

Optikai alapú transzport architektúrák összehasonlító költségelemzése

SZEGEDI PÉTER

Magyar Telekom, PKI Távközlésfejlesztési Intézet
szegedi.peter3@t-com.hu

Lektorált

Kulcsszavak: dinamikus optikai hálózatok, ASON/GMPLS, CAPEX modell

A domináns IP kliens kiszolgálására tervezett hálózati architektúrák költség-hatékony kialakítása a távközlési szolgáltatók számára létkérdés. Annak eldöntése, hogy a jellemzően tisztán IP alapú architektúráról mikor és milyen feltételek mellett érdemes átmozogni az optikai alapú architektúrák irányába kritikus. A következőkben egyszerű forgalmi elemzések során meghatározható paramétereken alapuló költségmodelleket ismertetünk, amelyek alkalmazása segítheti a beruházási döntések meghozatalát. A különböző optikai alapú hálózati architektúrák analitikus költségmodelljeinek összehasonlítás után szimulációs mintapéldákkal támasztjuk alá a modellek jóságát.

1. Bevezetés

Napjainkban a transzport hálózatok fényvezető kábeleinek szálpárjain hullámhosszosztásos multiplex (WDM – Wavelength Division Multiplex) rendszerek növelik a kihasználtságot. A WDM berendezések optikai multiplexerei leggyakrabban transzponder kártyákon keresztül fogadják a kliens oldali jeleket, amelyek többnyire SDH (Synchronous Digital Hierarchy) és Ethernet keretelésekkel rendelkeznek. Egyre elterjedtebb megoldás a kliens réteg eszközeiben (kapcsolók, útvonalválasztók) az ITU-T grid [1] alapján színezett interfész kártyák használata. Ebben az esetben a WDM berendezések transzponder kártyák nélkül, közvetlenül multiplexálhatják össze a hullámhosszakokat egy szálpáron.

Ennek megfelelően egy „tisztán IP” (Internet Protocol) alapú architektúrában az útvonalválasztók (routerek) között pont-pont jellegű optikai összeköttetések találhatók. A „tisztán IP” alapú hálózati architektúra koncepciója szerint, amennyiben az útvonalválasztó berendezések elegendően nagy kapacitásúak (szokás őket terra router-nek vagy big-fat router-nek nevezni), és a pont-pont WDM összeköttetések kellően túlméretezettek (például 10 Gigabit Ethernet) az architektúra költség-hatékony módon képes kiszolgálni a jellemző IP igényeket a megfelelő minőségi (QoS) követelmények garantálása mellett.

Amennyiben viszont a forgalmi igények szerkezete – úgy forgalmi volumen és logikai topológia, mint megbízhatósági követelmény szempontjából – kritikusan változik, elengedhetetlen bizonyos hálózati funkciók (például védelmi átkapcsolás) optikai rétegbe történő átmozgatása. Ennek kulcseleme a WDM multiplexerekkel együttműködő optikai kapcsolók (OXC – Optical Cross-Connect) alkalmazása.

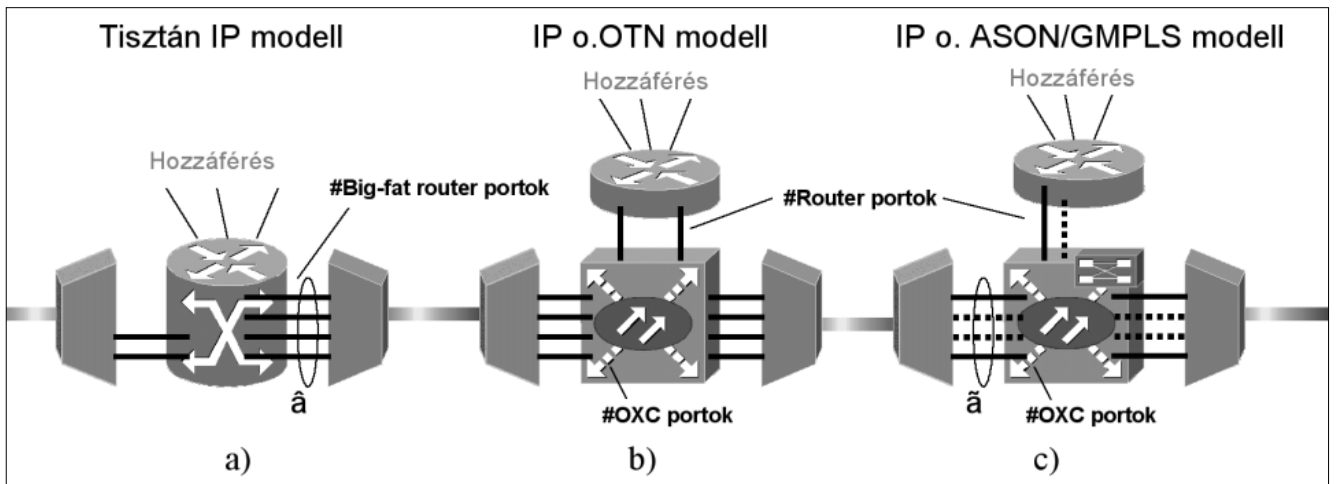
Az optikai kapcsolók lehetnek tisztán optikai eszközök, de manapság jellemzően elektronikus kapcsoló funkcióval integrált, úgynevezett Multi-Service Switch-ek látják el ezt a szerepet. A hálózati funkciókkal felvér-

