

Szolgáltatás központúság az optikai hálózati rétegekben

ADÁMY ZSOLT, BARTA PÉTER
Alcatel-Lucent Magyarország Kft.

Kulcsszavak: Fixed Access, VDSL, vectoring, FTTx, Metro Ethernet, MPLS, SDN, FlexGrid, kis késleltetés

Az optikai hálózatok hozzáférési rétegében a szolgáltatók célja az előfizetők számára megfelelő sávszélesség biztosítása. A cikk célja az, hogy bemutassuk a különböző hálózati rétegek – hozzáférési, felhordó és gerinchálózati réteg – megoldásait és újdonságait egy szolgáltatás központú hálózat kialakítása érdekében. Ennek lehetőségeit tárgyalva ismertetjük az FTTx hálózatok kiépítési lehetőségeit, a jövőbeli fejlesztési tendenciákat. A második részben ismertetjük hálózat Metro Ethernet rétegének új architektúrája kialakításának szempontjait, az IP/MPLS térnyerését. A gerinchálózati rétegben az egyik fő fejlesztési irány manapság a csatornák szélességének rugalmas kezelése, az ún. FlexGrid, ami a rendszer összkapacitásának illetve hatótávolságának jobb kihasználását teszi lehetővé. Egy másik, manapság terjedő alkalmazási terület az adatközpont összekapcsolások, ahol néhány sajátos szempont merül fel; elsősorban is a késleltetési idő, melynek ugyan kisebb része származik az eszközökből ám ennek optimalizálása kiemelt szempont. Másik sajátos szempont a lehallgatások elleni védekezés, pl. titkosítás alkalmazásával.

1. Optikai elérési hálózatok fejlesztési lehetőségei

A szolgáltatás központúság megértéséhez tudnunk kell, hogy melyek a felhasználó számára fontos paraméterek, ez alapvetően meghatározza a technológiai fejlesztés irányát. Jól illusztrálja ezeket az igényeket két másik technológiából vett megfigyelhető trend: az egyik a személyi számítógépek kiválasztásánál figyelembe vett jellemzők közül a CPU órajel frekvenciája vagy sebessége. 10-15 évvel ezelőtt mindenki azt nézte, milyen frekvenciával működik a CPU, ma már ezt nem figyeli senki, mert úgyis elég gyors lesz a CPU, nem ez a fontos. Az eredmény az lett, hogy más paraméterekkel kell kitűnni a többiek közül, a „Megahertz-Gigahertz” verseny befejeződött.

Hasonló tendencia figyelhető meg a fényképezőgépek piacán is. Néhány évvel ezelőtt, amikor ilyen gépet vásároltunk, pontosan tudtuk, hogy nekünk a 4 megapixel-es kamera helyett jobb kell, úgy éreztük, a különbséget látni fogjuk a felvételeinken. Ma már egyszerű, többfunkciós eszközökbe épített optikák is jóval meghaladják ezt a felbontást, akár 12-15 vagy akár 18 megapixelre kínálva, gyakorlatilag az összes kamera felbontása bőven elég lett – a vásárlók már nem ezt a paramétert tekintik elsődlegesnek.

Hasonló jelenséget várunk a „Megabit” versenyben az internetszolgáltatók piacán, de még nem tartunk itt. Ma még a felhasználóknak nem elég a sávszélesség és a versenyt mindenki ebben a paraméterben méri. Ha már mindenkinek ultra-szélessávú internet-hozzáférése lesz, akkor ez már nem lesz fontos és egyéb minőségi jellemzőkben kell kitűnni.

Minderre a „Megahertz” és egyéb CPU-sebességre utaló kifejezésekre vonatkozó internetes keresési gyakoriság is utal, ami a Google Trends kimutatása szerint 2005 és 2013 között töredékére csökkent, ugyanígy a kamerafelbontásra vonatkozó keresési gyakoriság is csökkent. Hasonló csökkenést az internet-sávszélességre vonatkozó kereséseknél egyelőre nem látunk.

Mindenki nagy sávszélességre vágyik: a lakossági előfizetők számára a kikapcsolódást, szórakozást nyújtó tartalmak egyre inkább az interneten válnak elérhetővé, a szolgáltatók vonzó és versenyképes ajánlatokkal akarnak ügyfeleket szerezni, a kormányzatok szociológiai és gazdasági fejlődést várnak az e-health és e-learning alkalmazások terjedésétől. Ausztrália az elsők között jelentette be nagyszabású szélessávú fejlesztési programját, célul tűzte ki azt, hogy minden háztartás ultra szélessávú (25-100 Mbit/s) internet-hozzáférést kaphasson 2019-ig. Több kormányzat követte Ausztrália példáját, néhány példát sorolunk fel:

