

Megosztott védelem többrétegű hálózatokban

HEGYI PÉTER, CINKLER TIBOR

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
{hegyi, cinkler}@tmit.bme.hu*

Kulcsszavak: WDM, optikai hálózatok, többrétegű hálózatok, megosztott védelem, forgalomkötegelés, optikai-elektronikai átalakító, fényutak

Az optikai hálózati eszközök fejlődésével a fényút-készlet módosítása egyre gyorsabban elvégezhető. Ez a tulajdonság előrelépést jelenthet az optikai hálózatokban alkalmazott megosztott védelem terén, mert segítségével lehetővé válik a védelmi útvonalak beállítása és aktiválása a hiba bekövetkeztekor, illetve annak ismeretében. Ezzel lehetséges lesz az optikai hálózatokban nem csak a kapacitás, hanem a belépő, illetve kimenő portok, valamint az optikai-elektronikai átalakítók megosztása is. Ennek kihasználásához a védelmi útvonalak előzetes, körültekintő megtervezése szükséges.

1. Bevezetés

Egy optikai hálózatot tartalmazó hálózati architektúrában legalul helyezkedik el a hullámhossz-osztásos nyálbólást (Wavelength-Division Multiplexing, WDM) alkalmazó optikai réteg. Segítségével egyetlen fényszál számos hullámhossz-csatorna (wavelength-channel) átvitelére ad lehetőséget [1]. Az optikai rétegre közvetlenül valamilyen elektronikus réteg épül (SDH, SONET, ATM stb.) [2]. Az elektronikus rétegben kezdődő és végződő, kizárólag az optikai rétegben haladó útvonalakat fényutaknak (lightpath, λ -path) nevezzük [3]. Az elektronikus rétegben keletkező forgalmi igényeket egy, vagy több összefűzött fényúton vezetjük el.

A fényutak végein elektronikai-optikai, illetve optikai-elektronikai átalakítókra van szükség. Ha egy forgalmi igényt több fényúton vezetünk el, akkor a forgalom többször is átesik optikai-elektronikai átalakításon. Ez időt vesz igénybe [4], ami késleltetéshez vezet, ráadásul terheli az elektronikus réteget. Az átalakítók továbbá az optikai hálózat legdrágább elemei. Alapvető cél tehát a szükséges átalakítók számának alacsonyan tartása.

A valóságban előforduló forgalmi igények sávszélességei jellemzően sokkal kisebbek, mint egy hullámhossz-csatorna kapacitása. Ezért a gyakorlatban elterjedt a forgalomkötegelés (grooming) használata. Ez azt jelenti, hogy az elektronikus rétegben több igény forgalmát összefoglaljuk és együtt engedjük be a választott fényútba [2].

Forgalmi igények folyamatosan keletkeznek az elektronikus rétegben, majd adott tartási idő után elévülnek (dinamikus forgalmi modell). Az érkező igényeket az optikai hálózat aktuális állapotát pontosan reprezentáló gráfon vezetjük el. A gráf szerkesztése olyan módon történik, hogy a rajta futtatott legrövidebb utat kereső algoritmus egy lépésben meghatározza a forgalmi igény számára létrehozandó, illetve foglalandó fényutakat [1, illetve 5-7].

A hálózatban hamar létrejönnek a korai igények alapján bizonyos fényutak. Előfordulhat, hogy egy később érkező igényt már csak úgy tudunk elvezetni, hogy már létező fényutak forgalma mellé kötegeljük forgalmát [8]. Bár nem kell visszautasítanunk az érkező igényt, a hálózatot az esetlegesen létrejövő kerülőúttal a szükségesnél jobban megterheljük.

Ha a csomópontokban engedélyezzük a már létező fényutak felszakítását (lightpath fragmentation, cutting of lightpaths) [9], a kerülőutak által okozott túlterhelés jelentősen csökkenthető, így a hálózat nagyobb forgalom átvitelére képes. A fényutak felszakítása azt jelenti, hogy a szakítandó fényutat lebontjuk és helyette két másikat hozunk létre. Ez időigényes feladat, ezért olyan forgalmak esetében használhatjuk ezt a technikát, melyek elviselnek bizonyos késleltetéseket (pl. Video on Demand, FTP). Nem szabad felszakítani olyan forgalmakat szállító fényutakat, melyek nem tűrik a késleltetést (pl. élő sportközvetítés).

A vágás helyén a fényút eredeti forgalma felkerül az elektronikus rétegbe. Itt más forgalmakkal kötegeljük a szállított forgalmat, és úgy engedjük vissza az optikai rétegbe. A fenti műveletre képes csomópontokat fényutak tördelésére képes csomópontoknak nevezzük (Optical Grooming with lightpath Tailoring capability, OGT). A továbbiakban OGT csomópontokból álló optikai hálózatokról lesz szó.

