

Hálózati helyzetkép

VIDA ROLLAND, CINKLER TIBOR

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
{vida, cinkler}@tmit.bme.hu

Kulcsszavak: hozzáférési hálózatok, gerinchálózat, heterogén hálózatok

Az utóbbi két évtizedet az infokommunikációs hálózatok rohamos fejlődése jellemezte. Az átviteli sebességek 5-6 nagyságrenddel megnövekedtek, a vezetékes fix hozzáférés mellett megjelentek és egyre inkább elterjednek a vezeték nélküli és mobil technológiák, és a szolgáltatások köre is egyre bővül. A korábbi „killer application”-nek számító web és e-mail mellett ma már egyre többen használják internetkapcsolatukat videokonferenciázásra vagy nagyfelbontású tévéműsorok megtekintésére. A felhasználók adatátviteli szükségleteinek kiszolgálására ma már számos különböző technológia és átviteli közeg (pl. réz érpár, koaxiális kábel, fényvezető szál, szabad tér) áll rendelkezésre. Cikkünk első részében igyekszünk ezért egy rövid áttekintést adni a hozzáférési- és gerinchálózatokban használt hálózati technológiák fejlődési mérföldköveiről. Mindemellett egyre fontosabbá válik az a törekvés, hogy a hálózati struktúra heterogenitását a szolgáltatások szempontjából elrejtjük a felhasználók előtt. Ezért a cikk második felében kitérünk a hálózatok menedzselésének és vezérlésének nehézségeire is.

1. Bevezető

Az utóbbi évtizedekben az infokommunikációs hálózatok elképesztő fejlődésen mentek keresztül. A '80-as évek végén még annak örülhettünk, ha a betárcsázós internetkapcsolaton keresztül néhány száz bit/s sebességgel el tudtunk küldeni egy szöveges üzenetet, ma viszont már nagyfelbontású videóanyagokat nézhetünk a telefonunkon utazás közben, több tízezerszeres átviteli sebességek mellett. Ebben a cikkben elsősorban ennek a hihetetlen fejlődésnek a különböző lépéseit szeretnénk bemutatni.

Az infokommunikációs hálózatokat elsősorban területi kiterjedésük alapján és az ezzel összefüggő funkcióik szerint szokták felosztani, hozzáférési-, metro-, illetve gerinchálózatokra. A hozzáférési hálózat az a jellemzően rosszul kihasznált része a hálózatnak, mely a felhasználókat csatlakoztatja a közvetlen (Internet-, telefon-, vagy műsorszétesztő) szolgáltatójukhoz. Ezt a részt, elsősorban a telefonhálózatokból átvett terminológia alapján, előfizetői huroknak is nevezzük; a hagyományos rézhurok mellett ma már elterjedt az optikai vagy a vezeték nélküli helyi hurok kifejezések használata is.

A nagyvárosi vagy „metro”-hálózat a hálózat középső része, ahol a hozzáférési hálózatok forgalmát a jobb hálózatkihasználtság érdekében összefogják (aggregálják), rendszerezik, rendezik és kapcsolják. Ezáltal a forgalom egy részét a különböző hozzáférési szegmensek között, a többi pedig további metro-hálózatok felé irányítják (a gerinchálózaton keresztül). Végül a gerinchálózat az a szegmens, amely biztosítja az egymástól gyakran igen távol eső metro-hálózatok és az azokra csatlakoztatott felhasználók közti kommunikációt.

Ennek a rendszerezésnek megfelelően cikkünkben előbb bemutatjuk a különböző hozzáférési és aggregációs technológiákat, majd kitérünk a gerinchálózatok

fejlődésének fontosabb lépéseire. A hálózati technológiák bemutatásánál azonban nem lehet csak az átviteli megoldásokra korlátozódni, meg kell azt is vizsgálni, hogyan tudjuk ezeket a hálózatokat karbantartani, menedzselni, hogyan tudunk különböző szolgáltatásokat biztosítani felettük.

Manapság nagyon divatos a hálózatok és szolgáltatások konvergenciájáról beszélni. A cikk utolsó részében ennek megfelelően megpróbáljuk bemutatni a jelenlegi heterogén hálózati struktúra menedzselésének és vezérlésének nehézségeit, valamint egyes, a szolgáltatások szempontjából technológia-független és homogenizált, konvergens hálózati architektúra kialakítására irányuló törekvéseket.

2. Fejlődési trendek a hozzáférésben

Az Internet születése a '60-as évek végére tehető, amikor kezdetben négy amerikai egyetem (UCLA, Stanford, Santa Barbara és University of Utah) számítógépeit sikerült egy közös hálózatba kötni, az ARPANET projekt keretében. A létrejött hálózat egyre népszerűbbé vált, egyre több egyetem csatlakozott hozzá, habár a növekedés mai szemmel nézve elég lassú volt; 15 év kellett például ahhoz, hogy 1984-re a hálózat mérete elérje az 1000 számítógépet. Jelentős változás ebben a dinamikában a '90-es évek elején vált érzékelhetővé, amikor a kezdeti tudományos ARPANET hálózatot, mely nagyrészt egyetemi kutatóközpontok összekötését valósította meg, lassan felváltotta az otthoni előfizetők tízmillióit kiszolgáló kereskedelmi célú Internet.

Egyre több olyan szolgáltatás (kezdetben az e-mail, a web, majd az internetes (video)telefon, a fájlcsere és a „triple play” alkalmazások – hang-, internet- és tv-átvitel) jelent meg, mely vonzóvá tette a technológiát

nem csak a kutatók, hanem az átlagember számára is. Ráadásul az emberek nem elégedtek meg az Internet munkahelyi használatával, saját otthonukban is szeretnek volna hasonló szolgáltatásokat. Ezzel elkezdődött a hozzáférési technológiák versenye.

