

# Útvonalválasztó és hullámhossz kiválasztó algoritmusok irodalmának feldolgozása

Lakatos Zsolt (Ph.D. hallgató)

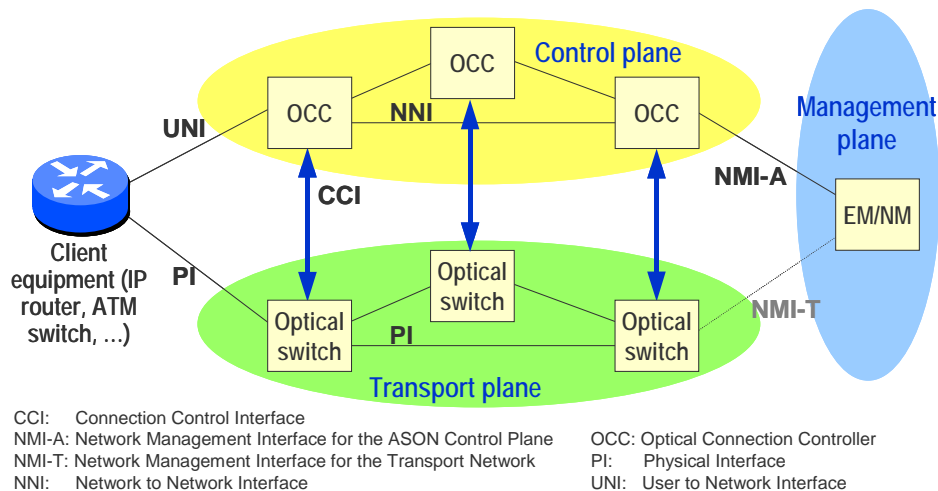
Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Híradástechnikai Tanszék

BME HT Pázmány P. sétány 1/D. Budapest H-1117

E-mail: lakatos@hit.bme.hu Tel.: +36 20 412 6993 Fax.: +36 1 463 32 63

Szemben a hagyományos szemi-permanens OTN (Optical Transport Networks) megvalósításokkal, az automatikusan kapcsolt optikai hálózatok (Automatically Switched Optical Networks, ASON) lehetővé teszik az erőforrások dinamikus kezelését, vagyis az összeköttetések automatikus felépítését és lebontását. A kapcsolt összeköttetések alapegysége az optikai csatorna (OCh) ami 2.5 Gb/s vagy 10Gb/s sáv szélességű összeköttetést jelent. A felépíthető és lebontható összeköttetések jól alkalmazkodnak a változó forgalmi terheléshez, a módosuló topológiához és az esetleges hálózati meghibásodásokhoz. A kapcsolt összeköttetésnek és a fejlett menedzsmentnek köszönhetően a hálózat képes szolgáltatási és minőségi osztályokat kezelni.

Az ASON technológia alapja a klasszikus OTN, kiegészítve fejlett menedzsment funkciókkal. A csomópontokban megvalósított menedzsmenti funkciók összessége külön menedzsment réteget alkotnak. A kapcsolt optikai hálózat transzportrétegbeli csomóponti építőeleme az OXC (Optical Cross Connect), és az ezeket vezérlő OCC-k (OXC Controller) (lásd 1. ábra).



1. ábra ASON logikai felépítése

Mivel az ASON technológiában a kapcsolatok dinamikusan épülnek fel és bomlanak le, a kapcsolatok felépítéskor meg kell határozni az egymással kommunikálni kívánó csomópontok közötti összeköttetések útvonalát. Az útvonalak meghatározását nehezíti,

hogy a hálózatban rendelkezésre álló erőforrások foglaltsága dinamikusan változik az idő függvényében (összeköttetések épülnek fel és bomlanak le igény szerint). Tekintettel arra, hogy a hálózati összeköttetések optikai csatornákból épülnek fel, az útvonal-meghatározáshoz hozzá tartozik az útvonalhoz vagy annak részeihez rendelt hullámhosszak meghatározása is. Ezt az összetett feladatot nevezzük RWA (Routing and Wavelength Assignment) problémának.

A routing algoritmusok szisztematikus feldolgozásának célja képet alkotni az ASON technológia implementálása során felmerülő lehetséges megoldásokról, valamint a más technológiákban alkalmazott megoldások adaptálási lehetőségéről.

A szakirodalomban a routingok két nagy osztálya található meg:

- csomagkapcsolt (IP) hálózatokban alkalmazott routing algoritmusok
- szemi-permanens optikai hálózatok (pl. WDM) elvezetés-tervezésénél alkalmazott routing algoritmusok (általában előrekaluláltak)

A feldolgozás első lépése a routing algoritmusok osztályozási rendszerének a kidolgozása.

Három csoportosítási kategóriát és két kiegészítő kategóriát különböztetünk meg.

Fő csoportosítási szempontok:

- döntés meghozatalakor rendelkezésre álló adatok: **lokális** (pl. szomszédos élek állapota alapján), **globális** (a teljes hálózat állapota alapján),
- döntés meghozatalának helye szerint: **központosított, elosztott (csomópontoknál)**,
- döntés érvényességi köre (hatókör): **útszakaszra** (pl. 1 hop-ra), **teljes útra**.