Az OGT csomópontok modellezésével, működésüket leíró algoritmusokkal, más modellekkel való összehasonlításával részletesen foglalkozik [10].

A 2. szakaszban általános védelmi kérdésekről lesz szó. Ezt követően a többrétegű hálózatok védelmével kapcsolatosan előkerülő speciális kérdéseket vesszük sorra. A 4. szakaszban kiterjesztjük a megosztást optikai hálózatokra jellemző erőforrásokra, majd a fényutak szerkesztési elveit tekintjük át. A 6. szakaszban egy a megosztott védelemhez szükséges nagy mennyiségű információ terjesztéséhez szükséges módszert terjesztünk ki optikai hálózatokban használható módszerré. Ez-

után a megosztott védelem hatását felerősítő súlyozást mutatunk be. Végül az utolsó szakaszban a WDM hálózatokban történő útpár-keresésről lesz szó.

2. Védelem

Egy hálózatban a szakaszok megszakadhatnak, a hálózati csomópontok meghibásodhatnak, ezért a forgalmat védeni kell. Az irodalomban számos módszer, stratégia található. Az alap gondolat az, hogy védelmi utakat definiálunk, így ha megsérül egy hálózati elem, akkor az azon haladó forgalmat más útvonalra tereljük.

Lehet védeni teljes útvonalakat, azoknak részeit (szegmenseit) külön-külön, vagy pedig a hálózat minden egyes szakaszát. A továbbiakban útvonalvédelemről lesz szó. Előnye, hogy esetében a sáv szélesség kihasználás kedvezőbb, mint szegmens-, illetve szakaszvédelem esetén, de a hibára történő válasz késleltetése nagyobb azoknál. Ez azonban esetünkben kevésbé jelent hátrányt, mert a fényutak felszakításának lehetősége miatt a szállított forgalom eltűr kisebb késleltetésingadozásokat.

Mivel a védelmi útvonal megtervezése hosszabb idő, mint egy-egy fényút felszakítása, a további késleltetések elkerülése érdekében az igények védelmi útvonala nem a hiba bekövetkeztek, hanem az üzemi útvonallal együtt kerül megtervezésre.

Hozzárendelt védelem esetén a védelmi útvonalak másodlagos üzemi útvonalakként működnek: amerre a védelmi útvonal halad, ott lefoglaljuk az igény számára szükséges sáv szélességet és egyéb erőforrásokat. Több igény védelmi útvonalainak közös élein az igények kapacitásának összegét foglaljuk le.

Ez azonban sosincs teljesen kihasználva, ha figyelembe vesszük, hogy a meghibásodások meglehetősen ritkák. Feltételezhetjük, hogy két meghibásodás között eltelik annyi idő, amennyi alatt a korábbi hiba kijavítható, tehát a hálózatban egyszerre legfeljebb egy hiba van jelen. Ezért több igény közös szakaszon áthaladó védelme esetén elég az igények legnagyobbikának elegendő erőforrást lefoglalni. Ezt a megoldást hívjuk megosztott védelemnek.

Előfordul, hogy több igény üzemi útvonala ugyanazon az élen halad. Az is előfordulhat, hogy ezek közül az igények közül néhánynak a védelmi útvonalában is előfordul közös él. Ha pont a közös üzemi él esik ki, akkor a közös védelmi élen nem elég csupán ezen igények közül a legnagyobbiknak elegendő kapacitás, mert a többi igény forgalma is áthalad a közös védelmi élen. Ilyenkor a közös üzemi szakaszt használó igények kapacitásösszegét kell figyelembe venni.

3. Többretegű hálózatok védelme

Többretegű hálózatok esetében felmerül a kérdés, hogy a forgalmi igényeket melyik rétegben érdemes védeni [11]. A legbiztosabb és legegyszerűbbnek tűnő megoldás

az, ha mind az elektronikus rétegben, mind az optikai rétegben védjük az útvonalakat. Ez azonban igen nagy erőforráspazarlást okozó túlvédekezés, hiszen így az elektronikus rétegnek mind az üzemi, mind a védelmi útvonalához rendelünk 1-1 üzemi és védelmi útvonalat az optikai rétegben. Ezért általában az elektronikus réteg védelmi útvonalát nem szokták védeni az optikai rétegben.

Átmenetet jelent az a megoldás, mely részleges védelmet nyújt a különböző rétegekben. Ha az optikai rétegben a fényút védett, akkor azt a szegmenst az elektronikus rétegben nem szükséges védeni [12].