A hozzáférési hálózatok a technológia típusától függően két nagy csoportba sorolhatóak: vezetékes, illetve vezeték nélküli hozzáférési hálózatok. Egy vezetékes hozzáférési hálózat kiépítésének legnagyobb költségét nem maguk a kábelek, vagy a különböző intelligens eszközök (modemek, kapcsolók stb.) jelentik, hanem a befektetett munka (árkok ásása, falak fúrása, kábelek vezetése). Kézenfekvő ötlet volt tehát, hogy a már meglévő, az előfizetők otthonáig terjedő, különféle célokra kialakított hálózatokat próbáljuk meg felhasználni az Internethez való hozzáférésre is, így elkerülendő az új kábelek lefektetésével, föld- és kőművesmunkával járó kiadásokat. Ilyen meglévő hálózatok például a telefon-, az elektromos-, vagy a kábeltévé-hálózatok.

A vezetékes telefonhálózatok két fontos építőeleme a „helyi hurok”, mely egy csavart réz érpáron keresztül a végfelhasználókat köti össze a legközelebbi helyi kapcsolóközponttal, és a törzshálózat, mely a kapcsolóközpontokat összekötő – jellemzően optikai – trónközből tevődik össze. Kezdetben a hálózat teljesen analóg volt, ma viszont fokozatos az áttérés a digitális átvitelre, főleg a törzshálózatban. A beszédátvitelre egy 4 kHz-es beszédcsatornát használunk, a telefonközpontban elhelyezett szűrő pedig csak az ebben a frekvenciasávban kapott adatokat engedi át. Ennek megfelelően a kezdeti „betárcsázós” (dial-up) Internet szolgáltatáshoz is csak ezt a korlátozott sávszélességet lehetett biztosítani. A szolgáltatáshoz szükség volt egy „modemre” (mozaikszó a „modulator” és „demodulator” kifejezésekből), mely a számítógép digitális adatait moduláció segítségével analóg jellé alakította (D/A konverzió), illetve a telefonvezetéken érkező analóg jelet vissz irányba demodulálta és digitális tartalomként továbbította a PC felé (A/D konverzió).

Az első modemet az '50-es években az amerikai légvédelem használta katonai adatok küldésére a telefonhálózaton keresztül. Az első kereskedelmi forgalomban kapható modem 300 bit/s sebességű átvitelre volt képes (1962), a modemek fejlődésével azonban a sebesség jelentősen megnövekedett, egészen 56,6 kbit/s-ig (1990). Ezzel azonban el is értük a biztosítható felső sebességhatárt, mely a szűk beszédcsatornának és az A/D–D/A konverziók pontatlanságának (kvantálási zaj) volt köszönhető.

A dial-up megoldáshoz képest jelentős előrelépést jelentett az ISDN (Integrated Services Digital Network) technológia megjelenése, mely végponttól végpontig digitális átvitelt valósított meg. A beszédkódoló itt magába a telefonkészülékbe van beépítve, a szűk beszédcsatorna immár nem korlátozó tényező, ezáltal pedig jobb minőségű és nagyobb sebességű átvitelt lehet biztosítani. Az ISDN-hozzáférésnek két lehetséges konfigurációja volt leginkább használatos: az alapsebességű hozzáférésnél (BRA – Basic Rate Access) 128 kbit/s-os,

míg a primer sebességű hozzáférésnél (PRA – Primary Rate Access) akár 2 Mbit/s-os sebesség is elérhető volt.

Habár az ezredfordulón az ISDN volt a legelterjedtebb internet-hozzáférési technológia, az újabb szolgáltatások egyre nagyobb sávszélességigényét nem tudta kielégíteni, ezért már a '90-es évek végén megjelennek, majd egyre jobban elterjedtek a különböző DSL (Digital Subscriber Line) megoldások [1]. A DSL szintén a hagyományos telefonvezetékeket használja, kétoldali szűrők segítségével azonban szét tudják választani a beszédcsávot és az ADSL forgalmat. Így lehetővé válik az előfizetői hurok teljes kapacitásának kihasználása és megoldható a párhuzamos telefonálás és az internetezés.

A legnépszerűbb DSL megoldás ma az ADSL (Aszimmetrikus DSL), melyben az adatok letöltésére elkülönített sávszélesség jóval nagyobb a feltöltésekre szánt sávszélességnél. Gyakorlatilag ez a kezdeti ADSL szabványban (1999) lefelé irányban max. 8 Mbit/s, felfelé pedig 1 Mbit/s-os sebességet jelentett, 3 km-es hatótávolságon. Az ADSL2+ szabvány (2003) max. 16-24 Mbit/s-os lefelé irányuló sebességet tesz lehetővé, 1,5 km-es hatótávolságon, a VDSL (Very-high-data-rate DSL) szabvány (2004) pedig 52 Mbit/s lefelé és 16 Mbit/s felfelé irányuló sebességet biztosít, mindezt azonban csak néhány száz méteres távolságon. Éppen ezért a VDSL technológiát leginkább optikai hálózatok forgalmának épületeken belüli kiterjesztésére javasolják, mivel a szükséges számos hajlítás miatt a fényvezető szál ilyen környezetben előnytelen.

