

Hatékony információfrissítési stratégiák automatikusan kapcsolt optikai hálózatokban

SZIGETI JÁNOS, BALLÓK ISTVÁN, CINKLER TIBOR

BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
szigeti@tmit.bme.hu

Reviewed

Kulcsszavak: optikai hálózatok, elosztott vezérlés, információfrissítés

Korszerű optikai hálózatokban a vezérlési funkciókat elosztottan valósítja meg több vezérlőegység. Ennek a megoldásnak számos előnyén túl alapvető hátránya az, hogy a hálózat állapotában bekövetkező változásokról minden részegységet értesíteni kell. Az ilyen frissítések során jelentős mennyiségű információt kell átvinni a vezérlési csatornán. Az alábbi cikkben megvizsgáljuk, milyen stratégiával lehet a frissítések gyakoriságát és így módon az átvitt adat mennyiségét csökkenteni, és hogy az egyes stratégiák hogyan hatnak a hálózat teljesítőképességére.

1. Útvonalválasztás több rétegben

Optikai hálózatokban az útvonalválasztó algoritmusoknak kettős feladatuk van: egyrészt ki kell választaniuk, hogy a forgalom a forrástól a célig milyen útvonalon haladjon, vagyis mely optikai kapcsolókat és fényszálakat használja, másrészt ki kell jelölniük, hogy az egyes fényszálak milyen hullámhosszon vezessék el a forgalmat. A kijelölt fénytut (lightpath), vagy MPLS hálózat esetén az LSP-t (Label Switched Path, azaz címkekapcsolt útvonalat), egy döntési folyamat eredményeképpen kapjuk, ahol a döntés alapjául a hálózat állapotát leíró adatok és különböző útvonalválasztó (routing) stratégiák szolgálnak. A hálózati állapotleíró adatok gyakorlatilag csomópontok közti összeköttetések jellemzésére szolgálnak olyan természetes információkkal, mint például az összeköttetés szabad kapacitása vagy késleltetése. Ezeket a metrikákat kiegészíthetjük járulékos információk, melyek forgalomvédelem és Traffic Engineering (TE) alkalmazásakor kerülnek előtérbe [6,7], de jelen cikkünkben ezekkel nem foglalkozunk.

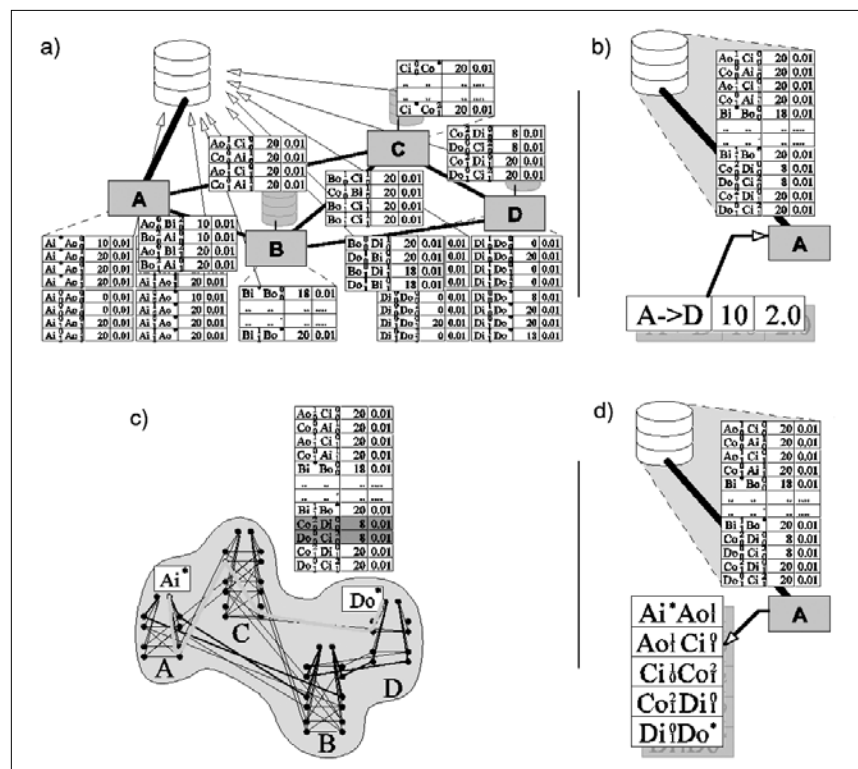
Az útvonalválasztó stratégiák közül az egyik legegyszerűbb, mégis legelterjedtebb a *kapacitáskorlátos legrövidebb út stratégia*, amely a forrás és cél között megtalálja a legkevesebb csomópontot érintő olyan útvonalat, melynek minden szakasza elegendő szabad kapacitással rendelkezik a forgalom elvezetéséhez.

