



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

Hauer Cecília

KÖRNYEZETBARÁT TÖBBRÉTEGŰ HÁLÓZATOK:
HOGYAN CSÖKKENTHETŐ AZ ENERGIAFOGYASZTÁS?

KONZULENSEK

Dr. Cinkler Tibor

Dr. Hegyi Péter

BUDAPEST, 2011

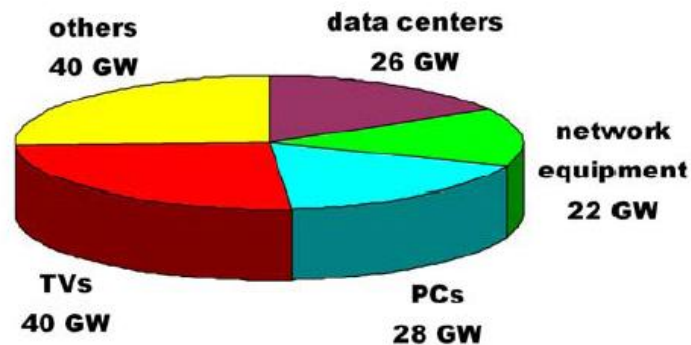
Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	1
Bevezetés	2
Optikai hálózatokról röviden	4
A hullámhossz-gráf, mint modell	6
Szimuláció hullámhossz-gráfon.....	6
Szimulátor: Egy igény elvezetésének lépései:	7
Röviden a forgalomterelésről.....	7
Súlyozás.....	9
Szimulációs eredmények értékelése.....	14
Összegzés.....	24

Bevezetés

A korszerű infokommunikációs rendszerek fenntartható növekedésének kulskérdése az energiatakarékos üzemeltetés. 2008-as adatok szerint az infokommunikációs technológia (ICT) eszközeinek energiafogyasztása becslések szerint az elsődleges energiafogyasztás 4%-át teszi ki, és ez az érték 2020-ra várhatóan megduplázódik. [11] Nem kétséges, hogy nagyon sürgető probléma az ICT ökológiai lábnyomát mérsékelni.

A „zöld IT” így mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból időszerű téma. Az



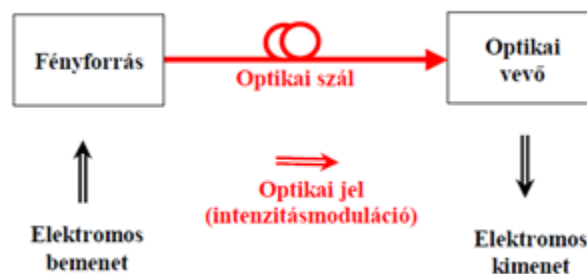
1. ábra: Működésben lévő ICT eszközök fogyasztása világviszonylatban (2007. évi átlag) [7]
információs és kommunikációs rendszerek, készülékek teljes energiafelhasználása ma

már nagyobb, mint az autóiparé és ebből csak az interneté több mint évente 100 millió kWh és mindez persze a költségekben is megmutatkozik: az IT-kiadások egytizedét jelenleg az energiaszámlák teszik ki és előrejelzések szerint ez hamarosan a felét is elérheti. Ezek mellett a környezetet károsító hatásról sem feledkezhetünk meg: kutatások szerint a teljes IT-ipar ugyanannyi üvegházhatású gázt bocsát ki, mint a világ légi közlekedése. [2]

Ahhoz, hogy egy adott töbrétegű hálózat fogyasztása alacsony legyen, érdemes nem csak a technológia fejlesztése, hanem a hálózati paradigmák újragondolása is. Lehetséges például az optikai áramkörkapcsolásnak nagyobb teret biztosítani, az elektronikus csomagkapcsolás mennyiségének csökkentése mellett. Új architektúrák és hálózatüzemeltetési stratégiák kidolgozása a cél, amelyek valamennyi esetben az összfogyasztást csökkentik. Számos konferencia előadás és folyóirat-cikk foglalkozik ezzel a témával itthon és külföldön egyaránt. A Green Networking téma két olyan nagyszabású Európai Unió kutatási keretprogrambeli projekthez is kötődik, mint a BONE (Building the Future Optical Network in Europe) és a The Network of Excellence (NoE) e-Photon/ONe.

Optikai hálózatokról röviden

Optikai távközlés esetén az információ hordozója fény, átviteli közege a fényszál. Egy fényszál több csatornás átvitelre képes, ahol az egyes csatornák különböző hullámhosszúságú fényeket jelentenek, így ezeket hullámhosszcsatornáknak hívjuk. A WDM (Wave Division Multiplexing) technológia teszi lehetővé, hogy a különböző hullámhosszak egy fényszálba multiplexálhatók.



2. ábra: Optikai összeköttetés blokkvázlata [13]

Az optikai távközlés előnyei közé tartozik a nagy adatsebesség, a magas érzéketlenség az elektromágneses interferenciára, az alacsony csillapítás és bithiba-arány, illetve hogy azonos átviteli közegen valósítható meg a kétirányú jelátvitel. Optikai hálózatok esetében nagy a működési hőmérséklettartomány.

Optikai átvitel során a jel továbbítása fény formájában történik az adóegységtől a vevőegységig, átviteli közeg a fényszál. Az adóegység az elektromos jelet fényvé alakítja, majd betáplálja az optikai szálba. A vevőegység a beérkező fényjeleket elektromos jellé alakítja vissza a későbbi jelfeldolgozás céljából. Az optikai kábelben terjedő fény teljesítményvesztéssel érkezik a végpontra, más szóval csillapítást szenved. Az optikai láncon elhelyezett esetleges illesztések további veszteség okozói.

Mérési és karbantartási célból a lánc mindkét végére terminálokat, vagy rendezőket szerelnek, ahol az adóegységből, vagy a vevőegységből kijövő vezetéseket optikai csatlakozókkal kötik össze más vezetékekkel. Ezek a csatlakozások szintén veszteségnövelő tényezők. A láncban található illesztések és csatlakozók hatására a fény egy része visszaverődik.

Az optikai hálózatokhoz szorosan kötődő fogalom a fényút. A fényút egy optikai csomópont elektronikus rétegéből indul ki és egy másik optikai csomópont elektronikus rétegéig tart. Több optikai csomóponton áthaladhat, de közben nem érinti az elektronikus réteget. Egy-egy forgalmi igény hálózatbeli útvonala egy, vagy több fényút összefűzésével jön létre.

Fontos megjegyezni, hogy a hullámhosszcsatornák kapacitása általában sokkal nagyobb, mint egy forgalmi igény sávszélessége. Lehetőség van ezért az elektronikus rétegben több igény forgalmát összefogva elvezetni egy fényúton. Ezt hívjuk forgalom-kötegelésnek (grooming). A hullámhosszak fényszálakban való összefogását hullámhossz-kötegelésnek hívjuk. Lehetőség van továbbá hullámhosszváltásra is, de ez modellünkben csak az elektronikus rétegben történik.

A dolgozatomban vizsgált kétrétegű hálózat felépítésére jellemző, hogy legalul helyezkedik el a WDM-et alkalmazó optikai réteg, felette pedig az elektronikus réteg (SDH, SONET, ATM). Ezekre épül általában az IP réteg, amely az igények forrásának vehető.