Ennek a többdimenziós térnek lehet még két dimenziója, az erőforrások lefoglalását meghatározó stratégia szerint:

**-forward** illetve **backward** erőforrás lefoglalási stratégia.

Egy dinamikus kapcsolat felépülése két részből áll. Először megtörténik a felépítendő kapcsolat útvonalának kijelölése, majd hozzárendelődnek az útvonalhoz a szükséges erőforrások. A **backward** lefoglalási stratégia szerint először kijelölődik a megfelelő útvonal, majd visszafelé haladva lefoglalódnak a szükséges erőforrások. Ekkor előfordulhat olyan eset, hogy a már kijelölt útvonalon a visszafelé haladó erőforrás-lefoglalás előtt más kapcsolat felhasználja a kapcsolat felépítéséhez szükséges erőforrásokat. A **forward** lefoglalási stratégia szerint már az útvonal keresése közben lefoglalódnak a szükséges erőforrások, ekkor a visszafelé-lefoglalás miatt nem blokkolódhat a hívás, de blokkolódhat akkor, ha nem talál szabad erőforrást a továbblépéshez.

- **hop-by-hop** vagy **szimultán** erőforrás-lefoglalás.

A legegyszerűbb erőforrás-lefoglalási megoldás, hogy a szükséges erőforrásokat az útvonalválasztás által kijelölt szakaszonként foglaljuk le. Mivel az útvonal keresés egy iránya lehet sikertelen is, a lehetséges megoldások között szerepel a szimultán lefoglalási stratégia, ekkor a forráscsomópont bizonyos irányokba, párhuzamosan haladva foglalja le az erőforrásokat.

Műszaki szempontból két alapvető kérdéskör merül fel. Az első esetben a megvalósítandó hálózat erőforrás-szükségletét szeretnénk meghatározni adott forgalmi, topológiai feltételek mellett, előre meghatározott szolgáltatási szint betartásával. A szolgáltatási szint kritériuma lehet hálózat szintű blokkolás, viszonylatonkénti blokkolás, illetve a védelmi mechanizmusok által biztosított rendelkezésre állás. A második problémakör a már meglévő méretezett hálózat minőségi paramétereinek meghatározása (pl. blokkolás). A méretezett hálózat minőségi paraméterei függenek a használt útvonal és hullámhossz kiválasztási algoritmustól, illetve a felkínált forgalom mennyiségétől és szerkezetétől.

A feldolgozás során figyelembe kell venni az ASON speciális tulajdonságait.

- kapcsolt OCh (nagy kapacitás),
- vonalkapcsolt,
- fejlett menedzsment réteg,
- nagy megbízhatóságú nagy sáv szélességű pont-pont kapcsolatok,
- fényvezető-közeg fizikai tulajdonságait.

Mivel a meglévő routing algoritmusok csak részben veszik figyelembe ezeket a speciális tulajdonságokat, mindenképpen szükséges adaptálásuk.

A technológia sajátosságai miatt a routing algoritmusoknak speciális követelményeket kell kielégíteniük:

- hullámhossz-konverziós képesség meglétének vagy hiányának kezelése (hullámhossz-kiosztás során),
- védelmi eljárások hatékony implementálása,
- domainek közötti kommunikáció támogatása.

A routing algoritmusok minőségi paramétereit az alábbiak szerint célszerű csoportosítani:

- Algoritmikus paraméterek:

- az algoritmus komplexitása, vagyis a futási idő és az input probléma méretének az aránya,
- futási idő (  $\sigma(n)$  )

- Útszintű minőségi paraméterek:
  - set-up time,
  - átlagos úthossz,
  - átlagos útszakasz szám

- Teljesítőképességi paraméterek:

- blokkolási valószínűség,
- erőforrás kihasználtság (utilisation),
- információ átvitel hatékonysága (control overhead),
- megkövetelt control plane-beli funkciók

- Erőforrás-szükséglet

A már rendszerezett algoritmusok teljesítményanalízise alapján választhatók ki azok a megoldások, amelyek eszköz szinten implementálásra kerülhetnek.

A teljesítmény vizsgálatok alapját a tanszék által fejlesztett ASONCLES szimulátor képezheti illetve ugyancsak a tanszéken megtalálható OMNET++ szimulátor.

Az események időbeli lefolyásának vizsgálata az ASONCLES szimulátorral jelenleg nem végezhető el, de a fejlesztési tervek között szerepel az ilyen irányú bővítés is.

#### Routing algoritmusok:

Fixed routing: előre meghatározott útvonalon vezeti el az igényt, ha nincs megfelelő mennyiségű szabad erőforrás, a hívás blokkolódik

Fixed alternate routing: előre meghatározott útvonalakból álló listából választja ki a felépítendő összeköttetés útvonalát; ha a kiválasztott útvonalhoz nincs elegendő erőforrás, az algoritmus megpróbálja újra felépíteni a hívást a lista következő útvonalán; egy hívás akkor blokkolódik, ha elfogytak a lehetséges alternatívák

Adaptive routing: a hálózat aktuális ismert állapotát is figyelembe veszi az útvonal-választás során

Mivel az ASON technológia IP optimalizált létjogosultsága lehet az MPLS illetve MPλS jelzésrendszer / routing megoldásoknak.

#### Wavelength assignment (WA) stratégiák:

A hullámhossz kijelölés során a feladat a kiválasztott útvonalon rendelkezésre álló szabad hullámhosszak közül az útvonalhoz rendelni (hullámhossz-konverzió nélküli hálózatban a teljes úthoz egyetlen hullámhosszt, hullámhossz-konverziós funkció megléte esetén a konverziós pontok közötti útszakaszokhoz egy-egy hullámhosszt).

