrt{n}$ -szeres lesz. Így a szórás az átlaghoz képest csökken: a forgalom viszonylag gyorsan „kisimul”, ami megkönnyíti a tervezést. Internetes forgalom esetén a tapasztalatok szerint ez nem igaz, itt a források számának növelésével is csak lassan csökken a forgalom szórása az átlagához képest, azaz *lassan „simul ki”* a forgalom. Mondani sem kell, hogy ez sem egyszerűsíti a hálózattervezők munkáját.

Joggal merülhet fel az olvasóban a kérdés, hogy mindezek után hogyan lehet egyáltalán IP alapú hálózatot tervezni. Nos, bár az Internet forgalmának modellezése olyan tudományos tématerület, amelyet igen rangos szakemberek művelnek, és vannak is már szép számmal pozitív eredmények, az IP alapú hálózatok tervezése ma még főleg tapasztalaton és méréseken alapuló ökölszabályok alapján történik.

## Rövidítések

|          |  |
|----------|--|
| AAL      | ATM Adaptation Layer,<br>ATM illesztési réteg  |
| ACELP    | Algebraic Code-Excited Linear Prediction,<br>algebrai kódgerjesztésű lineáris becslő                                     |
| A/D      | analog / digital,<br>analóg / digitális  |
| ADPCM    | Adaptive Differential PCM,<br>adaptív differenciális PCM   |
| ADSL     | Asymmetric Digital Subscriber Line,<br>aszimmetrikus digitális előfizetői vonal  |
| AMR      | Adaptive Multi-Rate (codec),<br>adaptív többsebességű (kódoló)   |
| ANSI     | American National Standards Institute,<br>Amerikai Országos Szabványügyi Intézet   |
| AP       | Access Point,<br>hozzáférési pont  |
| ATM      | Asynchronous Transfer Mode,<br>aszinkron átviteli mód  |
| BER      | Bit Error Rate,<br>bithibaarány  |
| BSS      | Basic Service Set,<br>alap szolgáltatáskészlet   |
| CAC      | Call Admission Control,<br>hívásengedélyezés   |
| CBR      | Constant Bit Rate,<br>konstans bitsebesség   |
| CCITT    | Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique,<br>Nemzetközi Távíró és Távbeszélő Tanácsadó Bizottság   |
| CELP     | Code Excited Linear Prediction,<br>kódgerjesztésű lineáris becslő  |
| CS-ACELP | Conjugate Structure ACELP,<br>konjugált struktúrájú ACELP  |
| CSMA/CD  | Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection,<br>vivőjel-érzékeléses többszörös hozzáférés ütközésérzékeléssel |
| D/A      | digital / analog,  |

|                        |  |
|------------------------|--|
|                        | digitális / analóg   |
| DCC                    | lásd: DXC  |
| DiffServ               | Differentiated Services network,<br>differenciált szolgáltatású hálózat  |
| DNS                    | Domain Name System,<br>tartománynév rendszer   |
| DQDB                   | Distributed Queue Dual Bus,<br>kettős sín elosztott várakozási sorral  |
| DS ( <i>WLAN-nál</i> ) | Distribution System,<br>elosztó rendszer   |
| DS ( <i>PDH-nál</i> )  | Digital Signal,<br>digitális jel   |
| DSCP                   | Differentiated Services Code Point,<br>differenciált szolgáltatású architektúra kódpont  |
| DSLAM                  | Digital Subscriber Line Access Multiplexer,<br>digitális előfizetői vonal hozzáférési nyaláboló  |
| DTM                    | Dynamic synchronous Transfer Mode,<br>dinamikus szinkron átviteli mód  |
| DTMF                   | Dual Tone MultiFrequency,<br>kéthangú többfrekvenciás jelzésátviteli rendszer  |
| DWDM                   | Dense Wavelength Division Multiplexing,<br>sűrű hullámhosszosztású nyalábolás  |
| DXC                    | Digital Cross Connect,<br>digitális rendező  |
| EDGE                   | Enhanced Data Rate for Global Evolution,<br>kb. továbbfejlesztett adatsebesség a globális fejlődésért;<br>más források szerint: Enhanced Data Rate for GSM Evolution,<br>kb. továbbfejlesztett adatsebesség a GSM fejlődéséért |
| EFR                    | Enhanced Full Rate (codec),<br>javított teljes sebességű (kódoló)  |
| EMS                    | Enhanced Messaging Service,<br>kibővített üzenetküldő szolgáltatás   |
| ESS                    | Extended Service Set,<br>kiterjesztett szolgáltatáskészlet   |
| FCC                    | Federal Communications Commission,<br>Szövetségi Hírközlési Bizottság (USA)  |
| FDDI                   | Fiber Distributed Data Interface,<br>fényszállal szétszított adat-határfelület   |
| FDM                    | Frequency Division Multiplexing,<br>frekvenciaosztásos nyalábolás  |
| FEC                    | Forward Error Correction,  |