Modellünkben feltételezzük, hogy a fényutak felszakíthatóak. Fényút vágásakor a fényút eredeti forgalma az elektronikus rétegbe kerül, más forgalmakkal kötegelhető lesz, majd ezt követően visszakerül az optikai rétegbe. Így egy fényút helyett két fényút keletkezik, melyek a felszakítás csomópontjában végződnek, illetve kezdődnek. A két új fényút ugyanúgy viselkedik, mint bármelyik már létező fényút.

A fényutak felszakításának ára a forgalom szüneteltetése, illetve az alkalmazott optikai-elektronikai átalakítók magasabb száma. Amennyiben a fényutak tördelését átgondolatlanul alkalmazzuk, a megnövekedett optikai-elektronikai átalakító igény miatt vissza kell utasítanunk forgalmi igényeket. [1]

A hullámhossz-gráf, mint modell

Modellként egy olyan eszközre van szükség, amely leképezi a valós hálózati topológiát, információt hordoz a hálózati csomópontok típusáról, felépítéséről. Fontos tudnia a csomópont aktuális állapotáról, azaz hogy az igények elvezetése milyen útvonalon történt, illetve mennyi és milyen erőforrás került lefoglalásra. Ezen feltételeknek megfelel egy speciális gráf, az ún. hullámhossz-gráf. [1] A valós hálózati gráfból kiindulva generálható a hullámhossz-gráf. Az egyes hálózati csomópontokat a kiinduló gráf pontjai, a hálózati összeköttetések pedig a gráf élei lesznek. A modell úgy lesz teljes, ha a csomópontokat kicseréljük egy-egy részgráfra és az eredeti gráf éleit pedig annyi éllel helyettesítjük, ahány hullámhossz használata az adott két hálózati csomópont között lehetséges. A részgráf pontjai kapcsoló-portok, míg az élek csomóponton belül lehetséges átmeneteket, végződéseket, átalakításokat jelentenek. A részgráffal modellezett csomópont a modellezett hálózati csomópont működését, valamint aktuális beállításait, állapotát tükrözi. Értelemszerűen a hullámhossz-gráf egy irányított gráf, mivel az igényeknek forrása és célja van. A tényleges hálózati csomópontokat modellező részgráf tartalmazza a belépő és kilépő optikai portokat. Egy-egy ilyen belépő/kilépő port annyi gráfponttal adható meg ahány hullámhosszat kezelni képes. Az érthetőség kedvéért ezeket a továbbiakban alportnak hívjuk.

A hullámhossz-gráfok nagy előnye, hogy a legrövidebb utat kereső algoritmusok érvényes, megvalósítható útvonalakat adnak meg, mert a gráf tartalmaz ehhez elegendő információt a hálózatról. A hullámhossz-gráf éleinek súlyozásával üzemeltetői magatartást tudunk modellezni. Például meg tudjuk határozni a hullámhosszcsatornák feltöltési sorrendjét. A csomópontokon belüli élsúlyokkal egyebek között az elektronikus réteg használatának valószínűsége befolyásolható. [1]

Szimuláció hullámhossz-gráfon

Egy forgalmi igény elvezetése nem mást jelent, minthogy megvizsgáljuk, hogy milyen útvonalon továbbítható a forgalom. Ezt követően megvizsgáljuk, hogy megvalósítható-e a vizsgált útvonal, azaz áll-e rendelkezésre megfelelő számú erőforrás: optikai-

elektronikai átalakító, ill. szabad kapacitás a hullámhosszesatornában. [1]

Szimulátor: Egy igény elvezetésének lépései:

1. Forgalmi igények elvezetése hullámhossz-gráfon, legrövidebb utat kereső algoritmussal
2. Erőforrások lefoglalása a választott útvonal számára: az adatszerkezetben tárolt szabad kapacitások, szabad optikai-elektronikai átalakítók (OE, EO) elegendők?
3. Minden egyes igény elvezetése, illetve felszabadítása után a hullámhossz-gráfot frissíteni kell, hogy az útkereső ne találhasson az útvonalkereső nem létező útvonalat

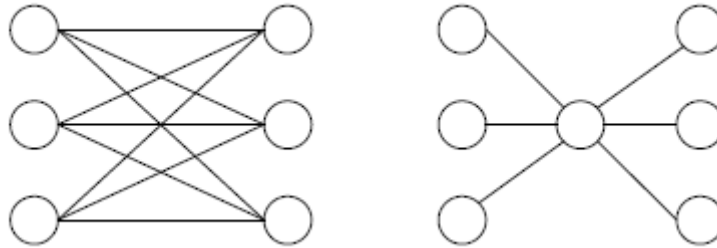
Röviden a forgalomterelésről

Mivel fő célunknak tekintjük, hogy a hálózati eszközök, és ezáltal a hálózat fogyasztását a minimumra csökkentjük – és ez együtt jár az energiára fordított költségek minimumra csökkentésével –, így a kiválasztott útvonalakat ilyen szempontból is vizsgáljuk. Az érkező forgalmi igények elvezetésére különböző lehetőségek adódnak, ezek mind különböző költségűek. Mivel a csomópont állapota folyamatosan változik, fontos, hogy a csomópontot a hullámhossz-gráfban modellező gráf a különböző költségű megoldásokat különböző módon, azaz különböző súlyú útvonalakon tegye elérhetővé.

Egy fényút egy csomópontban kezdődik vagy végződik, ekkor átmenetet kell biztosítanunk az optikai és az elektronikai réteg között. Ha áthalad rajta, akkor csak optikai eszközök lefoglalására van szükség. Az éppen elvezetés alatt álló forgalmi igényt pedig lehet már létező fényút forgalma mellé kötegelni annak végpontjában, vagy pedig új fényutat létrehozni elvezetéséhez. Ez is mind költség-szempontról érdekes, hiszen a már létező fényutak használata nyilván alacsonyabb költséggel jár az üzemeltető szempontjából, mint az új fényutak létrehozása. Negyedik átmenetnek tekinthető a felszakítás, de ez csak létező, optikai rétegen keresztülhaladó fényútnál lehetséges.

A csomóponton belüli élek költségeit végpontjainak típusa határozza meg, ami jelentősen egyszerűsíti a modell leírását. Minden egyes be-, illetve kimenő port minden egyes hullámhosszának (alportok) megfeleltethető egy-egy gráf-pont. Tehát ha a részgráf portja n darab hullámhosszt képes kezelni, akkor $2 \cdot n$ alportot feleltetünk meg neki (ki és be irány miatt) Minden bejövő alportból mutathat el a vele azonos hullámhosszat továbbító kimenő alportokba. Az élek száma csökkenthető, ha hullámhosszanként bevezetünk egy-

egy segédpontot, amelybe minden adott hullámhosszat továbbító bejövő alportból mutat él és amelyből minden adott hullámhosszat továbbító kimenő alportba mutat él.