Forrás és cél közti útvonal kijelölésére, épp úgy, mint általában bármilyen útkereső feladatra, a hálózat gráfként történő reprezentálása a legalkalmasabb. Tehát, miként az 1. ábra mutatja, a forráscsomópont az adatbázisban tárolt állapotleíró adatok-

ból felépít egy gráfot, ahol az élek egy-egy összeköttetésnek felelnek meg, és súlyuk (költségük) 1, ha elegendő szabad kapacitásuk van, különben pedig végtelen. Végtelen súlyú élek törölhetőek a gráfból. Természetesen, ha nem a legkevesebb csomópontot érintő utat keresi, más súlyozással kell élnie az algoritmusnak, melynek feladata ezután a forrás és cél közti legkisebb, nem végtelen költségű út megtalálása lesz.

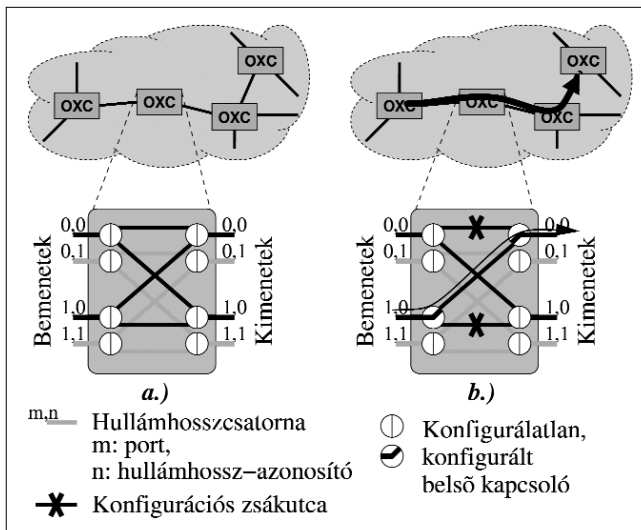
Kapcsolt optikai rendszerekben az útvonalválasztás annyival nehezebb, hogy az IP/MPLS réteg mellett kezelniük kell az optikai réteget is [1,2], így az útvonalválasztás kiegészül a hullámhossz-kijelölés (WA – Wavelength Assignment) feladatával. Lefedő (Overlay) mo-

1. ábra Útvonalkijelölés MPLS hálózatban



dell alkalmazásakor az optikai és a rá épülő felsőbb réteg vezérlése élesen elválik egymástól, és a többletfeladatok az előbbire hárulnak. Az optikai réteg előre konfigurált fényutakat kezel és ezeket mint összeköttetéseket hirdeti a felsőbb réteg felé, amely elől ily módon elrejtve marad az alsó réteg optikai mivolta. A lefedő technika előnye egyszerűségében, könnyen alkalmazhatóságában, hátránya rugalmatlanságában rejlik. Társított (Peer) modellben a két réteg vezérlése nem válik külön. A hálózat állapotát továbbra is csomópontok közti összeköttetések írják le, viszont az állapotleírás sokkal részletesebb, mert az optikai berendezések között nem egyetlen, hanem hullámhosszcsatornánként egy-egy összeköttetés fog húzódni. Emellett az optikai eszköz képességeit (hullámhossz-konverzió, forgalomkötegelés támogatása) is ismernie kell az útvonalválasztó algoritmusnak, ezért ezeket az információk is összeköttetésként vannak kódolva a társított modellben.