tezett optikai réteget nevezik OTN-nek (Optical Transport Network). Az „IP over OTN” hálózati architektúrában a pont-pont WDM linkek felett fizikai hullámhossz utak megvalósítására nyílik lehetőség az OXC-k segítségével. A logikai IP linkek ezeket a transzparens hullámhossz utakat egyetlen összeköttetésként látják. Az „IP over OTN” architektúra jelentős tranzit forgalmak esetén – különösen védelmi irányokban – költségelőnnyel bírhat a drágább, színezett IP interfészeket alkalmazó „tisztán IP” architektúrával szemben.

A menedzselő rendszerből konfigurálható hullámhossz utak alkalmazásának hátránya, hogy a manuális beavatkozások miatt dinamikája lényegesen kisebb, mint egy tisztán IP hálózaté. Amennyiben a nagyfokú dinamizmust vagy a dedikált 1+1 védelemnél kifinomultabb helyreállítási megoldások meglétét követelő forgalmi igények dominálnak, az „IP over OTN” architektúra hatékonysága csökken. Ha a jellemző dinamikus forgalmak volumene is meghatározó a „tisztán IP” alapú architektúra is kompromisszumokkal alkalmazható.

A fenti problémára az ITU-T G.8080 (ASON – Automatically Switched Optical Network) [2] architektúrája kínál megoldást. A koncepció lényege, hogy az OXC berendezésekben külön vezérlő síkot implementálnak, amelyben útvonalválasztó, erőforrás lefoglaló és menedzselő protokollok (GMPLS – Generalized Multi-Protocol Label Switching protokollok) [3] látják el az elosztott, dinamikus vezérlési funkciókat.

Az „IP over ASON/GMPLS” hálózati architektúrában az IP kliens igényeinek megfelelően dinamikusan létesíthetők és bonthatók le az optikai hullámhossz utak, valamint különböző védelmi/helyreállítási megoldások implementálhatók az optikai rétegben. Az „IP over ASON/GMPLS” architektúra költség-hatékonyságának fő eleme az időbeli statisztikus multiplexálási képesség, amely lehetővé teszi, hogy a permanens optikai összeköttetésekkel szemben a kapcsolt összeköttetések statisztikusan kevesebb erőforrást igényeljenek a hálózattól.



1. ábra

a) „tisztán IP” csomóponti modell, b) „IP over OTN” csomóponti modell, c) „IP over ASON/GMPLS” csomóponti modell

A továbbiakban azt tűztük ki célul, hogy egyszerű költségmodelleket alkotva elemezzük a fent ismertetett három hálózati architektúra beruházási igényeit különböző forgalmi szkenáriók mellett. A második fejezetben bemutatjuk az egyszerűsített költségmodelleket, a harmadik fejezetben analitikus módszerek segítségével összehasonlítjuk az architektúrákat, majd a negyedik fejezetben szimulációkkal bizonyítjuk az analitikus költségmodellek helyességét, és CAPEX (CAPital EXpenditures – teljes beruházási költség) szempontjából értékeljük az egyes architektúrákat.

2. Modellalkotás

A bevezetőben ismertetett három hálózati architektúra egyszerűsített CAPEX modelljét tárgyaljuk ebben a fejezetben. A teljes hálózat kiépítéséhez szükséges költségek elemzéséhez egy összehasonlító modellt választottunk, amelyet elsőként a Telcordia mérnökei publikáltak [4]. A modellben csak az IP és OXC port szükségletek, valamint ezek költsége szerepel, így az összes többi költségösszetevőt arányosan kell figyelembe venni. A Telcordia alapmodellje a „tisztán IP” és az „IP over OTN” architektúrák összehasonlító elemzésére alkalmas, mi a modellt kiterjesztettük az „IP over ASON/GMPLS” architektúra elemzésére is. A három modell az 1. ábrán látható.