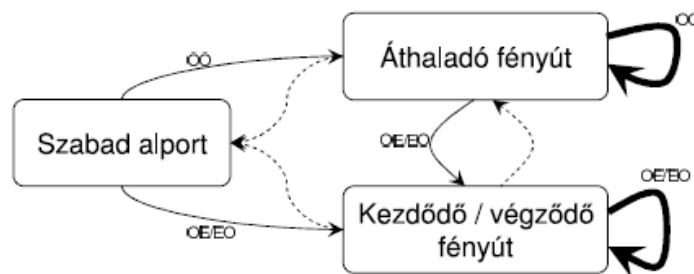
3. ábra: Az élek számának csökkentése segédponttal [1]

Az alport és egy másik alport, vagy az elektronikus réteget reprezentáló gráf-pont között közvetlen él van, akkor azon az alporton már egy meglévő fényút halad át. Tehát a segédpont bevezetésével nem csak az élek számát lehetett csökkenteni, hanem segít abban is, hogy megkülönböztethető legyen egymástól egy foglalt, vagy egy szabad alporton keresztülhaladó forgalmi igény.

Az élkészlet mindig az aktuális igények szerint alakul, tehát folyamatosan változik.

Kezdetben az összes alport szabad, az érkező forgalmi igénynek mindenképpen új fényutat kell foglalni. Egy alport (függetlenül attól, hogy bemenő, vagy kimenő irányú) az alábbi három állapotban lehet:

1. szabad állapot
2. áthaladó fényutat továbbító állapot
3. fényutat kezdő, vagy végződő állapot



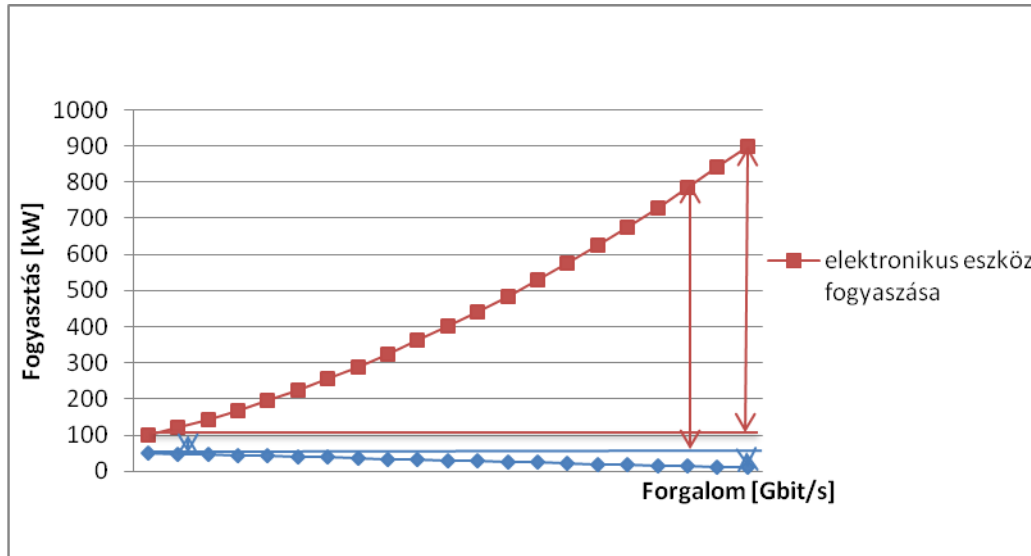
4. ábra: A csomópont lehetséges állapotátmenetei [1]

Súlyozás

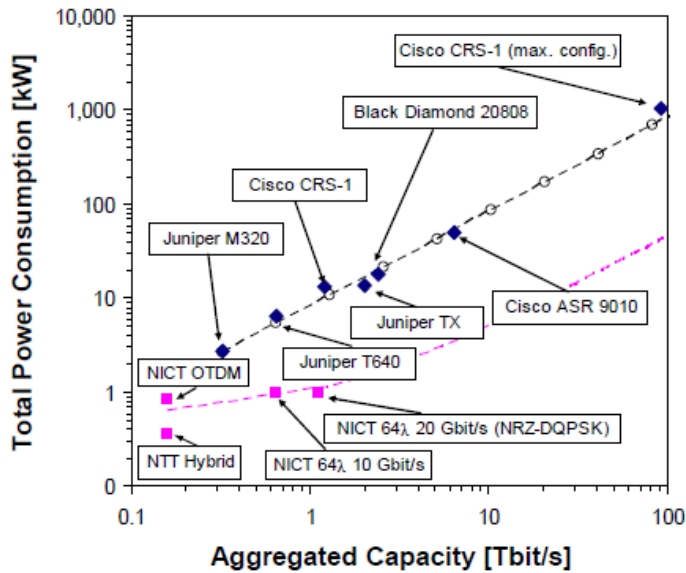
Az elektronikus réteg elérésére három lehetőség van: új, már létező, illetve felszakított fényúton keresztül. A legnagyobb késleltetést az okozza, ha egy áthaladó fényút felszakításával kerül a forgalom az elektronikus rétegbe. Érdeemes a felszakításokat kerülni, mert így jelentősen csökkenthető az új igények elvezetése által okozott késleltetés. Az esetek többségében azonban a szempontok egymással ellentétesek lehetnek, attól függően, hogy melyiket vesszük figyelembe, különböző útvonalak adódnak. Előfordulhat azonban az is, hogy olyan útvonalak adódnak, melyek a fontosabb szempont szerint egyforma súlyúak. Ilyenkor érdemes megvizsgálni azt, hogy a többi szempont szerint melyik lehet az előnyösebb. Ezért egy olyan súlyozási rendszerre van szükség, melynek segítségével nem csak elsődleges, de másodlagos és harmadlagos szempontok is figyelembe vehetők. Például két egyforma ugrásszámú út közül azt vesszük figyelembe, amelyik kevesebb felszakítással jár. Ha pedig mindkettő egyforma számú felszakítással jár, akkor azt választjuk, amelyik kevesebb fényúton halad át. A bemutatott forgalomterelési célok, illetve az azokat támogató szempontok sorrendezése az élek különböző súlyozásaival valósíthatók meg. A gráf szerkesztési módját úgy adtam meg, hogy a felsorolt szempontokat jól jellemezi az útvonalban bizonyos élek előfordulása, illetve hiánya. Így a szempontok fontossága a jellemző éltípusok költségével jól leírható.

Komoly kihívást jelent a hálózat eszközeinek fogyasztását meghatározni, illetve erre vonatkozó adatokat találni. A szakirodalomban megtalálható mérési módszerek és számított-becsült értékek. Ennek több oka is van, ezek egyike, hogy az eszköz fogyasztása az elemei fogyasztásának összegével becsülhető, jelentősen befolyásolja a hűtés mértéke és módja is. Természetesen komoly tényezőt jelent a sávszélesség és a forgalom is: egy példát említve a forgalom függvényében az elektronikus eszköz fogyasztása gyorsabban, lényegében négyzetesen nő, míg az optikai kis mértékben csökken. Mondhatjuk, hogy ezért a elegendő az eltéréssel számolni a kiindulási forgalom és a megnövekedett forgalom között, mivel ehhez képest az optikai eszköz fogyasztása nagyságrendileg elhanyagolható. Ha utóbbit is figyelembe vennénk, az csak még

pontosabb eredményt adna. A forgalomfüggő, adaptív súlyozással megvalósuló útvonalválasztás érdekes eredményeket hozhat.

