

A hullámhossz-utak adaptív fragmentálása forgalomkötegeléses WDM optikai hálózatokban

GELEJI GÉZA, ASZTALOS MÁRK, CINKLER TIBOR, HEGYI PÉTER

BME Távközlési és Médiainformaticai Tanszék
{geleji, asztalos, cinkler, hegyi}@tmit.bme.hu

Kulcsszavak: dinamikus optikai hálózat, WR-DWDM, traffic grooming, peer modell

A hullámhossz-osztásos nyalábolást alkalmazó dinamikus, automatikusan kapcsolt optikai hálózatokban megjelenő forgalmi igények tipikusan jelentősen kisebb sávszélességet igényelnek, mint a hullámhossz-csatornák kapacitása. Ez teszi szükségessé a forgalomkötegelés alkalmazását, melynek során a közös szakaszokat tartalmazó utakon haladó forgalmi igényeket a közös szakaszokon közös hullámhossz-csatornában vezetjük el, ezáltal javítva a kapacitás kihasználtságát. Cikkünkben két ilyen eljárást vizsgálunk meg és rajtuk keresztül bemutatjuk a hullámhossz-csatornák fragmentációjának, illetve defragmentációjának jelenségét, valamint egy lehetséges megoldást a problémára. Szimuláció segítségével igazoljuk, hogy a probléma kiküszöbölése a hálózat átbocsátóképességének jelentős mértékű növekedéséhez vezet.

1. Bevezetés

1.1. Áramkörkapcsolt optikai hálózatok

Hullámhossz-osztásos nyalábolást (WDM: Wavelength Division Multiplexing) használó optikai hálózatokban áramkörkapcsolás alatt egy olyan technikát értünk, mely során a fényvezető szálakban úgynevezett hullámhossz-csatornákat (azaz λ -csatornákat) alakítunk ki [2]. A hálózati csomópontokban lévő hullámhosszkapcsoló rendszerek (vezérlősíkkal kiegészített optikai rendezők: Optical Cross Connect, OXC) teljes λ -csatornákat kapcsolnak, anélkül, hogy a szállított adatfolyamokat feldolgoznák. Több, egy-egy fizikai szakasz hosszú, azonos hullámhosszú λ -csatornát sorbakötve kapjuk a hullámhossz utat (azaz λ -utat) két fizikailag nem feltétlenül szomszédos hálózati csomópont között. E kapcsolt vagy rendezett hullámhossz utakat tekintjük optikai áramköröknek. A forgalomirányítást végző felső réteg egy egyszerűsített, logikai hálózati topológiát „lát”, melynek csomópontjai az eredeti hálózat csomópontjai, az éleket azonban a fizikai szakaszok (optikai szálak) helyett a λ -utak (hullámhossz-utak) adják. Az ilyen típusú hálózatok jellemző alkalmazásaiban a λ -csatornában megjelenő forgalmi igények jelentősen kisebb sávszélességet igényelnek, mint a csatorna kapacitása.

Ahhoz, hogy egy igényt el tudjunk vezetni, le kell foglalnunk számára azokat a λ -csatornákat, amiken keresztülhalad. Egy újabb igényt, ami az előzővel párhuzamosan (vagyis legalább részben azonos fizikai szakaszokon) halad, csak úgy tudunk elvezetni, ha számára újabb csatornát foglalunk le a közös szakaszokon. Minden egyes igényhez egy teljes λ -csatornát rendelni pazarlás, hiszen így a csatornák kapacitásának nagy része kihasználatlan marad, és, mivel a felmerülő igények számához képest az egy fényvezető szálban kialakítható csatornák száma nagyon kevés, a keletkező igények töredékét tudnánk csak elvezetni.

1.2. Többrétegű hálózatok

A továbbiakban olyan többrétegű szállítóhálózatokkal foglalkozunk, melyek egy optikai Wavelength Routed – Dense Wavelength Division Multiplexed réteget és egy rá épülő elektronikus réteget tartalmaznak (a WR-DWDM a sűrű hullámhossz-osztásos nyalábolást, illetve a λ -csatornák szerinti forgalomirányítást jelenti).

Két csomópont, melyet hullámhossz-út köt össze a WR-DWDM rétegben, szomszédosnak fog látszani a felső réteg számára. A felső réteg elektronikus, vagyis képes számos olyan feladat ellátására, melyek tisztán optikai eszközökkel nem, vagy csak nagyon költségesen valósíthatók meg [5] – ilyen feladatok például a hullámhossz-konverzió, illetve a forgalomkötegelés.

A két réteg vezérlősíkainak egymáshoz való viszonya alapján többféle hálózati modellt különböztetünk meg: a peer, az overlay (1. ábra) és az augmented modelleket [3].