A „tisztán IP” csomóponti architektúra egy big-fat router-t tartalmaz (1/a. ábra). Az útvonalválasztó portjai a WDM multiplexerek transzpondereihez csatlakoznak. Mivel feltételezésünk szerint a WDM berendezések mindhárom modellnél jelen vannak, ezek költségét az összehasonlítás során elhanyagoljuk. Az útvonalválasztó közös hardver és szoftver komponenseinek költségét a teljes kiépítésű berendezés portjaira arányosan levetítjük. Azt feltételezzük, hogy egy interfész kártya (Line Card) több ilyen portot tartalmaz. Ezek után a csomóponti architektúra költsége az alábbi módon számítható:

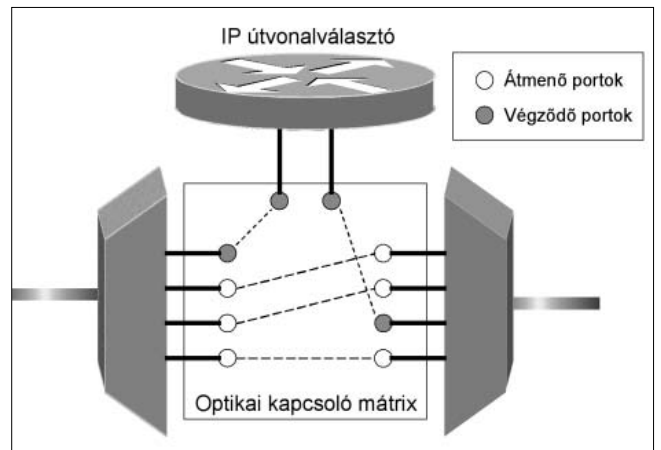
ahol:

- C_{HW} közös hardver komponens költsége
- C_{SW} közös szoftver komponens költsége
- C_{LC} interfész kártya költsége
- K interfész kártya típusa
- $N^{(K)}$ K típusú interfész kártyák darabszáma
- $N_{teljes_kiépítés}$ teljes kiépítésű berendezés kártyáinak száma
- C_{IP}^{port} IP port költsége (beleértve a közös komponenseket)
- P_{IP} összes IP portok száma (minden interfész kártyán)

A portok szempontjából megkülönböztetünk az adott csomópontban végződő forgalmakat és átmenő forgalmakat szállító portokat (2. ábra).

A „tisztán IP” architektúrában a forgalmak minden csomóponti útvonalválasztó berendezésben elektronikus tartományban is hozzáférhetők, így az átmenő forgalmak osztozhatnak közös porton a végződő forgalmakkal.

2. ábra Átmenő és végződő OXC portok



$$C_{tisztán_IP} = C_{IP_router} = C_{HW} + C_{SW} + \sum_K C_{LC}^{(K)} \cdot N^{(K)} = \sum_K \left(\frac{C_{HW} + C_{SW}}{N_{teljes_kiépítés}} + C_{LC}^{(K)} \right) \cdot N^{(K)} = C_{IP}^{port} \cdot P_{IP} \quad (1)$$

Ezt a képességet egy statisztikus multiplexálási faktor (β) bevezetésével vesszük figyelembe a modellben:

$$C_{\text{tisztán_IP}} = C_{\text{IP_router}} = C_{\text{IP}}^{\text{port}} \cdot P_{\text{IP}}^{\text{vég}} + C_{\text{IP}}^{\text{port}} \cdot P_{\text{IP}}^{\text{át}} \cdot \beta \quad (2)$$

Az „IP over OTN” csomóponti architektúrában az útvonalválasztó mellett egy optikai kapcsoló is helyet kapott. Az optikai kapcsolók képesek tranzitálni az átmenő forgalmakat anélkül, hogy azok az IP rétegben végződnének. Azáltal, hogy nem minden forgalom férhető hozzá elektronikusan, kevesebb IP port szükséges, de egyben elveszítjük a statisztikus multiplexálási képességet is. Az optikai kapcsolók és az útvonalválasztók közös hardver és szoftver komponenseinek költségét az előző modellnél ismertetett módon, arányosan vesszük figyelembe. Az „IP over OTN” csomóponti architektúra költsége a következő módon számítható:

$$C_{\text{IP_OTN}} = C_{\text{IP_router}} + C_{\text{OXC}} = \sum_K \left(\frac{C_{\text{HW}}^{\text{IP}} + C_{\text{SW}}^{\text{IP}}}{N_{\text{teljes_kiépítés}}^{\text{IP}}} + C_{\text{LC}}^{(K)} \right) \cdot N^{(K)} + \sum_O \left(\frac{C_{\text{HW}}^{\text{OXC}} + C_{\text{SW}}^{\text{OXC}}}{N_{\text{teljes_kiépítés}}^{\text{OXC}}} + C_{\text{LC}}^{(O)} \right) \cdot N^{(O)} \quad (3)$$