- EU Digital Agenda: 30 Mbit/s minden háztartásnak, 100 Mbit/s a háztartások felének 2020-ig.
- „Connecting America” az Egyesült Államokban: 100 Mbit/s 100 millió háztartásban 2020-ig.
- New Zealand Ultra-Fast Broadband (UFB) és Rural Broadband Initiative (RBI): 50-100 Mbit/s a háztartások 75%-ában 2019-ig, szélessávú elérés a vidéki lakosság 86%-ának.
- Broadband China Strategic Plan, announced this summer: 50 Mbit/s-1 Gbit/s minden nagyvárosban, 12 Mbit/s a vidéki lakosság számára 2020-ig.
- India National Broadband plan: 2-100 Mbit/s 600 millió háztartásban 2020-ig.

A szolgáltatók számára változatos lehetőségek állnak rendelkezésre a vezetékes és vezeték nélküli hoz-

záférési hálózat fejlesztésére. A vezeték nélküli legelterjedtebb technológiák közül a 2G, 3G, LTE rendre nagyságrendileg 100 kbit/s, 2 Mbit/s, néhányszor 10 Mbit/s letöltési irányú sávszélességet biztosítanak. Rézerű sodrott érpáron az ADSL2+ technológia már hagyományosnak tekinthető, nagyelosztókból tud 10-20 Mbit/s letöltési irányú sávszélességet biztosítani.

Az FTTx, „Fiber To The x” – ahol az x különböző terminológiákban egy épületet, konténert, egyéb elosztási pontot jelent, lényeg, hogy a végfelhasználó kb 800 m távolságon belül legyen – a VDSL2 technológia 50 Mbit/s, a VDSL2 vectoring technológia és koaxiális HFC nagyságrendileg 100 Mbit/s, VDSL2 vectoring technológia az érpár megkettőzésével (bonding) 200 Mbits/s letöltési irányú sávszélességet biztosít. Az FTTH (Fiber To The Home), az optikai hálózat végponting történő kiépítésével PON vagy P2P Ethernet technológiával jellemzően 100 Mbit/s-1 Gbit/s, de akár 10 Gbit/s szimmetrikus elérést is nyújt.

Új előfizetők bekötésekor a kiépítési költségek jellemzően a következőképpen oszthatók fel: a hálózatba beépített aktív és passzív eszközök és a kiépítés munkadíja, mint fix költség, a végberendezés és az előfizető csatlakoztatásához szükséges utolsó szakasz kiépítési költsége, mint változó költség. Az arányokat tekintve, ha a nagyelosztóból meglévő rézerű kábelhálózaton az ADSL2+ szolgáltatás költségét egységnek vesszük, akkor a konténeres FTTN/C VDSL2+ létesítési költsége ötszörös, az FTTH pedig tizenötszörös költséget jelent. A létesítési költség mellett figyelembe kell venni a piacra lépés, a nemzetközi terminológiával a „Time To Market” gyorsaságát (jellemzően az FTTH teljes kiépítése sokkal időigényesebb), a megcélzott vásárlói kör számára jellemző sávszélességet és az egyéb helyi jellemzőket, például léghébeles létesítés engedélyezett-e, van-e felhasználható alépítmény, hogyan lehet az ingatlanokra bejutni stb.

A további vezetékes hozzáférési technológiai fejlesztést az jelenti, hogy az utolsó gyűjtőpont egyre kisebb port számú (48, 32, 16, 8 vagy akár csak 1 port) aktív csomópont, „micro-node” lesz és topológiailag egyre közelebb kerül az előfizetőhöz (FTTdp, Fiber To The distribution point). Az utolsó, egyre rövidebb rézerű szakas-

zon újabb modulációs technológiák jelennek meg (pl. G.Fast), ezen a szakaszon a növekvő vivőfrekvenciák és sávszélesség miatt egy pászmában több előfizető esetén a jelentős áthallás miatt vectoring jelentősége megnő.

Az FTTH további fejlesztésében a pont-pont Ethernet mellett PON technológiák továbbfejlesztett változatainak, az új generációs GPON és a hibrid TWDM PON technológiák térnyerése várható.

