

Valós időben konfigurált optikaicsatorna-szolgáltatást nyújtó hálózatok kapacitás-kihasználtságának javítása

KÁRÁSZ TAMÁS

BME Híradástechnikai Tanszék
karasz@hit.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: UCLP, optikai hálózatok, valós idejű optikai csatorna szolgáltatások, hálózat-konzolidáció

A cikk a felhasználók által üzemeltethető hullámhossz utak (User Controlled Lightpath, UCLP) koncepcióján keresztül bemutatja a konzolidáción alapuló hálózat-üzemeltetési életciklust a hozzá kapcsolódó tervezési és üzemeltetési kérdésekkel. Továbbá ismerteti az optimális átrendezés stratégiájának vizsgálata során elért eredményeket.

1. Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb igény mutatkozik arra, hogy kutatóközpontok, egyetemek és kormányzati szervek egymással nagy sáv szélesség-igényű kapcsolatokon kommunikáljanak. A felhasználók által üzemeltethető hullámhossz-utak (User Controlled Lightpath, UCLP) koncepciója lehetővé teszi, hogy a felhasználók önmaguk konfigurálhassák és menedzselhessék az általuk bérelt hálózati elemek fölötti saját hálózatukat, üzemeltetési költséget takarítva meg ezzel.

A felhasználók a hálózatukban különböző minőségi és védelmi osztályba tartozó szolgáltatásokat vehetnek igénybe. A szolgáltatásokra általában jellemző, hogy tartási idejük lényegesen hosszabb konfigurációs idejüknél. Az optikai csatorna alapú szolgáltatások kialakítása valós idejű, on-line konfigurációs folyamaton alapul. Ezek a folyamatok a beérkező optikai csatorna kéréseket az aktuális hálózati állapotban megvalósítható optimális megoldással (útvonal- és hullámhossz-választás) szolgálják ki.

A csatornakérések egy adott sorozatának kiszolgálása a folyamat jellegéből adódóan azonban szuboptimális hálózati konfigurációra vezet. Ezért időnként célszerű a kialakított optikai csatornákat a hálózat jobb kihasználtsága érdekében átrendezni. Ezt az átrendezési folyamatot tekintjük a hálózat *konzolidációjának*. A konzolidáció célja az, hogy az időben és térben elosztottan érkező és kiszolgált igényeket időnként valamilyen körültekintően megválasztott szempont (cél-függvény) alapján optimálisan átrendezzük. Ehhez csak egy intelligens menedzsmenet rendszer alkalmazására van szükség, mivel a konzolidáció ugyanazokra a hálózati funkciókra épül, mint a szolgáltatás-konfigurálási folyamat.

Ez a cikk az UCLP koncepció jellemző tulajdonságainak ismertetésén keresztül mutatja be a konzolidáción alapuló hálózat-üzemeltetési életciklust a hozzá kapcsolódó tervezési és üzemeltetési kérdésekkel együtt. Továbbá röviden ismerteti az optimális átrendezési stratégiájának vizsgálata során elért eredményeket is.

2. Az UCLP koncepció

Az UCLP elnevezés egy koncepciót és egy ezt megvalósító szoftvercsomagot takar, amelyet a CANARIE Inc. (Canada's Research and Innovation Network) fejlesztett ki a Cisco Canada-val közösen. A cikk az UCLP mögötti hálózati architektúrát mutatja be, nem célja a szoftver felépítésének ismertetése. A koncepció lehetővé teszi, hogy a felhasználók (nagyobb vállalatok, kutatóközpontok, egyetemek, kormányzati szervek) saját maguk üzemeltessék az általuk bérelt optikai hálózati infrastruktúrán megvalósított, a fizikai topológiától eltérő logikai topológiájú hálózatukat, végponttól végpontig terjedő, QoS (Quality of Service) képességekkel rendelkező kapcsolatok konfigurálásával. Ez a kapcsolat, attól függően, hogy melyik rétegben kerül kialakításra, lehet például WDM hálózat esetén egy optikai hullámhossz-út, Ethernet hálózat esetén egy VLAN, MPLS hálózat esetén egy LSP, vagy akár egy IP VPN is [1].

Az optikai rétegbeli virtuális magánhálózatok (Layer 1 Virtual Private Network, L1VPN) alkalmasak arra, hogy hatékonyan támogassák ezt a sokféle transzport technológiát úgy, hogy közben a felhasználó a hálózatán belül saját maga konfigurálhatja és menedzselheti kapcsolatait. Az ehhez szükséges protokollokat, illetve az alkalmazott útvonal- és hullámhossz-választási valamint védelmi megoldásokat az általuk menedzselte hálózatrészen belül szintén a felhasználók határozhatják meg [2].