Az útvonalválasztó berendezésnek csak végződő forgalmakat szállító portjai vannak, míg az optikai kapcsolóknak külön portjai viszik a végződő és az átmenő forgalmakat a WDM transzponderek irányába. Ezeknek megfelelően az egyszerűsített költségmodell a következőképpen alakul:

$$C_{\text{IP_OTN}} = C_{\text{IP_router}} + C_{\text{OXC}} = C_{\text{IP}}^{\text{port}} \cdot P_{\text{IP}}^{\text{vég}} + C_{\text{OXC}}^{\text{port}} (P_{\text{IP}}^{\text{vég}} + P_{\text{OXC}}^{\text{vég}} + P_{\text{OXC}}^{\text{át}}) \quad (4)$$

Az „IP over ASON/GMPLS” csomóponti modell egyedül az OXC vezérlési funkcióban különbözik az előző architektúrától. Modellünkben a vezérlési funkciók költségét egy egyszerű addicionális komponensként vesszük figyelembe. Ezt megtehetjük, hiszen számos gyártó berendezésében a vezérlőik implementálása pusztán egy szoftverfrissítést igényel, a vezérlési információk pedig a sávon belüli jelzescsatornákon haladhatnak, a fizikai sík módosítása nélkül. Az „IP over ASON/GMPLS” csomóponti architektúra költsége a következő módon számítható:

$$C_{\text{IP_ASON}} = C_{\text{IP_router}} + C_{\text{OXC}} + C_{\text{CP}} \quad (5)$$

Az optikai vezérlőik alkalmazása lehetővé teszi, a hullámhossz utak dinamikus felépítését és lebontását az aktuális forgalmi igényeknek megfelelően. Ennek következtében nem szükséges a permanens összeköttetések fenntartása, hanem időben átlapolható ezek használata. Ezt az időbeli statisztikus multiplexálási képességet a modellben egy külön faktorról (γ) vettük figyelembe.

A költségmodell a következőképpen alakul:

$$C_{\text{IP_ASON}} = C_{\text{IP_router}} + C_{\text{OXC}} + C_{\text{CP}} = C_{\text{IP}}^{\text{port}} \cdot P_{\text{IP}}^{\text{vég}} + C_{\text{OXC}}^{\text{port}} (P_{\text{IP}}^{\text{vég}} + P_{\text{OXC}}^{\text{vég}}) + C_{\text{OXC}}^{\text{port}} \cdot P_{\text{OXC}}^{\text{át}} \cdot \gamma \quad (6)$$

A továbbiakban az egyszerűsített költségmodellek analitikus összehasonlító elemzését végezzük el.

3. Költségmodellek analitikus összehasonlítása

Az előző fejezetben ismertetett költségmodellek alkalmazás arra, hogy a forgalmi jellemzők és a különböző kiinduló paraméterek (költségek, portszámok, multiplexálási faktorok) ismeretében meghatározzuk azt az elméleti határt, amelyen túl egyik architektúra kialakítási költsége kisebb a másikénál. Amennyiben a paramétereket és a forgalmi jellemzőket nem ismerjük, függvényként ábrázolhatjuk az azonos költségű architektúrákat, így összehasonlító eredményeket kaphatunk. Mi ez utóbbi megoldást választottuk, ahol az ábrázolt függvény alatt az egyik, felette a másik architektúra költsége az olcsóbb. Elsőként a „tisztán IP” és az „IP over OTN” architektúrát vetettük össze, egyenlővé téve költségmodelljeiket (7):

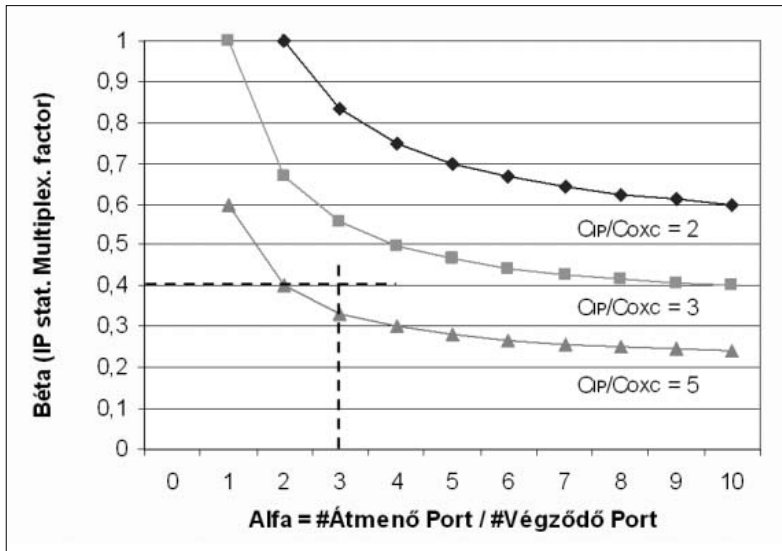
$$\begin{aligned} C_{\text{tisztán_IP}} &= C_{\text{IP_OTN}} \\ C_{\text{IP}}^{\text{port}} \cdot P_{\text{IP}}^{\text{vég}} + C_{\text{IP}}^{\text{port}} \cdot P_{\text{IP}}^{\text{át}} \cdot \beta &= \\ &= C_{\text{IP}}^{\text{port}} \cdot P_{\text{IP}}^{\text{vég}} + C_{\text{OXC}}^{\text{port}} (P_{\text{IP}}^{\text{vég}} + P_{\text{OXC}}^{\text{vég}} + P_{\text{OXC}}^{\text{át}}) \\ \frac{C_{\text{IP}}^{\text{port}}}{C_{\text{OXC}}^{\text{port}}} &= \frac{2 + \alpha}{\beta \cdot \alpha} \\ \text{ahol } \alpha &= \frac{P_{\text{át}}}{P_{\text{vég}}} \text{ és } \beta = \text{stat. multip. faktor}_{\text{IP}} \end{aligned}$$