Random WA – a kiválasztott útvonal konverziós pontok közötti szakaszaira a szabad hullámhosszak közül véletlenszerűen választ

First Fit WA – a kiválasztott útvonal konverziós pontok közötti szakaszaira a szabad hullámhosszak közül sorrendben az elsőt választja

Least Used /SPREAD WA – a kiválasztott útvonal konverziós pontok közötti szakaszaira a szabad hullámhosszak közül a (hálózati vagy részhálózati szinten) legkevésbé használtat választja

Most Used /PACK WA – a kiválasztott útvonal konverziós pontok közötti szakaszaira a szabad hullámhosszak közül a (hálózati vagy részhálózati szinten) legjobban használtat választja

További heurisztikus algoritmusok (Min product, Least Loaded, MAX SUM, Relative Capacity Loss, Wavelength Reservation, Protecting Threshold, DRCL Distributed Relative Capacity Loss- DRCL) részletes leírása (Hui Zang, Jason P. Jue and Biswanath Mukherjee: *A review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for ...*-ban található) [File: rwa\_onm.pdf]

## ***A szakirodalomban kapcsolódó publikációk bemutatása***

Megvizsgálva az ASON routingokkal szemben támasztott követelményeit, és áttekintve a jelenleg rendelkezésünkre álló szimulációs eredményeket négy megvizsgálandó műszaki probléma merült fel:

- véletlen (Random R) és az első szabad (sorrendi lefoglalás, First-Fit, FF) hullámhossz-kiosztási stratégia összehasonlítása különböző hálózati topológia, forgalomszerkezet, forgalmi források esetében
- többszálás linkmodell vizsgálata a minden csomópontban hullámhossz-konverziót tartalmazó hálózat teljesítményéhez viszonyítva, a szálak számának és a szálankénti hullámhosszak számának változtatásával
- hullámhossz-konverziót tartalmazó és ezt nem tartalmazó csomópontokból felépülő hálózat erőforrás-szükségletének vizsgálata speciális gyűrűtopológián (fix hosszú utak)
- különböző jelzésrendszer implementációkat feltételezve milyen jellegű különbségek figyelhetők meg a lokális és globális információ alapján döntő hullámhossz-kiosztási algoritmusok teljesítményében, fix útvonalválasztó algoritmus esetében

Ezeknek a kérdéseknek a megválaszolásához elengedhetetlenül szükséges az ehhez hasonló problémák már meglévő megoldásainak a felkutatása. A következőkben bemutatott cikkekben közölt megoldások, a kapcsolt optikai hálózatok vizsgálatához nyújthatnak megfelelő alapot.

**Blocking Performance Analysis of Fixed-Paths  
Least-Congestion Routing in Multifiber WDM Networks**

**Ling Li and Arun K. Somani**

**Department of Electrical and Computer Engineering**

**Iowa State University Ames IA USA**

[File: li99blocking.pdf]

ABSTRACT

A kapcsolt optikai hálózatok szimulációjára kidolgozott korai hálózati modellben, a hálózati linkek egy egyszerűsített modellje szerepelt. A linkeken rendelkezésre álló kapacitások egy egységként vannak kezelve, vagyis az optikai csatornák kizárólag hullámhossz alapon vannak megkülönböztetve. Ennek a modellnek egy természetes kibővítése a hullámhosszak optikai szálakhoz rendelése. A fizikai linkek több optikai szálból állnak össze, illetve egy szálaban több hullámhossz használható fel. Ekkor az optikai csatornák vagy hullámhossz, vagy szál paraméterben is meg lehetnek különböztetve. Ez a részletesebb modell, képes figyelembe venni a valós hálózati elemek moduláris bővíthetőségét.

Mivel egy link néhány optikai szálból áll, az optika csatornák közül többnek is azonos lehet a hullámhossza. A több azonos hullámhosszú csatorna lehetővé teszi, hogy a bejövő igény a saját hullámhosszán de tetszés szerinti szabad szálon legyen elvezetve. Ez a tulajdonság hullámhossz konverziós képesség nélkül képes nagyobb szabadsági fokot biztosítani a hálózatnak. Felmerül a kérdés, hogy a szálak számának és a szálankénti hullámhosszak számának milyen aránya képes a minden csomópontban rendelkezésre álló hullámhossz-konverziós funkciónak megfelelő hálózatminőséget nyújtani (pl. blokkolás).

Az első megfontolások alapján a probléma két végletét sikerült azonosítani. Az első esetben minden optikai szál egy hullámhosszat tartalmaz, vagyis minden optikai csatorna azonos hullámhosszú, ez az eset megfeleltethető egy minden csomópontban konvertálni képes hálózatnak. A másik véglet, ha minden hullámhossz egy optikai szálaban van megvalósítva, ekkor minden optikai csatorna különbözik a másiktól, vagyis ez megfeleltethető a hullámhossz-konverzió nélküli hálózatnak.

Az eddigi tapasztalatok alapján ez az arány jelentősen függhet a hálózat topológiájától, a forgalmi viszonyoktól, a méretezés tulajdonságaitól (linkek kapacitásától), az alkalmazott útvonal-választási és hullámhossz-lefoglalási stratégiától.

A cikk által ezekre a kérdésekre nyújtott válaszok valószínűleg teljes mértékben nem alkalmazhatóak a kapcsolt optikai hálózatnál, de az alap gondolatok átemelhetőek és adaptálhatóak.