Az UCLP koncepció elsődleges célja azonban nem az, hogy végponttól végpontig terjedő kapcsolatokat hozzunk létre, hanem az, hogy a felhasználók saját maguk menedzselhessék a hullámhosszakat és rendezőket, akár több más felhasználó által üzemeltetett hálózatrészen keresztül haladó (inter-domain) kapcsolatok esetén is. Az UCLP segítségével így létrejövő felhasználó által menedzselhető, nagy távolságú kapcsolatokkal még több üzemeltetési költség takarítható meg. Természetesen ahhoz, hogy ezeket a hálózatokat érdemes legyen összekötni, a sötét szálakat hosszabb időre kell bérelnie a felhasználóknak. Ilyen felhasználók által üzemeltetett sötét szál alapú hálózatok

eddig is léteztek, azonban az ezek összekapcsolásához szükséges, nagy távolságok áthidalására is alkalmas optikai kábelek [3] és berendezések csak az elmúlt években váltak elérhetővé.

Az UCLP koncepció mögötti üzleti modell a következőképpen néz ki. A felhasználók a szükséges sötét szálakat vagy egy hálózati szolgáltatótól vagy egy ezek telepítésére és fenntartására szakosodott szolgáltatótól (Alternate Distribution Company, ADCo) hosszabb időre bérlik, általában 10 vagy 20 évre. Ezen cégek esetében a sötét szálak építése, üzemeltetése és karbantartása hasonlóan történik, mint a társasházaké (condominium), ebből származik ezeknek a hálózatoknak a szakirodalomban található *condominium dark fiber network* elnevezése is.

A vállalat a kábelhálózat építésének megkezdése előtt meghirdeti a projektet és megpróbálja előre bére adni a sötét szálakat, biztosítva ezzel az építéshez szükséges tőkét és a beruházás várható megtérülését. A hálózat elkészülte után, a felhasználók saját maguk üzemeltetik az általuk bérelt sötét szálakon kiépített kommunikációs hálózatot, azonban az optikai kábelhálózat fenntartási, javítási és bővítési munkáit továbbra is a hálózat tulajdonosa látja el.

A felhasználók a szolgáltatóktól csak az optikai sötét szálakat bérlik, a nagy távolságok áthidalásához szükséges erősítőket nem, ezeket a felhasználók saját maguk szerelik fel. Szintén a felhasználóknak kell ellátniuk a hálózatot a hullámhosszak dinamikus konfigurálásához szükséges berendezésekkel, optikai kapcsolókkal (Optical Cross-Connect, OXC), optikai leágazó multiplexerekkel (Optical Add/Drop Multiplexer, OADM) [4].

Az OADM-ek esetén megkülönböztetünk fix OADM-et (FOADM) és konfigurálható OADM-et (ROADM), attól függően, hogy csak előre meghatározott vagy tetszőleges hullámhosszak ágaztathatóak-e le. Valós időben történő optikai csatorna kérések konfigurálásához a flexibilisebb ROADM berendezések használata ajánlott.

Az egyes felhasználók által létrehozott hálózatok összekapcsolásával létrejövő condominium hálózatok üzemeltetésével kapcsolatban több kérdés is felmerül. Az első arra vonatkozik, hogy az összekapcsoláshoz az egyes hálózatok között a felhasználóknak megfelelő kapcsolókra (OXC, OADM) van szükségük. Ezekről az eszközökről a felhasználóknak maguknak kell gondoskodniuk, és bár ezek a saját hálózatokon belül alkalmazott kapcsolóknál lényegesen bonyolultabbak és így drágábbak is, telepítésük költségét a felhasználók közösen, megosztva viselhetik.

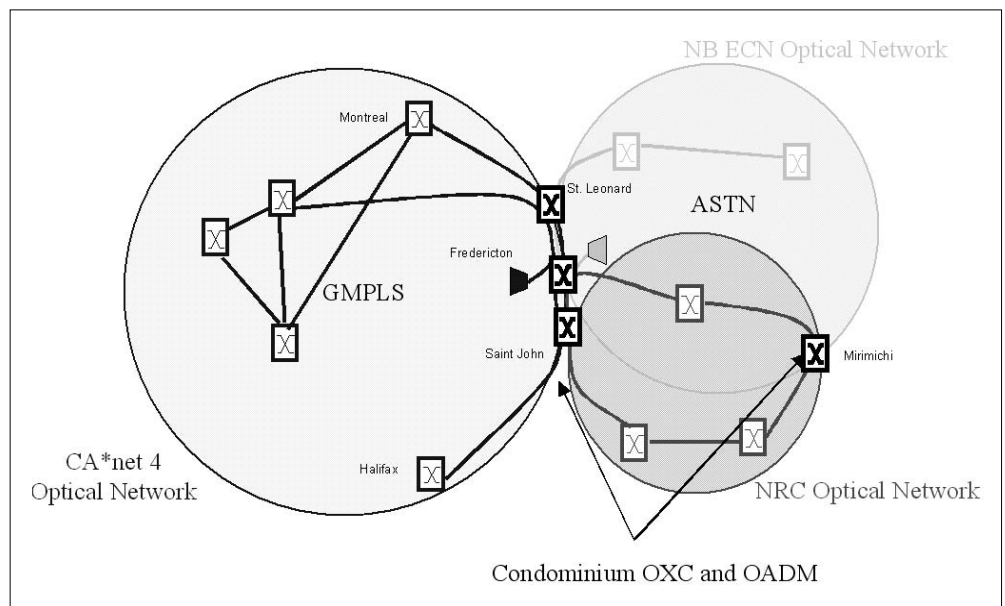
A második kérdés a hálózat menedzsment rendszerével kapcsolatos. Mivel ezekben a hálózatokban a felhasználók a saját hálózatokon kívül, más felhasználók által üzemeltetett hálózatokon átívelő kapcsolatokat is menedzselhetnek, a hálózat menedzsment elosztottan működik. Ennek megvalósítására többféle megközelítés is létezik.