Az *overlay*, vagyis átfedő modellben a két réteg vezérlősíkja szinte teljesen elkülönül, egymással jól definiált protokollok segítségével kommunikálnak és csak a legszükségesebb információkat osztják meg egymással. A kétszeresen megvalósított vezérlőfunkciók, az ezekhez szükséges kommunikáció és adatcsere a hálózaton többletterhelést jelent.

A *peer* (társ) modellben a két réteget közös vezérlősík irányítja, amely elektronikus és optikai eszközöket egy logikai egységként kezeli. Ez hatékonyabb forgalomirányítást tesz lehetővé, de nem alkalmazható olyan üzleti modellekben, ahol a két réteg bizonyos információkat nem oszthat meg egymás közt (például a két vezérlősík más-más szolgáltatóhoz tartozik).

A két véglet között helyezkedik el az *augmented* (javított) modell, ebben is két elkülönülő vezérlősíkról beszélhetünk, ezek azonban több információt osztanak meg egymással, mint az overlay modellben.

Bár az útvonalválasztás a peer modellben bonyolultabb, mint az overlay modellben, mert az adatsík két rétegének sajátosságait egyidőben kell figyelembe venni, mégis sokkal rugalmasabb, gyorsabban alkalmazkodik a forgalmi változásokhoz és jobb erőforrás-kihasználást biztosít. A forgalomkötegelés leghatékonyabb megvalósítását ezáltal a peer modell teszi lehetővé.

1.3. Kötegelés

Tegyük fel, hogy egy hálózatban két forgalmi igény halad, úgy, hogy fizikai útvonalainak van közös szakasza. Ha a közös szakaszt nem azonosítjuk, az igényeknek feltehetően egymástól függetlenül fogunk erőforrást foglalni, vagyis külön λ -csatornákon, rossz esetben külön fényszálakon vezetjük el őket. A közös szakaszon azonban hatékonyabb erőforrás-kihasználást valósíthatunk meg az úgynevezett kötegelés alkalmazásával, melynek során a hálózat automatikusan felismeri, hogy a két (esetleg több) igény számára egyetlen csatorna lefoglalása is elegendő és ennek megfelelően alakítja ki útvonalukat.

Célszerűnek tűnik felhívni a figyelmet a kötegelés és a nyálábolás (multiplexelés) közti különbségre. Nyáláboláson a forgalmi igények előre meghatározott módon történő összefogásának technikáját értjük, míg a kötegelés magába foglalja a leghatékonyabb elrendezés megtalálására irányuló módszert, stratégiát is (topológiától, illetve hálózati terheléstől függően).

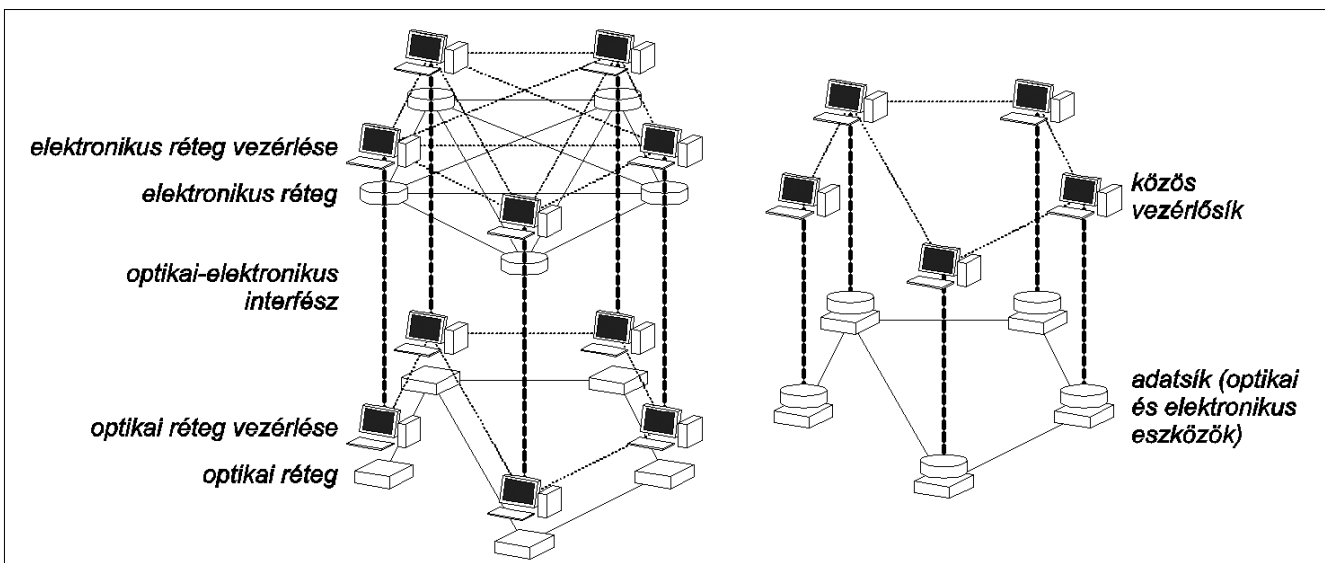
Forgalomkötegelés (traffic grooming, [4]) esetén a különböző adatfolyamokat közös λ -csatornába vagy λ -útba multiplexeljük. Ez lehetővé teszi a λ -csatornák lényegesen jobb kihasználását azáltal, hogy több, párhuzamos útvonalon haladó igényt, vagy igények megfelelő szakaszait közös λ -csatornába vagy λ -utakba fogja össze.