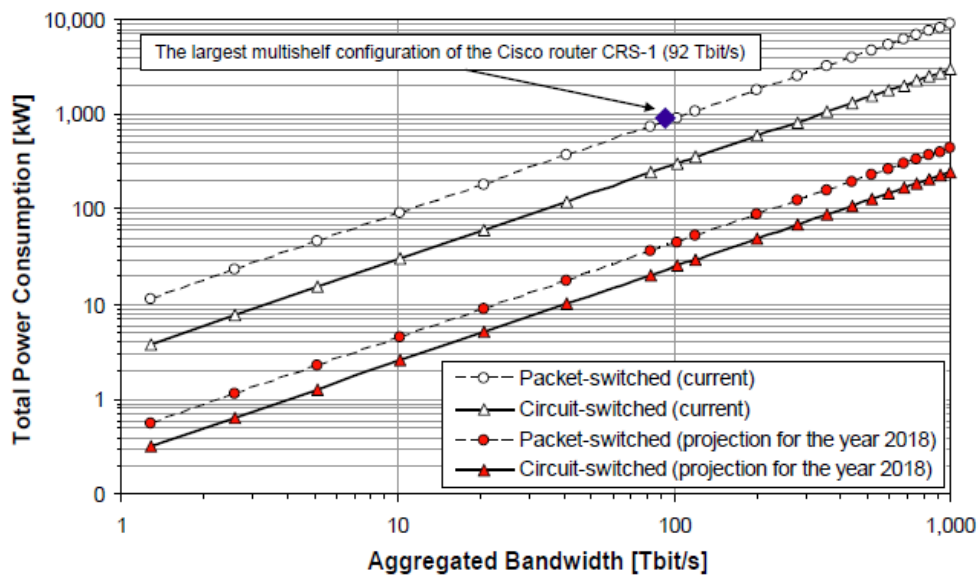


Az Európai Unió egyik, az idén tavasszal lezárult projektjének egyik fontos célja volt, hogy becslést adjon a gerinchálózat különböző típusú nagy-kapacitású csomópontjainak, ill. eszközeinek fogyasztására. A fenti ábrán mutatja a jelenleg a piacon kapható, maximálisan 100 Tbit/s kapacitású elektronikus csomagkapcsolt routerek fogyasztási adatait. A legnagyobb multishelf konfigurációja a Cisco CRS-1 routernek a teljes kapacitása 92 Tbit/s és 80 rekeszre van szüksége, hogy a hálózati eszközöket tárolja, amely így akár 1 MW-ot is fogyaszthat. Amint azt az ábra is mutatja természetesen léteznek jelenleg is nagy teljesítményű routerek, mint a Black Diamond 200808 (Extreme Network) és a Junipernek az M320-a modellje, illetve a T-széria, tovább teljesen optikai és hibrid csomagkapcsolt routerek is. Egyértelmű, hogy az optikai routerek kevesebbet fogyasztanak, ugyanakkor kapacitás mellett, mint az elektronikus modellek, de nem tartalmazzák az összes funkciót, amik általában implementálva vannak az elektronikus nagy-teljesítményű routerekben.



5. ábra: Példák jelenlegi nagy-teljesítményű elektronikus IP-routerre és néhány modern, nagysebességű optikai routerre [7]

Fontos észrevenni, hogy az áramkörkapcsolt routerek mindig kevesebbet fogyasztanak, mint a csomagkapcsoltak, akár elektronikus, akár optikai eszközről van szó. A [7] becslése olyan gerinchálózati csomópontokra vonatkozik, amelyek megvalósítható nagykapacitású, elektronikus és optikai technológiát, ill. áramkör- és csomagkapcsolású



6. ábra: Elektronikus csomag- és áramkörkapcsolt csomópontok teljesítmény fogyasztása [7]

eszközöket tartalmaznak. A fenti ábra az elektronikus gerinchálózati csomópontra vonatkozó eredményeket mutatja. Jól látható, hogy a fogyasztás négyzetesen nő a növekedő aggregált sávszélességgel. Dolgozatomban a modell ezt a szempontot nem vette figyelembe, de fontos megjegyezni, hogy a forgalom nem egy elhanyagolható tényező.

1. táblázat: 320 Gbit/s átviteli sebességű csomagkapcsolt csomópont fogyasztási értékei [3]

Block	Functions implemented	Power Consumption (W)
Line card 40 Gbits/s		
Transceiver	Laser (modulator) driver, TIA, postamp., equalization, clock and data recovery, mux/demux	5.9
PHY	Encoding/decoding, scrambling/descrambling, FEC	3.4
Framer/MAC	Mapping, framing, OH processing, payload processing, MAC	30.6
TP/FE	Packet processing, classifying, table lookup, packet forwarding	183.6
Fabric interface	Switch fabric protocol, port queuing, TP/FE interface	61.2
Memory	Packet memory, lookup table, configuration parameters	13.6
Subtotal line card (40 Gbits/s)		298.3
Line cards (8 × 40 Gbits/s=320 Gbits/s)		2,386.4
Switching fabric (320 Gbits/s)		
Packet Switch	Packet switching capacity of 320 Gbits/s (full duplex)	224.4
Interconnects		
Backplane	Board-to-board interconnections, high-speed transceivers (2.5 mW/Gbits/s)	0.8
Total power consumption (320 Gbits/s)		2,611.6

TIA, transimpedance amplifier; FEC, forward error correction; OH, overhead; PHY, physical layer functions/devices; MAC, media access control functions/devices; TP/FE, traffic processor/forwarding engine.

Számításaim [3] -ra alapozva végeztem.

A táblázat adatai alapján elmondható, hogy egy vonali kártya fogyasztása megegyezik az üres kártyaszekrény fogyasztásával. Ennek igazán nagy jelentősége akkor lenne, ha azt is vizsgálnánk, hogy a nem használt csomópontokat érdemes-e lekapcsolni, idle állapotba tenni, hogy így csökkentsük a felhasznált energiát. Megállapítható, hogy csak akkor érdemes, ha egy vonali kártya sincs bekapcsolva egyébként nem érdemes. A hálózatnak ilyen jellegű vizsgálata későbbi céljaim közé tartozik.

Maximális fogyasztás, amennyiben a váz (chassis) minden kártyája (LC) aktív forgalmat kezel:

$$P = 9630 \text{ W [12]}$$

$$16P_{LC} + P_{\text{üres_chassis}} = 17P_{LC}$$

$$P_{LC} = \frac{9630}{17} = 566,47 \text{ W}$$

Cisco CRS-1 16-Slot Single-Shelf System

Performance: 1,2 Tbit/s sávszélesség

Egy Line Card (vonali kártya) portjainak adatai:

1-port	OC-768c/STM-256c packet over Synchronous Optical Network (POS)	1*40 Gbit/s = 40 Gbit/s	566,47 W
4-port	OC-192c/STM-64c POS/Dynamic Packet Transport (DPT)	4*10 Gbit/s = 40 Gbit/s	141,61 W
16-port	OC-48c/STM-16 POS/DPT	16*2,5 Gbit/s = 40 Gbit/s	35,40 W
8-port	Gigabit Ethernet	8*10 Gbit/s = 80 Gbit/s	70,80 W
4-port	Gigabit Ethernet	4*10 Gbit/s = 40 Gbit/s	141,61 W