Az egyik megoldás, hogy a felhasználók a hálózatokban alkalmazott, a központi menedzsmenttel rendelkező hálózatok esetén már bevált, GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching) vagy ASON/ASTN (Automatically Switched Optical/Transport Network) alapú menedzsment rendszert kiterjesztik a különböző hálózatrészek között található, közös kapcsolókra, mintha az a saját hálózatuk része lenne (1. ábra). Ez a megközelítés bár egyszerűbb, de kevésbé illeszkedik a hálózat elosztott felépítéséből következő üzemeltetési követelményekhez.

A másik megközelítés, amelyet az UCLP koncepcióban javasolnak, azon alapszik, hogy az elosztott menedzselési probléma nagyban hasonlít a grid hálózatok és más elosztott rendszerek üzemeltetésére. Ezért ezeknek a menedzsment eszközöknek és protolloknak a kifejlesztése az itt már jól bevált technikák alapján történt.

Az így kialakított menedzsment rendszerek közül a legelterjedtebb az *Open Grid Services Architecture*, amely web szolgáltatásokon alapul, illetve a JINI és a

1. ábra
Felhasználók által üzemeltetett hálózatok összekapcsolásával létrejövő condominium hálózat képe [4]



Javaspacek, amelyek egy térben elosztott modellen alapulnak, ahol minden egyes felhasználó rendelkezik egy mások által is elérhető tárterülettel, amelyen hirdethetik szabad kapacitásaikat és lefoglalhatják mások kapacitásait [4].

Ha egy ilyen az összekapcsolás után létrejövő condominium hálózatra egy optikai csatorna kérés érkezik, akkor ez az egyes felhasználók hálózataiban az ott alkalmazott útvonal- és hullámhossz-választásnak megfelelően kiszolgálásra kerül, illetve az egyes hálózatok között a bérelt optikai kapcsolókon keresztül továbbítani fog. Ez alapján az egyes felhasználók hálózatai egy magasabb absztrakciós szintről szemlélve úgy is tekinthetők, mintha azok a felhasználói végpontok között egyszerű kapcsolóelemek lennének.

Az, hogy a felhasználók maguk üzemeltethetik a bérelt infrastruktúra fölötti logikai hálózatot, többféle előnnyel is jár [5]:

– A legfontosabb a költségmegtakarítás, amely többféle tényezőtől tevődik össze:

- a.) A sötét szálak hosszú távú bérleti díja lényegesen kevesebb költséget jelent a felhasználók számára, mint egy adott sáv szélességű összeköttetés havi bérleti díja. Ez a különbség nagyobb sáv szélesség bérlése esetén még jelentősebb.
- b.) Mivel a felhasználók üzemeltetik a hálózatot, a szolgáltató felé ezután csak a fenntartási és javítási munkákért kell fizetni. Emellett a felhasználók várhatóan kisebb költséggel tudják üzemeltetni a hálózatot, mint ha azt egy szolgáltató végezné (például megtakarítható a szolgáltató által felszámolt profit).
- c.) A bérelt hálózatok összekapcsolásához szükséges OXC (Optical Cross Connect) és OADM (Optical Add Drop Multiplexer) berendezések költsége szétosztható a felhasználók között.

– A felhasználók a saját hálózatukban, a többi hálózatrésztől függetlenül, meghatározhatják az alkalmazott szolgáltatás-konfigurálási és védelmi megoldásokat.

– A hálózatukon belül a felhasználók GbE (Gigabit Ethernet) vagy 10GbE technológiát is alkalmazhatnak, csökkentve ezzel a hálózati menedzsment komplexitását és kihasználva, hogy az ezekhez szükséges eszközök jelentősen olcsóbbak.

– A felhasználók könnyebben alakíthatnak ki egymással nagy távolságú, akár több hálózaton, más felhasználók által üzemeltetett hálózatrészen is átívelő, adott minőségi (Quality of Service, QoS) paraméterekkel rendelkező, dedikált összeköttetéseket és ezeken keresztül biztonságosabban és olcsóbban vehetnek igénybe olyan szolgáltatásokat, mint nagyméretű fájlok átvitele, video, grid vagy adattárolási hálózati szolgáltatások (Storage Area Network, SAN).

– A nagy kapacitású bérelt sötét szálak új, nagy sáv szélességű technológiák fejlesztését, tesztelését il-

letve használatát teszik lehetővé a kutatóközpontok és egyetemek számára, amelyekre egy szolgáltató által menedzselte optikai infrastruktúra felett már nem lenne lehetőség.

– A felhasználó, ha nem használja ki az általa bérelt kapacitást, átengedheti azt más felhasználónak.

– A rendelkezésre álló sötét szálak könnyedén egy kötegbe (pool) szervezhetőek és így hatékonyabban felhasználhatók a kutatócsoportok számára.