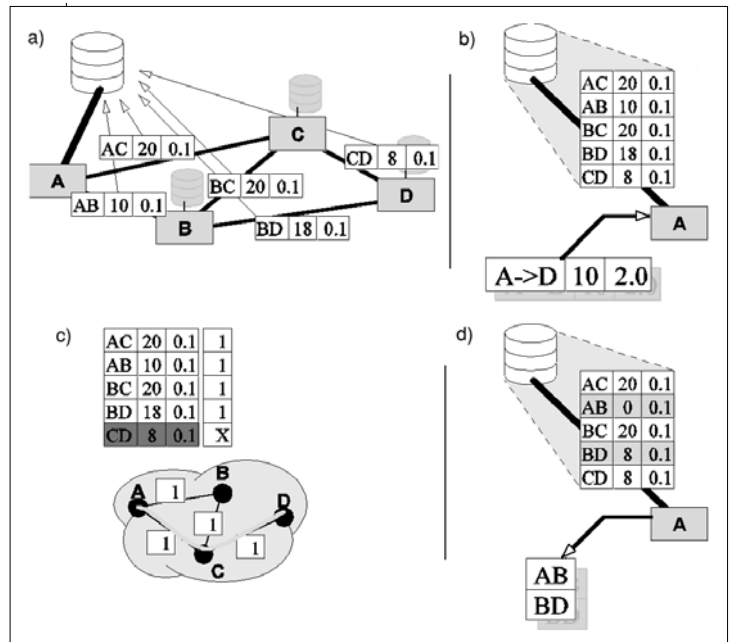
A 2. ábra egy két hullámhosszcsatornát kezelő, két porttal rendelkező tisztán optikai OXC belsejét mutatja be két állapotában. Az ábra azt mutatja, hogy célszerű a portjukkal, hullámhosszokkal és csatolási irányukkal azonosított belső fizikai kapcsolókat mint csomópontokat az állapotleírás alapjául venni, és a köztük konfigurált vagy konfigurálható kapcsolódásokat összeköttetésként jelezni.



2. ábra
Kapcsolók és fényutak egy fizikai eszköz belsejében
(a) használaton kívül és (b) fényút kiépítése után

A 3. ábra egy RWA (Routing and Wavelength Assignment) folyamatát vázolja többretegű társított modell szerint, az 1. ábra analógiájára. A sokkal finomabb felbontás következtében az állapotleírók száma megnövekedett.

- Ennek hatásait szemlélteti az ábra:
- az eszközöknek több adatot kell szolgáltatniuk az egyes állapotleíró adatbázisok számára,
 - az adatbázisokban több állapotleírót kell tárolni,



3. ábra
Útvonalkijelölés többretegű optikai hálózatban

- a hálózat gráf-reprezentációja sokkal részletesebb lesz,
- az algoritmus az útvonal mellett a használandó hullámhosszcsatornáról és az esetleges hullámhosszváltások helyéről is dönt.

Megjegyzendő, hogy az egy fizikai eszköztől szóló állapotleírók egymással gyakran nagy hasonlóságot mutatnak, így jól tömöríthetőek, aggregálhatóak. Ezzel a terjesztendő és tárolandó adat mennyisége jelentősen csökkenthető.

2. Erőforrás forgalmi állapotának követése

Forgalmi igény elvezetése érdekében nem elég megtalálni egy útvonalat, hanem azt teljes hosszában le is kell foglalni az adott igény számára. Maga a lefoglalás számos akadályba ütközhet, ami abból fakad, hogy a forrás-csomópontban az útvonal kijelölésre használt állapotleírók nem tükrözik hűen a hálózat aktuális állapotát. A példaként bemutatott 2/b.) ábrán megfigyelhető, hogy a kapcsolat kiépítése után a nyolc lehetségesből három összeköttetés állapota változik: egyiknek (1,0→0,0) csökken a szabad kapacitása, további kettő (0,0→0,0 és 1,0→1,0) pedig elérhetetlen (konfigurálhatatlan) lesz, ami számszerűen 0 szabad kapacitással vagy végtelen nagy késleltetéssel fejezhető ki.