2. Hagományos hálózatoktól az SDN-ig: az MPLS térnyerése a szolgáltatói és ipari távközlési hálózatokban

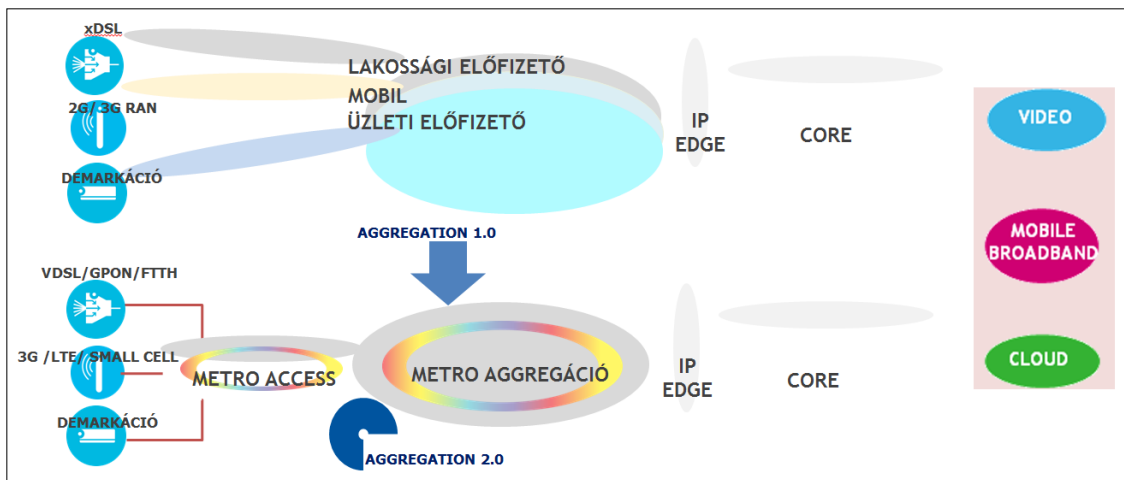
A következő hálózati rétegben, a felhordó hálózati-, aggregációs- vagy más néven Metro-rétegben a szolgáltatás-központúság nagyobb jelentőséget kap: ennek a rétegnek a célja már nem csak a sávszélesség-igények kiszolgálása egy viszonylag egyszerű QoS és L2 VLAN szeparáció biztosításával valamint a forgalom továbbadása a felsőbb hálózati réteg felé.

A Metro hálózatokban a korszerűsítés szükségességét leginkább a következő tények indokolják:

- Az üzleti előfizetők kiszolgálása és az előfizetői hozzáférési csomópontok forgalmának aggregálása már nem biztosítható korábbi technológiákkal (SDH, ATM), ezek a technológiák életciklusuk végére jutottak. Ezeknek a további üzemeltetése jelentős kockázattal jár, hálózati szegmensek eshetnek ki például egyszerűen a lézerdiódák előregedése miatt, ami akár katasztrofális hálózatkiesést is eredményezhet.

- A bérelt vonali szolgáltatásokra van még igény, de egyre több bevétel biztosítható az IP- és Ethernet-alapú szolgáltatásokkal, nő az igény az IP-video, mobil szélessávú és felhő alapú szolgáltatásokra. A felhő alapú szolgáltatások megjelenésével az üzleti előfizetők sávszélesség igénye megnő.

- Mint az előző fejezetben is láttuk, nő a hozzáférési csomópontok száma (OLT, DSLAM, mini és micro csomópontok), az onnan jövő és a gerinchálózat felé továbbítandó adatforgalom, csomópontonként az 1 Gbit/s helyett 10 Gbit/s nagyságrendben.



1. ábra
A Metro Ethernet hálózat fejlődése

• Az adatközpontok a tartalmat nem csak központi helyeken tárolják, hanem átmeneti tárolókban (video caching), melyek a Metro hálózatban vannak, ezért a forgalom iránya összetettebbé válik, nemcsak az előfizető és az adatközpont között, hanem a Metro adatközpontok között.

A fentiekre a megoldást jelentheti a közös IP/MPLS Carrier Ethernet infrastruktúra kialakítása a Metro hálózatban, amely alkalmas többgenerációs technológia interfészeinek és szolgáltatásainak biztosítására:

- Közös szolgáltatási modell kialakítása a korábban kialakított bérelt vonali szolgáltatások számára (TDM, ATM, FR and PPP), kiterjesztve a L2 és L3 üzleti szolgáltatásokra.
- A sok különböző alkalmazás számára végponttól végpontig terjedő szolgáltatásminőség (QoS) és a szolgáltatási szint biztosítása (SLA).
- Az optikai szálak jobb kihasználása hullámhosszosztásos technológiákkal (WDM).