Egy hálózat teljesítőképességét jelentősen befolyásolja az alkalmazott útvonal-választási és hullámhossz-kiválasztási stratégia. A cikkben szereplő analitikus és szimulációs eredmények adaptív útvonal-választást úgynevezett (FPLC) fixed-path least-congestion routingot használnak, véletlen vagy az első jó (first fit, FF) hullámhosszválasztással.

Az adaptív routingok teljesítményvizsgálata során referenciaként az alternatív legrövidebb út (alternate shortest path, ASP) szolgált. Az FPLC egy adaptív routing, amely a hálózat teljes ismerete alapján dönt (vagy a néhány fix út terhelési információja alapján), ezzel szemben az ASP csak lokális döntéseken alapul. A döntési mechanizmusok ilyen jellegű

különbsége valamilyen mértékben megkérdőjelezi az összehasonlítás információtartalmát.

FPLC routing működése:

Minden forrás és cél csomópont pár között előre definiálunk néhány topológiai utat (a cikk eredményei két előredefiniált utat tartalmaznak, de a vizsgálatok könnyen kiterjeszthetők többre is).

Egy hívás érkezésekor a lehetséges útvonalak közül a lehető legtöbb szabad WT-vel (Wavelength Trunk) rendelkező kerül kiválasztásra. A  $\lambda_i$  WT az LC (Light Channel)/LP (Light Path)-k halmaza, amelyek a  $\lambda_i$  hullámhosszakat használják minden optikai szálon.

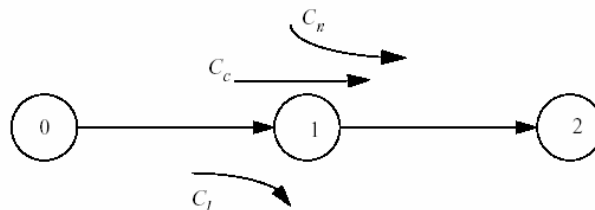
Egy linken akkor szabad egy  $\lambda_i$  WT, ha legalább egy szálán szabad a  $\lambda_i$  hullámhossz.

Egy úton akkor szabad egy  $\lambda_i$  WT, ha az utat felépítő minden linken szabad. Ha több hullámhosszon is van azonosan terhelt út ezek közül véletlenszerűen választódik ki egy. Egy hívás akkor blokkolódik, ha nincs szabad hullámhossz a megfelelő úton. A legkevésbé terhelt utak kiszámítása, történhet centralizáltan vagy elosztottan is.

A bemutatott analitikus és szimulációs eredmények egyaránt érvényesek speciális szövevény-tórusz vagy nemreguláris valós hálózati topológiára pl. NSFnet.

A vizsgálatok eredményeiből az következik, hogy a teljes konverziós képességgel rendelkező hálózat a teljesítményével, szövevény-tórusz esetben 25% FWR még az NFSNET esetén 20% FWR felel meg. Az FWR paraméter a linken lévő szálak számának és a linken lévő optikai csatornák számának aránya.

Az analitikus modell alapját egy 3 dimenziós Markov lánc képi. Egy kéthoppas mintapéldát megvizsgálva megfigyelhető hogy háromféle igény léphet be egy adott pillanatban.



**Figure 1.** Calls arriving and leaving on a two-hop path.

$C_l = 0$ . csomópontban belépő és az 1. csomópontban kilépő

$C_c = 0$ . csomópontban belépő és a 2. linken átmenő

$C_e = 1$ . csomópontban belépő és a 2. linken átmenő

Az első linket használó forgalom  $C_l + C_c$ , a második linket használó forgalom  $C_c + C_e$ .

Felhasználva a kéthoppas út speciális tulajdonságait, definiálhatóak a szükséges valószínűségek. A kétszakaszos hálózat analitikus vizsgálata rekurzióval kiterjesztető többhoppusra is.

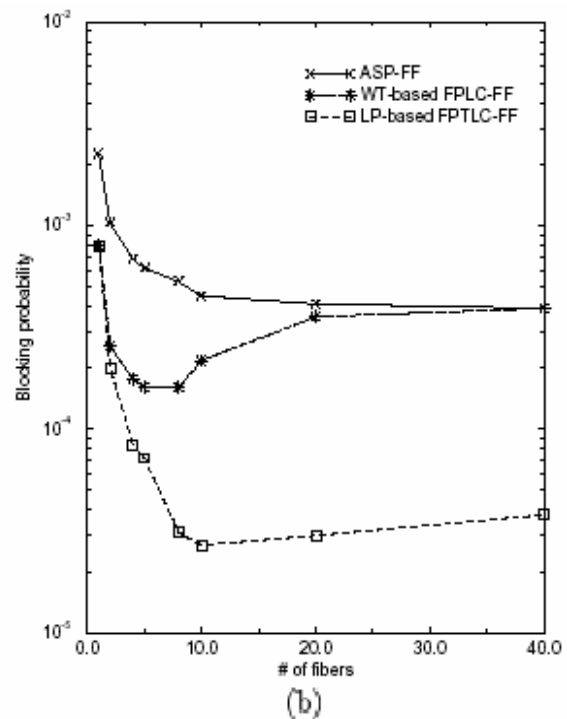
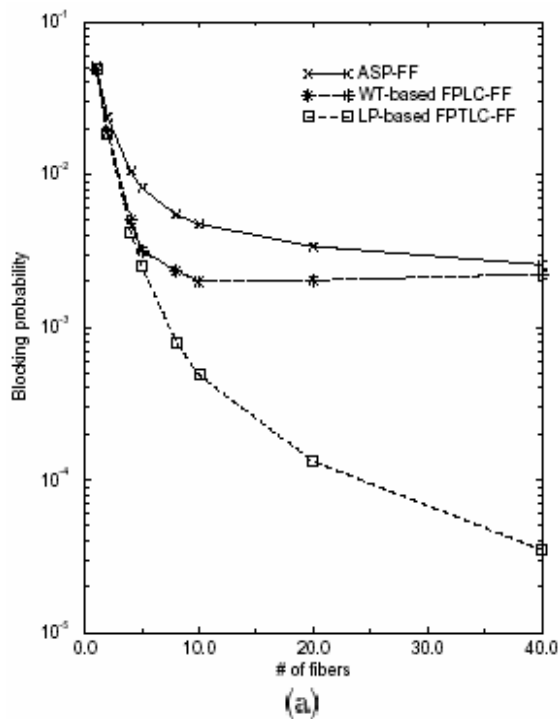
Nemreguláris hálózatok vizsgálatához be kell vezetni egy a link-terhelések közötti összefüggés-mértéket.