Az ilyen állapotváltozásokról a forrás-csomópontok leíró-adatbázisait értesíteni kell, különben a tárolt adat a valósághoz képest pontatlan lesz, ami gyakori lefoglalási hibához és ezáltal forgalmi igények blokkolásához vezethet. Az állapotleírókat az egyes fizikai eszközök vezérlőegységei számítják és a hálózat jelzési csatornáján keresztül terjesztik a csomópontok adatbázisai felé, és mivel sem a vezérlőegységeket, sem a jel-

zési csatornát nem szerencsés feleslegesen terhelni, az adatfrissítés folyamatát valamilyen módon szabályozni kell.

E témával kapcsolatban, melyet a szakirodalom *Information Inaccuracy* (azaz *információpontatlansági*) problémaként foglal össze, a közelmúltban több angol nyelvű cikk látott napvilágot [3,4,5], és bár zömében csak általános IP/MPLS hálózatokkal kapcsolatban folytak kutatások, ezek eredményeit mégis érdemes röviden áttekinteni. A könnyebb áttekinthetőség céljából a frissítési módszereket csoportosítani szokás aszerint, hogy mi a frissítés kiváltó oka (triggering policy):

- **Küszöb átlépése** – frissítést akkor kezdeményez a vezérlőegység, ha az előzőleg hirdetett értékhez képest a szabad kapacitás változása nagyobb egy előre meghatározott küszöbnél.

Matematikailag, ha B_o^i az utoljára hirdetett, B_t^i az aktuális szabad kapacitást és v a küszöbértéket jelöli ($0 < v \leq 1$), a

$$\frac{|B_o^i - B_t^i|}{B_o^i} > v$$

reláció fennállásakor kell az i összeköttetést frissíteni.

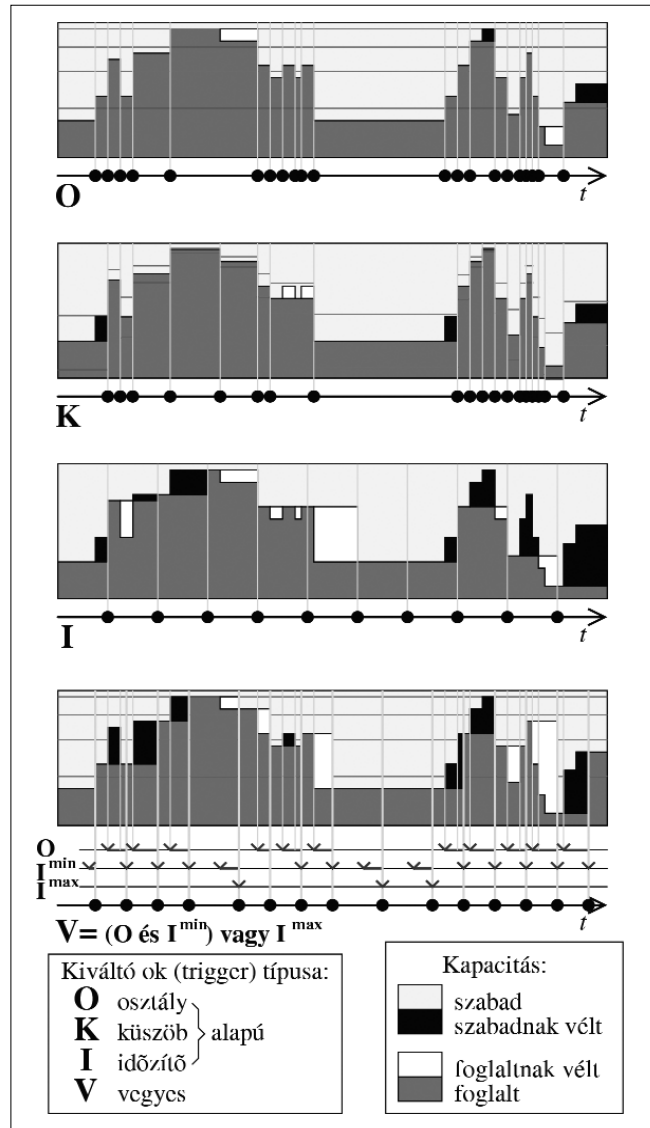
- **Új osztályba sorolódás** – ez, az előző módszerhez hasonlóan, szintén a szabad kapacitás változása váltja ki a frissítést, de itt a teljes kapacitástartomány osztályokra van osztva, és frissítés akkor következik be, amikor az összeköttetés kapacitása osztályt vált. Két fajtája terjedt el az egyenlő és az exponenciális osztály alapú.