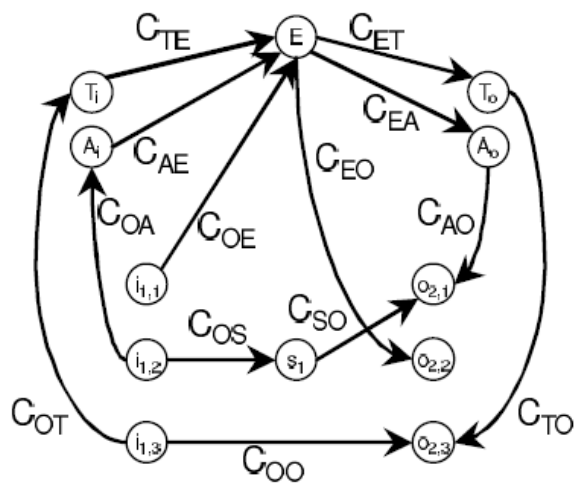
Szimulációs eredmények értékelése

Szeretném megmutatni, hogy gerinchálózatokban sem a tisztán optikai, sem a tisztán elektronikus eszközhasználat nem eredményez hatékony megoldást a költséges energiafelhasználás problémájára. Ezt a gondolatot egy többrétegű hálózatot modellező, ún. hullámhossz-gráfon [3] végzett szimulációs eredményekkel támasztom alá, ahol az útvonalválasztás révén érhető el az energiafogyasztás csökkentése. Az eredményből kitűnik, hogy a két technológia kombinációja révén megállapítható az energiafogyasztás minimuma.

A csomóponton belüli élsúlyok állításával lehet az útvonalválasztást befolyásolni. Alapvetően három szempontot lehet figyelembe venni. Szempont lehet, hogy a forgalmi igények elvezetésekor minél kisebb ugrásszámúak legyenek az útvonalak, hiszen így foglalja a legkevesebb fényszál kapacitást. Minél hosszabb az út, annál több fényszál kapacitást kell foglalni, így megnő az igények számára foglalt összkapacitás.

Törekedhetünk arra is, hogy minél kevesebbszer kerüljön fel az elektronikus rétegbe az igény, mert ezzel mind jelentős terhelést, költséget és késleltetést eredményezhet. Tehát például hiába áll csak néhány ugrásból az igény útvonala, ha sok fényúton halad át.

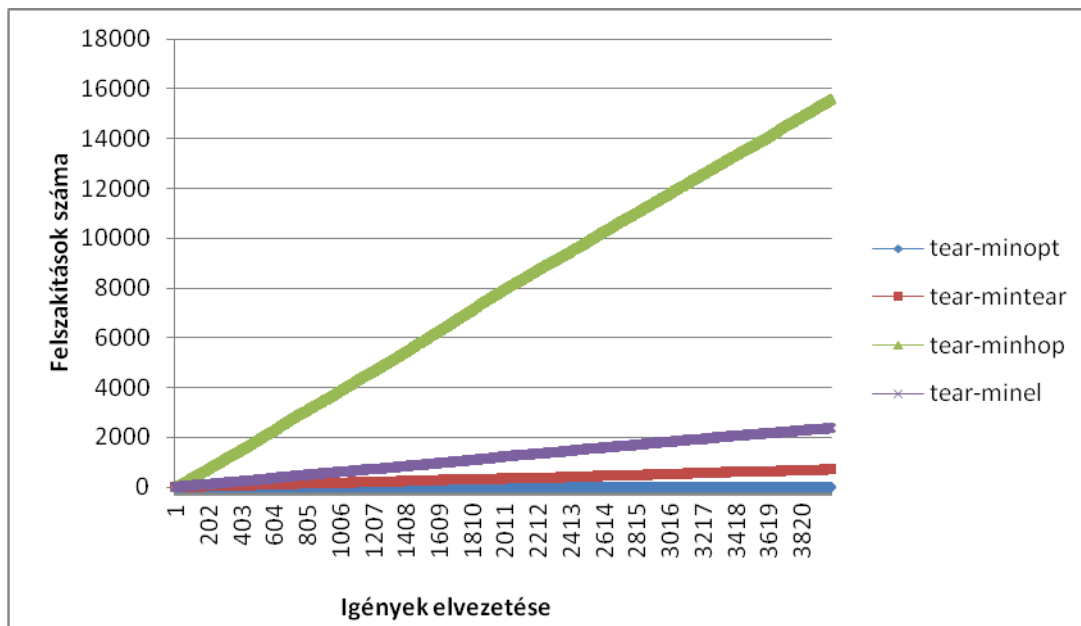
Az elektronikus réteget érinti a felszakítás esete is



7. ábra: Csomóponton belüli költségosztályok [1]

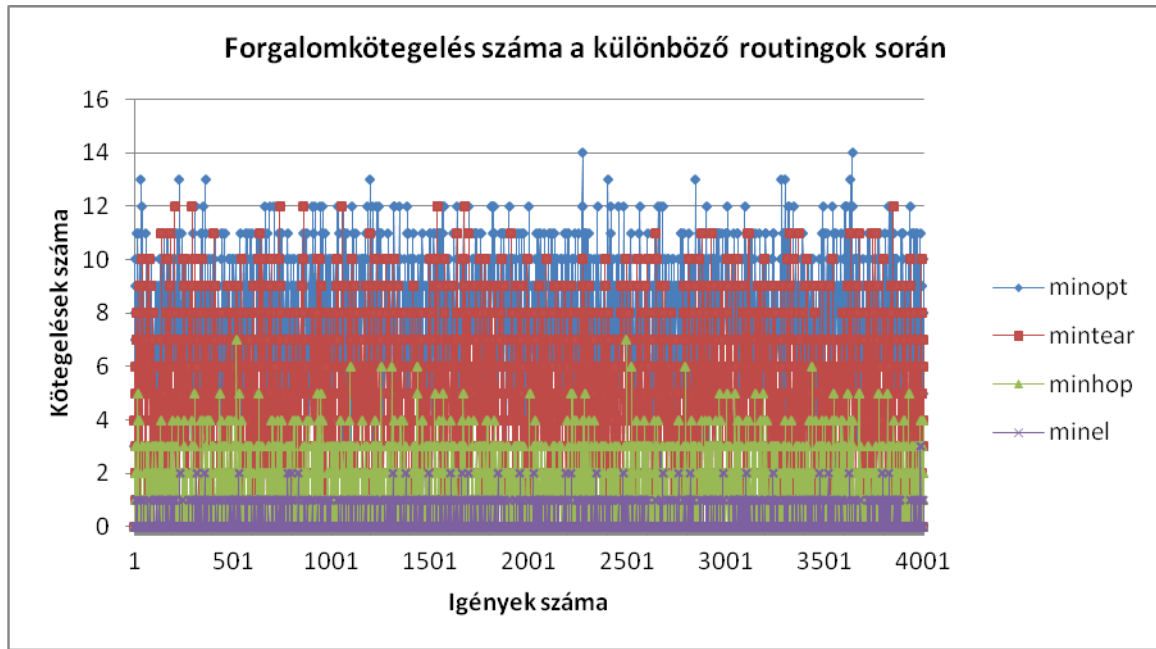
Ahhoz, hogy megmutassam, hogy sem tisztán az optikai, sem tisztán az elektronikus technológia nem jelent kizárólagos megoldást a nagy teljesítményigényű és költséges hálózati igények elvezetésére, szükséges volt a két szélsőséges esetet előállítani. A fentebb említett és már kidolgozott [1] súlyozási elvek mellett így megjelent egy negyedik eset is: optikai réteg minimális használata. Ez nem más jelent, minthogy nincsen optikai rétegen áthaladó fényút.