– Ha a felhasználó növelni szeretné hálózata kapacitását, akkor ehhez csak a berendezéseket kell bővítenie, az optikai szálak bővítését a szolgáltató végzi.

A nagy tartási idejű kapcsolatok esetén a felhasználóknak célszerű az általuk üzemeltetett hálózaton belül haladó összeköttetéseket időnként optimálisan átrendezni; a harmadik fejezet egy olyan hálózatüzemeltetési életciklust mutat be, amely magában foglalja ezt az átrendezési folyamatot is.

3. Valós időben konfigurált optikaicsatorna-szolgáltatást nyújtó hálózatok üzemeltetése

A transzport hálózatok tervezése és méretezése korábban, amíg a beszéd alapú szolgáltatásokból származott a forgalom meghatározó része, a várható forgalom becslésén alapult. Ennek alapja a beszédforgalom elfogadható pontosságú előre jelezhetősége volt.

Napjainkra a nehezen becsülhető és állandóan növekvő IP szolgáltatások és szélessávú alkalmazások váltak a transzport hálózatok forgalmának meghatározó komponensévé. Ez a forgalmi struktúrávaltozás és a közben bekövetkezett piaci változások, valamint a szolgáltató piac réteges felépítettsége (tartalomszolgáltatók, Internet szolgáltatók, transzport hálózati szolgáltatók) a forgalomnövekedés és a szolgáltatások modellezését és előrejelzését jelentősen megnehezítik, a tradicionális becslésen alapuló, off-line tervezési módszereket és a hálózati erőforrások előre konfigurálását lehetetlenné teszik. Ezt a trendet az újgenerációs koncepció (Next Generation Network, NGN) [6] elterjedése csak tovább erősíti.

Ahhoz, hogy a forgalom előre nem várható változásait kezelni tudjuk, illetve elkerülhessük a forgalom blokkolódását és torlódását a hálózatban, többféle megközelítés is létezik. Az egyik a kapacitások jelentős túlméretezése, a másik egy rugalmas konfigurációs intelligencia telepítése a hálózatba, amellyel a torlódó igények a szabad kapacitások felé terelhetők.

A fejezet címében található valós időben konfigurált optikai csatorna szolgáltatást nyújtó hálózat kifejezés olyan hálózatot takar, amelyben a térben és időben elosztottan és függetlenül beérkező optikai csatorna kéréseket egy elosztottan működő jelzés és kapcsoló intelligencia valós időben szolgálja ki. Ez alapján a hálózat egy inkrementális modellel szemléltethető, ahol az optikai csatorna kérések kiszolgálása azok beérkezési sorrendjétől függően történik [7].

A valós időben konfigurált optikai csatorna szolgáltatást nyújtó hálózatok tradicionális üzemeltetési életciklusa a következőképpen néz ki:

- **Szolgáltatás-konfigurálási fázis:**
beérkező optikai csatorna igények sorrendfüggő kiszolgálása. A folyamat egy idő után bizonyos hálózati kapacitások telítődéséhez fog vezetni, ekkor a kapacitások bővítésére van szükség.
- **Hálózatbővítési fázis:**
további kapacitások tervezése és telepítése a hálózatba a szűk kapacitások és torlódások megszüntetése, elkerülése érdekében.

A szolgáltatás-konfigurálási fázis célja, hogy a beérkező optikai csatorna kérések elvezetése során jelentkező útvonal és hullámhossz hozzárendelési problémát (Route and Wavelength Assignment, RWA) valós idejű on-line döntések és konfigurációs lépések alapján oldjuk meg. Az útvonalak és hullámhosszak hozzárendelése történhet együtt és külön-külön is. A folyamat lényege, hogy az adott hálózati kapacitások fölött a beérkező csatorna kéréseket a lehető legkisebb blokkolással szolgáljuk ki.

A kérések kiszolgálása alatt az igényekhez tartozó különböző védelmi és helyreállítási követelmények is figyelembe vehetők. Erre az irodalomban számos megoldás található, például arányosan súlyozott útvonalválasztás [8], a hullámhossz tartomány felosztása a különböző igényosztályok üzemi és védelmi elvezetései között [9], osztott védelem a linkekre definiált megosztathatósági korlátokkal [10].