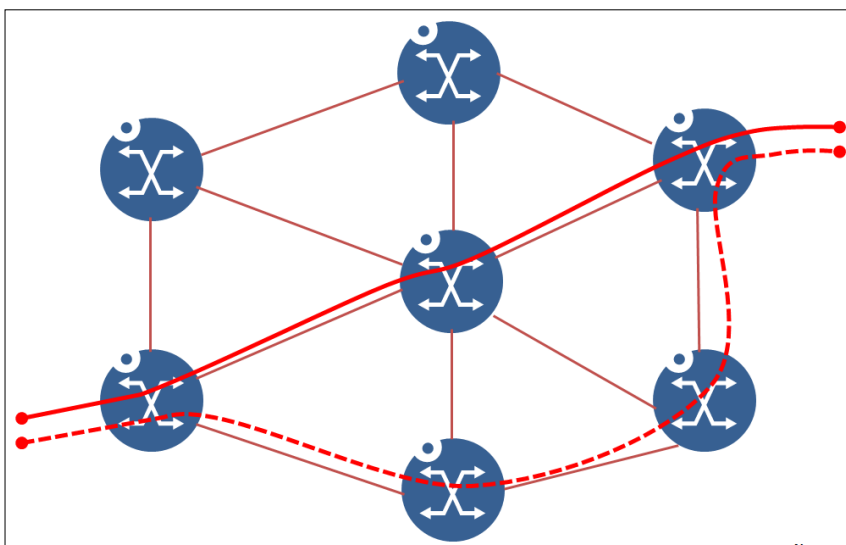
A hálózat átalakítását az 1. ábrán mutatjuk be.

Ipari és közüzemi létesítményeket kiszolgáló intézmények a fentiekén túl egyéb követelményeket is támasztanak a sokszor zártcélú, de a szolgáltatói hálózatokhoz hasonló felépítésű távközlési hálózatokkal szemben. Ezek rugalmasan változtatható topológiai kialakítást igényelnek, magas rendelkezésre állással az üzemi és életvédelmi szempontból kritikus alkalmazások számára, az ipari környezeti (IP/IEC 61850) elvárásoknak megfelelő kialakítást és speciális hálózati protokollok (pl. GOOSE) implementációját, különleges biztonsági követelmények teljesítését (pl. titkosítás, a vezérlősíkok védelme, AAA, NAT, ACL).

Az IP/MPLS technológia bevezetését a következő tények és érvek támasztják alá:

Transzport- és protokoll-függetlenség: az IP/MPLS bármely transzport réteg felett (xWDM, ATM, SDH, xDSL, Ethernet) működik és támogat minden L2 és L3 protokollt, beleértve az ATM, SDH és TDM hierarchiai szintjeit, a tisztán L2 Ethernet alapú Carrier Ethernet erre nem képes. A MEF nem támogatja például az ATM (A-pipe) és

2. ábra Determinisztikus viselkedés az MPLS hálózatban



Frame Relay (F-pipe) szolgáltatások átvitelét, amely az IP/MPLS hálózaton lehetséges, MPLS-TP nem támogatja L3 (IP) szolgáltatásokat

Topológiától való függetlenség: a L2 felhordó hálózatokat hozzáférés-típustól függően szegmentálni kell, az IP/MPLS viszont bármely topológia típusát támogatja, lehet gyűrű, többszintű gyűrű, csillag (központ-fiók) vagy vegyes. Képes a topológiai változásokhoz automatikusan és dinamikusan alkalmazkodni.

Szolgáltatástól való függetlenség: az IP/MPLS lehetőséget ad L2 szolgáltatásokra, pont-pont szolgáltatás (Circuit Emulation Service) bármely szolgáltatás-típushoz: Ethernet, IP, ATM, Frame Relay vagy TDM, valamint L2 és L3 pont-multipont Ethernet szolgáltatásra is (Virtual Private LAN services, IP VPN). A L2 felhordó hálózatokban az összes IP címnek egyedinek kell lenni, nem lehet átfedés: az IP/MPLS lehetőséget ad L2 VPN kialakítására és ezzel egymást átfedő VLAN kiosztásra, vagy akár L3 VPN implementálásra is, minden ügyfélnek a saját IP címkiosztását egymástól függetlenül lehetővé téve.

Determinisztikus viselkedés: az IP/MPLS lehetővé teszi azt, hogy valamely kritikus forgalmat meghatározott elsődleges és tartalék útvonalra kényszerítsünk, az RSVP-TE (traffic engineering) tervezéssel pedig az adott nyomvonalon a kívánt sávszélességet lehet fenntartani, ezt a 2. ábrán mutatjuk be. A kevésbé kritikus forgalom számára valamely routing protokoll számíthatja ki az útvonalat (OSPF vagy ISIS).

Skálázhatóság: az Internet BGP alapú, nagyon nagy méretű hálózatra, több millió útvonalra, routerek ezreire is jól skálázható. A seamless MPLS is lehetővé teszi a nagyméretű hálózatok kialakítását. Több száz vagy akár több ezer kis hozzáférési MPLS-router tud egymással közvetlenül kommunikálni korlátozott saját skálázhatósági paramétereire ellenére. Az MPLS-hálózatok konvergenciaideje determinisztikus, kiszámítható, szemben a L2 hálózatok mérettől, topológiától és az alkalmazott protokolltól függő konvergenciaidejével.