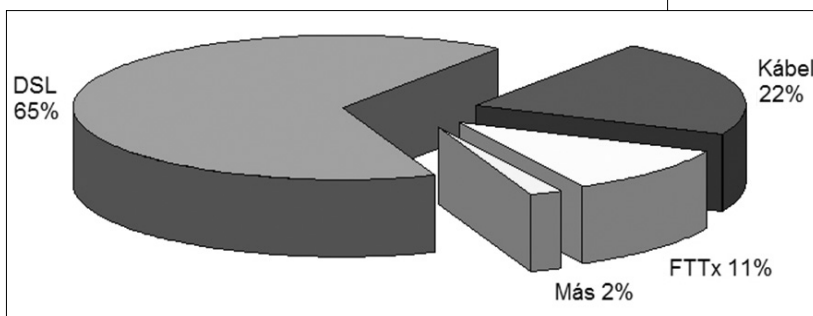
Az aszimmetrikus jellegű webforgalomra optimalizált hozzáférési technológiák mellett azonban fokozatosan megjelentek a szimmetrikus megoldások is, melyek jobban alkalmazkodnak a videotelefónia vagy a fájlcsere-alkalmazások (pl. Kazaa, BitTorrent) forgalmi jellegzetességeihez. A szimmetrikus SHDSL (Symmetric High-speed DSL) szabvány (2001) mindkét irányban 2,3 Mbit/s-os sebességet biztosít 3 km-es körzeten belül, a legújabb VDSL2 szabvány (2005) pedig akár 100 Mbit/s-os szimmetrikus sebesség biztosítására is képes, mindezt azonban csak pár száz méteres távolságon. 2006-ban pedig már megjelentek az első tudományos cikkek a Gigabit DSL technológiáról, mely akár 1 Gbit/s-os sebességet tud biztosítani mindkét irányban, elsősorban az egymás mellett haladó réz érpárok közötti interferenciák csökkentésével, melynek köszönhetően jóval nagyobb frekvenciatartomány válik használhatóvá.

A vezetékes hozzáférés terén a DSL technológiák jelenlegi legnagyobb vetélytársa a kábeltévé-hálózatra épülő szélessávú internetszolgáltatás. A DSL-el ellentétben, ahol minden felhasználónak elkülönített sávszélességet tudunk biztosítani a saját csavart réz érpárján, a kábeles internet esetén a felhasználók közösen osztanak egy koaxiális kábelre, amely azonban jóval nagyobb sávszélességet biztosít. Míg a DSL-nél lényegében egyéni választás kérdése, hogy aszimmetrikus vagy szimmetrikus hozzáférést akarunk-e biztosítani, a kábeles internetezést technológiai megkötések (a tévécsatornák spektrumkiosztása, a le- és felirányú erősítők elhelyezése) teszik aszimmetrikussá. A kezdeti szabvá-

nyok a DSL-hez hasonló sebességeket tettek lehetővé, a legújabb DOCSIS 3.0 szabvány (2006) viszont már 300 Mbit/s lefelé és 108 Mbit/s felfelé irányuló sebességet biztosít, több átviteli csatorna összekapcsolásával (channel bonding).

Egy kevésbé elterjedt hozzáférési technológia az elektromos vezetékeken keresztül nyújtott BPL szolgáltatás (Broadband over Power Line). Az eredetileg csak a közép feszültségű vezetékeket használó technológiát speciális modulációs és hatékony zajszűrő megoldások segítségével ma már kiterjesztették az alacsony feszültségű vezetékekre is. A technológia előnye a szinte mindenütt jelenlévő elektromos hálózat kihasználása, viszont nagy hátránya, hogy a telefon- vagy kábeltévé-vezetékekkel ellentétben az elektromos vezetékek nincsenek leárnyékolva. Ennek köszönhetően a BPL nagyon érzékeny az interferenciákra és maga is komolyan zavarhatja a közelben levő többi technológiát, ebből kifolyólag pedig több országban komoly engedélyezési akadályokkal küzd.

1. ábra
Vezetékes szélessávú technológiák elterjedése a világban 2007 végén (Forrás: Point Topic)



Az egyre hatékonyabb átviteli technikák ellenére az új alkalmazások (pl. nagy felbontású digitális televíziózás – HDTV) folyamatosan növekvő sávszélességigénye csak nagyon korlátozottan biztosítható a már meglévő telefon-, elektromos- vagy kábeltévé-hálózatokon. Szükségessé vált tehát a gerinchálózatban jelen levő optikai kapcsolatok kiterjesztésére a hozzáférési részre is. Új épületek, új területek lefedésénél ez ráadásul nem is jelent plusz munkálatokat, hiszen kezdettől fogva lehet optikai kábeleket telepíteni.

Az FTTH (Fiber to the Home) és a VDSL végződésével kiterjesztett FTTC (Fiber to the Curb) megoldások egyelőre Délkelet-Ázsiában és különösen Japánban népszerűek, több mint 11 millió felhasználóval (2008. március). Az átviteli sebességet itt tulajdonképpen csak az optikai/elektromos átalakítók sebessége határozza meg, nem maga az átviteli közeg. A jelenlegi FTTH megoldások általában 100 Mbit/s szimmetrikus sávszélességet biztosítanak, de üzleti előfizetőknek lehetséges 1 Gbit/s-os hozzáférés nyújtása is.

A vezetékes hozzáférési megoldások azonban nem csak egymással kell megküzdenek, hanem egyre inkább a vezeték nélküli technológiákkal is. Napjainkban mind jobban elterjednek a vezeték nélküli kommunikációs eszközök, évente ma már több mint 150 millió lapto-

pot, 14 millió PDA-t és több százmillió intelligens mobil telefont adnak el a világban. Fontossá vált tehát az ezen eszközök internetcsatlakozását biztosító megoldások fejlesztése is [2].

Vezetéknélküli helyi hálózatok (Wireless Local Area Networks – WLAN) működtetésére több megoldást is javasoltak (például HiperLAN, HomeRF), de a versenyt egyértelműen az IEEE 802.11 szabvány nyerte. Ma már a szabvány és a szolgáltatás neve teljesen egybeforrt és egyenértékűen használják őket. Az eredeti 802.11 szabvány (1997) viszonylag kis átviteli sebességet (1 vagy 2 Mbit/s) biztosított, az újabb verziók azonban már lényegesen gyorsabb hozzáférést tettek lehetővé. A 2,4 GHz-es szabad frekvenciasávban működő 802.11b változat (1999) – melyre először használták a Wi-Fi kifejezést (Wireless Fidelity) –, 11 Mbit/s-os sebességet biztosít a hozzáférési pont kb. 100 méteres körzetében, míg az 5 GHz-es sávban működő 802.11a szabvány (1999) akár 54 Mbit/s-os sebesség elérését is lehetővé teszi, igaz, kisebb hatótávolságon.