A forgalomkötegelésnek a következő két változatát különíthetjük el:

- Statikus forgalomkötegelés esetén feltételezzük, hogy a hálózatban megjelenő forgalom minden részlete előre ismert és jelentős minőségbeli változások nem történnek benne. Ekkor a forgalomelvezetés off-line módon optimalizálható (adott költségfüggvényre). Megjegyezzük, hogy az ilyen jellegű feladatok NP-teljesek [6].
- A dinamikus kötegelés viszonylag kevés előrejelzést tételez fel a forgalom jellegét illetően; lehetővé teszi, hogy egy lényeges forgalmi változás esetén a λ -csatornáknak kialakított szub- λ csatornák (ez a forgalomkötegelés által a λ -csatornáknak kialakított kisebb kapacitású csatornákat jelenti) elrendezése automatikusan egy közel optimális elrendezéshez konvergáljon (költségfüggvényként például a lefoglalt λ -csatornák számát tekintve). Mivel a forgalmi igények folyamatosan, előre nem ismert módon érkeznek, az optimalizálást valós időben kell elvégezni. Az általunk vizsgált forgalomkötegelési eljárások dinamikus forgalom elvezetésére alkalmasak. Ez a megközelítés a széles körben elterjedt gerinchálózati megoldásokkal (pl. SDH) szemben az alacsonyabb hálózati rétegek (pl. OTN, WDM) dinamikus, elosztott és automatikus kezelését teszi lehetővé (pl. ASTN/GMPLS), ami olyan alkalmazások fejlesztését egyszerűsíti, mint például multimédiás közvetítés nagy látogatottságú sport- vagy hasonló események helyszínén.

Cikkünkben két forgalomkötegelési eljárással foglalkozunk. Az elsőt *egyszerű*-, a másodikat *felszakításos modellnek* nevezzük. Az egyszerű modell szerinti hálózati csomópontok képesek hullámhossz-konverzióra és forgalomkötegelésre (ideértve a multiplexelést, de-multiplexelést és az újra-multiplexelést is). Ehhez képest a felszakításos modell mindemellett egy lényeges újítást is tartalmaz: képes a használatban lévő λ -csatornák felszakítására, vagyis egy optikai rétegben haladó csatorna felvezetésére az elektronikus rétegbe, ahol lehetőség nyílik a forgalom újra-multiplexelésére, adatfolya-

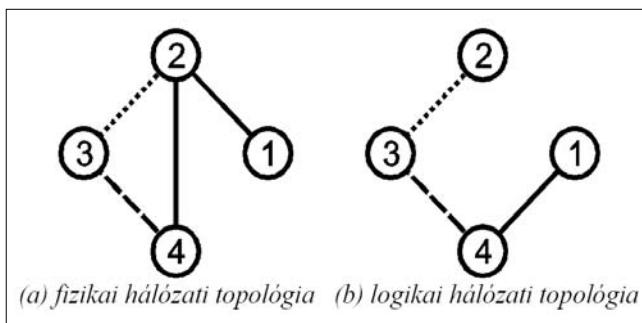
1. ábra Kétrétegű együttműködési modellek (overlay – balra, peer – jobbra)



mok leválasztására vagy hozzáadására. Látni fogjuk, hogy ez a módosítás lényeges hatékonyságbeli javulást eredményez azon az áron, hogy a kliensnek tolerálnia kell egy bizonyos mértékű csomagvesztést a felszakítás során (például beszéd, TCP/IP, esetleg video esetén ez még nem gond).