SDN integráció: az SDN (Software Defined Network) amely következő generációs adatközponti és felhő alapú szolgáltatásokat nyújt, L3 alapú protokollokon alapul (MP-BGP és VXLAN), ezért olyan hálózatra van szükség, amelyikkel ezek a protokollok használhatóak és velük virtuális környezetben futtatott alkalmazások számára szolgáltatások konfigurálhatóak: az IP/MPLS ezt lehetővé teszi.

3. Aktuális újdonságok WDM rendszerekben

Beállítható csatornaszélesség (FlexGrid)

A WDM rendszerek napjainkig fix csatorna-kiosztással működnek, azaz mind az egyes csatornák közti hul-

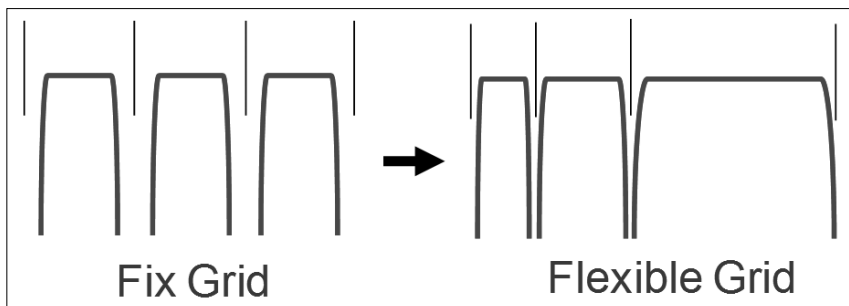
lámhossz- (frekvencia) távolság, mind az egyes csatornák sávszélessége állandó. Ez sok esetben pazarlást eredményez, más esetben pedig nem áll rendelkezésre elegendő szélességű csatorna. Az első esetben arról van szó, hogy az adott bitsebességű és távolságú összeköttetés továbbításához szűkebb csatorna is elegendő lenne, míg más esetben az adott bitsebesség nem továbbítható hibamentesen a kívánt távolságra a fix kiosztású csatornáknban biztosított fizikai sávszélességen.

A fix csatornaosztás eddigi alkalmazásának oka az egyszerűbb megvalósíthatóság, illetve az, hogy az eddigi kapacitásigények e mellett a nem teljes mértékű kihasználtság mellett is biztosíthatók voltak. Mára értük el azt a pontot, amikor ez már korlátot jelent. Ez elsősorban annak kapcsán jelentkezik, ahogy egyre nagyobb bitsebességet szeretnék továbbítani egyetlen WDM csatornán: alapvetően a szükséges csatorna szélesség arányosan nő az átvinni kívánt bitsebességgel. Ezt ugyan akár nagymértékben is lehet befolyásolni az alkalmazott modulációs megoldással, ám ez egy ponton túl csak a hatótávolság rovására tehető meg, mert egy szint után az egyetlen lehetőség a bitsebesség növelésére adott csatornaszélesség mellett egyre maga-

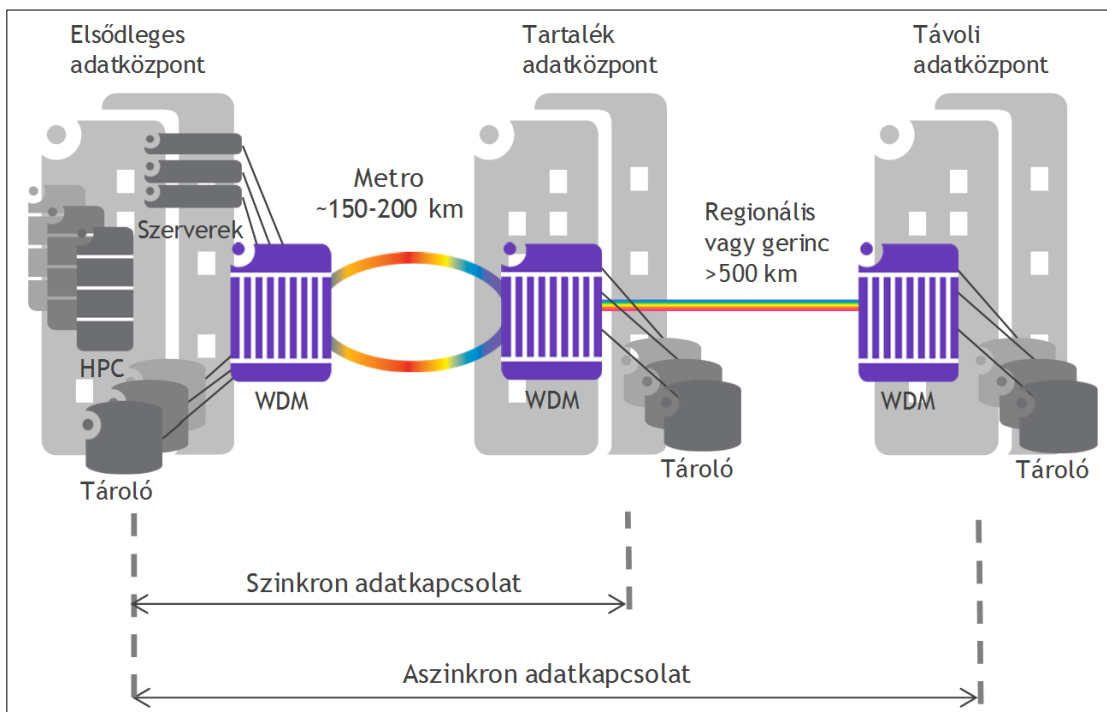
sabb fokú QAM használata, amely viszont egyre nagyobb zavarérzékenységet jelent. Ebből következően a fizikai tényezők miatt a hatótávolság megtartása mellett a bitsebesség csak oly módon növelhető egy ponton túl, ha a csatorna szélességét növeljük. Ez azonban a teljes csatornaszám csökkenéséhez vezet, mert az összes csatorna számára rendelkezésre álló teljes tartomány adott, véges (a gazdaságosan alkalmazható optikai erősítők, az EDFA-k fizikai sávszélessége miatt). Az összes csatornaszám csökkenése pedig részben egészen értelmetlenné tenné a csatornánkénti bitsebesség növelését, ugyanis WDM esetén az alap célkitűzés a teljes kapacitás növelése, így hiába növeljük a csatornánkénti kapacitást, ha a csatornaszám csökkenése miatt a teljes rendszer kapacitás nem olyan mértékben vagy esetleg egyáltalán nem nő.