Az analitikus modell Poisson forgalom-forrásokat tételez fel  $\lambda_i$  érkezési intenzitással,  $\frac{1}{\mu}$  tartási idővel.

A cikk két eredménycsoportot tartalmaz. Az egyik az analitikus eredmények helyességét támasztja alá szimulációs eredményekkel, a másik az ASP a WT-alapú FPLC és az LP(Light Path )-alapú FPLC teljesítményét hasonlítja össze. Az LP-alapú FPLC nem a szabad hullámhosszak alapján, hanem a szabad utak alapján dönt.

A vizsgált hálózat minden linkjének a kapacitása 40 optikai csatorna. F legyen a linkenkénti szálak száma, W legyen a szálankénti hullámhossza száma, vagyis  $F \cdot W = 40$ . A szálak száma (F) 1,2,4,5,8,10,20,40 lépésekben változik, miközben a szálankénti hullámhossza száma  $W = 40/F$ . Az első szabad hullámhossz kerül kiválasztásra. A szövevény-tórusz esetben a felkínált forgalom 48 Erlang még az NSFnet esetében 29 Erlang volt.

Az ábrán megfigyelhető hogy mindkét hálózat esetében a több szál használatából adódó nyereség maximumát már kb. 25% (8/40) FWR értéknél eléri.





## Blocking Models of All-Optical WDM Networks under Distributed Wavelength Assignment Policies

Ssang-Soo LEE, Chang-Hyung LEE, and Seung-Woo Seo, Nonmembers

[File: Blocking Models of All-Optical WDM Networks under Distributed Wavelength Assignment Policies.pdf]

A cikk elosztott hullámhossz-kiosztási (DWA distributed wavelength assignment) algoritmust vizsgál meg (locally-most-used) összehasonítva ennek a globális változatával (globally-most-used), ezek referenciájául a véletlen kiosztási algoritmus szolgál (random). A véletlen hullámhossz-kiosztási algoritmus teljesítőképességét analitikus úton is megvizsgálja a cikk (M/M/c/c sor, egy és kétirányú gyűrűk, uniform és nem uniform forgalom mellett). A globális most-used (továbbiakban MU) algoritmus nagyobb igényeket támaszt a jelzésrendszerrel szemben (nagyobb forgalom, az információk állandó karbantartása, nagy számítási igény), mint az elosztott változata, de az elosztottságból következő lokális információk alapján hozott döntések csak szub-optimalisak.

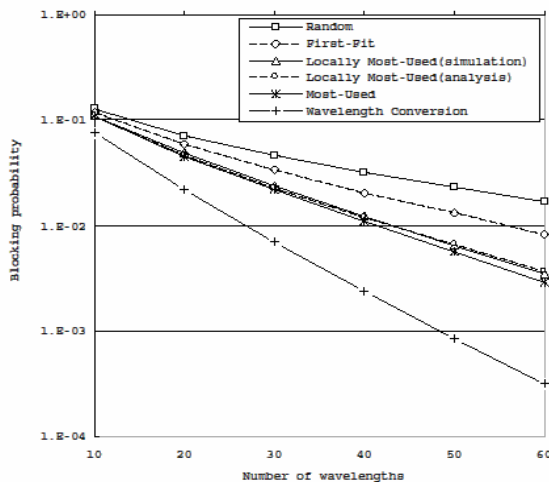
A vizsgálatok speciális topológiákon gyűrű vagy szövevény-tórusus lettek elvégezve, hullámhossz-konverziót sehol sem feltételezve. A speciális topológiákban az utak fix útvonalválasztási stratégiával lettek kiválasztva. A gyűrűk kismértékű összefüggősége miatt a kialakítandó útvonalak egymásrahatása nagymértékű.

Az LMU algoritmus a döntései során csak azokat az információkat veszi figyelembe, amelyek a forrás és a célcsomópont közötti előredefiniált utat alkotó csomópontoktól jut el hozzá.