Előbbiben a kapacitástartomány egyenlő, előre meghatározott BW méretű ($(0, BW)$, $(BW, 2 * BW)$, ...) osztályokra van bontva, míg utóbbiban az osztályok mérete $((0, BW)$, $(BW, (f+1) * BW)$, $((f+1) * BW, (f^2 + f + 1) * BW)$, ...) exponenciálisan növekvő.

- **Időzítés lejárta** – a vezérlőegység egyenletes, előre rögzített időközönként hirdet állapotinformációt.

Mindegyik módszernek megvan a maga előnye és hátránya. Az első módszer előnye, hogy pontatlanságra annál érzékenyebb, minél kevesebb a hirdetett szabad kapacitás. A második módszer az elsőhöz képest kevesebb aritmetikai műveletet igényel, viszont ha a szabad kapacitás két osztály határán ingadozik, akkor felesleges frissítési többletet generál. A frissítések számát ilyenkor hiszterézis beállításával lehet csökkenteni. Az időzítési módszer nem igényli a kapacitás monitorozását, ugyanakkor meglehetősen rugalmatlanul viselkedik: ha a hálózatban gyakran változnak a forgalmi viszonyok, a hosszúra választott időzítés túl nagy pontatlanságot vált ki, viszont a túl rövid időzítés felesleges állapotfrissítésekkel terheli a jelzési csatornát.

Az időzítő és osztályozó módszerek keverésével olyan frissítési stratégia alakítható ki, mely egyesíti az alapsoportok előnyös tulajdonságait. A frissítési időközöknek alsó korlátot szabva elkerülhető az osztályhatárok környéki rezonanciából fakadó szükségtelen frissítés-áradat, és felső időzítési korlát alkalmazásával állapotadat elveszéséből származó pontatlanságokat lehet visszaszorítani. A 4. ábra a frissítés kiváltását és a pontatlanságokat szemlélteti az egyes stratégiáknál.



4. ábra Különböző frissítési stratégiák

Optikai hálózatokban a frissítési stratégia kialakításánál figyelembe kell venni néhány optikai sajátosságot. Az egyik a konfigurálhatatlan összeköttetések jelensége. Szemben az általános IP/MPLS összeköttetésekkel, melyeknél a szabad kapacitása mennyisége a fontos, ezekre az jellemző, hogy vagy van teljes hálámhosszcsatornányi szabad kapacitásuk, vagy nincs semekkorra sem. Tehát itt a kapacitás háttérbe szorul, és vele együtt az erre épülő (küszöb és osztály alapú) frissítési módszerek is. A másik jellegzetesség, ami nem hagyható figyelmen kívül, az az, hogy az egy fizikai eszközre vonatkozó elemi állapotinformációkat tömörítve, aggregált formában szolgáltatják az optikai vezérlők minden egyes frissítésnél. Tehát itt a kérdés nem az lesz, hogy az elemi, hanem hogy az aggregált állapotinformációt mikor kell frissíteni. További kérdés, hogy kell-e azért a routing algoritmust módosítani, hogy a pontatlanság ne vezessen forgalmi igények blokkolásához.

Mindezek alapján optikai hálózatokra a küszöb alapú módszert úgy módosítottuk, hogy ne a szabad kapacitás változására legyen érzékeny, hanem arra, hogy

mennyi elemi összeköttetés változott meg egy aggregált állapotleíró hatóköre alatt. Így megmaradt a stratégiának az a tulajdonsága, hogy a frissítés kiváltó oka a forgalmi változás, viszont azzal számolnunk kell, hogy optikai hálózatokban jóval kisebb kapacitásküszöb (ν) esetén érünk el csak ugyanolyan teljesítményt, vagyis ugyanakkora forgalmi blokkolási arányt, mint az MPLS hálózatokban. Ez abból adódik, hogy a konfigurálatlan összeköttetések, pontatlanság esetén, minden esetben lefoglalási hibához vezetnek, míg MPLS hálózatoknál pontatlanság esetén is elvezethetőek azok az igények, melyek kisebb sávzélességet igényelnek, mint a megváltozott szabad kapacitás.