Az optikai rétegben bekövetkező hibára válaszolhatunk a fényút-készlet egy részének, vagy egészének újrakonfigurálásával is. Ilyenkor az elektronikus réteg nem kerül módosításra [11].

Ha a hálózatban minden fényút egy szakasz hosszú (átlátszatlan a hálózat), akkor minden szakaszhoz rendelhető egy kerülő-fényút, melyre a forgalmat hiba esetén terelhetjük. Ha azonban a fényutak hosszabbak egy szakasznál (átlátszó hálózat), a védelmi fényutak fenntartása jóval bonyolultabb, hiszen a bennük védett igények elágazását is figyelembe kell venni [13]. A problémát megoldja, ha a védelem számára foglalt útvonalakat tördeljük, de így túl sok optikai-elektronikai átalakítóra lenne szükség, ami kerülendő, mert késleltetést okoz és drága. A másik megoldás az, ha a védelmi útvonalakat előre megtervezzük, de csak a hiba bekövetkeztekor aktiváljuk. Ez utóbbi lehetőségnek a technológia egyre kevésbé akadályos.

Egy ilyen megoldás az, ha minden üzemi fényút mellé egy független védelmi fényutat rendelünk. Ilyenkor nem kell a védelem számára optikai-elektronikai átalakítót foglalni, mert hiba esetén az üzemi fényút végein található optikai-elektronikai átalakítókat kell a védelmi út hullámhosszára és portjára ráállítani [5].

A továbbiakban egy ettől különböző, de a védelmet szintén hiba esetén aktiváló megközelítés kerül bemutatásra. Ebben a forgalmi igényeket védjük olyan módon, hogy azok számára üzemi és védelmi útvonalat keresünk, egymástól független fényutakon keresztül. A módszer újdonsága, hogy a hiba ismeretében történő beállítással lehetőséget nyújt az erőforrások megosztására.

4. Optikai-elektronikai átalakítók és alportok megosztása

A legkézenfekvőbb megosztható erőforrás a szakaszokon foglalandó kapacitás. Optikai hálózatokban azonban megoszthatók védelmi szempontból az optikai be-, illetve kimenő portok, valamint az optikai csomópontok legdrágább alkatrészei, az optikai-elektronikai átalakítók is.

A forgalom csomópontba történő belépésének, illetve kilépésének helyét jellemzi a használt port, illetve azon belül az igénybevett hullámhossz. Az ilyen logikai be-, illetve kilépő pontokra a továbbiakban alport néven hivatkozunk. Egy-egy alporton csak egyféle visel-

kedés engedhető meg, az optikai jel nem ágazhat el: nem lehetséges egy bemenetről két vagy több csomóponton belüli irányba továbbítani a forgalmat, illetve egy kimeneten két vagy több csomóponton belüli irányból érkező jelet továbbítani.

Az alportok megosztása azt jelenti, hogy a rajtuk áthaladó védelmi útvonalak különböző csomóponton belüli irányokban haladhatnak tovább, illetve különböző csomóponton belüli irányokból érkehetnek. Ez úgy valószínűsíthető, hogy a megosztott alportok kapcsolódási irányát csak akkor állítjuk be, amikor a hálózatban olyan erőforrás hibásodik meg, melynek védelmi útvonala áthalad az alporton. Így nem oszthatók meg olyan alportok, amelyekben forgalmi igények üzemi útvonala halad keresztül, mert ezek az alportok nem maradhatnak beállíthatatlanul.

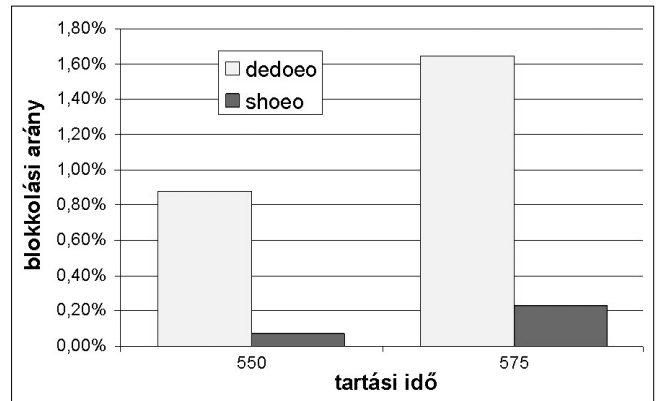
Szükséges továbbá a védelmi útvonalak irányait úgy meghatározni, hogy a hálózatban bekövetkező egyetlen várt hiba esetén annak helyétől függetlenül alportonként legfeljebb egy irány váljon aktívvá.