A 2001-ben szabványosított 802.11g változat a két elődje előnyeit próbálja ötvözni, szintén 54 Mbit/s-os maximális átviteli sebességet biztosítva a nagyobb hatótávolságot lehetővé tevő 2,4 GHz-es sávban. A 2009-re várható 802.11n szabvány viszont már akár 600 Mbit/s-os sebesség elérését is lehetővé teszi majd. Ugyanebből a szabványcsaládból végül érdemes még megemlíteni a szintén 2009-re várt 802.11p verziót, mely a nagy sebességgel közlekedő járművek kommunikációját is képes lesz majd biztosítani. A Wi-Fi hálózatok egyre jobban elterjednek a világ minden táján, jelenleg több

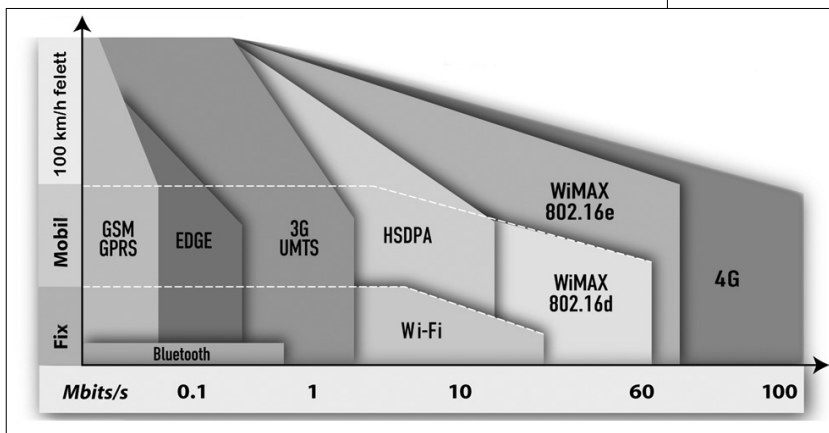
mint 300.000 nyilvános vezeték nélküli hozzáférést biztosító Wi-Fi „hotspot” működik reptereken, szállodákban, éttermekben, mindemellett pedig lakások millióiban internetezhetnek a felhasználók különböző WLAN megoldások révén.

Míg a Wi-Fi-t kifejezetten a felhasználók nomadikus mozgását (ugyanaz a felhasználó különböző időpontokban más és más területen lévő hozzáférési pontokhoz jelentkezik be) szem előtt tartva fejlesztették ki (eltekintve az előbb említett 802.11p verziótól), az IEEE 802.16 szabványnál (WiMAX) a vezeték nélküli fix hozzáférés („fixed-wireless”) biztosítása volt a cél, a Wi-Fi-hez képest jóval nagyobb területen. A 2003-ban elfogadott 802.16a szabvány ennek megfelelően elméletileg akár 70 Mbit/s-os sebességet is képes biztosítani, legfeljebb kb. 50 kilométeres körzetben, a gyakorlati megvalósítások azonban egyelőre jóval szerényebb eredményeket mutatnak.

Az eredeti WiMAX szabvány még nem támogatta a mobilitást (a 2005-ben elfogadott 802.16e változat már igen), a Wi-Fi pedig nagyon kis átmérőjű cellákat használ, melyek között elméletileg megoldható a cellaváltás, gyakorlatilag azonban ezek a cellák csak ritkán fedik át egymást és leginkább a forgalmas belvárosi helyekre koncentrálnak. Természetessé vált azonban az igény

egy olyan hozzáférési hálózatra is, mely globális lefedettséget biztosít és melyen keresztül a mozgó felhasználók megszakítás nélkül tudnak az Internethez csatlakozni vezeték nélküli eszközeiken. Erre a célra dolgozták ki a mobil telefonhálózatokra épülő különböző vezeték nélküli hozzáférési technológiákat. Míg a 2.5G-nek nevezett GPRS (General Packet Radio System) technológia viszonylag alacsony, tipikusan 30-80 kbit/s-os átviteli sebességet biztosított, a hatékonyabb modulációt használó EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) rendszer már elméletileg 384 Kbit/s-es sebességet támogat. Ezek a sebességek azonban még távol állnak a WLAN vagy a vezetékes hozzáférési hálózatokon megszokott sebességektől.

A harmadik generációs (3G) megoldásnak számító UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) technológiát már 2 Mbit/s-os sebesség biztosítására tervezték, azonban a szolgáltatók közötti spektrumkiosztást szabályozó hatalmas koncessziós költségek ellenére sem terjedt el eddig a várt mértékben. Ennek ellenére újabb és újabb megoldások jelennek meg: a 3.5G-nek nevezett HSDPA (High Speed Downlink Packet Access, 14,4 Mbit/s lefelé) és HSUPA (High Speed Uplink Packet Access, 5,76 Mbit/s felfelé) technológia után már a 100 Mbit/s-es lefelé és 50 Mbit/s-os felfelé irányuló sebességet biztosító, Super-3G-nek is nevezett HSOPA (High Speed OFDM Packet Access) szabványon dolgoznak, az LTE (Long Term Evolution) project keretében.