1.4. Fragmentáció és defragmentáció

A felszakításos kötegelési eljárás során nem kell a korábbi működés következményeként kialakult λ -út konfigurációt használni, azt át lehet alakítani az új igények ismeretében, amennyiben ezzel javítani lehet a hálózat kihasználtságán. Kezdetben, egy üres hálózatban akkor tudunk optimális kihasználtságot elérni, ha minden egyes felmerülő igény számára minél hosszabb (lehetőleg a forrástól a célcsomópontig haladó) λ -utat alakítunk ki, így jellemzően hosszú λ -utak alakulnak ki, a hálózat defragmentálttá válik [7]. Az előzőek értelmében a felső réteg felé látszó logikai hálózati topológiában szereplő élek (a fizikai hálózatban a λ -utak) nagyszámú fizikai szakaszon haladhatnak át, ami túl hosszú utakat eredményezhet, ez pedig a hálózat szuboptimális kihasználtságát okozhatja. A következő példán (2. ábra) illusztráljuk, hogyan rontja a hálózat teljesítményét a defragmentáltság.



2. ábra A defragmentációs probléma bemutatása

Minta hálózatunk négy csomópontból áll, melyek közt a fizikai összeköttetéseket az (a) topológia élei jelölik. Tegyük fel, hogy szakaszonként 1 hullámhosszt használhatunk és a hálózat korábbi dinamikus működése az ábrán látható hullámhossz λ -út konfigurációt eredményezi; a szaggatott, pontozott és folytonos élek különböző λ -utakat jelentenek (tehát az 1-es és a 4-es csomópont között egy darab λ -út húzódik, ami két fizikai szakaszból áll). A hálózat logikai topológiájában (lásd az ábra (b) részét) tehát két csomópont szomszédos, ha azokat a fizikai hálózatban λ -út köti össze. Tegyük fel, hogy a csomópontok nem képesek a felszakításra, azaz egy új igény elvezetéséhez a már kialakult λ -út konfigurációt kell használniuk és továbbítani szeretnének egy igényt az 1-esből a 2-es csomópontba. A forgalomirányítást a logikai topológia alapján végezzük (hiszen a forgalomirányítás számára ez látható), így a (b) ábrára tekintve látható módon az igény az összes szakaszt érintve fog eljutni az 1-es csúcshoz a 2-esbe.

Láthatjuk, hogy az útvonal (λ -út) áthalad az összes fizikai szakaszon; mivel a λ -utak felszakítására nincs lehetőség, a 2-es csomópontban nem tudjuk felvezetni az igényt az elektronikus rétegbe, hogy feldolgozzuk az adatfolyamot. Ezért az igényt továbbítjuk a 4-es csomópontba, ezután innen a 3-ason keresztül jut el a célhoz. Az adott igény továbbításához nagy kerülőutat kellett tenni, aminek oka a hálózatban kialakult (a hálózat méretéhez képest) hosszú λ -út volt.

Nagyobb hálózatokban, sok forgalmi igény esetén lényegesen rosszabb a helyzet, hiszen ez az erőforrás-foglalási stratégia végponttól-végpontig összeköttetések számára foglalja le a hullámhossz-csatornákat. Mivel egy hullámhossz-csatornában egyszerre számos igény haladhat és az útvonalak átterelésére gyakorlatilag nincs lehetőség igények megszakítása nélkül, ezért az így kialakult logikai topológián kell elvezetni a később érkező igényeket is. A defragmentáltság tehát feleslegesen növeli a hálózat terhelését és így rontja annak kihasználtságát; a λ -utak felszakításával azonban, mint látni fogjuk, ez a probléma kiküszöbölhető.

1.5. Szimulációs vizsgálatok

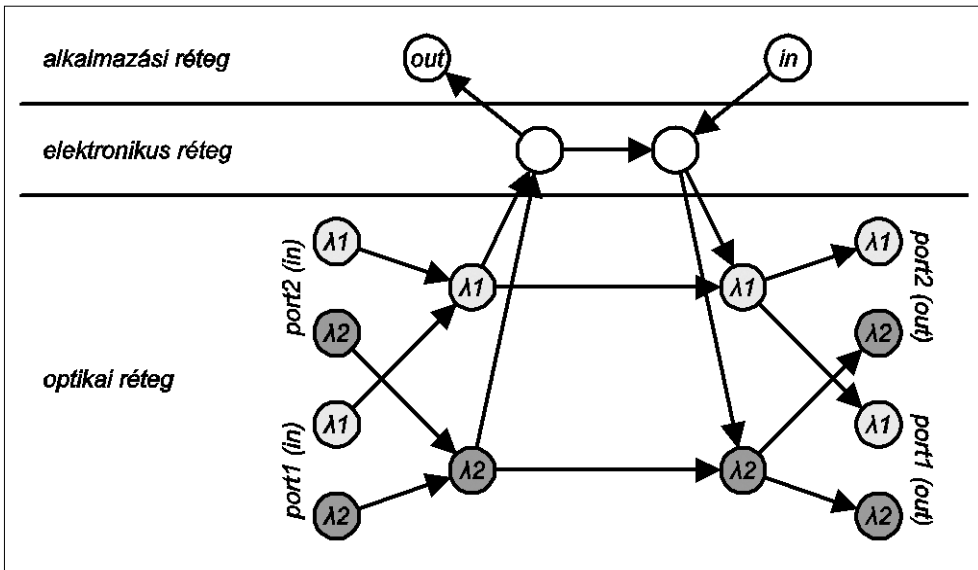
Munkánk során vizsgáltunk és összehasonlítottunk egy egyszerű és egy felszakításos forgalomkötegelési eljárást. Célunk volt, hogy szimulációval elemezzük, hogyan viselkednek a hálózatok különböző összetett forgalommal történő terhelés során. Cikkünkben egy konkrét szimulációt és annak eredményeit mutatjuk be részletesebben, melyben a két kötegelési modell összehasonlításával vázoljuk a defragmentálódási probléma hatását és jelentőségét, illetve azt, hogy a felszakításos forgalomkötegelési eljárás mennyire tudja biztosítani a hálózat megfelelő fragmentáltságát.