|                       |   |
|-----------------------|---|
|                       | előremenő hibajavítás   |
| FPS                   | Fast Packet Switching,<br>gyors csomagkapcsolás   |
| FR                    | Frame Relay,<br>kerettovábbítás   |
| FR ( <i>GSM-nél</i> ) | Full Rate (codec),<br>teljes sebességű (kódoló)   |
| FTP                   | File Transfer Protocol,<br>fájltviteli protokoll  |
| GEO                   | Geosynchronous Earth Orbit,<br>geostacionárius pálya  |
| GMPLS                 | Generalized MultiProtocol Label Switching,<br>általánosított többprotokollos címkekapcsolás                                       |
| GPRS                  | General Packet Radio Service,<br>általános csomag alapú rádiós szolgáltatás   |
| GPS                   | Global Positioning System,<br>globális helyzetmeghatározó rendszer  |
| GSM                   | Eredetileg: Groupe Spéciale Mobile,<br>később: Global System for Mobile Telecommunication,<br>világméretű mozgó távközlő rendszer |
| HSCSD                 | High Speed Circuit Switched Data,<br>nagy sebességű áramkörkapcsolt adatátvitel   |
| HTTP                  | Hypertext Transfer Protocol,<br>hiperszövegtovábbító protokoll  |
| HR                    | Half Rate (codec),<br>félsebességű (kódoló)   |
| IntServ               | Integrated Services network,<br>integrált szolgáltatású hálózat   |
| IBSS                  | Idependent Basic Service Set,<br>független alap-szolgáltatáskészlet   |
| ICO                   | Intermediate Circular Orbit,<br>közbenső körpálya   |
| IEEE                  | Institute of Electrical and Electronics Engineers,<br>Villamos- és Elektronikai Mérnökök Intézete                                 |
| IETF                  | Internet Engineering Task Force,<br>Internet tervezési szervezet  |
| IP                    | Internet Protocol,<br>Internet protokoll  |
| ISDN                  | Integrated Services Digital Network,<br>integrált szolgáltatású digitális hálózat   |
| ISM                   | Industrial, Scientific, Medical (frequency band),   |

|        |  |
|--------|--|
|        | ipari, tudományos és orvosi (frekvencia sáv)   |
| ITU-T  | International Telecommunication Union – Telecommunication Standardisation Sector,<br>Nemzetközi Távközlési Egyesület – Távközlési Szabványosítási Ágazat |
| LAN    | Local Area Network,<br>helyi hálózat   |
| LDP    | Label Distribution Protocol,<br>címketerjesztő protokoll   |
| LEO    | Low Earth Orbit,<br>alacsony Föld körüli pálya   |
| LL     | Leased Line,<br>bérelt vonal   |
| LLC    | Logical Link Control,<br>logikai kapcsolatvezérlés   |
| LPC    | Linear Predictive Coding,<br>lineáris becslő kódolás   |
| LSP    | Label Switched Path,<br>címkekapcsolt út   |
| LTP    | Long Term Prediction,<br>hosszú távú becslés   |
| MAC    | Medium Access Control,<br>közeghozzáférés (-vezérlés)  |
| MAN    | Metropolitan Area Network,<br>nagyvárosi hálózat   |
| MEO    | Medium Earth Orbit,<br>közepes Föld körüli pálya   |
| MIPS   | Million Instructions Per Second,<br>millió utasítás másodpercenként  |
| MMS    | Multimedia Messaging Service,<br>multimédia üzenetküldő szolgáltatás   |
| MOS    | Mean Opinion Score,<br>átlagolt véleménypontok   |
| MPLS   | MultiProtocol Label Switching,<br>többprotokollos címkekapcsolás   |
| MP-MLQ | Multipulse Maximum Likelihood Quantization,<br>többpulzusos maximum-likelihood kvantálás   |
| NBMA   | Non-Broadcast Multi-Access (Network),<br>hálózatokat szórtadás nélküli többszörös hozzáférés(-ű hálózat)   |
| N-ISDN | Narrow-band Integrated Services Digital Network,<br>keskenysávú integrált szolgáltatású digitális hálózat  |
| NMT    | Nordic Mobile Telephone System,  |