2. ábra
Vezeték nélküli technológiák jellemzői
(Forrás: WiMAX Spectrum Owners Alliance)

Mint azt a bevezetőben már említettük, a hozzáférési hálózatok aggregálására és gerinchálózathoz való csatlakozására használják a nagyvárosi, metro-hálózatokat. Bármilyen vezetékes vagy vezeték nélküli hozzáférési technológiát is használnánk az „utolsó mérföldön” (az előfizetők közvetlen bekötésére), a szolgáltatói aggregációs hálózatban levő, a felhasználók kapcsolatát végződött hálózati eszközöket az Internethez való csatlakoztatás céljából általában optikai gyűrűk segítségével kötik össze. Ezen optikai kapcsolatokon a forgalom kezelése általában az Ethernet technológia segítségével történik, ezt takarja az egyre gyakrabban használt Metro-Ethernet kifejezés [3].

Az Ethernetet azonban nem csak az aggregációs hálózatokban lehet használni; a hagyományos csavart réz érpár vagy fényvezető szálak felett megvalósított Ethernet alapú hozzáférés végfelhasználóig való kiterjesztése is napirenden van, az EFM (Ethernet in the First Mile) szabvány elterjedését azonban egyelőre főként biztonsági megfontolások akadályozzák.

3. A gerinchálózatok fejlődése

Jelenleg valamennyi olyan infokommunikációs hálózat, ahol már több tíz kilométert szeretnénk áthidalni – vagy akár kisebb távolságot is, de nagy sáv szélességgel – fényvezetős jelátvitelen alapszik. Ez a technológia biztosítja a legkisebb jelcsillapítást, hatalmas a rendelkezésre álló sáv szélesség és az átvitel gyakorlatilag külső zavaró hatásoktól és áthallástól is mentes. Ezért ha metro-hálózatról vagy gerinchálózatról beszélünk, szinte kizárólagosan fényvezetős hálózatot értünk alatta, noha emellett még mikrohullámú (műholdas és földfelszíni), szabdéri fény-átvitel és koaxiális kábel szakaszok is előfordulnak, de ritkábban.

A jelenleg használt fénykábelek tipikusan 40-1000 fényvezető szál tartalmaznak, mindegyiken jellemzően 40-160 különböző hullámhosszon szállítják a jelet, hullámhosszanként 2,5, 10 vagy 40 Gbit/s bitsebességgel. Fényszálanként tehát akár 6,4 Tbit/s (10^{12} bit/s) sáv szélességet is megvalósíthatunk, ami fénykábelenként akár 6,4 Pbit/s (10^{15} bit/s) is lehet. Ez a sebesség közel száz ezer (94 118) teljes kétoldalas DVD (3-4 órás DVD minőségű film: 8,5 Gbyte adat) átvitelének felel meg másodpercenként!

Az első optikai hálózatok a szó szoros értelmében nem is hálózatok, hanem csak *pont-pont szakaszok* voltak. A kezdeti fázisban telepített kábelek még kevés fényszál tartalmaztak. A későbbiekben kapacitásuk költséghatékony növelésére, új kábel telepítése helyett *hullámhosszosztást* alkalmaztak,

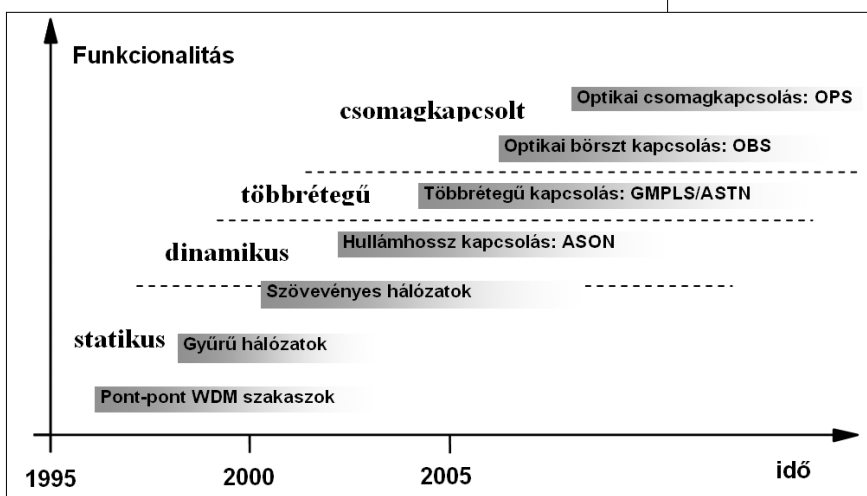
ami az átviteli közeg jobb (többszörös) kihasználtságát eredményezte. A hullámhosszosztás (WDM, Wavelength Division Multiplexing) ötlete az, hogy egy fényszálon belül egy helyett annyi különböző hullámhosszú jel-adó és -vevő által meghatározott párhuzamos csatornát alakítunk ki, ahányszor a korábbi szakaszkapacitást növelni kívánjuk.

A következő lépés a gyűrű volt, majd a különböző módon összekötött gyűrűk, végül az általános szövevényes topológiájú hálózatok következtek. Ezek továbbra is *statikusak* voltak, azaz nem lehetett a távbeszélő (telefon) hálózatokhoz hasonlóan igény szerint összeköttetéseket létrehozni és bontani. A gerinchálózatok további elemzéséhez említést kell tennünk az infokommunikációs hálózatok egy másik rendszerezési elvéről, nem a térbeli elhelyezés és kiterjedés, hanem egy há-

lőzat működtetéséhez szükséges funkciók alapján. E három sík: az „adatsík” (DP – Data (User) plane), a „menedzsmentsík” (MP – Management Plane) és a „vezérlősík” (CP – Control Plane) Az „adatsíkban” továbbítjuk a felhasználói hasznos adatokat a kívánt végpontok közt, a „menedzsmentsíket” pedig a hálózat üzemeltetéséhez szükséges forgalom és funkciók képezik. Egy kezdeti statikus optikai gerinchálózat esetén a menedzsmentsík tette lehetővé a béreltvonal-jellegű statikus összeköttetések kialakítását, bontását, a hálózat felügyeletét, fenntartását. Ez a menedzsmentsík biztosította azt, hogy a hálózat üzemeltetője (jellemzően egy központból) követni tudja a hálózat pillanatnyi állapotát és egyszerűbb változtatásokat, átszervezéseket is tudjon kezdeményezni anélkül, hogy oda kellene mennie minden egyes esz-
közhöz, és a helyszínen megoldani ezeket.