Erre a helyzetre adhat feloldást a beállítható csatorna szélesség (FlexGrid), amely abból a statisztikai helyzetből indul ki, hogy egy általános WDM rendszeren végyesen különböző féle összeköttetések üzemelnek: vannak kis- és nagy távolságúak, kisebb- és nagyobb bitsebességűek. Így lesznek olyanok, amelyek a jelenlegi (fix osztásúnál) szűkebb csatorna szélességen is továbbíthatók, valamint lesznek olyanok, amelyet csak úgy tudunk megvalósítani, ha a jelenleginél szélesebb csatornát biztosítunk számára. Ez a következő képen

3. ábra Fix- és beállítható csatornaosztás



alakul: egy összeköttetés minimális csatornaszélesség-igénye két tulajdonsággal egyenes arányos: a bitsebességgel és a távolsággal. Azaz: ha kisebb bitsebességet továbbítunk, vagy, ha nagyobb bitsebességet, de kisebb távolságra továbbítunk, szűkebb csatorna is elegendő, mint nagyobb bitsebesség és távolság esetén. Szerencsés (átlagos) esetben az



4. ábra Adatközpontok összekapcsolása WDM-en keresztül

így megtakarított sávszélességeket oda tudjuk adni a nagyobb bitsebességű-távolságú összeköttetések számára, így a rendszer összcsatornaszáma átlagosan nem csökken, mert lesznek a jelenleginél keskenyebb és szélesebb csatornáink is, viszont ahol szükséges biztosítani tudjuk a megfelelő szélességű csatornákat.

A megvalósítás újításokat kíván mind a csatornákat összefogó ún. multiplexer rendszerben, mind a csatornák jeleit előállító WDM ún. „színes” interfészek esetén is.

Multiplexerek esetén arra van szükség, hogy az egyes csatornákat megvalósító szűrő karakterisztikák állítható szélességűek legyenek; ez jelenleg gyakorlati eszközökben az ún. WSS-ekben érhető el. A WSS jelenleg a legelterjedtebb alap építőelem az ROADM eszközök megvalósítására, melyek több irányú WDM berendezések megépítését teszik lehetővé, tetszőlegesen megválasztható csatorna kicsatolással illetve továbbkapcsolással. A jelenlegi WSS-ek csatornái fix kiosztásúak, de már megjelentek a (bizonyos finomsággal beállítható) csatornaosztású változatok is. Ez számokban kifejezve azt jelenti, hogy míg ma két fix csatornaosztás elterjedt: 100 GHz illetve 50 GHz csatorna távolságú, egy FlexGrid WSS-ben pl. 12,5 GHz lépésekben tetszőleges szélességű csatornát állíthatunk be.