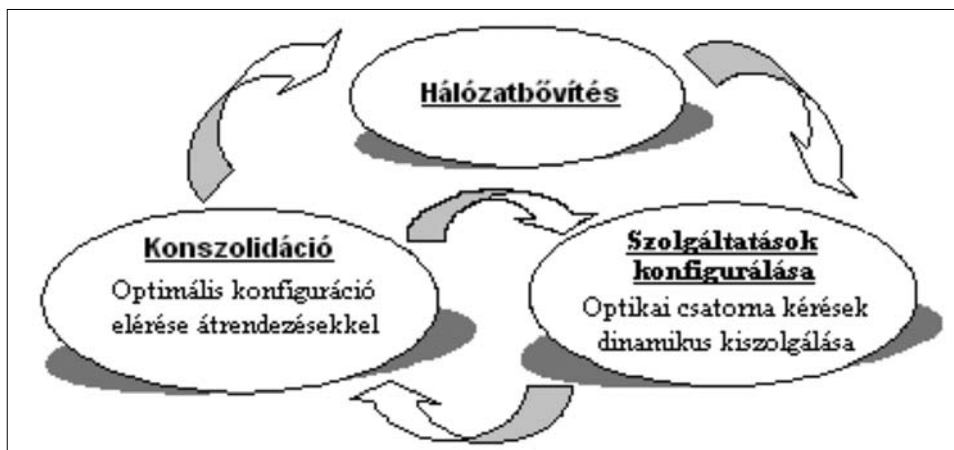
Mivel egy inkrementális forgalmi modell mellett a hálózat fokozatos telítődése nem kerülhető el, szükség van időnként a hálózatbővítési fázis alkalmazására is. A hálózatbővítés azonban nem minden esetben jelenti új hálózati elemek (linkek) létrehozását, sokszor csak a telítődött kapacitások bővítését. A hálózatban kialakuló torlódások oka, hogy a kiszolgálási folyamat alatti valós idejű döntések miatt kialakuló hálózati konfiguráció csak szuboptimális. Ez azt jelenti, hogy habár az egyes igények elvezetése az adott hálózati állapotban optimális döntések alapján történik, az igények sorrendi kiszolgálása miatt és amiatt, hogy a beérkező igények előre nem ismertek, az így kialakuló hálózati kép összességében mégsem lesz az.

Ennek a problémának a megoldására szolgál az előbb bemutatott hálózat üzemeltetési életciklus kiegészítése egy konszolidációs fázissal, amelynek segítségével a szolgáltatás-konfigurálási fázis alatt beérkező kérések elvezetéseit valamilyen előre meghatározott szempontok szerint optimálisan átrendezhetjük. Ez az átrendezés hagyományos off-line tervezési eljárások alkalmazását teszi szükségessé a folyamatban. A konszolidáció alapja, hogy az igények egy már ismert csoportjára együttesen meghozott konfigurációs döntések hatékonyabbak, mint ugyanezen igények egyenkénti kiszolgálásának folyamata, amely folyamat a szolgáltatás-konfigurálási fázis alatt megjelenő igények véletlenszerű sorrendi realizációja. Így tehát a konszolidáció segítségével a hálózati kapacitások kihasználásának hatékonysága növelhető.

A kiegészített, háromfázisú hálózat-üzemeltetési életciklus a 2. ábrán látható.

A 2. ábra alapján a konszolidáció után mindkét másik fázis következhet. Azaz, a konszolidációt követheti a hálózatbővítési fázis, ezáltal lehetővé téve, hogy egy már optimális hálózati kép mellett tervezzük meg a hálózat bővítéséhez szükséges kapacitásokat. Vagy követheti a szolgáltatás-konfigurálási (provisioning-) fázis is. Ekkor a konszolidáció célja az eddig beérkezett igények átrendezése annak érdekében, hogy a szolgáltatás-konfigurálási fázisban hozott döntéseink minél hatékonyabbak legyenek. Természetesen az igényekhez tartozó szolgáltatási követelmények (például védelmi követelmények, az igények fizikai jellemzőire vonatkozó követelmények) a konszolidációs fázis alatt is megtarthatóak. Emellett a konszolidáció során lehetőség van a szolgáltatás-konfigurálási fázis alatti követelmények kiszolgálásának hatékonyabbá tételére is, a provisioning fázis egyszerűsítése érdekében.

Például ha a szolgáltatás-konfigurálási fázisban előre tervezett egyszeres hibák ellen védő 1+1-es vagy osztott útvédelmet alkalmazunk, akkor a konszolidáció során az 1+1-es védelemről osztott útvédelemre, az előre tervezett osztott útvédelemről optimálisan osztott útvédelemre (az egyetlen védelmi út optimális az osztzkodás szempontjából) válthatunk. Mindkét váltás tipikusan csökkenti az erőforrás-szükségletet, ugyanakkor valós idejű megvalósításuk viszonylag bonyolult lenne.



2. ábra
Valós időben konfigurált optikai csatorna szolgáltatást nyújtó hálózatok üzemeltetési életciklusa

A konszolidálandó igények optimális elvezetések meghatározása során az átrendezések meggyorsítása érdekében lehetőség van bizonyos korlátozások alkalmazására is. Ez a korlátozás azonban csökkenti az elérhető hatékonyságot, a kapott hálózati kép csak ezen korlátozások mellett lesz optimális. Ebből következően kompromisszumot kell kötnünk az átrendezés mértéke és hatékonysága között. Az átrendezés mértéke korlátozható az átrendezési lépések száma és típusa szerint is. Például, ha az igények elvezetése a hálózatban fix útvonalhalmaz alapján történik, az átrendezés korlátozható csak az igények hullámhosszára.

A konszolidációval kapcsolatban felmerülő másik fontos kérdés, hogy mikor történjen az igények átrendezése. A legegyszerűbb megközelítés, ha az átrendezés fix időközönként történik. Egy másik megoldás lehet, ha a konszolidációt valamilyen hálózati jellemző, például a linkek telítettségének mértéke, triggereli. Az átkonfigurálás sűrűsége emellett hatással van mind az átrendezés mértékére, mind az optimális megoldás kiszámításának bonyolultságára.