|       |   |
|-------|---|
|       | északi mozgó távközlő rendszer  |
| OXC   | Optical Cross Connect,<br>optikai rendező   |
| PCM   | Pulse Code Modulation,<br>impulzuskód-moduláció   |
| PCSDN | Public Circuit Switched Data Network,<br>nyilvános, áramkörkapcsolt adathálózat           |
| PPSDN | Public Packet Switched Data Network,<br>nyilvános, csomagkapcsolt adathálózat             |
| PDH   | Plesiochronous Digital Hierarchy,<br>pleziokron digitális hierarchia                      |
| PN    | Private Network,<br>magánhálózat  |
| POTS  | Plain Old Telephone Service,<br>egyszerű öreg távbeszélő szolgáltatás                     |
| PPP   | Point-to-Point Protocol, pont-pont protokoll  |
| PSTN  | Public Switched Telephone Network,<br>nyilvános kapcsolt távbeszélő-hálózat               |
| PVC   | Permanent Virtual Circuit,<br>permanens látszólagos áramkör                               |
| QoS   | Quality of Service,<br>szolgáltatminőség  |
| RPE   | Regular Pulse Excitation,<br>reguláris impulzus gerjesztés                                |
| RSVP  | Resource ReSerVation Protocol,<br>erőforrás-foglaló protokoll                             |
| RTP   | Real-time Transport Protocol, valós idejű szállítási protokoll                            |
| SDH   | Synchronous Digital Hierarchy,<br>szinkron digitális hierarchia                           |
| SIP   | Session Initiation Protocol,<br>viszonylétesítő protokoll                                 |
| SMDS  | Switched Multimegabit Data Service,<br>kapcsolt, több megabites adatátviteli szolgáltatás |
| SMS   | Short Message Service,<br>rövid szöveges üzenet szolgáltatás                              |
| SMTP  | Simple Mail Transfer Protocol,<br>egyszerű levéltovábbító protokoll                       |
| SONET | Synchronous Optical NETwork,<br>szinkron optikai hálózat                                  |
| STM   | Synchronous Transport Module,<br>szinkron szállító modul                                  |

|       |  |
|-------|--|
| STS   | Synchronous Transport Signal,<br>szinkron szállító jel                             |
| SVC   | Switched Virtual Circuit,<br>kapcsolt látszólagos áramkör                          |
| THD   | Total Harmonic Distortion,<br>teljes harmonikus torzítás                           |
| TCP   | Transmission Control Protocol,<br>átvitelvezérlő protokoll                         |
| TDM   | Time Division Multiplexing,<br>időosztásos nyalábolás                              |
| UDP   | User Datagram Protocol,<br>felhasználói adatsomag protokoll                        |
| UMTS  | Universal Mobile Telecommunications System,<br>egyetemes mozgó távközlő rendszer   |
| VAD   | Voice Activity Detector,<br>beszéddetektor   |
| VBR   | Variable Bit Rate,<br>változó bitsebesség  |
| VC    | Virtual Circuit,<br>látszólagos áramkör  |
| VoD   | Video-on-Demand,<br>kb. „videó kérésre” avagy „igény szerinti videózás”            |
| VoIP  | Voice over IP,<br>beszédátvitel IP felett  |
| VP    | Virtual Path,<br>látszólagos útvonal   |
| VPN   | Virtual Private Network,<br>látszólagos magánhálózat                               |
| VSELP | Vector-Sum Excited Linear Prediction,<br>vektorösszeg gerjesztésű lineáris becselő |
| WAN   | Wide Area Network,<br>nagy kiterjedésű hálózat                                     |
| WAP   | Wireless Application Protocol,<br>vezetéknélküli alkalmazás protokoll              |
| WDM   | Wavelength Division Multiplexing,<br>hullámhosszosztású nyalábolás                 |
| WLAN  | Wireless Local Area Network,<br>vezeték nélküli helyi hálózat                      |
| WWW   | World Wide Web,<br>világméretű háló  |