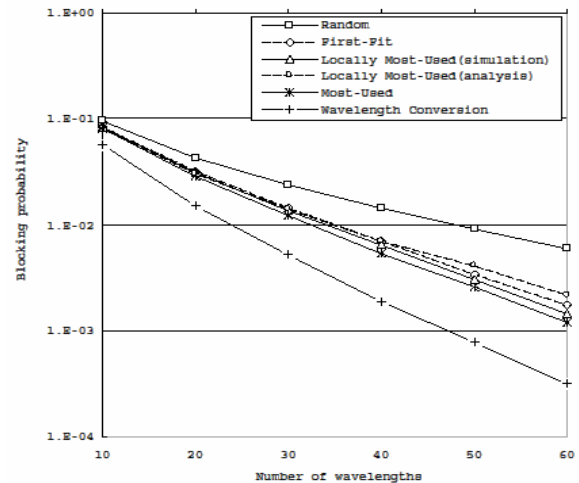
A forgalmak minden csomópontban  $\lambda$  paraméterű Poisson folyamat szerint érkeztek,  $\frac{1}{\mu}$

tartásidővel. A statisztikai adatok gyűjtése az állandósult állapot elérése után  $10^6$  híváson keresztül tartottak. A forgalom szerkezetére jellemző, hogy ha egy hívás elérkezik egy csomópontba egyenletes valószínűséggel továbbítódik a következő csomópontba.

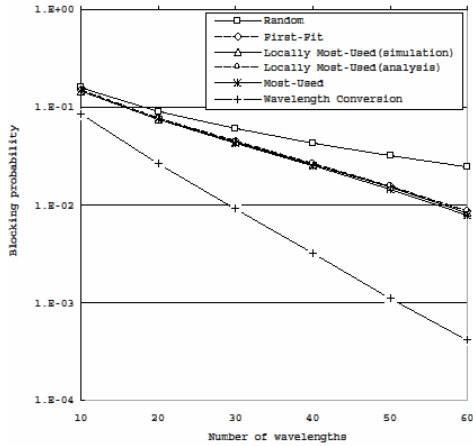
### Eredmények:



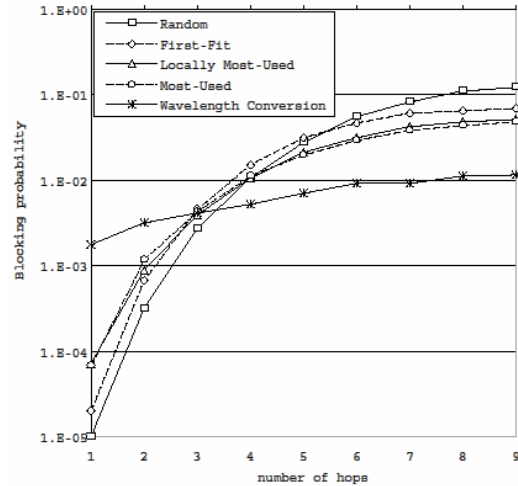
1. ábra hálózati blokkolás az optikai szárlankénti hullámhosszak számának függvényében; 10 csomópontos egyirányú gyűrű



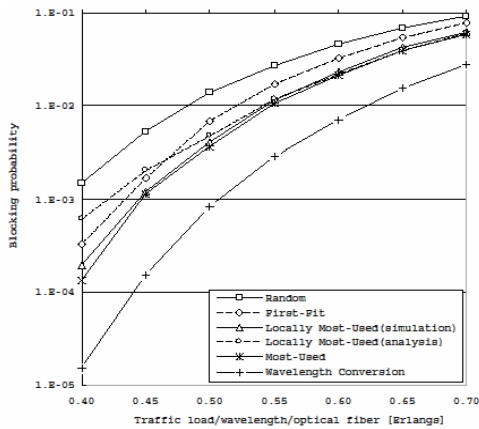
2. ábra hálózati blokkolás az optikai szárlankénti hullámhosszak számának függvényében; 10 csomópontos kétirányú gyűrű



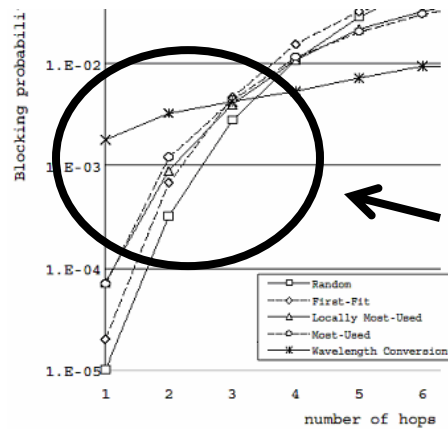
3. ábra hálózati blokkolás az optikai szálankénti hullámhosszak számának függvényében; 5x5 csomópontos kétirányú szövevény-tórusz



5. ábra hálózati blokkolás az utak hopszámának függvényében egyirányú gyűrű, szálanként 30 hullámhosszal



4. ábra hálózati blokkolás a növekvő forgalom függvényében 10 csomópontos egyirányú gyűrű, szálanként 30 hullámhosszal



6. ábra az 5. ábra egy részlete(a 3 hop-nál rövidebb utak esetén a konverzió nagyobb blokkolást eredményez mint a transzparens eset )