már két, jellemzően különböző hálózati technikát használunk egymásra építve, azért, hogy a felsőbb rétegek finom granularitást biztosítsanak [4]. Erre az ASTN (Automatically Switched Transport Network: Önműködően kapcsolt szállítónál) és a GMPLS (Generalised Multi-Protocol Label Switching: Általánosított többprotokollos címkekapcsolás) architektúrákat hozhatjuk fel példának, ahol lehet fényszál, hullámsáv, hullámhossz, időosztásos keretek vagy csomagok szintjén végezni a kapcsolást (azaz a kommunikáló felek összekötését) és mindezen rétegek akár egymásra is épülhetnek.

Azáltal, hogy a hálózatok már nem központilag menedzselték, hanem kapcsoltak, a vízszintes tagoltság is számos nyitott kérdést vet fel. A hálózat vízszintes tagoltsága alatt nem csak a hozzáférés-metro-gerinc tagoltságot értjük, hanem mindinkább a különböző szolgáltatók által üzemeltetett részhálózatokat, tartományokat. Gyakorlatban az IP (Internet Protocol) hálózatokban a BGP-4 (Border Gateway Protocol negyedik változata) terjedt el, mely minden egyes csomópontban csak az elérni kívánt csomópontok felé vezető legrövidebb út mentén következő szomszédját jelöli ki és noha lassan, de alkalmazkodik a hálózati topológia változásaihoz (pl. egy-egy szakaszmeghibásodás esetén). A korszerű hálózatoknál szükség van távolságinformáción kívül különböző forgalmi és minőségi paraméterekre is a hálózat jobb kihasználása és a minőségbiztosítás érdekében.



3. ábra
Az optikai hálózatok funkcionalitásának fejlődése

A hálózatok fejlődésével viszont nyilvánvalóvá vált az, hogy nem elegendő a statikusan konfigurált, több évre bérelt összeköttetések lassú (jellemzően több hétig tartó) kialakítása; felmerült az igény egy *dinamikus* hálózatra, amelyben a felhasználó kezdeményezésére lehet másodpercek alatt teljes hullámhosszutasokat kialakítani és bontani. Ennek viszont magas az ára: a teljes hálózatot ki kell egészíteni egy „vezérlősíkkal”, mely jól definiált interfészekon keresztül jelzés-üzenetekkel valósítja meg a fent kitűzött célokat. Így érkeztünk el az ASON (Automatically Switched Optical Network) típusú hálózatokhoz.

Hamarosan felismerték azonban, hogy ezen ASON hálózatok a gyakorlatban nem fognak egyhamar elterjedni, hiszen a felhasználóknak rendkívül ritkán van szüksége egy teljes hullámhosszútra, melynek kapacitása jellemzően 2,5 vagy 10 Gbit/s. Ennél finomabb „szemcsézetséget” (granularitást) lehet elérni elektronikus időosztásos nyalábolással (TDM, Time Division Multiplexing), mindehhez viszont a hullámhossz-kapcsoló eszközöket ki kell egészíteni digitális időkapcsolásra képes eszközökkel. Így a három előbb említett sík mellett megjelenik a hálózat függőleges tagolódása is. Így alakulnak ki a *többretegű* hálózatok, azaz olyan architektúrák, ahol

A hagyományosnak tekinthető elektronikus kapcsolásnál előbb az úgynevezett „áramkörkapcsolást” (dedikált csatorna létrehozása a két kommunikáló fél között) használták, majd áttértek a bonyolultabb, ám jobb erőforrás-kihasználtságot biztosító „csomagkapcsolásra” (az adategységek csomagokban való továbbítása egy közös csatornán). Ehhez hasonlóan az optikai hálózatok is elindultak az áramkörkapcsolástól a csomagkapcsolt hálózatokhoz vezető hosszú út mentén, melynek egy ígéretes állomása az *optikai borszt-kapcsolás* (OBS – Optical Burst Switching). Itt nem az egyes csomagokat kapcsoljuk egyenként, hanem egy-egy a hálózat peremén felgyülemlött csomagcsoportot továbbítunk egyszerre. Ezen megoldás különösen a kisebb kiterjedésű hálózatokban, elsősorban rövid ideig, kis válaszidővel nagy sávzélességet igénylő (pl. GRID) alkalmazásokra előnyös.

Az *optikai csomagkapcsoláshoz* (OPS – Optical Packet Switching) vezető út azért hosszú, mert csomagkapcsolás nincs puffer nélkül, hiszen a puffer teszi hatékonytá az erőforráskihasználást. Optikai puffer viszont jelenleg csak igen korlátozott formában áll rendelkezésre: elsősorban kapcsolt fényszálal késleltetővonalakat használnak ilyen célra, ahol a kívánt késleltetésnek megfelelő hosszúságú fényszálal alkalmaznak. E megoldás a csillapítás és a fényszál nagy mérete miatt nem előnyös. Egy érdekes kutatási irány viszont az, hogy a fényt

„lelassítják” (Slow Light) speciális fotonikus kristályokban vagy gőzökben, lehetővé téve állítható késleltetés elérését viszonylag kisméretű eszközök segítségével.