## Irodalomjegyzék

- [Bartolits] Dr. Bartolits István (Stephanus): „A távközlés regénye – egy találmány, amely megrengette a világot”, cikksorozat, Élet és Irodalom, XLIV évf. (2000), 19-28. szám
- [EITO] „European Information Technology Observatory 2002 (EITO)”, kiadja: European Information Technology Observatory (EITO) – European Economic Interest Grouping (EEIG), ISSN 0947-4862. Internet cím: <http://www.eito.com>
- [G.712] „Transmission performance characteristics of pulse code modulation channels”, G.712 sorszámú ITU-T ajánlás
- [Globalstar] A Globalstar rendszer honlapja: <http://www.globalstar.com/>
- [GSMORG] GSM World (About GSM Association; Membership): <http://www.gsm.org/about/membership/networks.shtml>
- [HVG2001] „UMTS-koncessziók néhány európai országban”, „UMTS-koncessziók : Jövő generáció”, „Versenyre készülő magyar távközlési piac : Tetemrehívás”: Heti Világgazdaság, 2001. február 10. Elektronikusan is hozzáférhető: <http://hvg.hu/>
- [ICO] Az ICO rendszer honlapja: <http://www.ico.com/>
- [InfKódElm] Györfi László, Györi Sándor, Vajda István: „Információ és Kódelmélet”, Typotex, 2000, ISBN 963 9132 84 5
- [Inmarsat] Az Inmarsat rendszer honlapja: <http://www.inmarsat.com/>
- [Iridium] Az Iridium rendszer honlapja: <http://www.iridium.com/>
- [ITU] International Telecommunication Union, Telecommunication Development Sector, Information and Communication Technology, Statistics: <http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/>
- [Izsák] „Távközléstechnikai kézikönyv”, főszerkesztő: Dr. Izsák Miklós, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979. ISBN: 963 10 2681 7
- [Kondoz] A. M. Kondoz: „Digital Speech: Coding for Low Bit Rate Communication Systems”, Wiley, 1999, ISBN: 0-471-62371-7
- [Minoli] Daniel Minoli: „Enterprise Networking: Fractional T1 to Sonet, Frame Relay to BISDN”, Artech House, USA, 1993. ISBN: 0-89006-621-3 (Chapter 12, 687-715. old.)
- [NAIC] National Astronomy and Ionosphere Center, Arecibo Observatory. Webhely: <http://www.naic.edu/>



- [Perros] Harry G. Perros: „An Introduction to ATM Networks”, John Wiley and Sons, Chichester, 2001. ISBN: 0-471-49827-0
- [RFC0854] J. Postel, J. Reynolds: „Telnet Protocol Specification”, RFC 854, 1983. május
- [RFC0959] J. Postel, J. Reynolds: „File Transfer Protocol (FTP)”, RFC 959, 1985. október
- [RFC1055] J. Romkey: „A Nonstandard for Transmission of IP Datagrams over Serial Lines: SLIP”, RFC 1055, 1988. június
- [RFC1633] R. Braden, D. Clark, S. Shenker: „Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview”, RFC 1633, 1994. június
- [RFC1661] W. Simpson (szerk.): „The Point-to-Point Protocol (PPP)”, RFC 1661, 1994. július
- [RFC2205] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, and S. Jamin: „Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification”, RFC 2205, 1997. szeptember
- [RFC2475] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss: „An Architecture for Differentiated Services”, RFC 2475, 1998. december
- [RFC2616] R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk, L. Masinter, P. Leach, T. Berners-Lee: „Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1”, RFC 2616, 1999. június
- [RFC2821] J. Klensin (szerk.): „Simple Mail Transfer Protocol”, RFC 2821, 2001. április
- [RFC2998] Y. Bernet, P. Ford, R. Yavatkar, F. Baker, L. Zhang, M. Speer, R. Braden, B. Davie, J. Wroclawski, E. Felstaine: „A Framework for Integrated Services Operation over Diffserv Networks”, RFC 2998, 2000. november
- [RFC3260] D. Grossman: „New Terminology and Clarifications for Diffserv”, RFC 3260, 2002. április
- [RFC3344] C. Perkins (szerk.): „IP Mobility Support for IPv4”, RFC 3344, 2002. augusztus
- [Sárkány1] dr. Sárkány Tamás: „Az Iridium műholdas rendszer kudarca”, Magyar Távközlés, 2000/8
- [Sárkány2] dr. Sárkány Tamás: „Feltámad az iridium?”, Híradástechnika, 2001/11
- [Tanen] Andrew S. Tanenbaum: „Számítógép-hálózatok” (a harmadik kiadás fordítása), Panem–Prentice-Hall, Budapest, 1999. ISBN 963 545 213 6
- [Thuraya] A Thuraya rendszer honlapja: <http://www.thuraya.com/>
- [Tömegkisz] Györfi László, Páli István: „Tömegkiszolgálás informatikai rendszerekben”, Műegyetemi Kiadó, 2001. Jegyzet azonosító: 55024