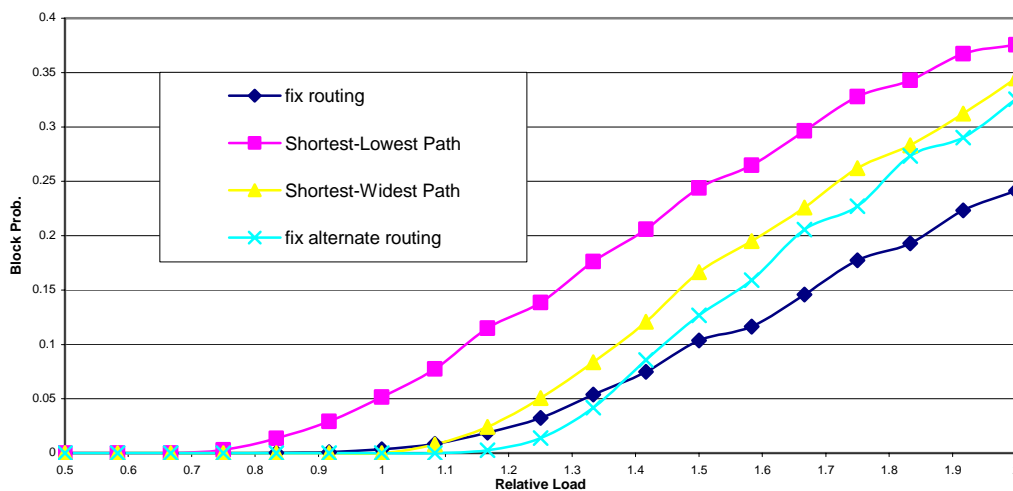
Az 1. ábrán megfigyelhető hogy az egyirányú gyűrű esetében az LMU algoritmus jobban teljesít, mint a véletlen (random R) vagy az első szabad (First Fit, FF) hullámhossz választó algoritmus. A globális információ alapján döntő MU algoritmus nem képes az ebből adódó a többlet információt hálózati blokkolásban érvényesíteni, vagyis az MU és az LMU teljesítmény azonos. A 2. és a 3. ábrán megfigyelhető hogy a kétirányú gyűrűben és a szövevény-tórusz topológiában az adaptivitás nem okoz érezhető javulást az FF-hez képest. A 4. ábra a hullámhossz kiválasztó algoritmusok változó terhelés melletti viselkedését mutatja be. A LMU és a MU algoritmus lényegesen jobban teljesít mint a véletlen és kicsivel jobban mint a FF.

Az 5. ábra a hullámhossz-kiválasztó algoritmusok teljesítmény függését vizsgálja az utak hosszának a függvényében. Megfigyelhető hogy az algoritmusok teljesítőképessége kismértékben függenek az utak hosszától. Mivel az ábrán fel van tüntetve a minden csomópontban hullámhossz-konverziós képességgel rendelkező hálózat teljesítménye,

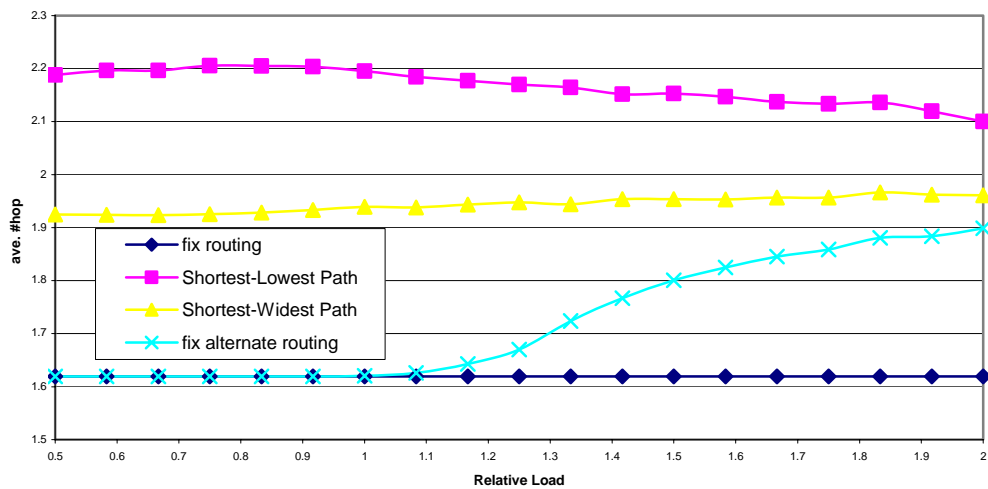
ezzel összehasonlítva korábbi hullámhossz-kiválasztó algoritmusokat az látható, hogy 3 hop hosszú utakig a hullámhossz-konverziós funkcióval rendelkező hálózat rosszabbul teljesít mint az ezzel nem rendelkező. Ennek a jelenségnek az oka a gyűrű topológia speciális tulajdonságaival magyarázható.