	<i>legrövidebb út</i>	<i>elektronikus réteg minimális használata</i>	<i>legkevesebb szakítás</i>	<i>optikai réteg minimális használata</i>
<i>elsődleges</i>	ugrásszám	fényutak száma	szakítások száma	ugrásszám legyen 1
<i>másodlagos</i>	szakítások száma	szakítások száma	fényutak száma	szakítások száma
<i>harmadlagos</i>	fényutak száma	ugrásszám	ugrásszám	fényutak száma

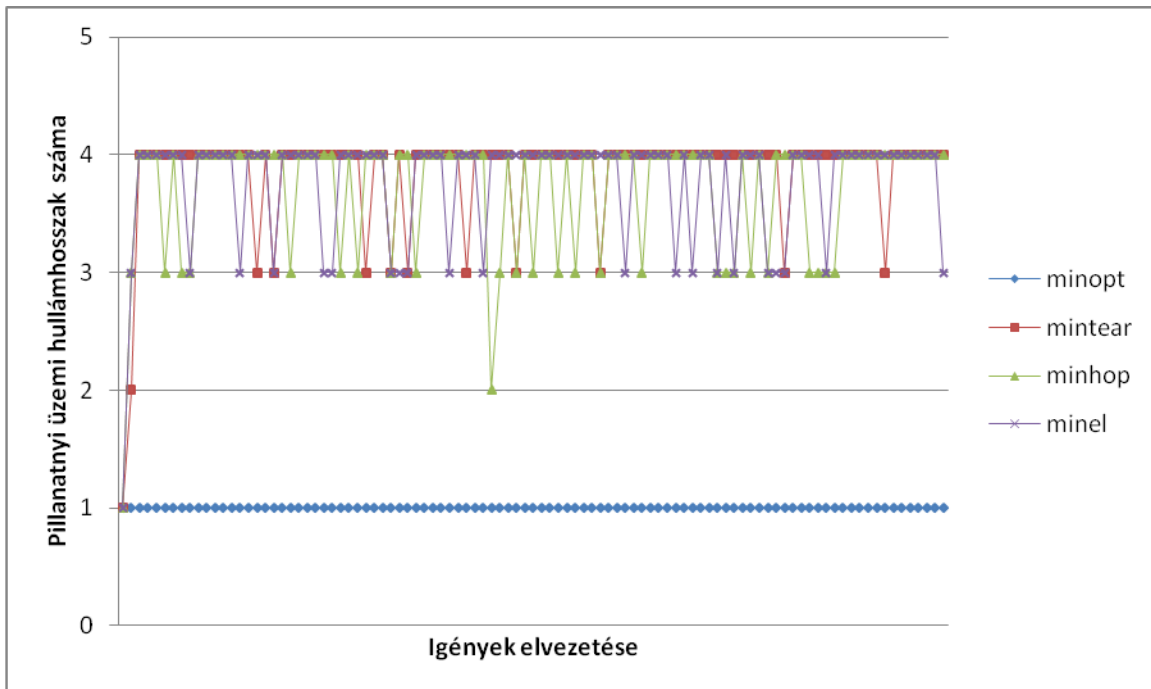


Az ábrán a felszakítások számát látjuk az elvezetett igények számának, tehát lényegében az idő múlásának függvényében. Látható, hogy a legtöbb felszakítás akkor történik, mikor a legrövidebb útvonalra törekszünk. Amint bármilyen formában megjelenik az

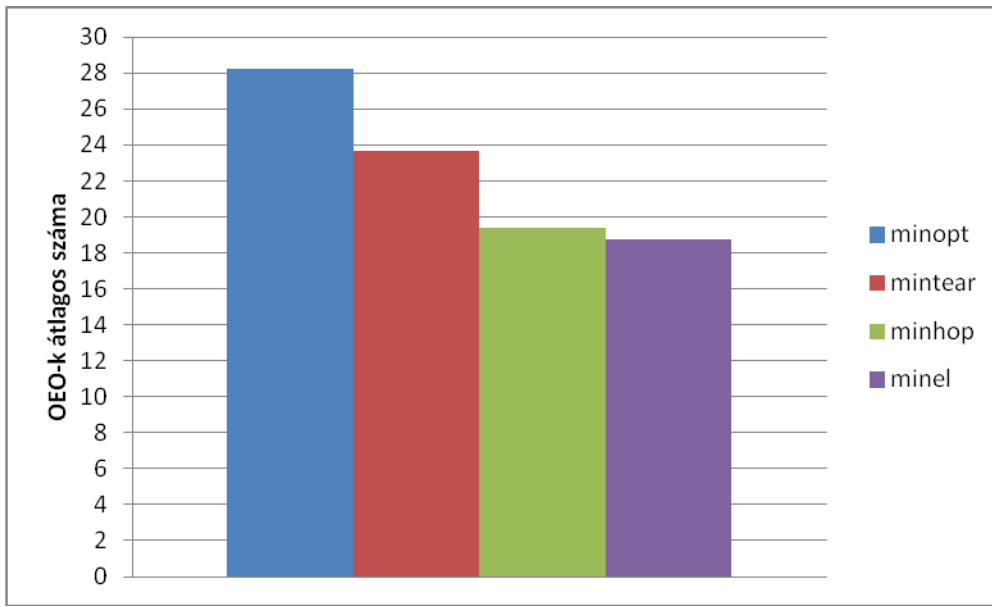
elektronikus réteg használatának optimalizálása, a felszakítások száma jelentősen csökken. A legkisebb akkor, amikor kifejezetten a felszakítások minimalizálását kitűző súlyozást alkalmazzuk.



Az ábra az elvezett igények függvényében, tehát lényegében az eltelt idő függvényében mutatja azon csomópontok számát, amelyekben forgalom újrakötegelése történik. Az aktív igénykészlet változásával a kötegelést végző csomópontok száma jelentősen ingadozik, de általánosságban megfigyelhető, hogy a legtöbb kötegelést akkor végi a hálózat, amikor az optikai réteget minimális mértékben használjuk, a legkevesebb kötegelést pedig akkor végik a csomópontok, amikor az elektronikus réteg minimalizálására törekszünk. Ez megfelel a várakozásoknak és a kitűzött célnak.



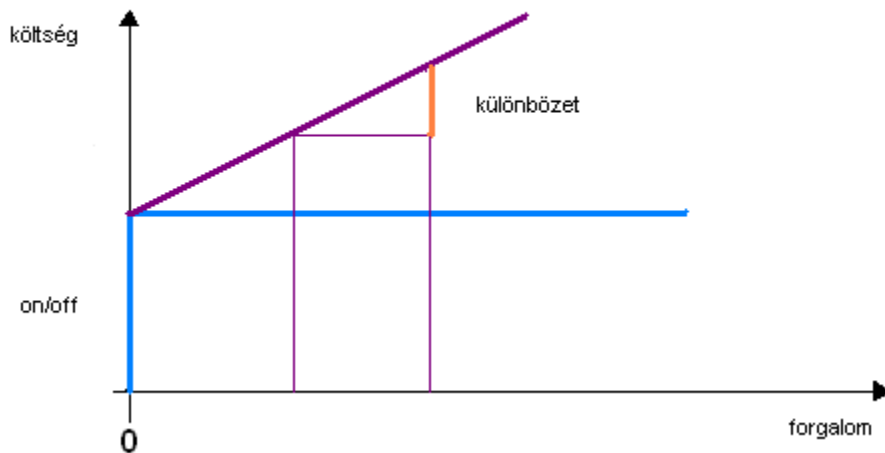
Az ábra az elvezett igények függvényében, tehát lényegében az eltelt idő függvényében mutatja a hálózatban felhasznált hullámhosszak számát. Amikor az optikai réteg minimalizálására törekszünk, akkor a teljes forgalom elvezetésére mindig elegendő egy hullámhossz. Ezt az előző ábrán bemutatott, túlzott mértékű csomóponti kötegelés teszi lehetővé. Ha azonban csökkenteni akarjuk az elektronikus réteg használatát, a kötegelésből adódó többlet-fogyasztást, akkor ahhoz új hullámhosszakot kell nyitnunk, ahogy ez az ábrából is kiderül.