# Tartalom

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ELŐSZÓ</b> .....   | <b>2</b>  |
| <b>1 AZ INFORMÁCIÓKÖZLŐ HÁLÓZATOK ALAPISMERETEI</b> .....               | <b>3</b>  |
| 1.1 A TECHNOLÓGIA FEJLŐDÉSE.....  | 3         |
| 1.1.1 A számítási kapacitás fejlődése.....                              | 3         |
| 1.1.2 Az átviteli csatornák fejlődése .....                             | 4         |
| 1.2 AZ INFORMÁCIÓKÖZLŐ HÁLÓZATOK FEJLŐDÉSE VILÁGSZERTE .....            | 5         |
| 1.2.1 Történelmi áttekintés.....  | 5         |
| 1.2.2 Az információközlő hálózatok fejlődési trendjei napjainkban ..... | 6         |
| 1.2.3 Technológiák tipikus életgörbe-modellje.....                      | 9         |
| 1.2.4 Információközlő hálózatok növekedési modelljei.....               | 9         |
| 1.3 A MAGYARORSZÁGI TÁVKÖZLŐ ÉS SZÁMÍTÓGÉP-HÁLÓZATOK FEJLŐDÉSE .....    | 11        |
| 1.3.1 Az 1939-ig tartó időszak.....                                     | 11        |
| 1.3.2 Az 1945 – 1990 közötti évek .....                                 | 12        |
| 1.3.3 Az 1990-től napjainkig tartó időszak.....                         | 13        |
| <b>2 AZ INFORMÁCIÓKÖZLŐ HÁLÓZATI TECHNOLÓGIÁK ÁTTEKINTÉSE</b> .....     | <b>17</b> |
| 2.1 TÁVKÖZLŐ HÁLÓZATOK.....   | 17        |
| 2.1.1 Keskenysávú távközlő hálózatok .....                              | 18        |
| 2.1.1.1 Táviróhálózat .....   | 18        |
| 2.1.1.2 Távgépíró-hálózat.....  | 19        |
| 2.1.1.3 Távbeszélő-hálózat .....  | 19        |
| 2.1.1.4 PDH alapú gerinchálózat.....                                    | 21        |
| 2.1.1.5 Adathálózatok .....   | 24        |
| 2.1.1.6 ISDN hálózat.....   | 25        |
| 2.1.2 Szélessávú távközlő hálózatok .....                               | 26        |
| 2.1.2.1 Szinkron hálózatok: SDH és SONET.....                           | 27        |
| 2.1.2.2 Hullámhosszosztású optikai hálózatok.....                       | 29        |
| 2.1.2.3 ATM hálózat .....   | 30        |
| 2.1.2.4 B-ISDN hálózatok .....  | 31        |
| 2.1.2.5 Kerettovábbítás .....   | 32        |
| 2.1.2.6 DTM.....  | 33        |
| 2.1.2.7 ADSL.....   | 33        |
| 2.2 SZÁMÍTÓGÉP-HÁLÓZATOK .....  | 35        |
| 2.2.1 Helyi hálózatok .....   | 36        |
| 2.2.1.1 Ethernet.....   | 36        |
| 2.2.1.2 Vezérjeles sín és gyűrű .....                                   | 37        |
| 2.2.2 Nagyvárosi hálózatok.....   | 38        |
| 2.2.2.1 FDDI.....   | 39        |
| 2.2.2.2 DQDB.....   | 39        |
| 2.2.2.3 SMDS .....  | 40        |
| 2.2.3 A TCP/IP hálózatok .....  | 40        |
| 2.2.3.1 A TCP/IP protokollcsalád .....                                  | 41        |
| 2.2.3.2 A QoS IP hálózatok .....  | 43        |
| IntServ.....  | 43        |
| DiffServ .....  | 44        |
| Végponttól végpontig tartó garantált szolgáltatminőség.....             | 46        |
| 2.2.3.3 MPLS .....  | 46        |
| 2.2.3.4 VoIP .....  | 48        |
| 2.3 MOZGÓ INFORMÁCIÓKÖZLŐ HÁLÓZATOK.....                                | 50        |
| 2.3.1 Földfelszíni mozgó információközlő hálózatok.....                 | 50        |
| 2.3.1.1 Földfelszíni mozgó távközlő hálózatok.....                      | 50        |
| 2.3.1.2 Földfelszíni mozgó számítógép-hálózatok .....                   | 53        |