A szimulációk során referenciaként egy úgynevezett OXC-modellt használtunk. Ez olyan hálózatokat jelöl, melynek csomópontjai mind OXC típusúak, azaz sem forgalomkötegelésre, sem hullámhossz-konverzióra nem képesek, ezért minden forgalmi igényt exkluzív λ -úton vezetnek el. Később ismertetett példánkban ez a csatornák körülbelül 20-60%-os kihasználtságát eredményezi, ami közelítőleg megfelel a gyakorlatban alkalmazott hálózatok méretezési követelményeinek.

2. Szimulációs környezet

Kutatásainkhoz számítógépes szimulációt végeztünk, melynek során azt modelleztük, hogy a különböző kötegelési modellek hogyan vezetnek el a felsőbb hálózati rétegek felől érkező forgalmi igényeket.

A forgalmat az igények időrendi listájával írjuk le; ezt a listát forgalmi mintának nevezzük. A szimulátor meghatározott forgalomirányítási és kötegelési algoritmusok szerint megpróbálja elvezetni az igényeket azok forrás és célcsomópontja között; ehhez egy kiválasztott útvonalon a megfelelő sávszélességet és erőforrásokat az adott véges időtartamra lefoglalja (például videokonferencia-hívások vagy helyszíni multimédiás köz-



3. ábra
A kötegelő csomópontok modellje

vetítések számára). Amennyiben a szükséges sávszélességet semmilyen útvonalon nem sikerül lefoglalni, adott számú próbálkozás után az igény blokkolódik.

Az útválasztás során a hálózat fizikai topológiája és az alkalmazott kötegelési eljárásnak megfelelő csomópont modell (ez határozza meg, hogy a csomópont mely portjai közt haladhat forgalom) alapján készítünk egy súlyozott éleket tartalmazó, úgynevezett logikai hálózatot, melyben Dijkstra útvonalválasztó algoritmusával az igényeket a minimális súlyú utakon vezetjük el.

A vizsgálatainkban alkalmazott forgalmi minták nagyságrendileg ezer forgalmi igényt tartalmaznak; ezeket az adott terhelésre jellemző valószínűségi változók paramétereit meghatározva, a hálózat topológiájának ismeretében véletlenszerűen generáljuk. Valószínűségi változóink a tartási idő, a születésintenzitás (milyen gyakran érkeznek igények a hálózatba) és a sávszélesség igény. Az igények feldolgozása során a program olyan információkat jelenít meg, melyekkel nyomon követhető többek között a hálózat terhelése, illetve a blokkolódott és az elvezetett igények száma.

A továbbiakban blokkolási arányon egy teljes forgalmi minta elvezetése során a blokkolódott és a felajánlott igények számainak arányát, hálózati terhelésen pedig a szimuláció során az egyes fizikai szakaszokon rendelkezésre álló összes kapacitás legnagyobb kihasználtságát értjük, linkekre átlagolva (a forgalmi minták jellege miatt feltehetjük, hogy ezen érték jól jellemzi az erőforrások kihasználtságát).

2.1. Hálózati csomópont modellek

A három eljárás vizsgálata során (referencia, egyszerű kötegelés, felszakításos kötegelés) a hálózatban különféle csomópont típusokat alkalmaztunk a vizsgált eljárások megvalósítására. A referencia modellben minden csomópont megvalósítható tisztán optikai eszközökkel; az ilyen csomópontok nem képesek sem forgalomkötegelésre, sem hullámhossz-konverzióra.