Az ábrán azt láthatjuk, hogy átlagosan hány optikai-elektronikai átalakítót szükséges a forgalom elvezetése a különböző megközelítések esetén. A legtöbb átalakítóra akkor van szükség, amikor az optikai réteg használatát igyekszünk minimalizálni, hiszen ekkor minden csomópontban történik optikai-elektronikai átalakítás. A különböző elektronikus réteg használatot csökkentő megközelítésekkel a szükséges optikai-elektronikai átalakítók száma jelentősen csökkenthető.

A modell a költségek szempontjából

Egy forgalmi igény kétféleképpen vezethető el: lehetőség szerint már létező fényutakon vagy szükség szerint új fényúton. Egy fényút a csomópontban kezdődhet vagy végződhet, ezt terminálásnak is hívjuk. Előnyös, ha ezeknek minimális az előfordulása, mivel egy új fényút kiépítésekor van egy belépő költség, amit egyszer, a kiépítéskor kell figyelembe venni, a későbbi igénybevétel alkalmával ez már nem játszik szerepet. A terminálás minimalizálása a meglévő modellben már egy fontos szempont, hiszen nem csak költség szempontjából, hanem a forgalomterelés miatt is figyelembe kell ezt venni. Újdonság az eddigihez képest egy másik, a költségeket tekintve fontos szempont figyelembe vétele, mégpedig az, hogy a kezdődés/végződés költség a forgalom függvényében is változik. Ez a függés jó közelítéssel lineárisnak minősíthető. Kékkel jelöltem a belépő költséget, ami egy fényút kiépítésének a költsége. Lilával pedig a forgalomfüggő ráadódó költséget jelöltem. Szemléletesen ez azt jelenti, hogy a többlet mindig kisebb lesz az egyszeri fix belépő költségnél. Ezt azért fontos kiemelni, mert egyik célunk, hogy minden hullámhosszt minél jobban kihasználjunk és csak akkor vegyünk igénybe egy új hullámhosszt, ha ez feltétlenül szükséges, hiszen egy új hullámhossz nyitása is plusz költséget jelent. Optikai rétegben az EDFA-k szempontjából annak a költsége, hogy egy vagy több hullámhosszt használunk, nem jelent különbséget. Az elektronikus rétegben lévő routereket már erősen befolyásolja, hogy mekkora a forgalom, illetve befolyásolja fogyasztást, hogy a hullámhosszak végződésénél lévő vevők be vannak-e kapcsolva.



Ha a fényút a csomóponton áthalad, annak is van valamekkora költsége, amit figyelembe kell vennünk. Ugyanis ha túl hosszú a választott útvonal, akkor az feleslegesen nagy terhelést jelent a hálózat számára, illetve a késleltetés is megengedhetetlen mértékű lesz. Az erősítők száma is befolyásolja költségeket, hiszen az erősítők fogyasztása is jelentős, értéke minimálisan 400mW és 1260mW között van (EDFA-ra vonatkozó adatok). Nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy EDFA-kat meghatározott távolságonként, átlagosan mintegy 60 km-enként kell elhelyezni, tehát minél hosszabb útvonalról van szó, ez annál nagyobb fogyasztást, illetve költséget jelent.

$$\text{Optikai élsúly} = \frac{h(\text{km})}{l(\text{km})} * \text{teljesítmény(EDFA)}$$

h: kábel hossza kilométerben

l: két EDFA közötti távolság kilométerben Általában $l = 60$ km egy jó becslés.

Fényút felszakítás esetén a forgalom akadályoztatása miatt is plusz költségek jelentkeztek, de ezt figyelembe vettük a terminálás vizsgálatánál.

Összefoglalva:

Fényút\ esemény	áthalad	kezdődik/végződik	felszakít
Létező fényút	~60km-enként EDFA		Minden portra, mert van O/E átalakítás
Új fényút	Minden hopnál van egy kis költség		Büntetés a plusz költség miatt

Az eddigi modell statikus költség-hozzárendelést alkalmazott. Ez azt jelenti, hogy előre kiszámoltuk a költségeket, majd beállítottuk. Változás csak az új éleknél volt, ilyenkor újraszámoltuk a költségeket. Ehhez képest az újdonság az, hogy az útválasztás közben számoljuk az élsúlyokat, az igény tulajdonságainak megfelelően és az addigi útvonalnak megfelelően. Az igényt úgy lehet felmérni, ha figyelembe vesszük a jelenlegi foglaltságot és az ahhoz képesti forgalomnövekményt. Utóbbit a jelenlegi modell nem veszi figyelembe.

Annyira aktuális ez tématerület, hogy a legfrissebb forrás egy 2010 májusában megjelent cikk. Ebben az alábbi számítást találtam egy 40Gbps kapacitású eszközre:

Throughput (Transport element): 40Gbps

$P_{max} = 2 \text{ kW}$

$P_{50\% \text{ load}} = 1150 \text{ W}$

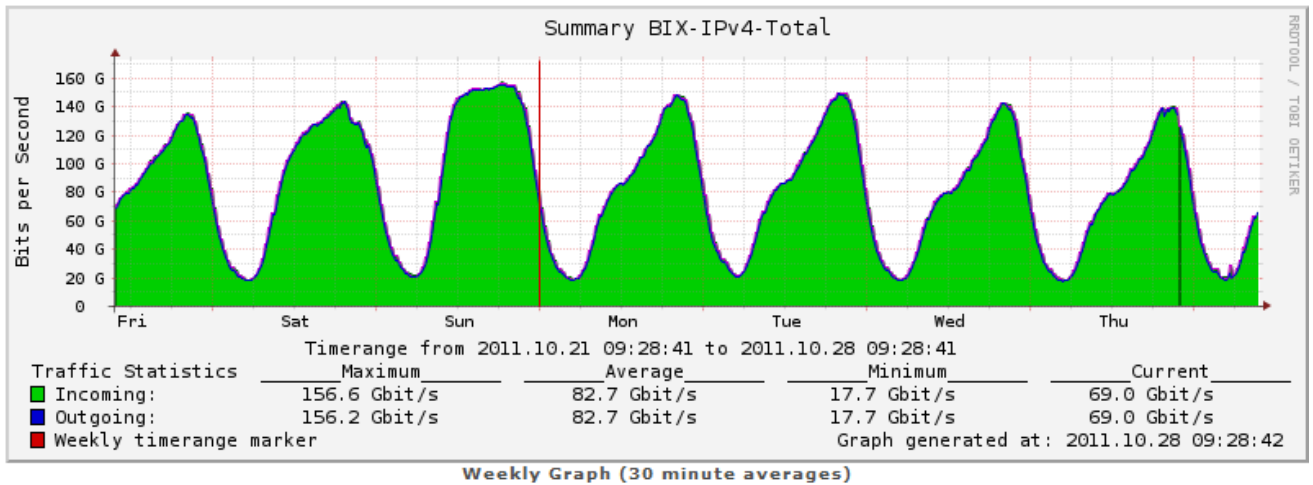
$P_{sleep} = 900 \text{ W}$

$P_{total} = 0.35 * P_{max} + 0.4 * P_{50\% \text{ load}} + 0.25 * P_{sleep} = 1385 \text{ W}$