|   |           |
|---|-----------|
| WLAN .....  | 53        |
| Bluetooth.....  | 55        |
| 2.3.2 Műholdas mozgó információközlő hálózatok.....                       | 56        |
| 2.3.2.1 Műholdas mozgó távközlő hálózatok.....                            | 56        |
| 2.3.2.2 Műholdas mozgó számítógép-hálózatok .....                         | 59        |
| <b>3 AZ INFORMÁCIÓKÖZLŐ HÁLÓZATOK FELÉPÍTÉSÉNEK ELVEL.....</b>            | <b>60</b> |
| 3.1 AZ ELEKTRONIKUS HÍRKÖZLŐ HÁLÓZATOK OSZTÁLYOZÁSA .....                 | 60        |
| 3.1.1 Műsorközlő hálózatok .....  | 61        |
| 3.1.2 Információközlő hálózatok .....                                     | 61        |
| 3.1.3 Áttekintés.....   | 62        |
| 3.2 AZ INFORMÁCIÓKÖZLŐ HÁLÓZATOK TOPOLOGIAI MODELLEZÉSE .....             | 62        |
| 3.2.1 Fizikai hálózat .....   | 63        |
| 3.2.2 Adatkapcsolati hálózat .....  | 63        |
| 3.2.3 Forgalmi hálózat .....  | 64        |
| 3.2.4 Példák a különböző hálózatmodellekre .....                          | 67        |
| 3.2.5 Áttekintés.....   | 70        |
| 3.3 AZ INFORMÁCIÓKÖZLŐ HÁLÓZATOK ÖSSZEKAPCSOLÁSA .....                    | 71        |
| 3.3.1 Hordozó és távszolgáltató hálózatok.....                            | 71        |
| 3.3.2 Hálózatok egyenrangú összekapcsolása.....                           | 71        |
| 3.3.3 Hálózatok hierarchikus összekapcsolása .....                        | 72        |
| 3.3.4 Példa együttműködő hálózatokra.....                                 | 74        |
| 3.3.5 Hierarchikus összekapcsolás és a technológiai modellezés.....       | 75        |
| 3.3.6 Együttműködő hálózatok topológiai modellezése.....                  | 76        |
| 3.3.6.1 Egyenrangúan együttműködő hálózatok topológiai modellezése.....   | 76        |
| 3.3.6.1 Hierarchikusan együttműködő hálózatok topológiai modellezése..... | 76        |
| 3.4 AZ INFORMÁCIÓKÖZLŐ HÁLÓZATOK FUNKCIONÁLIS MODELLJE .....              | 78        |
| 3.4.1 Az OSI modell.....  | 79        |
| 3.4.2 A tiszta Internet-rétegmodell .....                                 | 82        |
| 3.4.3 A távközlő hálózatok funkcionális modellje.....                     | 84        |
| 3.4.4 Együttműködő hálózatok funkcionális modellje .....                  | 87        |
| 3.4.4.1 Hierarchikusan együttműködő hálózatok funkcionális modellje.....  | 87        |
| IP távbeszélő hálózat felett és a PPP Internet-modell .....               | 87        |
| IP Ethernet felett és a hibrid Internet-modell .....                      | 90        |
| PDH SDH felett.....   | 91        |
| IP ATM felett .....   | 93        |
| Hierarchikusan együttműködő hálózatok modellezése általánosan .....       | 95        |
| 3.4.4.2 Egyenrangúan együttműködő hálózatok funkcionális modellje .....   | 96        |
| <b>4 JELÁTVITELI ÉS FORGALMI KÖVETELMÉNYEK .....</b>                      | <b>99</b> |
| 4.1 INFORMÁCIÓTÍPUSOK, JELEK ÉS HÁLÓZATOK .....                           | 100       |
| 4.2 BESZÉDÁTVITELI KÖVETELMÉNYEK.....                                     | 101       |
| 4.2.1 Érthetőség .....  | 101       |
| 4.2.2 Sávzélesség .....   | 102       |
| 4.2.3 Csillapítás .....   | 102       |
| 4.2.4 Csillapításingadozás .....  | 103       |
| 4.2.5 Jel/zaj viszony.....  | 103       |
| 4.2.6 Késleltetés .....   | 104       |
| 4.2.7 Késleltetés ingadozása .....  | 104       |
| 4.2.8 Fázistolás .....  | 105       |
| 4.2.9 Frekvenciaeltolási hiba.....  | 107       |
| 4.2.10 Multiplikatív frekvenciahiba.....                                  | 107       |
| 4.2.11 Nemlineáris torzítás .....   | 108       |
| 4.3 TÁVBESZÉLŐ-HÁLÓZATOK FORGALMI JELLEMZÉSE .....                        | 109       |
| 4.4 BESZÉDKÓDOLÓK .....   | 111       |
| 4.4.1 A beszédkódolók jellemzői.....                                      | 113       |
| 4.4.1.1 Bitsebesség.....  | 113       |
| 4.4.1.2 Beszédhangminőség .....   | 113       |
| 4.4.1.3 Kódolási késleltetés .....  | 114       |
| 4.4.1.4 Komplexitás .....   | 114       |
| 4.4.1.5 Robosztusság.....   | 114       |
| 4.4.1.6 Tandemezhetőség és átkódolhatóság.....                            | 115       |