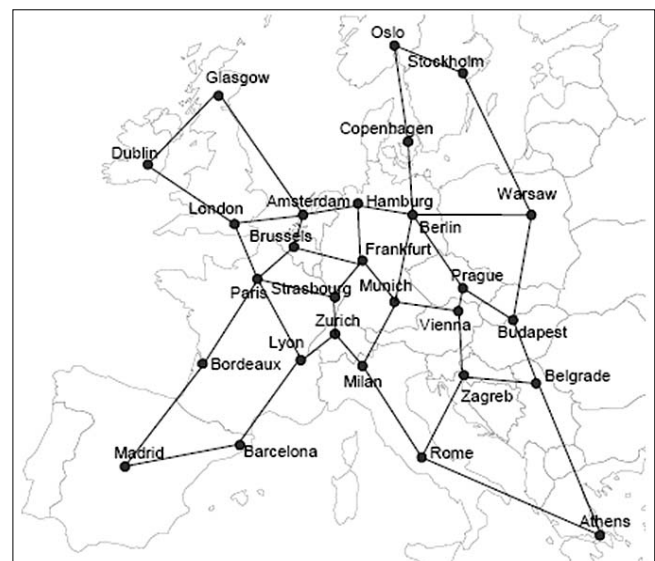
A kötegelő csomópontok felépítésének vázlata a 3. ábrán látható; a két típus (az egyszerű és a felszakítá-

sos) csak a vezérlőcsík megvalósításában különbözik. Az egyszerűség kedvéért az ábrázolt csomópont két kimenő és két bemenő porttal rendelkezik és két hullámhosszt képes kezelni; a minta alapján a struktúra könnyen általánosítható több portra és több hullámhosszra is. A kötegelő csomópontok alkalmazása többletköltséget jelent az OXC-khez képest, hiszen az E/O átalakítás drága eszközöket igényel, továbbá a nagy sebességű elektronika (melyet vizsgálataink során szoftverrel szimuláltunk) költségeivel is számolnunk kell; mindazonáltal látni fogjuk, hogy ezen az áron jelentős teljesítménybeli növekedést érhetünk el [9].

3. Numerikus eredmények

A szimulációhoz a COST 266 Basic Reference Topology hálózatát használtuk ([1] (4. ábra), mely 28 csomópontból és 41 élből áll. A hálózat csomópontjai minden kísérlet során egyformák voltak; külön kísérletet végez-

4. ábra COST266 Basic Reference Topology



tünk az OXC-s referencia modellre, az egyszerű, illetve a felszakításos kötegelési modellekre. A két utóbbi esetben minden csomópontban legfeljebb 25 O/E és ugyanennyi E/O átalakításra volt lehetőség. Vizsgálataink során feltételeztük, hogy a hálózat összes csomópontja képes a forgalomkötegelés megvalósítására; a valóságban azonban ez feleslegesen költséges lehet. A kötegelő csomópontok megválasztására [8] javasol eljárást.

A szimuláció gyors kivitelezhetősége érdekében a hálózat szakaszain 4 λ -csatornát alakítottunk ki és az egyes csatornák kapacitását a vizsgálat során 700 egységről 2700-ra növeltük 100 nagyságú lépésekben (a szakaszonkénti λ -csatornák számának és kapacitásának hatásait és a hatások skálázódását részletesebben elemzi [9]).

Az eredmények zajos jellegének csökkentése végett minden lépésben 4, azonos paraméterekkel, véletlenszerűen előállított forgalmi mintát vezetünk el a hálózaton; megfigyeltük, hogy a mintát alkotó igények mekkora hányada kerül blokkolásra és a hálózat teljes kapacitása milyen arányban kerül felhasználásra, majd a minták eredményeinek átlagát ábrázoltuk az 5. és 6. ábrák diagramjain. Korábbi tapasztalataink azt mutatják, hogy az adott paraméterek mellett 4 forgalmi minta eredményeinek átlagolása már kielégítő minőségű eredményeket ad.

Forgalmi mintáink mindegyike körülbelül 1500 forgalmi igényből állt, melyek sávszélességét egyenletes eloszlással generáltuk az 500-600 egység intervallumban. A 2000 időegység hosszú mintában megjelenő igények tartási idejét 80 időegység várható értékű exponenciális eloszlással határoztuk meg. Külön vizsgálatlaltal megállapítottuk, hogy a hálózat a szimuláció időtartamához képest viszonylag hamar felvesz egy stabil állapotot; eredményeink ennek megfelelően értelmezendők.

Az ábrákon a három különböző görbe a három modell viselkedését mutatja.

A görbék kezdeti szakaszán, vagyis 1000 egység λ -csatorna kapacitásig a három modell közel azonosan viselkedik. Mivel a csatornák kapacitása legfeljebb 1000 egység, a forgalmi igények sávszélessége pedig 500-600 egység közé esik, minden λ -csatornában legfeljebb 1 igény vezethető el; ezen a szakaszon tehát nincs lehetőség kötegelésre.