Ha egy alportban olyan forgalmi igények kerülnek össze, melyek üzemi útvonalukban közös erőforrást használnak, de az adott alporton eltérő irányú védelmi útvonallal haladnának keresztül, akkor az érintett védelmi útvonalakat az elektronikus rétegen keresztül kell vezetni. Így ha az üzemi útvonalban közösen alkalmazott erőforrás hibásodik meg, mind a két forgalmi igény üzemi útvonala aktívvá válhat, hiszen az elektronikus réteg szét tudja választani, illetve össze tudja fűszelni a két eltérő irányban haladó védelmi útvonal forgalmát. Hasonlít ez a fényutak felszakításához, mindössze az a különbséggel, hogy itt valódi felszakítás nem történik, hiszen az útvonal elemeinek beállítása csak a védelmi útvonalak aktiválásakor történik meg. Így bár forgalomkiesés-többletet – a védelmi út felállításán túl – nem okoz egy ilyen virtuális felszakítás, használata mégis kerülendő, mert ezzel a fényutak száma szaporodik, az elektronikus réteg terheltsége emelkedik és a foglalandó optikai-elektronikai átalakítók száma ezáltal nő.

Az üzemi útvonalakhoz hasonlóan optikai-elektronikai átalakító szükséges minden egyes védelmi fényút kezdetéhez és végéhez is. A védelem számára azonban nem szükséges annyi átalakító, amennyi védelmi fényút az adott csomópontban kezdődik, illetve végződik. A legtöbbször egy hiba bekövetkeztekor a csomópontban kezdődő, illetve végződő védelmi fényutaknak csak egy része aktiválódik. Ezért a különböző hullámhosszakot kezelő átalakítókból elegendő csak annyit foglalunk – hasonlóan a megosztott kapacitáshoz – amennyi a különböző meghibásodások esetén legfeljebb szükséges. Ennek feltétele, hogy ahogyan az alportokat, úgy az átalakítókat is csak akkor irányítsuk, amikor a hiba bekövetkezik és az aktiválendő védelmi fényutak ismertté váltak. Ez az optikai-elektronikai átalakítók megosztása.

Így védelemre hullámhosszanként annyi optikai-elektronikai átalakítót kell foglalni, amennyi a különböző hibák által érintett azon portok maximális száma, melyeken üzemi útvonal nem halad keresztül.

Az optikai-elektronikai átalakítók megosztása több igény elvezetését teszi lehetővé a hálózatban, mert kevesebb igényt kell visszautasítani azzal az indokkal, hogy erőforrás hiányában nem lehetséges hullámhosszváltás, kötegelés, illetve végződtesítés. Az átalakítók megosztásának hatását mutatja az 1. ábra.



1. ábra
Optikai-elektronikai átalakítók megosztásának hatása

A *dedoeo* oszlop a visszautasított igények arányát mutatja az összes igényhez képest akkor, amikor a foglalandó védelmi kapacitást megosztjuk, de az optikai átalakítókat nem. A *shoeo* oszlop pedig abban az esetben mutatja a blokkolási arányt, amikor az átalakítókat is megosztjuk. A szimulációban 100 000 igényt vezetünk el a COST266 referenciahálózat csomópontjai között egyenletes eloszlásban. Fényszálanként 16 hullámhossz kezelését tételeztünk fel, hullámhossz-csatornánként pedig 10 Gbit/s kapacitást. Az igények átlagos sávzélessége 500 Mbit/s volt, Poisson-folyamat szerint érkeztek és tartási idejük exponenciális eloszlású volt. Az ábra két különböző átlagos tartási idő feltételezése, tehát eltérő forgalomszint mellett adódó blokkolási arányokat mutat.

5. Forgalmi igények elvezetése megosztott alportok esetén

Ahogy korábban már volt szó róla, az alportok megosztásánál arra kell ügyelni, hogy a hálózatban előforduló bármely hiba esetén alportonként legfeljebb egy irány aktiválódjon.

Ha az alporton üzemi útvonal halad át, akkor szükség-szerűen az áthaladó igények iránya ugyanaz a kimenő alport, vagy az elektronikus réteg.

Ha olyan igény védelmi útvonalának áthaladását tervezünk egy, csak védelmet továbbító alporton keresztül, mely üzemi útvonalában egy, már ott védett igénnyel közös erőforrást használ, de védelmi útvonalai iránya különböző, akkor a két védelmi útvonalat fel kell szakítani. Amennyiben nem áll rendelkezésre szükséges mennyiségű optikai-elektronikai átalakító, az igényt vissza kell utasítani.

Ha egy alporton csak védelmi útvonalak haladnak át, majd érkezik egy üzemi útvonal, akkor az összes útvo-

nal felszakítására szükség lehet, hiszen az üzemi útvonal megköveteli az igénybevett portok rögzített beállítását. A felszakítás alól kivétel az az eset, amikor az összes védelmi út és az üzemi útvonal irányítása ugyanaz.