|   |            |
|---|------------|
| 4.4.1.7 Átlátszóság.....                                  | 116        |
| 4.4.1.8 Adaptivitás.....                                  | 116        |
| 4.4.2 Beszédkódolók típusai.....                          | 116        |
| 4.4.2.1 Hullámforma-kódolók.....                          | 116        |
| 4.4.2.2 Vokóderek.....                                    | 117        |
| 4.4.2.3 Hibrid kódolók.....                               | 117        |
| 4.4.2.4 Összehasonlítás.....                              | 117        |
| 4.4.3 Beszédkódoló-ajánlások.....                         | 118        |
| 4.4.3.1 PCM kódoló (G.711).....                           | 118        |
| 4.4.3.2 ADPCM kódoló (G.721).....                         | 119        |
| 4.4.3.3 GSM kódolók.....                                  | 121        |
| 4.4.3.4. G.723.1.....                                     | 122        |
| 4.4.3.4. G.729.....                                       | 122        |
| 4.4.3.5. LPC-10.....                                      | 122        |
| 4.4.3.6. Összehasonlítás.....                             | 122        |
| 4.4.4. Beszéddetektor.....                                | 123        |
| 4.5 KÖVETELMÉNYEK CSOMAGKAPCSOLT HÁLÓZATOKBAN.....        | 124        |
| 4.5.1 Csomagkapcsolt hálózatok alkalmazásai.....          | 124        |
| 4.5.2. A jelforrások vizsgálatának szintjei.....          | 125        |
| 4.5.3. Minőségi paraméterek.....                          | 126        |
| 4.5.4. Csomagkapcsolt hálózatok forgalmi modellezése..... | 127        |
| <b>RÖVIDÍTÉSEK.....</b>                                   | <b>130</b> |
| <b>IRODALOMJEGYZÉK.....</b>                               | <b>136</b> |
| <b>TARTALOM.....</b>                                      | <b>138</b> |