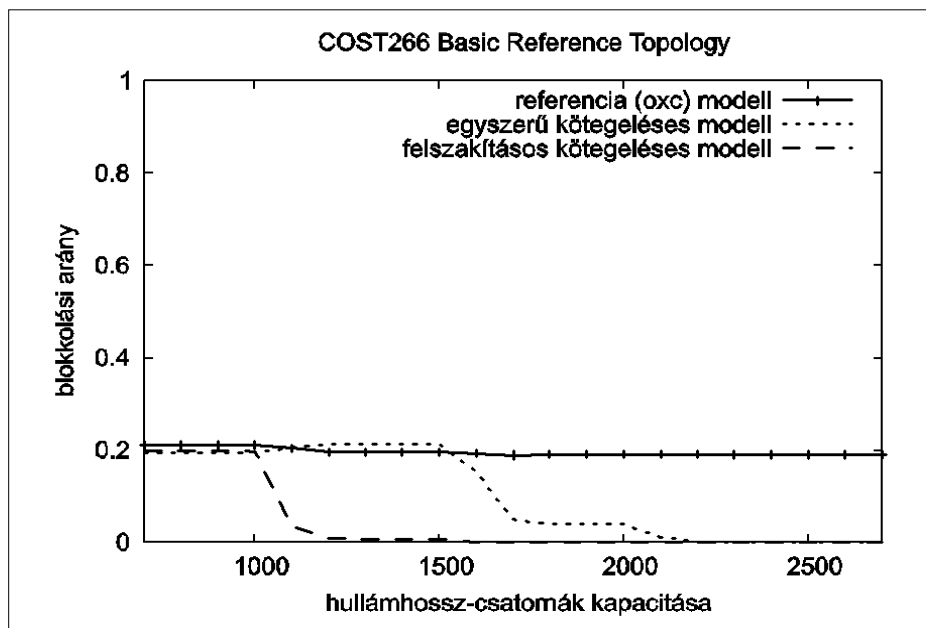
Amikor a λ -csatornák kapacitása az 1100 egységet eléri, a kapacitásviszonyok lehetővé teszik λ -csatornánként két forgalmi igény elvezetését. (Ennek megfelelően a hálózati terhelést ábrázoló görbén lépcsőfokok figyelhetőek meg 550 egységenként, ahogy a kapacitásviszonyok egyre több és több igény összenyálolását teszik lehetővé. A lépcsőfokok az igények sávszélességeinek szórása miatt egyre elmosódottabbak.) Ennek megfelelően azt várnánk, hogy a kötegeléses modelleknél a blokkolási arány itt hirtelen lecsökken, a terhelési arány pedig megnő.

Ez utóbbi várakozásunk teljesül, ami igazolja, hogy a rendelkezésre álló kapacitás jóval nagyobb hányadát használjuk fel. Az egyszerű kötegeléses modell esetében azonban a blokkolási arány meglepő módon nemhogy nem csökken, hanem kis mértékben növekszik is.

Feltételeztük, hogy a jelenség oka a λ -utak defragmentálódása, vagyis az, hogy az egyszerű kötegeléses modell kezdetben, a javarészt üres hálózatban minden egyes forgalmi igényhez exkluzív, végponttól végpontig tartó λ -utakat rendel, melyeket nem módosíthat, míg az azt használó igény tart.

Ez a stratégia egy darabig igen jó hatékonyságot biztosít, azonban egy idő után szabad kapacitás hiányában az exkluzív útvonalak már nem haladnak a legrövidebb utakon. Ekkor a modell kénytelen kerülőutakon foglalni az újabb λ -utakat, vagy a meglévő, hosszú útvonalakon elvezetni olyan igényeket, melyek egy közelebbi célpont felé tartanak. Világos azonban, hogy az igények mindkét esetben kerülőúton halad-

5. ábra
A különböző kötegelési modellek
blokkolási arányai



nak, ezáltal feleslegesen sok hálózati erőforrást foglalnak.

A felszakításos kötegelő modell esetén ez a probléma nem áll fenn, ugyanis egy meglévő λ -utat annak tetszőleges csomópontjában felszakíthatunk és a felszakítás helyén lehetőség nyílik az igények újra-multi-plexelésére.

A fenti feltevések igazolására megmértük, hogy az 5. ábrán az 1300 egység λ -csatorna kapacitáshoz tartozó kísérletekben az egyes modellek átlagosan milyen hosszú útvonalakon vezetik el a forgalmi minták igényeit. (Az útvonalhosszon itt ugrásszámot értünk, vagyis azon csomópontok számát, melyeken az igény keresztülhalad.)