A másik akadály a tisztán optikai csomagkapcsolás előtt az, hogy az optikai (fotonikus) jelfeldolgozás még „gyerekcipőben jár”. A fejrészfelismerés, fejrészlecserelés már megoldott ugyan, de bonyolultabb műveleteket ellátó optikai hardver még nem áll rendelkezésre. Az optikai csomagkapcsolásnak egy optikai megvalósítás szempontjából egyszerűbb és ezáltal ígéretesebb iránya az optikai címkekapcsolás (Optical Label Switching) és annak egy válfaja, az optikai „felülcímkezés” (Optical Label Striping), melynél a hálózat peremén adategységünket több címkével látjuk el, a hálózati csomópontok pedig egy-egy címkét értelmezve továbbítják a csomagot, miután eltávolították az értelmezett címkét.

Mielőtt továbblépnénk a hálózatok üzemeltetésével kapcsolatos kérdésekre, még néhány érdekes irányzatot említenénk. Hasonlóan ahogy előbb a „sűrű” hullámhosszosztás (DWDM – Dense WDM) terjedt el és később, elsősorban metro-hálózatokban kezdték a technológiailag sokkal egyszerűbb és ezáltal sokkal olcsóbb „ritka” hullámhosszosztást (CWDM – Coarse WDM) használni és ahogy a költséges optikai rendezők és kapcsolók (Optical Cross-Connect, Optical Switch) helyett az egyszerűbb és olcsóbb átkonfigurálható leágasztatókat (ROADM – Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer) kezdték használni, hasonló „visszalépés” van folyamatban az áramkörkapcsolás-csomagkapcsolás terén is. A jobb granularitás elérése érdekében nem a hullámhosszcsatornák számát növelik tovább, nem is elektronikus nyalábolást (multiplexelést) használnak hanem az egyes hullámhosszcsatornában egyszerű optikai hardver segítségével szinkron optikai időosztást használva több digitális csatorna jelét fogják össze, illetve bontják. Ez a szinkronitás miatt nem csomagkapcsolás, hanem áramkörkapcsolás, ahol a kívánt sávszélesség állítható az együtt használt időrések számának állításával.

További fontos érv mely szólhat az optika mellett a „zöld hálózatok” („Green Networking”) trend. Ötlete, hogy mivel mára a kommunikáció energiaszükséglete és károsanyag kibocsátása elérte a légiforgalomét, eljött az ideje takarékoskodni. Optikai eszközök esetén jellemzően sokkal kisebb a hődisszipáció, ezáltal közvetlenül kevesebb tápáramra és közvetve kevesebb légkondicionálásra van szükség. Továbbá, ha optikai térkapcsolást, hullámhossz-, vagy időréskapcsolást végzünk, az eszközök áramfogyasztása nem, vagy csak kisebb mértékben függ a sebességtől. Ezzel szemben egy elektronikus kapcsoló esetén a sebesség növelése rohamosan növeli a memóriák, feldolgozó processzorok stb. fogyasztását.

4. Heterogén hálózatok menedzselési és üzemeltetési kérdései

Noha a szolgáltatóknak az az álma, hogy végponttól-végpontig egy vezérlő síkkal, egy egynemű (homogén) hálózaton keresztül alakíthatassák ki összeköttetéseiket

vagy küldjék csomagjaikat, jelenleg a hálózatok mégis minden szempontból többneműek, heterogének. Egy hálózat felett számos különböző szolgáltatást valósítanak meg, melyek forgalmi és minőségi követelményei jelentősen eltérnek. A hálózatok több rétegből (függőleges tagolódás, hálózati technológia – ezáltal granularitás és funkcionalitás szerint) és több tartományból (vízszintes tagolódás, adminisztratív egységek – különböző szolgáltatók – és fizikai elhelyezkedés szerint) állnak. Mindemellett, számos szolgáltató és gyártó van jelen, melyek eszközei közt valamennyi hálózati protokollnak mindenféle körülmények közt zavartalanul kell működnie.

Ezen heterogenitás ellenére egyre nagyobb hangsúlyt helyeznek manapság a hálózatok konvergenciájára, azaz a heterogén hálózatok minél homogénebbé tételére. A hálózati konvergencia egyik legjobb példája a vezetékes és vezeték nélküli hálózatok közeledése (FMC – Fixed-Mobile Convergence), ahol az a cél, hogy például haza- vagy munkahelyünkre érve a mobil végberendezésünk ugyanúgy működjön (viselkedjen) a vezetékes hálózatra csatlakozva, mint tette azt a vezeték nélküli hozzáférése, a gerinchálózatban is biztosítva az ehhez szükséges átjárást a különböző hozzáférési hálózatok között.

A heterogén hálózatok tervezése és üzemeltetése lényegesen bonyolultabb a hagyományos egyrétegű célhálózatokénál. A *hálózati erőforrásmenedzsmen*t (NRM – Network Resource Management) lényege az, hogy az újonnan felmerülő igényeknek minél hatékonyabban eleget tegyünk az adott hálózaton belül a hálózati erőforrások újraoptimalizálásával és újrakonfigurálásával. Példa erre egy-egy bérelt vonal és virtuális magán- vagy átfedő hálózat (VPN/VON – Virtual Private/Overlay Network) kialakítása, konfigurálása.

Amennyiben finomabb időskálán figyeljük hálózatunkat – ahol a vezérlősík révén a felhasználói jelzés által állandóan érkeznek új, illetve szűnnek meg meglévő összeköttetések –, akkor már *útvonalválasztásról* (routing) és a hozzá tartozó *forgalomterelésről* (TE – Traffic Engineering) beszélünk. A forgalomterelés legegyszerűbb definíciója az, hogy szemben az erőforrás-menedzsmenettel, ahol az erőforrásokat tettük oda, ahol a forgalomnak kellett, itt a forgalmakat tereljük (tesszük) mindig oda, ahol van elegendő erőforrás [5].