Egy-egy igény elévülése után lehetőség nyílik a megmaradt fényutak összekötésére. Erre azért van szükség, hogy a foglalt optikai-elektronikai átalakítók száma a lehető legalacsonyabb legyen. Védelem nélküli esetben elég megvizsgálni, hogy vannak-e olyan bejövő és kimenő alport-párok, melyek azonos hullámhosszhoz tartoznak, és ugyanazon forgalmi igényeket továbbítják a rajtuk végződő, illetve kezdődő fényutak. Az alportok megosztása tehát a többirányúság engedélyezése esetén bonyolultabb.

Az összefűzhető igények meghatározásához a bemenő alportok igényeiből csoportokat képezünk. Egy csoportba azok az igények tartoznak, melyeknek együtt kell haladniuk, nem válhatnak szét. Amennyiben egy alporton üzemi útvonal halad át, akkor az alporton áthaladó összes igény egy csoportot képez, hiszen üzemi útvonalat továbbító alporton az irányok nem különbözhetnek. Ha azonban csak védelmi útvonalak haladnak át egy alporton, akkor azok az igények kerülnek egy csoportba, melyek üzemi útvonalában közös erőforrás található. Egy alportban több ilyen igénycsoportot is képezhetünk, és egy igény több csoportban is előfordulhat. Ha az egy csoportban található összes igény ugyanazon az azonos hullámhosszt továbbító alporton hagyja el a csomópontot, akkor a csoportot szállító fényutak összeköthetők.

Az elvezetés alatt álló igény üzemi útvonalát ismerünk kell, hiszen enélkül nem tudnánk megállapítani, hogy mely igények oszthatnak meg erőforrásokat és melyek nem. Ahhoz azonban, hogy ez az információ minden csomópontban naprakészen rendelkezésre álljon, nagy mennyiségű információ terjesztésére van szükség. Ennek hatékony megoldására egy Full Information Restoration (FIR) nevű hatékony algoritmust mutat be [14]. Eredeti formájában ez az algoritmus nem használható optikai hálózatokon, mert olyan gráfokra készült, ahol egy szakaszt egy él modellez. Optikai hálózatok gráfmodelljén azonban legtöbbször egy szakaszt élek csoportja (SRG) modellez. Ezért a meghibásodások sem éleket, hanem élek csoportját érintik. Ennek megfelelően kell az algoritmus által karbantartott adatszerkezetet módosítani.

Megosztott védelem esetén arra törekszünk, hogy az új üzemi útvonal védelme a védelemre már lefoglalt erőforrásokat használja, így a legkevesebb többlet-erőforrást igényelje. A fentiek szellemében a választott védelmi útvonal a legkisebb többletkapacitás és a legkevesebb optikai-elektronikai átalakító foglalását igénylő útvonal. A csomópontokat modellező részgráfokon belül tehát olyan súlyozást kell alkalmazni, mely az átalakításhoz és az igények felszakításához magas költséget, míg az optikai rétegen való áthaladáshoz alacsony költséget rendel.

Mivel az optikai-elektronikai átalakítók megoszthatók, a csomóponton belüli útvonalak súlyozásakor (hul-

lámhosszváltás, felszakítás, áthaladás elektronikus rétegen, továbbhaladás optikai rétegben) figyelemmel kell lennünk arra is, hogy melyiken való áthaladás során lehetséges a már foglalt átalakítók megosztott használata, illetve melyiken szükséges új átalakítókat foglalni.

6. Útválasztás megosztott védelem esetén

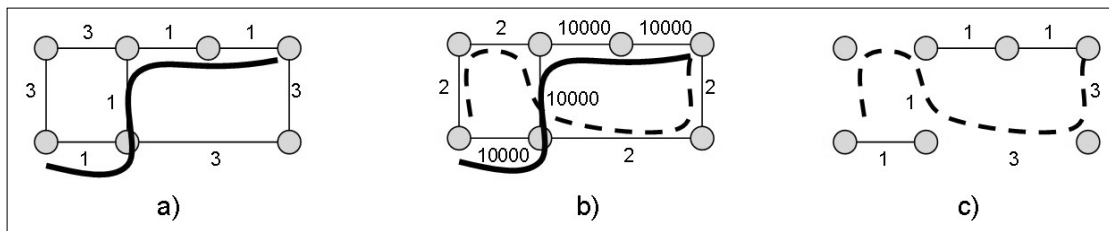
Útvonalvédelem során két egymástól független útvonalat kell kijelölni az igény számára. Elterjedt modellezési módszer, hogy az optikai hálózat gráfmodelljében egy szakaszt annyi él jelenít meg, ahány hullámhosszon a forgalmat továbbítja. Így a függetlenség speciális értelmet nyer.