Az irodalomban található, az átrendezés mértékére és időpontjára vonatkozó megoldások összefoglalója a [11] publikációban található.

A kérdések alapján, vagyis hogy mi legyen az átrendezés mértéke és mi triggerelje azt, különböző konszolidációs stratégiák definiálhatók úgy, hogy azok a hálózat és az elvezetendő igények jellemzőihez a legjobban illeszkedjenek. A konszolidáció végrehajtása szempontjából lényeges a hálózatban végrehajtható átrendezési lépések sorrendje, amit a rendelkezésre álló szabad kapacitások, és az egyes igények – élő forgalom – rövid idejű megszakításának számára vonatkozó előírások jelentősen korlátozhatnak.

4. Konszolidációs stratégiák

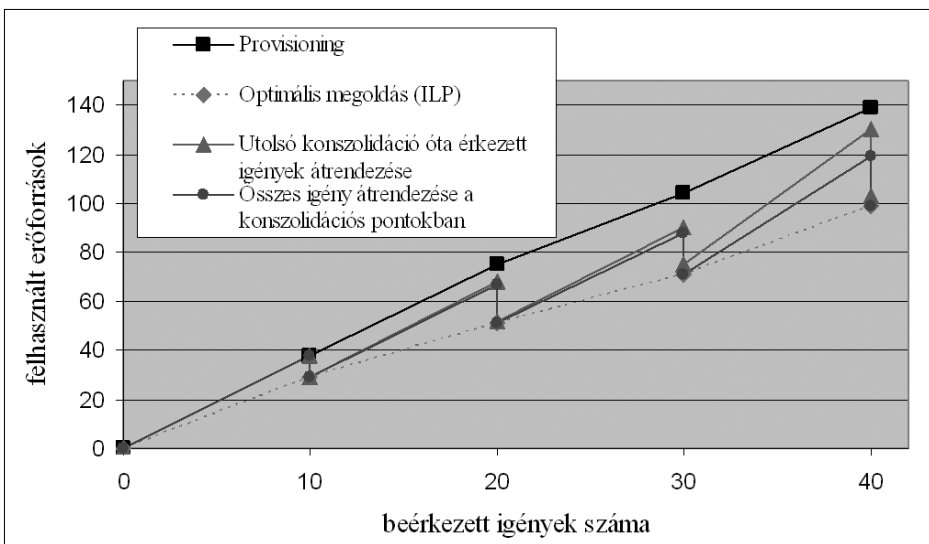
Ebben a fejezetben néhány egyszerű konszolidációs stratégiát szeretnénk bemutatni arra a speciális esetre, ha a hálózat a konszolidációs fázisok előtt a telítődés

határán van. A példában alkalmazott provisioning stratégia alkalmas arra, hogy az igényekhez rendelt rendelkezésre állási követelményeket teljesíteni tudja többszörös meghibásodások mellett is. A probléma komplexitásának csökkentése érdekében definiálunk egy értéket, amely annak valószínűsége, hogy egy osztott védelmi erőforrás már nem használható egy adott igény esetén, mert azt már más igények elfoglalták. A megoszthatóság mértékére egy határértéket definiálunk. A provisioning stratégia tehát egy osztott védelmi elvezetés ezzel a megoszthatósági határértékkel kiegészítve [10].

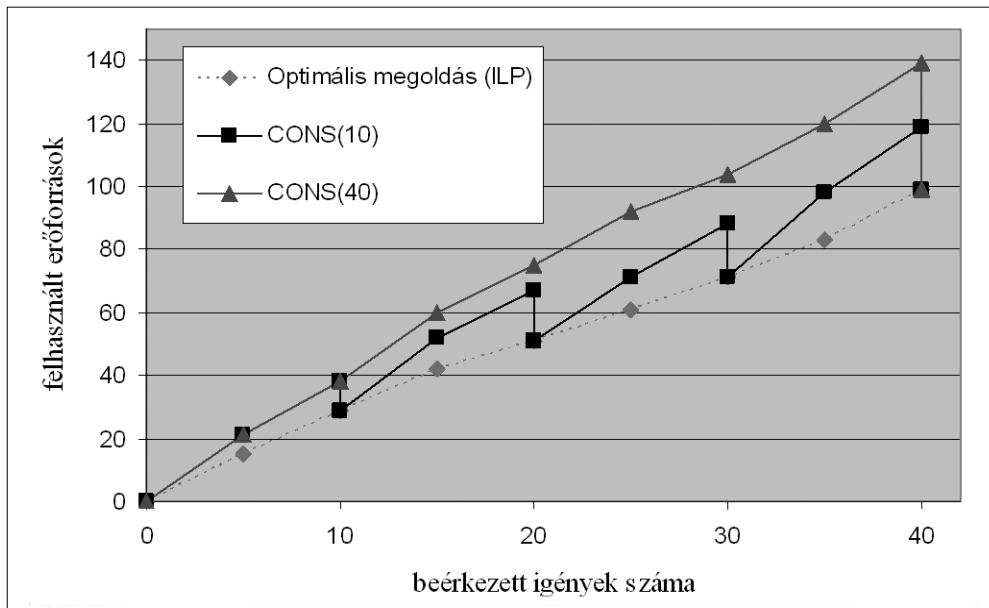
A mintahálózat egy L1VPN egy hipotetikus magyar optikai hálózat felett (9 csomópont, 16 él, 9 hullámhossz/él), amelyen 40 darab hullámhossznyi kapacitású optikai csatorna igényt próbálunk elvezetni. A hálózatban található 9 hullámhossz egy VPN-hez tartozik, a példa ezen VPN konszolidációjára vonatkozik. Emellett a hálózat kapacitásainak kismértékű bővítése a hálózatbővítési fázisban, könnyen elvégezhető ezen hullámhossztartomány 1-2 hullámhosszal való kiegészítésével. A hálózatot 10 igény beérkezése után átrendezzük, és a provisioning fázist ebből az optimális állapotból indítjuk újra. Az optimális állapot előállításához egészértékű lineáris programozást (Integer Linear Programming, ILP) használunk.