WDM interfész oldalon (ami alapvetően a WDM berendezések transzpondereiben valósul meg, de lehet külső csatlakozó eszközbe épített is) olyan interfészekre illetve beállítható modulációs lehetőségekre van szükség, amivel azonos bitsebesség mellett különböző fizikai sávszélességű kimenő jelek állíthatók elő, igazodva az éppen biztosított WDM csatorna szélességhez. Pl. abban az esetben, ha egy adott bitsebességű összeköttetést kisebb vagy nagyobb távolságra továbbítunk, a multiplexer rendszerekkel szűkebb vagy szélesebb csatornát biztosítunk számára (mindig a szükséges, de elégségeset). Azonban kisebb távolság esetén nem elég a WDM csatornát beszűkíteni, az induló jel fizikai sávszélességét is kisebbre kell alakítani, ellenkező esetben a szűkebb szűrő karakterisztika annak széleit levágná és megghiúsulna az átvitel. Ezt egyrészt modulációs fok beállításával tehetjük meg (pl. több állapotú QAM kisebb fizikai sávszélességű, de csak kisebb távolságot tesz lehetővé a nagyobb zavarérzékenység miatt, de szűk csatorna esetén éppen ilyenről van szó), másrésztől összetettebb megoldásokkal, például adó oldali DSP alkalmazásával is alakítható a kimeneti jel alakja és spektruma, így sávszélessége is.

A változó csatornaszélességhez alkalmazkodni képes interfészek jellemzően a nagyobb bitsebességet megvalósító, összetettebb felépítésű típusokban találhatók meg, míg a korábbi, egyszerűbb OOK (10 Gbit/s és az alatt) típusok nem alkalmasak változtatható kimeneti spektrum beállítására. Ennek ellenére vegyes rendszerek minden további nélkül üzemeltethetők, hisz egy FlexGrid multiplexerekkel felépített hálózaton beállíthatók a fix osztásnak megfelelő csatornák is, nem állítható kimeneti spektrumú interfészek esetén így azok használhatók. Hátrány, hogy a FlexGrid előnyei nem

aknázhatók ki teljes mértékben, de biztosított a kompatibilitás és az átmenet.

Adatközpontok összekapcsolása

Napjainkban egyre elterjedtebb és gyakoribb az igény georedundáns duplikált adatközpontok WDM rendszereken keresztüli összekapcsolására. Ennek oka, hogy ezen összekapcsolások kapacitás igénye mára meghaladta az L2 eszközök által sötétszálon megvalósítható kapacitás nagyságát; a szükséges kapacitás ma jellemzően $n \times 10$ Gbit/s és $1-2 \times 100$ Gbit/s tartományba esik, adatközpont oldalon számos (1...10 db) fizikai interfészen (jellemzően valamilyen sebességű Fiber Channel: FC, 2FC, 4FC, 8FC) jelenik meg. WDM nélkül ezek csak jelentős mennyiségű sötétszál felhasználásával lennének összekapcsolhatók, ami vagy nem áll rendelkezésre, vagy nem lenne gazdaságos.

WDM szempontból az adatközpont összekapcsolás elsősre nem tűnik összetett feladatnak, azonban van néhány olyan sajátos szempont, amit figyelembe kell venni, olyannyira, hogy sok esetben erre kihegyezett megoldások is léteznek. Jelen cikkben ezek közül kettőt tárgyalunk: a késleltetést illetve a titkosítást.

Alapvetően két fajta adatközpont-kapcsolat létezik: szinkron és aszinkron. Szinkron esetben gyakorlatilag egy azonnali, párhuzamos adattárolás történik mindkét oldalon közvetlenül az adat letárolásának pillanatában, míg aszinkron esetben utólagos, biztonsági másolat készül a távoli központban. Átviteli (WDM) szempontból ez a különbség egyetlen dologban nyilvánul meg: szinkron esetben jóval kisebb késleltetési idők engedhetők meg, mint aszinkron esetben.

Késleltetés

A késleltetés nagy részét nem a WDM berendezések, hanem az optikai szál hossza, azaz egyszerűen szólva a földrajzi távolság okozza; e miatt a központok lehetséges földrajzi távolsága az alkalmazott átviteltechnikai eszközöktől függetlenül korlátozott (ez látható a 4. ábrán is, az ott feltüntetett távolságok valós adatok a két esetre). Ennek ellenére nagy hangsúlyt kap ezen alkalmazások esetén a WDM eszközök által okozott többletkésleltetés is, aminek optimalizálására ezért célszerű lehetőség van az eszközökben.