Útvonalpár keresésekor előfordulhat ugyanis, hogy a gráfban független útvonalpár ugyanazon a fizikai erőforráson halad keresztül, melynek meghibásodása így mindkét útvonalat érinti. Ezért a hullámhossz-gráfot közös kockázatú csoportokra (Shared Risk Group, SRG) kell osztani [3]. Ezek a gráf éleinek olyan csoportjai, melyek egy fizikai eszközt (szakasz, hálózati csomópont) modelleznek. Ha a fizikai eszköz meghibásodik, akkor a csoportban található összes él együtt hibásodik meg.

Suurballe algoritmus [15] a megadott forrás és cél-csomópont között több élfüggetlen útvonalat ad meg, melyek keresése során ugyanazt a súlyozást alkalmazza. Láthattuk azonban, hogy megosztott védelem alkalmazásakor más-más tulajdonságokat tartunk előnyösnek védelmi, illetve üzemi útvonalak esetén. Láthattuk azt is, hogy a védelmi útvonal keresésekor alkalmazott súlyozás a választott üzemi útvonal függvénye, ami megakadályozza azt, hogy optimálisan egyszerre lehessen elvezetni üzemi és védelmi útvonalat.

Ahhoz tehát, hogy az üzemi és védelmi útvonalakat eltérő súlyozás alkalmazásával kereshessük, érdemes legrövidebb utat kereső algoritmust használni. Mivel azonban ezek csak a keresett út optimalitását tartják szem előtt, nagyon könnyen előfordulhat, hogy az elsőként keresett üzemi útvonalak a rövidsége törekedvén kettévágják a hálózatot. Így viszont nem találunk az üzemi-től független védelmi útvonalat. Ezért a legrövidebb utat kereső algoritmusok használata körültekintést igényel. Különböző súlyozások, heurisztikák találhatóak az irodalomban, melyek célja az, hogy növeljék az útvonalpár megtalálásának valószínűségét [16,17]. Ezek közé tartozik a továbbiakban bemutatott algoritmus is.

Elsőként ki kell jelölni a megfelelő súlyozás használatával az üzemi útvonalat. Az útvonal által érintett SRG-k éleinek súlyát ezután jelentős mértékben meg kell növelni, hogy amennyiben lehetséges, a védelmi útvonal elkerülje azokat. Ezután történik a védelmi útvonal kijelölése. Ha az útvonalpár nem metszi egymást, akkor a keresés sikeres. Ha azonban, az elsőként keresett üzemi útvonal a hálózatot kettévágja, akkor törölni kell azt, majd a másodikként talált védelmi útvonal SRG-it ideiglenesen letiltani.



2. ábra
Eltérő súlyozású
útvonalat kereső
algorithmus
csapdája

Mivel az üzemi utat töröltük, a következő (harmadik) útvonalat üzemi súlyozás alkalmazásával kell keresni. Ha az útvonalkeresés sikertelen, akkor ezzel az eljárással nem lehet egymástól független útvonalakat találni, ilyenkor más módszerrel kell próbálkozni. Ellenkező esetben a keresés sikeres volt, rendelkezésünkre áll egy útvonalpár. A rövidebbik lesz az üzemi útvonal. A hosszabbat töröljük és védelmi súlyozással újat keresünk helyette. Az előzmények miatt legrosszabb esetben az imént kitörölt útvonalat kapjuk vissza.

A fent vázolt eljárás esetében előfordulhat, hogy bár a hálózatban létezik két egymástól független útvonal, azokat az algoritmus mohósága miatt mégsem találja meg. A 2. ábra egy ilyen csapdászituációt mutat be. Az a) ábrán láthatók az üzemi súlyok és a mellettük adódó legkisebb költségű útvonal (folytonos vonal). A b) ábrán a védelmi súlyok láthatók, illetve az üzemi útvonal által érintett szakaszokon a megemelt súlyok. Így védelem számára a szaggatott vonallal jelölt út adódik. Mindkét útvonal átvágja a hálózatot, ezért bármelyik éleit kivéve nem fogunk utat találni a forrás és célcsofópontok között, holott a hálózatban létezik független útvonalpár. A bemutatotthoz hasonló körülmények azonban jelentéktelen számban fordulnak elő valós hálózati körülményeket feltételezve, például a csomópontok magasabb fokszáma miatt.

Mivel azonban a fenti csapdászituáció létezik, a bemutatott heurisztikát ki kell egészíteni. Ha lemondunk a védelmi súlyozás használatáról, akkor Suurballe algoritmus a csapda-szituációban is megtalálja az útvonalpárt, ha az létezik.