A telítés határán lévő hálózat konszolidációja azért jelenthet problémát, mert az átrendezéshez nincs túl sok szabad kapacitás a hálózatban. A megoldás az, hogy egy konszolidációs fázis alatt csak kevés átrendezési lépést végzünk. Egyrészt ezt elérhetjük úgy, hogy csak bizonyos számú igényt rendezünk át, ez a triviális megoldás. Másrészt megoldhatjuk úgy is, hogy nem engedjük, hogy a hálózat túl messzire kerüljön az optimális állapottól a provisioning fázis alatt, így az optimális állapot kevés konfigurációs lépéssel elérhetővé válik. Azt, hogy az optimális állapot az átrendezési lépések milyen sorrendjével érhető el, a cikk nem tárgyalja.

Az első megoldási megközelítésre egy lehetséges konszolidációs stratégia, hogy minden konszolidációs fázisban csak az utolsó átrendezés óta beérkezett igé-



3. ábra
Lefoglalt kapacitások mennyisége az összes igény átrendezése és az utolsó konszolidáció óta beérkezett igények átrendezése esetén



4. ábra
Lefoglalt kapacitások mennyisége különböző gyakoriságú konszolidáció esetén

nyeket rendezzük át. Így, bár az optimális megoldás nem érhető el, viszont az átrendezési lépések száma jelentősen csökkenthető. A foglalt hálózati kapacitások mennyiségének alakulása az egyes fázisokban az előző oldali, 3. ábrán látható.

A 4. ábrán az látható, hogy a konszolidációs pontokban nő a hálózat kihasználtságának hatékonysága. Megfigyelhető az is, hogy bár ez a stratégia rosszabbul teljesít, mintha a konszolidációs pontokban a teljes hálózat átrendezhető lenne, azonban az eltérés nem túl jelentős.

Ezzel szemben az átrendezési lépések átlagos száma jelentősen csökken. Ez az 5. ábrán figyelhető meg, ahol a CONS(10) oszlopok jelölik a teljes átrendezéshez tartozó különböző konfigurációs lépések számát az egyes konszolidációs pontokban, míg a CONS(last) oszlopok a fenti stratégia átrendezési lépéseinek átlagos számát mutatják.

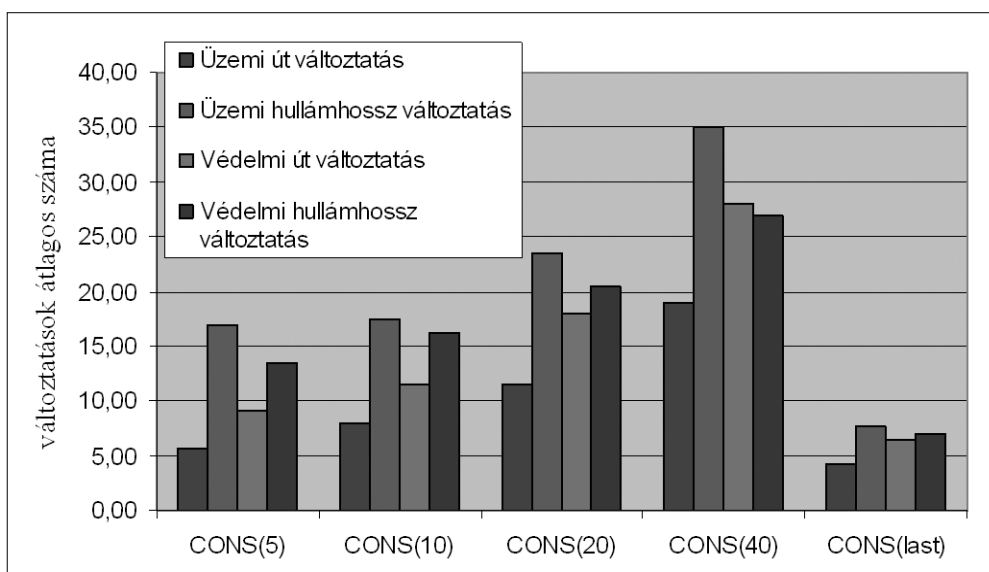
A másik megoldási megközelítés az, hogy a hálózatnak nem szabad az optimális állapottól messzire ke-

rülnie. A vizsgálatok során arra a megállapításra jutottunk, hogy ez akkor következik be, ha a hálózatot gyakrabban konszolidáljuk.