## Kutatási eredmények

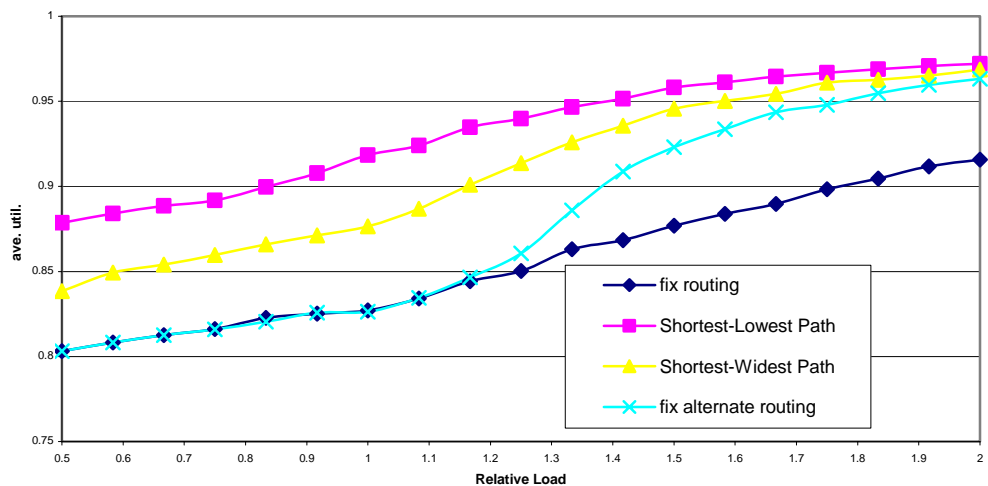
A Híradástechnikai tanszéken jelenleg zajló kutatási projektek keretében kialakításra kerültek a kapcsolt optikai hálózatok méretezésében és teljesítményanalízisében alkalmazható szimulációs eszközök. Ezeknek az eszközöknek a felhasználásával, megtörtént a szimulátorban implementált útvonalválasztó algoritmusok teljesítményének vizsgálata. A vizsgálatok iteratív eljárással méretezett hálózaton, változó forgalmi viszonyok mellett lettek megvalósítva. A 7. ábrán a Fixed Shortest Path, Alternate Shortest Path, Shortest-Lowest Path, Shortest-Widest Path [1] útvonalválasztó algoritmusok összehasonlítása látható. A méretezés a Fixed Shortest Path alapján történt, majd mindegyik algoritmus ezen a méretezett hálózaton lett vizsgálva. Az ábra a relatív forgalmi terhelés és a hálózatban előforduló blokkolás viszonyát mutatja be. Megfigyelhető, hogy egy bizonyos terhelési szint felett az alternatív útvonalválasztásból adódó többlet erőforrásfelhasználás a hálózat teljesítményének romlását idézi elő. A hálózati blokkolást meghatározó mértékben befolyásolja a viszonylatonkénti utak hossza. A 8. ábra a korábban bemutatott hálózati blokkolásokhoz tartozó úthosszakot mutatja be, az utak átlagos szakaszszámán keresztül. A 9. ábrán az egyes útvonalválasztó algoritmusok kihasználtsága látható.



7. ábra hálózati blokkolás a változó terhelés függvényében



8. ábra utak átlagos szakaszszáma a változó hálózati terhelés függvényében



9. ábra hálózati kihasználtság a változó forgalmi terhelés függvényében

[1] Z. Zsóka: ASONCLES Manual

[2] Automatically Switched client-Independent Optical Network  
Automatic Switched Optical Networks Architectures, 2001  
lásd: [www.eurescom.de](http://www.eurescom.de)

**Blocking in Wavelength Routing Networks, Part II: Mesh Topologies**  
**Yuhong Zhu, George N, Rouskas, Harry G, Perros**  
**Department of Computer Science, North Carolina State University, Raleigh**  
[File: ITC16.pdf]

Áramkör kapcsolt WDM hálózatokat vizsgál fix vagy alternatív útvonalválasztással és véletlen hullámhossz-lefoglalással. Képes figyelembe venni a hullámhossz-konverziót is, de működik ennek hiányában is. A számítások érvényesek nem uniform forgalom esetén is. Az analitikus modell alapja egy iteratív útdekompozíciós eljárás. Az adott hálózatot utak halmazaira kell bontani és ezeket a halmazokat szeparáltan kell kezelni. Az iteráció addig folyik amíg a blokkolási valószínűség nem konvergál, vagyis az hullámzás mértéke egy bizonyos intervallumon belül nem marad. Az igényforrások  $\lambda$  paraméterű Poisson eloszlásúak  $\frac{1}{\mu}$  tartásidővel. Fix routingnál egy halmazban egy út van. Ha a halmazt alkotó út három hop-nál rövidebb, akkor a blokkolási valószínűség egy Markov folyamat segítségével kerül kiszámolásra. Ha az út hosszabb mint három hop, akkor a blokkolás iteratív eljárással számolódik ki. Megtalálható a dekompozíciós algoritmus forráskódja is. Az analitikus megoldások elméleti alapját az Overflow modell adja. A megoldás működőképessége mintapéldákon keresztül lett bizonyítva (NSFnet). Fix és alternatív routing összehasonlító elemzése.

**Wavelength-Routed Optical Networks: Linear Formulation  
Resource Budgeting Tradeoffs, and a Reconfiguration Study**

Dhritiman Banerjee    Biswanath Mukherjee  
Hewlett Packard      Department of Computer Science  
[File: wavelength-routed-optical-networks.pdf]

**Performance of Alternate Routing Methods in All-Optical Switching Networks**

Hiroaki Harai, Masayuki Murata and Hideo Miyahara  
[File: harai97performance.pdf]

több hop-os utak nagyobb valószínűséggel blokkolódnak  
(különösen igaz a hullámhossz-konverziót nem tartalmazó hálózatokra)  
kidolgoztak egy trunk reservation alapú alternatív routingot  
közelítő analitikus kiértékelés  
a kidolgozott routing előnyei még jelentősebbek a különböző hullámhossz-kiosztási  
stratégiák figyelembevételénél  
az analitikus módszerek helyessége szimulációs eredményekkel való összehasonlítással  
lettek bizonyítva