Mivel Suurballe algoritmus egyszerűen adja vissza a két útvonalat, nincs lehetőség arra, hogy letiltásokkal megakadályozzuk az üzemi és a védelmi útvonalak azonos SRG-n való áthaladását. Ezért az algoritmust az optikai hálózat SRG-iből alkotott gráfon kell futtatni. Ilyen gráfot a következőképpen generálhatunk a fizikai hálózatból.

Egy fizikai útvonalban váltják egymást a csomópontok és a szakaszok. Ahhoz, hogy az állítás az SRG-kből alkotott gráfban talált útvonalra is igaz legyen, a gráfnak irányítottnak kell lennie. Egy csomópont modelleje áll egy-egy a bemenő, illetve kimenő oldalát modellező gráfpontból és egy a bemenő oldalból a kimenő oldalra mutató élből. Egy szakaszt két él modellez, melyek a vég-csomópontok kimenő oldalából az ellenoldali csomópont bemenő oldalára mutatnak.

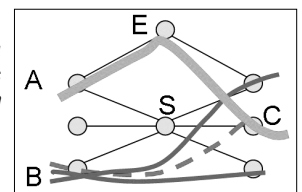
Útvonalpárok keresése során tehát alkalmazhatunk eltérő és azonos súlyozást. Ennek védelmi útvonalakra gyakorolt hatását foglaltuk össze az 1. táblázatban. A szimulációt a már ismert paraméterekkel futtattuk. Suur-

balle-algoritmus esetében az elektronikus réteg használatának minimalizálását megcélzó súlyozást alkalmaztuk.

Az eredményeken azt látjuk, hogy Suurballe-algoritmus használatakor a fényutak hosszabbak és a teljes útvonal kevesebb fényútból áll össze, melyet a választott súlyozás indokol. Ugyanakkor azt is láthatjuk, hogy különböző súlyozás alkalmazásakor célunknak megfelelően mégis kevesebb optikai-elektronikai átalakítóra van szükség. A látszólagos ellentmondásra a magyarázatot a felszakítások adják meg.

Azonos súlyozás használatakor ha csak lehet az optikai rétegen való áthaladást részesítjük előnyben. Ez azonban sok esetben a közös üzemi erőforrások miatt mégis felszakítást jelent, ilyenkor ugyanis nem tudjuk figyelembe venni az erre utaló információkat. Eltérő súlyozás alkalmazása esetén viszont elképzelhető, hogy pont a felszakítás és ezáltal a szükséges átalakítók számának minimalizálása érdekében az elektronikus rétegen át vezetjük az útvonalat. Egy ilyen esetet mutat be a 3. ábrán látható csomópont.

3. ábra
Eltérő döntés azonos és
különböző súlyozások esetén



Tegyük fel, hogy a szomszédos csomópontok állapota lehetővé teszi mind az A, mind a B alportokon történő belépést, de a kilépésnek a C alporton kell történnie. Az elektronikus réteg minimális használatára törekvő súlyozás esetén a szaggatott vonallal jelzett BSC útvonal lesz a csomóponton belül a legalacsonyabb költségű, mert a súlyfüggvény nem tudja figyelembe venni, hogy a két folytonos vonallal jelzett védelmi fényút felszakításával jár. Így 3+1 új átalakító foglalására lenne szükség. A védelmi súlyozás azonban ezt figyelembe veszi és az AEC vastag vonallal jelölt, elektronikus rétegen áthaladó útvonalat választja, mely csak 1+1 új átalakító foglalásával jár. Az ilyen esetek miatt az átalakítók megosztása jobb, kevesebb kell belőlük és a felszakítások száma is kisebb. Ez utóbbi a magyarázata a kicsit hosszabb útvonalaknak is.

7. Összegzés

A fentiekben áttekintettük a megosztott védelem alkalmazási lehetőségeit optikai hálózatokban. A megosztás fogalmát kiterjesztettük az optikai belépő, illetve kimenő portokra, valamint az optikai-elektronikai átalakítók-

1. táblázat
Eltérő és azonos súlyozású
útpár-keresés összehasonlítása

Súlyozás	Védelmi				
	fényutak		utak	átalakítók	szakítások
	hossza	száma igényenként	hossza	száma	száma
azonos	3,078	3,246	7,158	261	149
eltérő	1,997	3,743	7,252	151	34

ra. Körbejártuk ezek megosztása mellett a fényút-szerkesztés lehetőségeit. Az útvonalak tervezésével kapcsolatos kérdésekkel is foglalkoztunk. Végül bemutattunk egy a megosztás hatását felerősítő súlyozást, melynek eredményességét szimulációkkal alá is támasztottuk.