Mindemellett nagyon fontos szempont egy hálózat üzemeltetésénél a rendelkezésreállítás biztosítása. E tekintetben a gyakran emlegetett, úgynevezett „öt kilenccses” kritérium azt jelenti, hogy az éves átlagot tekintve az idő 99,999%-ában rendelkezésre áll a hálózat, vagyis legfeljebb alig több mint 5 percet lehet üzemen kívül. Ennek elérésére kifinomult „védelmi technikák” szükségesek, melyek igen gyorsan (jellemzően kevesebb mint 50 ms alatt) áthelyezik a forgalmat a sérült hálózati erőforrásokról tartalékokra [6,7].

Mindezen funkciók egyszerűsítése érdekében a cél egy olyan egységes vezérlősík kialakítása, amely révén a hálózat különböző részei között, tetszőleges rétegben, tetszőleges granularitással hozhatunk létre összekötte-

téseket. Erre jelenleg az IETF által javasolt GMPLS (Generalised MultiProtocol Label Switching) protokollcsalád tűnik a legígéretesebbnek [8].

További trendként kell említsük az előző fejezetben már említett-Ethernet technológia térhódítását, melyet eredetileg helyi hálózatok osztottközeg-hozzáférésére fejlesztették ki, de ma már keretvöbbitési és kapcsolási képességeit is használják metro-, sőt gerinchálózatokban is. További fontos hajtóerő a nagy felbontású videóműsorok szétszórása. A rohamosan megugrott sáv szélességigények és a többesadás (multicast) technológia terjedése új feladatok elé állítja a mérnököket.

5. Összefoglalás

Cikkünkben a különböző hozzáférési és gerinchálózati kommunikációs technológiákat tekintettük át, ám nem kerülhettük el a hálózati architektúrák és e hálózatok nyújtotta szolgáltatások hatásának vizsgálatát sem. A hálózatok heterogenitásának szemléltetésére külön hangsúlyt fektettünk.

A hálózatok kialakításnál két vezérelvet kell követni. Egyrészt a szolgáltatók mindig a legegyszerűbb és legolcsóbb megoldást szeretnék kiválasztani: alacsony tőkeáfordítás (CAPEX – Capital Expenditure) és alacsony üzemeltetési költség (OPEX – Operational Expenditure) mellett egy homogén hálózatot, a heterogén hálózatok funkcionalitásával. Másrészt a végfelhasználók is olcsó de jó minőségű, a hozzáférési technológiától független szolgáltatásokat szeretnének. Ezért a hálózatok és szolgáltatások konvergenciáját figyelembe vevő általában bonyolult hálózattervezési és üzemeltetési megoldásokra van szükség.

A szerzőkről

CINKLER TIBOR 1994-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet, majd 1999-ben PhD fokozatot a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, ahol jelenleg egyetemi docens a Távközlési és Médiainformatikai Tanszéken. Kutatási területe az IP, MPLS, ngSDH, OTN és általában az optikai alapú GMPLS-vezérelt heterogén (többretegű, többtartományú) hálózatok optimalizálása (útvonalválasztás, forgalomterelés, tervezés, konfigurálás, méretezés, védelem stb.) Több, mint 180 bírált kutatási cikk és 4 szabadalom szerzője vagy társszerzője. Számos európai és hazai projektben vett részt, többek közt: ACTS METON és DEMON; COST 266, 291, 293; IP NOBEL I és II, valamint MUSE; NoE e-Photon/ONe, NoE e-Photon/ONe+ és NoE BONE; CELTIC PROMISE és CELTIC TIGER 2; NKFP, GVOP, ETIK. Tagja az ONDM, DRCN, BroadNets, AccessNets, IEEE ICC, IEEE Globecom, EUNICE, CHINACOM, Networks, WynSys, ICTON konferenciák programbizottságainak.

VIDA ROLLAND docens a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszékén. Egyetemi diplomáját a kolozsvári Babes-Bolyai Tudományegyetemen szerezte 1996-ban, évfolyamelsőként. MSc disszertációját az Institut Nationale Polytechnique de Grenoble vendéghallgatójaként írta 1997-ben, PhD fokozatát pedig a párizsi Pierre et Marie Curie Tudományegyetemen szerezte 2002-ben. 2003 és 2005 között Békésy György, 2007-ben pedig Bolyai János Kutatási ösztöndíjat kapott. Az utóbbi öt évben több mint 30 nemzetközi konferencia szervezésében vett részt, dolgozott számos nemzetközi és hazai kutatási projektben, oktatott hálózatokkal kapcsolatos tárgyakat Magyarországon, Romániában és Szlovákiában. 2008-ban megválasztották a HTE Külügyi Bizottságának elnökévé.

Irodalom

- [1] P. Golden, H. Dedieu, K. Jacobsen, "Fundamentals of DSL Technology", Auerbach Publications, July 2004.
- [2] W. Stallings, "Wireless Communications and Networks", 2nd Edition, Prentice Hall, November 2004.
- [3] D. Minoli et al., "Ethernet-based Metro Area Networks", McGraw-Hill, January 2002.
- [4] T. Cinkler, "Traffic- and ?-Grooming", IEEE Network Magazine, March/April 2003.
- [5] M. Vigoureux et al., "Multilayer Traffic Engineering for GMPLS-enabled Networks", IEEE Communications Magazine, July 2005.
- [6] P. Vasseur, M. Pickavet, P. Demeester, "Network Recovery, Protection and Restoration of Optical, SONET-SDH, IP and MPLS", Elsevier, September 2004.
- [7] W.D. Grover, "Mesh-based Survivable Networks: Options for Optical, MPLS, SONET and ATM Networking", Prentice Hall, August 2003.
- [8] G. Bernstein, B. Rajagopalan, D. Saha, "Optical Network Control: Architecture, Protocols and Standards", Addison-Wesley, 2004.