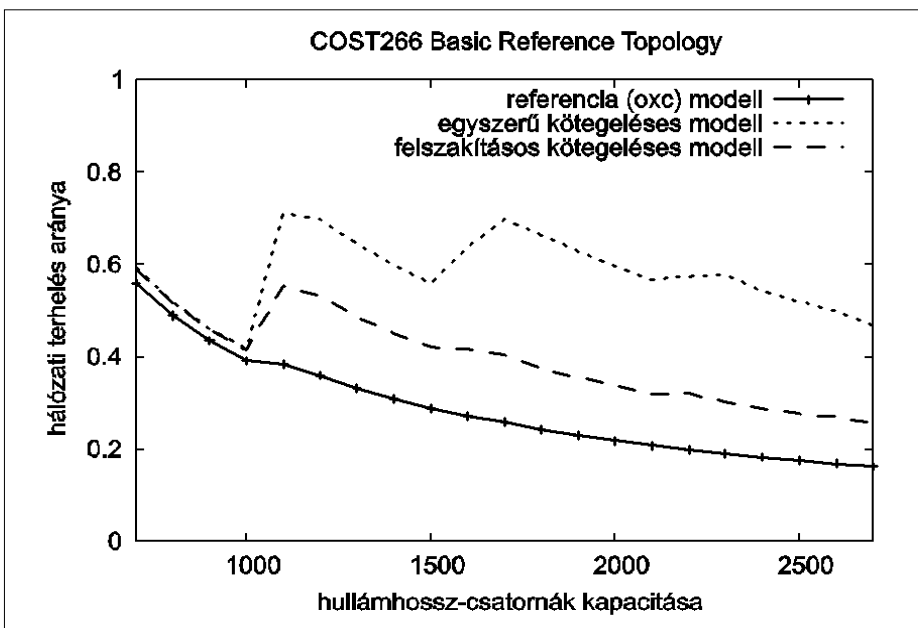
A referenciamodellben az átlagos ugrásszám 3.98 volt, míg az egyszerű és a felszakításos modellekben rendre 9.32, illetve 4.39. Ugyanekkor az igények blokkolási arányai 19.6% (referencia), 21.3% (egyszerű modell), illetve 0.7% (felszakításos modell) voltak. Ez azt mutatja, hogy a felszakítást nem engedélyező modell körülbelül kétszer annyi erőforrás foglalásával is csak jóval kevesebb forgalmi igényt képes elvezetni.

4. Összegzés

A fentiekben egy olyan szimulációs eredményről számoltunk be, mely igazolja, hogy a forgalomkötegelést alkalmazó kapcsolt optikai hálózatok átbecsátóképessége nagymértékben növelhető, amennyiben megengedjük, hogy a hálózati csomópontok a korábban kialakított λ -utakat felszakítsák (fragmentálják) és az elektronikus rétegben végződtessek, hogy ott lehetőség nyíljon a forgalom újranyalábólására. Ezzel jelentősen csökkenthető a defragmentáció okozta teljesítményromlás.

Irodalom

- [1] R. Inkret et al.: „Advanced Infrastructure for Photonic Networks: Extended Final Report of COST Action 266”, Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb, 2003.
- [2] A. S. Tanenbaum: „Számítógép hálózatok”, Panem kiadó, 2004.
- [3] B. Rajagopalan et al.: „IP over Optical Networks: Architectural Aspects”, IEEE Communications Magazine, September 2000, Vol.38, No.9, pp.94–102.
- [4] T. Cinkler: „Traffic and I Grooming”, IEEE Network, March/April 2003, Vol.17, No.2, pp.16–21.
- [5] Arthur S. Morris, III: „Optoelectronics: In Search of Transparent Networks”, IEEE Spectrum, October 2001, Vol.38, No.10, pp.47–51.
- [6] A. Chiu, E. Modiano: „Traffic Grooming Algorithms for Reducing Electronic Multiplexing Costs in WDM Ring Networks”, IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, January 2000, Vol.18, pp.2–12.
- [7] T. Cinkler, G. Geleji, M. Asztalos, P. Hegyi, A. Kern, J. Szigeti: „Lambda-path Fragmentation and De-Fragmentation through Dynamic Grooming”, ICTON 2005, Barcelona, Spain, July 3-7, 2005.
- [8] M. Perényi, J. Breuer, T. Cinkler, Cs. Gáspár: „Grooming node placement in switched multilayer networks”, ONDM 2005, Milan, Italy, February 7-9, 2005.
- [9] M. Asztalos, G. Geleji: „Forgalomelvezetés vizsgálata optikai gerinchálózatokban”, Tudományos Diákköri Konf., Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, 2005.



6. ábra
A kötegelési modellek működése során mért hálózati terhelés