A szerzőkről

HEGYI PÉTER 2004-ben mérnök informatikus szakon végzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán. Diplomamunkáját virtuális magánhálózatok tervezéséből írta. Az egyetem után többretegű hálózatok forgalomterelési és védelmi kérdéseivel foglalkozott a Távközlési és Médiainformaticai Tanszéken állami ösztöndíjas doktorandusz hallgatóként, majd doktorjelöltként. Munkája publikálásra került 15 konferencia- és 3 folyóiratcikkekben, valamint számos kutatási projekt részét képezte (e-Photon-ONE, NOBEL I, NOBEL II, ETIK). Jelenleg az Ericsson Magyarország Kft. fejlesztője.

CINKLER TIBOR 1994-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet, majd 1999-ben PhD fokozatot a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, ahol jelenleg egyetemi docens a Távközlési és Médiainformaticai Tanszéken. Kutatási területe az IP, MPLS, ngSDH, OTN és általában az optikai alapú GMPLS-vezérelt heterogén (többretegű, többtartományú) hálózatok optimalizálása. Több, mint 180 bírált kutatási cikk és 4 szabadalom szerzője vagy társszerzője. Számos európai és hazai projektben vett részt, valamint tagja volt sok nemzetközi konferencia programbizottságának.

Irodalom

- [1] E. Modiano, P.J. Lin, „Traffic grooming in WDM networks” IEEE Com. Magazine, 39(7):124–129, July 2001.
- [2] T. Cinkler, „Traffic and λ grooming” IEEE Network, 17(2):16–21, March/April 2003.
- [3] R. Ramamurthy, Z. Bogdanowicz, et al., „Capacity performance of dynamic provisioning in optical networks” Journal of Lightwave Technology 19, pp.40–48, January 2001.
- [4] Hong-Hsu Yen, Steven S.W. Lee, „QoS aware traffic grooming and integrated routing on IP over WDM networks” Photonic Network Communications, 14(1):1–10, 2007.
- [5] C. Ou, K. Zhu, et al., „Traffic grooming for survivable WDM networks – shared protection” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 21(9):1367–1382, November 2003.
- [6] M. Tornatore, A. Baruffaldi, „Holding-time-aware dynamic traffic grooming” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 26:28–35, April 2008.
- [7] G. Mohan, E. Cheng Tien, „QoS routing in GMPLS-capable integrated IP/WDM networks with router cost constraints” Computer Communications, 31(1):19–34, January 2008.
- [8] K. Zhu, B. Mukherjee, „Traffic grooming in an optical WDM mesh network.” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 20(1):122–133, January 2002.
- [9] Saradhi C.V., L. Zhou, et al., „IOPEN: Integrated Optical Ethernet Network for efficient dynamically reconfigurable service provisioning” In Proc. of Optical Fiber Communication Conference, and the National Fiber Optic Engineers Conference, OFC 2006, 5-10 March 2006.
- [10] T. Cinkler, P. Hegyi, „Automated adaptive on-line multi-layer traffic engineering through ‘tailoring’ wavelength-paths in the fragment graph” Optical Switching and Networking, 2009.
- [11] S. De Maesschalck, D. Colle, et al., „Intelligent optical networking for multilayer survivability” IEEE Com. Magazine, 40(1):42-49, January 2002.
- [12] A. Urra, E. Calle, J.L. Marzo, „Partial disjoint path for multilayer protection in GMPLS networks” In Proc. of 5th International Workshop on Design of Reliable Communication Networks (DRCN 2005), 16-19 October 2005.
- [13] D. Staessens, D. Colle, et al., „Influence of protection on cost savings in transparent optical networks” In Proc. of 7th International Workshop on Design of Reliable Communication Networks (DRCN 2007), La Rochelle, France, 7-10 October 2007.
- [14] G. Li, D. Wang, et al., „Efficient distributed path selection for shared restoration connections” IEEE Infocom, 1:140–149, 2002.
- [15] J. W. Suurballe, R.E. Tarjan, „A quick method for finding shortest pair of disjoint paths” Networks, 14(2):325–336, 1984.
- [16] Lei Guo, Hongfang Yu, Lemin Li, „Path protection algorithm with trade-off ability for survivable wavelength-division-multiplexing mesh networks” Optics Express, 12(24):5834–5839, 2004.
- [17] Pin-Han Ho, János Tapolcai, Hussein T. Mouftah, „Diverse routing for shared protection in survivable optical networks” In Proc. of Global Telecom. Conf. (GLOBECOM'03), IEEE, Vol. 5, pp.2519–2523., 1-5 December 2003.