Végül meg kell jegyezni, hogy bár problémaként csak azt az esetet tárgyaltuk, amikor a szabad kapacitás csökkenését nem tükrözi hűen az útvonalválasztáshoz használt információ, fordított előjelű pontatlanság is okozhat gondot, vagyis amikor az útvonalválasztó eljárás nem tud a hálózat bizonyos szabad kapacitásairól. Ilyenkor az optimálisnál hosszabb útvonal kijelölése fordulhat elő, ami hosszú távon a hálózat indokolatlan túlterheléséhez vezet.

3. A frissítési stratégiák teljesítménye

A következő részben grafikonok segítségével bemutatjuk az előzőekben vázolt stratégiák teljesítményét. Referenciaként külföldi kutatók IP/MPLS hálózatokban mért eredményeire támaszkodunk [3], akik küszöb (T), egyenlő (E) és exponenciálisan növekvő (X) méretű kapacitásosztály módszerét egészítették ki felső frissítési időkorláttal. A hálózati terheltséget úgy alakították ki, hogy ha a rendszerben nem lenne pontatlanság, egy forgalmi igény se blokkolódna. A küszöb értékét és az osztályok szélességét az átlagos igény-sávzélességhez képest 10% és 200% között változtatták. A szerzők az egyes stratégiák üzenetigényét és vezetőképességét (= $1 - \text{blokkolási arány}$) vizsgálták. Szimulációs eredményeik azt mutatták, hogy mind az üzenetküldési gyakoriság, mind a vezetőképesség legnagyobb mértékben a választott felső időkorláttól függ, valamint hogy választott stratégia (T, E vagy X) inkább a vezetőképességet, míg a küszöb és az osztályok relatív nagysága a frissítési gyakoriságot befolyásolja.

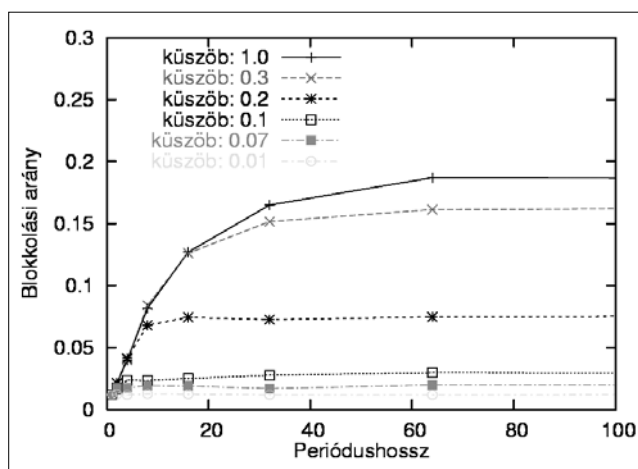
4. Szimulációs eredményeink

Optikai hálózatokon végzett vizsgálataink célja ezek után az volt, hogy kiderítsük, milyen teljesítményt nyújt egy tisztán időzítő alapú stratégia, és hogyan javítható ez a teljesítmény, ha a stratégiát küszöb alapú módszerrel keverjük. Szintén vizsgáltuk, hogy a teljesítményjavulás milyen költségekkel (üzenet többlettel) jár.

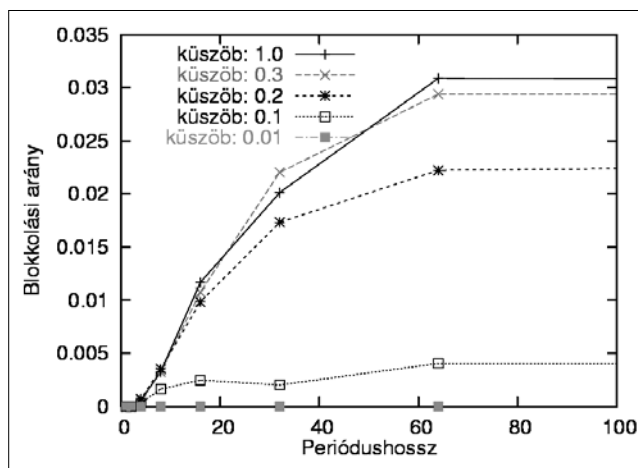
Tesztjeinket előbb egy fényszálanként 8 hullámhosszcsatornát alkalmazó, 16 csomópontos, magas telítettségű, szövevényes hálózaton végeztük el, gyorsan változó forgalmi mintával, majd ugyanezen a topológián