WDM eszközben késleltetést alapvetően azok a részegységek okoznak, amelyekben elektronikus tartományban történik a jelátkezelés; ezek pedig az összeköttetések két végén található transzponderek. Mai alkalmazások esetén a transzponder késleltetés két tényezőből áll össze: magának az elektronikának a fizikai késleltetése, illetve a hibajavítás (FEC) késleltetése. Hibajavítást alapvetően minden 10 Gbit/s illetve annál nagyobb bitsebességű átvitel esetén alkalmazunk, és a mai WDM kapcsolatok szinte kizárólag ekkora bitsebességeken üzemelnek. A hibajavítás azonban többlet késleltetést okoz. Ezt úgy lehet finomhangolni, hogy különböző erősségű hibajavítás alkalmazása lehetséges, amivel arányosan kisebb vagy nagyobb lesz a hatótávolság. A hatótávolság mellett azonban az oko-

zott többlet késleltetés is arányos ezzel: gyengébb hibajavítás kisebb távolságot, de kisebb késleltetést is jelent. Mivel a késleltetésre érzékenyebb (szinkron) esetben a távolság is rövidebb (lásd följebb) így szerencsésen ezzel párhuzamosan gyengébb hibajavítás is elegendő, így a késleltetésre igazán érzékeny esetekben WDM eszköz oldalon is a lehető legkisebbet állíthatjuk be. Ennek megfelelően a WDM eszközök transzpondereiben beállítható gyengébb és erősebb hibajavítás is, sőt, az teljesen ki is kapcsolható, így a szükséges, de elégséges beállítást választhatjuk ki.

Mindez számokban:

1 km optikai szál késleltetése: 5 μ s.

Transzponder pár (összeköttetés két vége) együttes késleltetése: 15...50 μ s (FEC erősségétől függően), azaz 3...10 km szálnak megfelelő, és az alkalmazott FEC-el beállítható.

Transzponder pár késleltetés kikapcsolt FEC-el: nx 100 m...1,5 km szálnak megfelelő, alkalmazott elektronikától függően.

Látható tehát, hogy a WDM eszközök a késleltetés viszonylag kis részét okozzák, azonban üzembe helyezés-kor fontos odafigyelni, hogy csak a szükséges erősségű hibajavítást állítsuk be, elkerülve ezzel a felesleges többlet késleltetés bevitelét (természetesen gondoskodva a megfelelő biztonsággal hibamentes átvitelről is).

Titkosítás

Adatközpont kapcsolatok esetében még kiemeltebb szempont az átvitt adatok biztonságának (lehallgatás) biztosítása. Ez optikai átvitel esetén is szempont, ugyanis az optikai szál meghajlításával kicsatolható a benne haladó fény egy része, ami így lehallgathatóvá válik. Ez ellen az egyik kézenfekvő védekezési mód az átvitt adatok titkosítása, amely a WDM eszközben is történhet. Ennek megvalósítása egy olyan transzponder alkalmazása, ami ezt a titkosítást megfelelő titkosító kulcsok használatával elvégzi. A titkosításra az AES 256 algoritmus elterjedt.

A titkosítás csak az adatközpontból érkező jelen történik meg (az 5. ábra piros tartománya), a WDM rendszeren belüli átvitelre a WDM eszköz által ráhelyezett keretezést (OTN) nem érinti, így egy ilyen titkosított jel bármilyen szabványos OTN hálózaton is átvihető.

A titkosító kulcs különböző helyekről származhat: a rendszer állítja elő automatikusan, állandó vagy bizonyos rendszerességgel ál véletlen módon megváltoz-

tatva, de származhat a WDM hálózat üzemeltetőjének más forrásából, illetve lehetőség van arra is, hogy az összeköttetés végfelhasználója adja azt meg, akár élő kapcsolaton keresztül is, bármikor/rendszeresen megváltoztatva azt.

Kérdésként merülhet fel a titkosítás által okozott többlet késleltetés; a WDM-ben alkalmazott titkosítás hardverben valósul meg, aminek teljes (adó- vevőoldali) késleltetése ~1 μ s, azaz 200 m szálnak megfelelő, ami az esetek többségében gond nélkül megengedhető a teljes lehetséges késleltetéshez képest (pl. 150-200 km a szigorúbb szinkron adatközpont szinkronizáció esetében).

A szerzőkről



BARTA PÉTER 1999-ben végzett a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola Villamosmérnök szakán, híradástechnika szakirányon. Az Alcatel-Lucent-nél 2000 óta dolgozik, ahol a kezdetektől átviteltechnikai rendszerekkel foglalkozik, mint támogató mérnök. Eleinte főként SDH-val, az utóbbi jó néhány évben WDM-el. Tevékenységi köre a cég által gyártott eszközök műszaki támogatása.



ADÁMY ZSOLT a Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett diplomát a Villamosmérnöki karon. Műszerfejlesztőként dolgozott, majd távközlési mérnökként és műszaki vezetőként több gyártó hazai képviselőjében. Az Alcatel-Lucent-nél 2008 óta dolgozik mint technical presales mérnök, szakterülete a vezetékhez hozzáférési technológiák és az IP/MPLS.

5. ábra Titkosított átvitel WDM-en