A „tisztán IP” és az „IP over ASON/GMPLS” architektúra összehasonlításakor ugyan így jártunk el (8):

$$\begin{aligned} C_{\text{tisztán_IP}} &= C_{\text{IP_ASON}} \\ C_{\text{IP}}^{\text{port}} \cdot P_{\text{IP}}^{\text{vég}} + C_{\text{IP}}^{\text{port}} \cdot P_{\text{IP}}^{\text{át}} \cdot \beta &= \\ &= C_{\text{IP}}^{\text{port}} \cdot P_{\text{IP}}^{\text{vég}} + C_{\text{OXC}}^{\text{port}} (P_{\text{IP}}^{\text{vég}} + P_{\text{OXC}}^{\text{vég}}) + C_{\text{OXC}}^{\text{port}} \cdot P_{\text{OXC}}^{\text{át}} \cdot \gamma \\ \frac{C_{\text{IP}}^{\text{port}}}{C_{\text{OXC}}^{\text{port}}} &= \frac{2 + \gamma \cdot \alpha}{\beta \cdot \alpha} \\ \text{ahol } \alpha &= \frac{P_{\text{át}}}{P_{\text{vég}}} \text{ és } \beta = \text{stat. multip. faktor}_{\text{IP}} \\ &\quad \gamma = \text{stat. multip. faktor}_{\text{OXC}} \end{aligned}$$

A „tisztán IP” modellben az útvonalválasztó port költségeit és statisztikus multiplexálási faktorát vettük figyelembe. Az „IP over OTN” modellben az optikai kapcsoló port költségei is szerepeltek, de multiplexálási képesség nélkül. Az „IP over ASON/GMPLS” modellben már az OXC berendezésben is számoltunk időbeli multiplexálási képességgel.

A számítások során 2-szer, 3-szor illetve 5-ször drágább portköltséget feltételeztünk az IP útvonalválasztónál, mint OXC kapcsoló esetén. A 3. ábrán az áthaladó és a végződő forgalmak arányának függvényében (α) az útvonalválasztó statisztikus multiplexálási faktora (β) látható. A függvények különböző portköltség arányok mellett az egyenlő összköltségű architektúrákat ábrázolják. Az aktuális forgalmi viszonyok meghatározzák a vizsgálandó szkenáriók paramétereit.



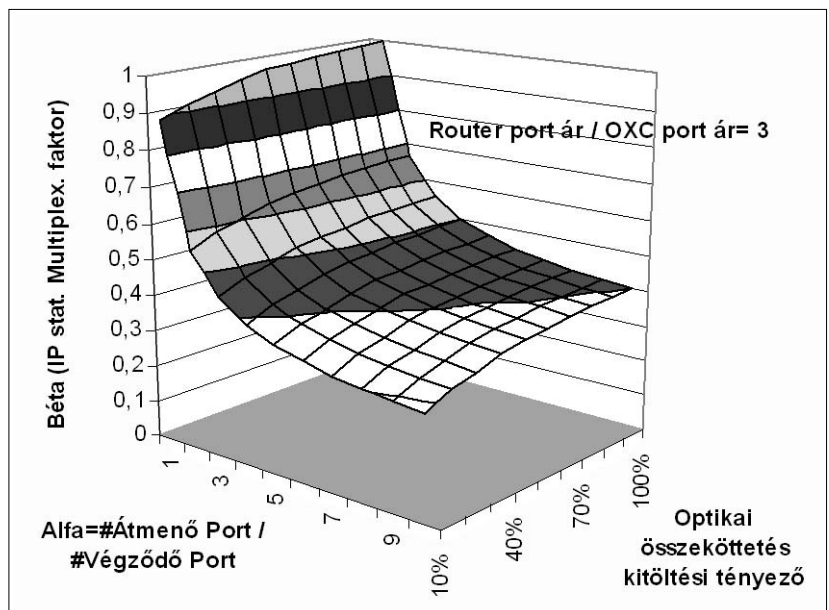
3. ábra
A „tisztán IP” és az „IP over OTN” architektúra költség-összehasonlítása különböző szkenáriókban