$\frac{P_{total}}{P_{max}} = \frac{1385W}{2000W} = 69.25\% \Rightarrow$
tehát 30.75%-ot lehet spórolni

Jól látható ebből a számításból, hogy ha teljesítmény-fogyasztás szempontjából kettő helyett három állapotot tudunk megkülönböztetni, akkor az összefogyasztás kevesebb lesz a maximálisnál, jelen esetben 30.75%-kal, ami már jelentősnek mondható. Márpedig ha az összefogyasztást sikerül mérsékelni, akkor ez a költségekben is tükröződni fog.

Ehhez kapcsolódóan érdekes megvizsgálni a bix.hu -n (Budapest Internet Exchange - Magyar Adatcserélő Központ) található adatokat:



Forgalom adatok egy hetes időtartamot tekintve:

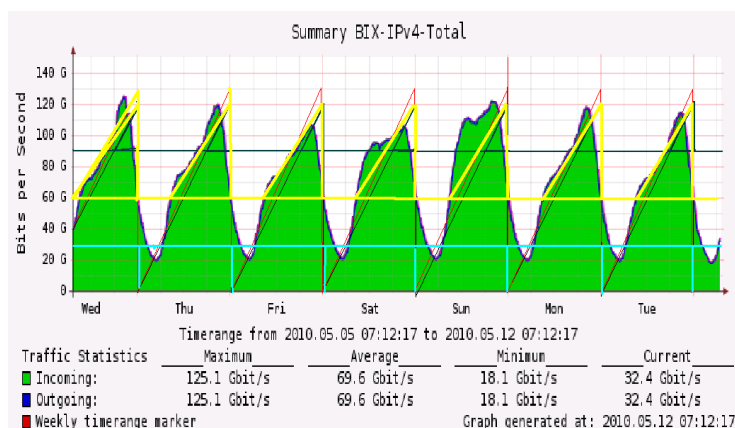
Maximum: 125.1 Gbits/s

Minimum: 128.1 Gbit/s

Átlag: 69.6 Gbit/s

Ebből számítva az 50%-os kihasználtság 35Gbit/s körülre becsülhető. (Ez hozzávetőlegesen megegyezik a fenti példában vett 40Gbit/s-os értékkel)

Itt azt érdemes vizsgálni, hogy ha a fenti módszerrel megkülönböztetünk a forgalom szempontjából három állapotot (maximum, 50%-os, stand by) akkor mennyit spórolhatnánk a fogyasztás terén. (feltéve, hogy a fogyasztás lineáris függvénye a forgalomnak)



Becslés a forgalomra:

A vizsgált forgalom mértéke a csúcsforgalomhoz képest (120 Gb/s):	Az idő hány százalékában van a forgalom mértéke a csúcsforgalom adott százaléka alatt:
75% (~90 Gb/s) alatt	Az idő 95%-ban
50% (~60 Gb/s) alatt	Az idő 65%-ban
25% (~30 Gb/s) alatt	Az idő 54%-ban

Az ábrán látható görbe alatti területet becsülve adódtak ezek az %-os értékek. Ezek után már lehet alkalmazni az alábbi összefüggést:

$$P_{total} = 0.35 * P_{max} + 0.4 * P_{50 \% \text{ load}} + 0.25 * P_{sleep}$$

Habár ez az összefüggés teljesítmény értékekre vonatkozik, becslésre a forgalomra vonatkozóan is alkalmazható – a fogyasztás forgalomtól való lineáris függését továbbra is feltételezve. Ebből adódik, hogy várhatóan mintegy 38.75%-kal csökken a fogyasztás. Ez nagymértékű hasonlóságot mutat a cikkben kapott, teljesítmények alapján számított értékkel, ami 30,75% volt.

Összegzés

A munka kezdeti eredményei biztatóak, az eredmények a várakozásnak megfelelően alakulnak. Az optikai réteg, valamint az elektronikai réteg használatát minimalizáló súlyozás bevezetésével meg tudtuk mutatni a két végletet. Egyik esetben az optikai réteg használatának költségei magasak, másik esetben az elektronikus réteg használata eltúlzott. Bár az optikai réteg használata olcsóbb, célunk megvizsgálni, hogy kellő átmenet biztosítható-e, van-e olyan üzemeltetői politika, ami pontosabb költségfüggvények figyelembevételével az összfelhasználást minimalizálni tudja.

Irodalom, és csatlakozó dokumentumok jegyzéke

- [1] Hegyi Péter: Védelem és forgalomterelés többretegű hálózatokban (Ph.D. értekezés)
- [2] Krauth Ferenc: Green computing, azaz „zöld IT”, Híradástechnika LIXV. 2009/5-6
- [3] Slavisa Aleksic: Analysis of Power Consumption in Future High-Capacity Network Nodes. BONE Project, VOL. 1, NO. 3/AUGUST 2009/J. OPT. COMMUN. NETW.
- [4] BONE Project- Power Consumption and Supply of Individual Network Elements
- [5] Slavisa Aleksic: Power Consumption of Hybrid Optical Switches, Optical Society of America, 2010
- [6] The green imperative in telecommunications: challenges and opprtunities, Lightwave, May 2010 (<http://online.qmags.com/LW0510/default.aspx?pg=8&mode=2#pg26>)
- [7] D. Simeonidou, M. Pickavet (Editors) D21.2b: „Intermediate TP report on first research results and planned activities” Project Title: Building the Future Opical Network in Europe (BONE), 2009.
- [8]http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/voicesw/ps6790/ps5748/ps378/product_data_sheet0900aecd805ffb45.html
- [9] www.bix.hu
- [10] http://icton.ccaba.upc.edu/icton/Presentations/We_A1_1_Hegyi.PDF
- [11] W. Van Heddeghem, W. Vereecken, M. Pickavet, P. Demeester: Energy in ICT-Trends and Research Directions in IEEE ANTS conf., 14-16 December 2009, New Delhi,

India

[12]http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps5763/ps5862/product_data_sheet09186a008022d5f3.html

[13] Gerhátné Dr. Udvary E.: Optikai hálózatok alapjai c. előadás

[14] Hegyi Péter: ICTON 2005 előadásból

[15] A. P. Bianzino, A. K. Raju, D. Rossi: Apples-to-Apples: Analysis, In ACM SIGMETRICS, GreenMetrics workshop, New York, June 14-18 2010.

[16] D. Rossi: Energy-Aware Networks: A tutorial on Green Networking. In IEEE Networks 2010/09.