néztük a kis terhelést okozó, lassan változó forgalmak és a blokkolási arány kapcsolatát, végül egy vegyes, erősen terhelte maggal és alacsony terhelte peremmel rendelkező hálózatot vizsgáltunk.

A 5. ábrán az 1.0-ás küszöbhez tartozó görbe mutatja a tisztán időzítő alapú stratégia teljesítményét blokkolási arányban kifejezve. Tekintve, hogy az igények tartási ideje átlagosan 10 egység (másodperc) volt, azt tapasztaltuk, hogy ha a frissítési időköz nagyobb, mint a tartási idő 4-5-szöröse, nagyjából olyan eredményt kapunk, mintha egyáltalán nem frissítenénk az állapotleírókat. Ugyanezt a jelenséget figyelhettük meg később, alacsony terhelte hálózatok esetében is (6. ábra). 0.2, azaz 20%-os vagy annál alacsonyabb küszöb bevezetésével a teljesítmény jelentősen javítható.



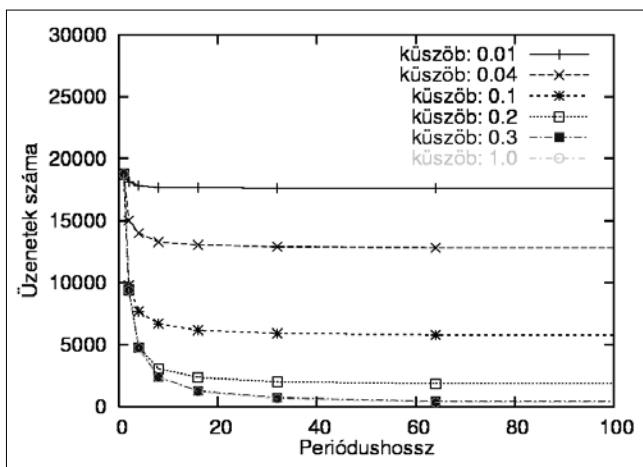
5. ábra Stratégiák teljesítménye terhelte optikai hálózatokban



6. ábra Stratégiák teljesítménye alacsony terhelte optikai hálózatokban

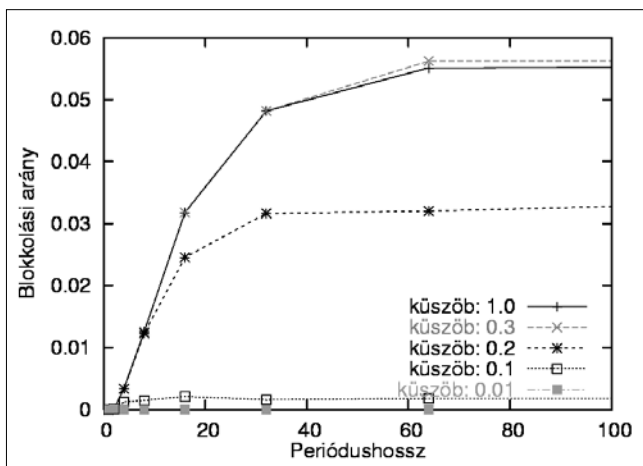
A 7. ábra azt a sejtésünket támasztotta alá, hogy alacsony blokkolási arányt csak nagy számú állapotfrissítés árán lehet elérni, és ahogy két stratégiának meg egyezik az üzenetigénye (1:8/K:0.3) és (1:16/K:0.2), a velük elérhető blokkolási arány is közel van egymáshoz. Tehát az időzítő alapú stratégiákkal nem az a baj, hogy túl nagy pontatlansághoz és ezáltal magas blokkolási

arányhoz vezetnek, mert megfelelően beállított időzí-téssel ez kellően alacsonyra csökkenthető, hanem az, hogy épp ezt a megfelelő beállítást nehéz megtalálni úgy, hogy a forgalomról nincs előzetes ismeretünk.