Például ha az átlagos átmenő forgalom 3-szor nagyobb, mint a csomópontokban végződő forgalom ($\alpha=3$), illetve az IP útvonalválasztó 0,4-es multiplexálási faktort ér el az OXC-hez képest (a forgalmak elektronikus feldolgozása következtében $\beta=0,4$), akkor a kirajzolt pont (2. ábra) a 3-szoros portköltség arányhoz tartozó görbe alatt, és az 5-szörös portköltség arányhoz tartozó görbe felett van. Ez azt jelenti, hogy az előbbi költség-arány mellett az „tisztán IP” architektúra az olcsóbb, míg az utóbbi esetén az „IP over OTN” architektúra kialakítása a gazdaságosabb.

Az „IP over ASON/GMPLS” architektúra esetén az alapmodellt a dinamikus optikai hálózatokra jellemző kitöltési tényezővel, mint harmadik paraméterrel egészítettük ki. A kitöltési tényező arányos az optikai rétegben érvényesülő statisztikus multiplexálási faktorial (γ), fizikailag viszont egyszerűbben értelmezhető, ezért választottuk az ábrázoláshoz. A kitöltési tényező valójában azt adja meg, hogy a kapcsolt optikai csatornák az idő hány százalékában vannak ténylegesen kihasználva. A 4. ábrán a 3-szoros költségarányhoz tartozó görbét ábrázoltuk a kitöltési tényező függvényében. Látható, hogy a kitöltési tényező csökkenésével a görbe alatti terület, vagyis a „tisztán IP” architektúra költség-előnyének valószínűsége csökken.

A következő fejezetben valós hálózati mintapéldákon végzett szimulációkkal ellenőrizzük az egyszerűsített, analitikus költség-összehasonlító modellek helyességét.

4. ábra
A „tisztán IP” és az „IP over ASON/GMPLS” architektúra költség-összehasonlítása különböző szkenáriókban



4. Szimulációs CAPEX-elemzés

A bevezetőben ismertetett három hálózati architektúra teljes CAPEX költségének kiszámítását tűztük ki célul. A választott mintahálózat az európai GÉANT2 kutatóhálózat [5] topológiája (19 csomóponttal és 28 linkkel), a forgalmat pedig a TERENA Compendium 2005 felmérése [6] alapján számított forgalmi mátrix reprezentálja. A szimulációk során a szükséges útvonalválasztó és optikai kapcsoló portszámok meghatározása volt a cél. A relatív portköltségekre, gyártói adatok figyelembevételével, a következő feltételezésekkel éltünk:

- Egy 10 GbE OXC port költsége (C_{OXC}^{port}) az „IP over OTN” modellben (beleértve a közös komponensek ráeső költségrészét is) 1 Unit.
- Egy 10 GbE OXC port költsége ($C_{OXC_CP}^{port}$) az „IP over ASON/GMPLS” modellben 1,05 Unit, mivel a szoftveres vezérlő sík megvalósítása körülbelül 5%-os plusz költséget jelent.
- Egy 10 GbE IP port költsége (C_{IP}^{port}) 3 Unit (beleértve a közös komponensek ráeső költségrészét is).

A szimulációk során a „tisztán IP” architektúrát tekintettük referenciának. Az útvonalválasztók között pont-pont 10 GbE linkeket feltételeztünk a fizikai topológia mentén, és OSPF útvonalválasztó algoritmust alkalmaztunk. A szimuláció eredménye a szükséges router portok száma (N_{router}).

A teljes CAPEX az alábbi képlet alapján számítható:

$$C_{tisztán_IP} = C_{IP}^{port} \cdot \sum_{router} N_{router} \quad (9)$$

Az „IP over OTN” architektúra elemzéséhez elsőként a forgalmi mátrixot elemeztük. Azonosítottuk a jelentős átmenő forgalmakat és közvetlen hullámhossz utakat

rendeltünk hozzájuk az optikai rétegben. A többi forgalmat OSPF algoritmus szerint vezettük el. Az OTN méretezéséhez legrövidebb utas elvezetést (kilométer alapján) és a definiált utak felett optimalizált hullámhossz kiosztást alkalmaztunk.