A 4. ábrán megfigyelhető, hogy hogyan alakul a foglalt kapacitások mennyisége különböző gyakoriságú konszolidáció esetén. Az ábrán CONS(x)-szel jelöltük az egyes konszolidációs stratégiákat, ahol az x jelenti a két átrendezés között beérkezett igények számát.

Látható, hogy gyakoribb konszolidációval kevésbé távolodunk el az optimális állapottól, így kevesebb konfigurációs lépés kell annak eléréséhez is az egyes konszolidációs pontokban. Mint azt az 5. ábra mutatja, gyakoribb átrendezés esetén, mivel több konszolidációs pont van, bár összességében több átrendezési lépésre van szükség, de az átlagos átrendezési szám a mégis kisebb az egyes konszolidációs pontokban.

Összefoglalva tehát azt mondhatjuk, hogy egy telítődés határán lévő hálózat konszolidációjakor akkor érjük el a legnagyobb hatékonyságot, ha olyan konszolidációs stratégiát használunk, amely minél gyakrabban



5. ábra
Út és hullámhossz változtatások átlagos száma különböző konszolidációs stratégiák esetén

rendezi át a hálózatot és az igényeknek csak bizonyos részét konfigurálja át. Ebben az esetben bár nagy valószínűséggel nem érjük el az optimális állapotot, de jelentősen kevesebb átrendezési lépésre lesz szükségünk az egyes konszolidációs pontokban.

5. Összefoglalás

Cikkünkben összefoglaltuk a felhasználók által üzemeltethető hullámhossz utak koncepciójának jellemzőit, az ennek kialakulásához vezető hálózati hátteret és a kapcsolódó tervezési és üzemeltetési kérdéseket. Majd ezen keresztül bemutattunk egy a provisioning orientált optikai hálózatok üzemeltetésére alkalmas hálózat-üzemeltetési életciklust. Végül a konszolidáció használatának szemléltetésére néhány konszolidációs stratégiát mutattunk telítődés határán lévő hálózatokra.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni Braun Péternek és Jakab Tivadarnak a cikk elkészítéséhez nyújtott segítségükért. A cikk az OTKA 048985 számú „Védett hálózatok tervezése és megbízhatósági analízise DiR modell alkalmazása esetén” című pályázatának támogatásával készült.

Irodalom

- [1] B. St. Arnaud:
CA*net 4 Research Program Update – UCLP Roadmap Web Services Workflow for Connecting Research Instruments and Sensors to Networks, Draft, December 2004.
http://www.canarie.ca/canet4/library/recent/ONT_slides_%20NASA_Ames-CANARIE.ppt
- [2] T. Takeda, I. Inoue, R. Aubin, M. Carugi:
Layer 1 virtual private networks: service concepts, architecture requirements and related advances in standardization, IEEE Communications Magazine, Vol.42, June 2004, pp.132–138.
- [3] International Telecommunication Union (ITU-T):
G.656 – Characteristics of a fibre and cable with Non-Zero Dispersion for Wideband Optical Transport, April 2004.
- [4] B. St. Arnaud, J. Wu, B. Kalali:
Customer Controlled and Managed Optical Networks, Journal of Lightwave Technology, Vol.21, 2003.
- [5] B. St. Arnaud:
Frequently Asked Questions about Customer Owned Dark Fiber, Condominium Fiber, Community and Municipal Fiber Networks, ARDNOC White Papers, 2002.
<http://www.sunesys.com/downloads/FrequentlyAskedQuestionsaboutDarkFiber.pdf>
- [6] International Packet Communication Consortium (IPCC): Reference Architecture v1.2, June 2002, <http://www.ipccorum.org>
- [7] S. Ramamurthy, L. Sahasrabudhe, B. Mukherjee:
Survivable WDM mesh networks, Journal of Lightwave Technology, Vol.21, No.4, April 2003, pp.870–883.
- [8] L. Valcarenghi, A. Fumagalli:
Implementing Stochastic Preplanned Restoration with Proportional Weighted Path Choice in IP/GMPLS/WDM Networks, Photonic Network Communications – Special Issue on Routing, Protection, and Restoration Strategies and Algorithms for WDM Optical Networks, Kluwer Academic Publishers, Vol.4, No.3/4, 2002.
- [9] N. Andriolli, T. Jakab, L. Valcarenghi, P. Castoldi:
Separate wavelength pools for multiple-class optical channel provisioning, NETWORKS 2004 Conference, Vienna, June 2004, pp.379–384.
- [10] Zs. Pándi, M. Tacca, A. Fumagalli:
A Threshold Based On-line RWA Algorithm with Reliability Guarantees, ONDM 2005 Conference, Milan, February 2005, pp.447–453
http://cntic90.hit.bme.hu/~zspandi/publ/2005/ondm2005_paper_12.4.pdf
- [11] T. Kárász, Zs. Pándi:
Optimal reconfiguration of provisioning oriented optical networks, HET-NETs '05, Ilkley, U.K., July 2005
http://cntic90.hit.bme.hu/~zspandi/publ/2005/Karasz_final.pdf