7. ábra
Stratégiák üzenetigénye terhelt optikai hálózatokban

A 8. ábra szerint vegyes intenzitású forgalomra sem érzékeny a küszöb alapú stratégia.



8. ábra Stratégiák teljesítménye
vegyes forgalmú optikai hálózatokban

Összességében elmondható, hogy optikai rendszerekben a küszöb alapú módszerek teljesítménye sokkal jobban függ magától a küszöb értékétől, mint IP/MPLS hálózatokban, viszont kellően alacsony küszöb használata esetén a stratégia elhanyagolható arányú forgalmi igényt blokkolásához vezet, elfogadható állapotfrissítési gyakoriság mellett.

5. Összegzés

Cikkünkben a kapcsolt hálózatokban felmerülő információpontatlansággal és az állapotfrissítés témájával foglalkoztunk. Áttekintettük, melyek a jellegzetes útvonalválasztás- és állapotleírásbeli különbségek hagyományos IP/MPLS és társított modellel kezelt optikai hálóz-

zatok között. Ezután bemutattuk, hogy milyen eredmények születtek információfrissítéssel kapcsolatban hagyományos hálózatok terén, majd ezen kutatási eredmények alapján frissítési stratégiát dolgoztunk ki optikai hálózatokra, mely annak sajátosságait is figyelembe veszi. Szimulációs eredményeink azt mutatták, hogy az IP/MPLS hálózatokban használt módszerek optikai környezetben is használhatóak, és időzítés valamint küszöb alapú módszerek keverésével olyan frissítési eljárást kapunk, ami kevésbé érzékeny a hálózat állapotváltozási sebességére.

Munkák a 6. európai kutatási keretprogram IP NOBEL projektjének (<http://www.istnobel.org>) része. Szimulációs tesztjeinkben az ETIK-ben fejlesztett LEMON generikus gráfszerkezetre támaszkodtunk (<http://lemon.cs.elte.hu>).

A harmadik szerzőt az MTA Bolyai János Alapítvány és az OM az OTKA 42211 számú posztdoktori szerződés keretei közt támogatta.

Irodalom

- [1] Liu, K.H.–Changdong Liu–Wei, J.Y., Overlay vs. integrated traffic engineering for IP/WDM networks IEEE GLOBECOM '00., Vol. 2, 27 Nov.-1 Dec. 2000, pp.1293–1297.
- [2] Sunggy Koo–Sahin, G.–Subrainianian, S., Dynamic LSP provisioning in overlay, augmented, and peer architectures for IP/MPLS over WDM networks INFOCOM 2004. 23rd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Vol. 1, 7-11 March 2004, pp.514–523.
- [3] G. Apostolopoulos–R. Guerin–S. Kamat–S. Tripathi, Quality of Service Based Routing: A Performance Perspective, ACM SIGCOMM '98, Vancouver, Canada, Aug. 1998. <http://www.acm.org/sigcomm/sigcomm98>
- [4] Sole-Pareta, J.–Masip-Bruin, X.–Sanchez-Lopez, S.–Spadaro, S.–Careglio, D. Some open issues in the optical networks control plane, Adv. Broadband Commun. Lab., Univ. Politecnica de Catalunya, Barcelona, Spain; Transparent Optical Networks, 2003. Proc. of 5th Intern.Conf. on http://personals.ac.upc.es/careglio/publications/ICTON2003_Pareta.pdf
- [5] Y. Jia–I. Nikolaidis–P. Gburzynski, Alternative Paths vs. Inaccurate Link State Information in Realistic Network Topologies, in Proc. of SPECTS 2002, San Diego, California
- [6] Ho, Pin-Han–János Tapolcai–Tibor Cinkler, Segment Shared Protection in Mesh Communication Networks with Bandwidth Guaranteed Tunnels, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 12, 2004 December, pp.1105–1118.
- [7] G. Rétvári–J. J. Bíró–T. Cinkler–T. Henk, A Precomputation Scheme for Minimum Interference Routing: the Least-Critical-Path-First Algorithm, megjelenik: IEEE, INFOCOM 2005.