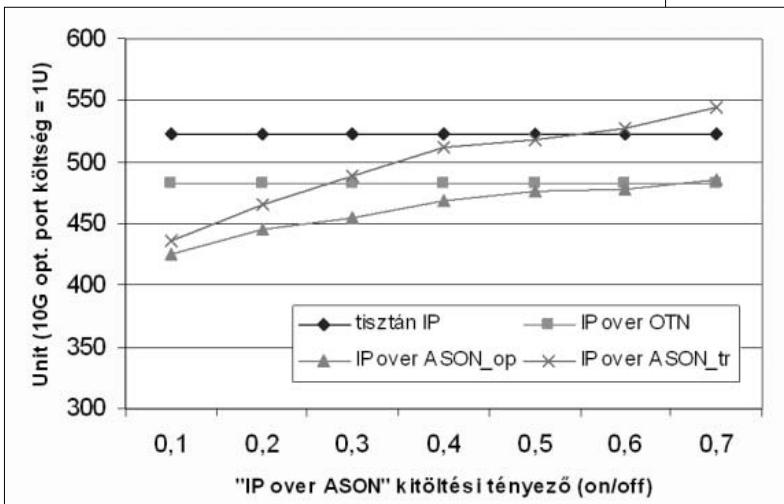
A szimuláció eredménye a szükséges IP portok száma (N_{router}), valamint az optikai kapcsolók átmenő és végződő portjainak száma ($N_{OXC_vég}$, $N_{OXC_át}$).

A teljes CAPEX a következő alapján számítható (10):

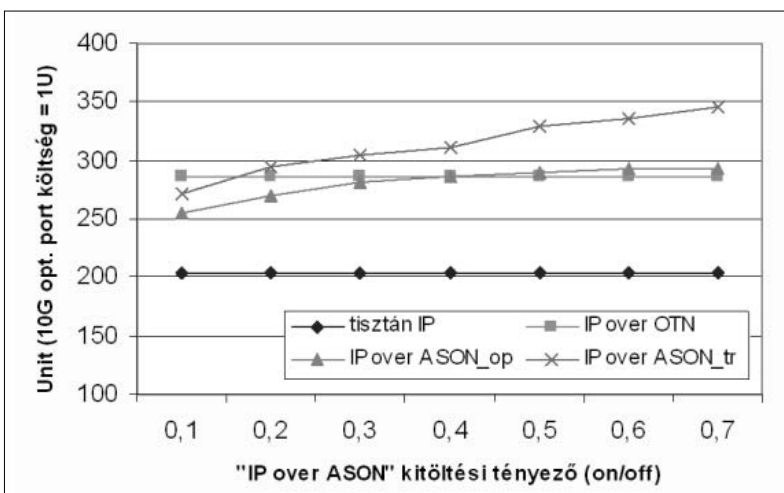
$$C_{IP_OTN} = C_{IP}^{port} \cdot \sum_{router} N_{router} + C_{OXC}^{port} \cdot \sum_{OXC} N_{OXC_vég} + N_{OXC_át}$$

Az „IP over ASON/GMPLS” architektúrában a dinamikus kapcsolat felépítést és bontást szimuláltuk. A statikus szimulációkban használt forgalmi mátrix alapján feltételeztünk minden összeköttetéshez egy kitöltési tényezőt. Ez a tényező meghatározza, hogy az adott összeköttetést milyen valószínűséggel kell felépített állapotban tartani, és az idő mely hányadában lehet lebontani.

5. ábra
CAPEX elemzés 20%-os forgalmi töltöttségénél (sok átmenő forgalom)



6. ábra
CAPEX elemzés 80%-os forgalmi töltöttségénél (kevés átmenő forgalom)



Hálózati szempontból megfelelően nagy időintervallumot vizsgálva statisztikus nyereség tapasztalható a szükséges OXC portok számát tekintve. A dinamikus forgalmi modellben konstans várható tartási időket feltételeztünk az egyes forrás-nyelő párok között. A forgalmakat a legrövidebb úton vezettük el, transzparens esetben a legalacsonyabb számú szabad hullámhossz (first-fit) hozzárendelésével.

Az architektúra teljes CAPEX-e a következő képlet alapján számítható (11):

$$C_{IP_ASON} = C_{IP}^{port} \cdot \sum_{router} N_{router} + C_{OXC_CP}^{port} \cdot \sum_{OXC} N_{OXC_vég} + N_{OXC_át}$$

A három architektúra relatív CAPEX költségei a következő grafikonokon hasonlíthatók össze. Az első esetben azt feltételeztük, hogy az IP linkek átlagosan csak 20%-ig terheltek, tehát a „tisztán IP” architektúrában a <2 GbE pont-pont forgalmakhoz külön 10 GbE linkeket rendeltünk (5. ábra).

A forgalmak elvezetéséhez így 174 db IP port szükséges. Az „IP over OTN” architektúrában direkt 10 GbE hullámhossz utakat rendeltünk a 2 GbE-nél nagyobb forrás-nyelő párokhoz, a többi igényt pedig pont-pont jelleggel vezettük el. Ebben az esetben 75 db IP port szükséges az igények végződtetéséhez és 257 OXC port az OTN rétegben az átmenő és végződő forgalmak számára.

Az „IP over ASON/ GMPLS” architektúrában a kitöltési tényező változtatásával szimuláltuk azt, hogy az átlagosan 20%-ig terhelt 10 GbE linkek az idő milyen arányában vannak jelen a hálózatban. Feltételezéseink szerint az IP portok 3-szor drágábbak az OXC portoknál. Az architektúrák teljes CAPEX költsége a 4. ábrán látható. A forgalmi viszonyokból adódóan (átmenő forgalmak aránya), az „IP over OTN” architektúra valamivel olcsóbbnak bizonyult a „tisztán IP” architektúrájánál.

Az „IP over ASON/GMPLS” architektúra költsége a hullámhossz konverziós képességek mellett gyakorlatilag mindig alacsonyabb az „IP over OTN” architektúráénál, transzparens esetben viszont csak 25%-os kitöltöttség alatt éri meg alkalmazni, ráadásul 55%-os kitöltöttség felett még a „tisztán IP” architektúrájánál is drágább.

A 3. ábrán ellenőrizhető, hogy a számított átmenő forgalmak aránya ($\alpha=1,452$) és a multiplexálási faktor ($\beta=0,925$) mellett éppen a 3-szoros költséghez tartozó görbe felett vagyunk egy kicsivel, tehát az „IP over OTN” architektúra a gazdaságosabb. Nagyobb átmenő forgalmi arány mellett, a költség-hatékonyság markánsabban jelentkezik.

A második esetben azt feltételeztük, hogy a 10 GbE IP linkek 80% feletti telítettséggel rendelkeznek, ezzel csökkentettük az átmenő forgalmak arányát (6. ábra). A „tisztán IP” architektúrában így csupán 68 db 10 GbE port szükséges. Az „IP over OTN” architektúrában 40 db IP port kell a forgalmak végződéséhez, plusz még 166 db OXC port az OTN rétegben. Ugyanazt a 3-szoros költségarányt feltételezve, az eredmények az 5. ábrán láthatóak. A magasabb átlagos IP link kitöltöttség miatt ebben az esetben kevesebb IP port kellett, és azok az átmenő IP forgalmak sem voltak jelentősek, amelyek az optikai rétegben megvalósítható tranzitja költség-hatékony lenne.

Ezáltal a „tisztán IP” architektúra olcsóbbnak bizonyult az „IP over OTN” architektúra kiépítésének költségénél. Az alacsony tranzit forgalmi volumen következtében az „IP over ASON/GMPLS” architektúra alkalmazása sem tudott jelentős statisztikus nyereséget produkálni. Látható, hogy 10% és 70% kitöltöttség között gyakorlatilag mindig drágább marad a „tisztán IP” architektúrájánál.

Az „IP over OTN” architektúrával összevetve transzparens esetben csak 15%-os kitöltöttség alatt lenne érdemes használni, míg hullámhossz konverziós képességeket feltételezve is csak 45%-os kitöltöttség alatt lesz olcsóbb az „IP over ASON/GMPLS” architektúra.

A 3. ábrán ellenőrizhető, hogy a számított átmenő forgalmak aránya ($\alpha=0,8$) és a multiplexálási faktor ($\beta=0,325$) mellett jóval a 3-szoros költségarányhoz tartozó görbe alatt vagyunk, tehát a „tisztán IP” architektúra sokkal gazdaságosabb.

Végeredményben elmondható, hogy az egyes optikai alapú architektúrák költségelőnyei nagymértékben függnek a hálózati környezettől, topológiától és a forgalmi volumentól, eloszlástól stb. Mindazonáltal az IP útvonalválasztó berendezéseket terhelő átmenő forgalmak aránya az, ami markánsan befolyásolja egy-egy architektúra gazdaságosságát.

5. Összegzés

A különböző optikai architektúrák alkalmazásának nem csak műszaki, hanem gazdasági vonatkozásai is vannak. Ezért még a megvalósítás előtt fontos látni, hogy mely architektúra választása lesz hosszú távon költség-hatékony.

Ennek érdekében egyszerű, analitikus CAPEX modelleket dolgoztunk ki, amelyek segítségével a kiinduló paraméterek, topológiák, forgalmi viszonyok ismeretében összevethetőek az architektúrális változatok. A modellek alkalmazhatóságát szimulációkkal is leellenőriztük, amelyek a várt eredményekkel szolgáltak.

Irodalom

- [1] ITU-T G.692, Table A.1 Nominal central frequencies
- [2] ITU-T G.8080/Y.1304, „Architecture for the Automatically Switched Optical Network (ASON)”
- [3] IETF RFC 3471, „Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Functional Description”
- [4] A.V. Williams: „IP and Optical: Better Together”, Telcordia/LTS Seminar Series, Mar 11, 2002.
- [5] GÉANT2 Topology August 05, <http://www.geant2.net>
- [6] TERENA Compendium of Research and Education Networks in Europe, 2005 Edition, <http://www.terena.nl/compendium/>