dc_357_11

Módszerek heterogén hálózatok üzemeltetésének optimalizálására

— MTA doktori értekezés tézisei —

Cinkler Tibor

Nagysebességű Hálózatok Laboratórium
Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Budapest

2012

dc_357_11

1. Bevezető

A korszerű hálózatok mind vízszintesen mind függőlegesen tagoltak. Vízszintesen egyrészt a hozzáférés-metro-gerinc hálózat felosztást másrészt az egyes tartományokat (autonomous system) értjük, melyeket jellemzően más szolgáltató üzemeltet és melyek egymással lehetnek társ, vagy alárendlt-fölérendlt viszonyban. Az ilyen hálózatokat nevezzük többtartományosnak. Függőlegesen az adatsík különböző rétegeit tekintjük, melyek jellemzően lentről felfelé a nagykapacitású áramkörkapcsolástól felfelé az egyre finomabb léptékű csomagkapcsolásig mennnek.

Gyakran az adatsík egyes rétegei, de néha a többtartományos hálózat egyes tartományai is különböző hálózati technikákat használnak és különböző üzemeltetőjük is lehet. Jellemzően a hálózati eszközök több különböző beszállítótól érkeznek, és a hálózatokon belül nagyon változatos forgalmi és minőségi igények vannak egyidőben jelen, továbbá számos különböző útvonalválasztási, többesadási, forgalomterelési és védelmi módszert használnak ugyanazon a hálózaton belül. E hálózatokra, a fenti tarkaságuk, többneműségük miatt, *heterogén hálózatok*ként hivatkozunk.

E hálózatok *üzemeltetése* alatt mind a statikus konfigurálást értjük, mely jellemzően egy forgalommátrix alapján a menedzsmentrendszer révén konfigurálja a hálózati erőforrásokat; mind a dinamikus útvonalválasztást, mely az előre nem ismert érkező igényeket valós időben vezeti el a vezérlősík révén. Értekezésemben méretezési, konfigurálási, útvonalválasztási, forgalomterelési és védelmi kérdéseket vizsgálok.

Optimalizálási módszerek terén a modellalkotás és a kombinatorikus optimalizálás a leghangsúlyosabbak. Egészértékű lineáris programozást (ILP) és különböző, általában legrövidebb út kereső módszereken alapuló determinisztikus, heurisztikus és empirikus módszereket használtam.

2. Kutatási célkitűzések

Értekezésem célja új és hatékony modellek és módszerek kidolgozása volt korszerű hálózatok vezérlési és menedzselési problémáinak megoldására.

Annak érdekében, hogy a javasolt módszerek rövid idő alatt a kívánthoz közeli (szuboptimális) vagy a kívánt (optimális) eredményhez vezessenek, az algoritmusokhoz jól illesztett modellekre volt szükség.

Célom olyan módszerek kidolgozása volt, melyek jobb eredményt adnak az azonos futási idejű ismert módszereknél, vagy lényegesen rövidebb idő alatt adnak hasonló vagy jobb minőségű eredményt.

További célom volt néhány eddig megoldatlan problémára megoldó módszert javasolni, vagy ismert problémákra általános módszert, melynek megoldása a speciális problémákat is egyben megoldja.

Érdeklődésem középpontjában a korszerű gerinchálózati technikák álltak. Eredményeim elsősorban a WR-DWDM és erre épülő többrétegű heterogén hálózatok optimalizálására használhatók.

3. Kutatási módszerek

A problémák megoldásához modelleket és algoritmusokat, míg az eredmények kiértékeléséhez elsősorban numerikus módszereket és szimulációt használtam.

A modellezésnél és az algoritmusok kidolgozásánál elsősorban az operációkutatás és az optimalizálás-elmélet eredményeit használtam fel. Modelljeim főként a gráfelméleten alapszanak, míg módszereim a gráfelméleti és hálózati folyam algoritmusok mellett heurisztikus és empirikus elemeket is tartalmaznak.

Optimalizáláshoz lineáris, egészértékű és kevert egészértékű programozást használtam. Ilyen programozási feladatként több problémát fogalmaztam meg. E feladatokat hatékonyan megoldani viszont csak viszonylag kevés változó, valamint lineáris korlátok és célfüggvény esetén lehet. E problémák megoldására heurisztikus közelítő módszereket is alkalmaztam.

Célom a modellezés, főképp az optimalizálási módszerekhez illesztett modellek kidolgozása és ezek általánosítása volt. Ennek köszönhetően sikerült a meglévő módszereknél hatékonyabbakat kidolgozni és bonyolult megoldatlan problémákra egyszerű, viszonylag gyors, jó eredményt adó algoritmusokat javasolni.

4. Tudományos előzmények

Legtöbb módszerem Dijkstra legrövidebb út algoritmusára [13] vezethető vissza. Amennyiben diszjunkt útpárt keresünk leggyakrabban Suurballe algoritmusát vagy Bhandari módosított Dijkstra algoritmuást [28, 6] használjuk. Amennyiben kapacitásokat is figyelembe veszünk minimál költségű hálózati folyamokat optimalizálunk [1]. Számos kombinatorikus optimalizáló módszert [11] használtam. Gyakran folytonos, egészértékű vagy kevert lineáris programozással oldottam meg folyam és egyéb problémákat [5]. [23] könyv nagyon jó áttekintést ad hálózati optimalizálási problémák megoldására. Értekezésemben módszereim zömét a [9] referenciahálózaton értékeltem ki.

A többrétegű heterogén hálózatok alatt elsősorban az MLN/MRN [14] architektúrát értettem, míg vezérlésükre általában a GMPLS [4] protokollcsaládot feltételeztem. Hálózatok meghibásodás elleni védelmére [17] és [30] a két alapkönyv.

Az egyik első rugalmas forgalmat feltételező max-min pártatlanságot vizsgáló cikk a [20], míg [16] jó áttekintést ad az útvonalválasztásról rugalmas forgalommal.

Forgalomterelés (TE) áttekintésére egy réteg esetén [19] az alapmű, a többrétegű esetet a [25] tekinti át.

Az útvonalválasztás és az átvitel jelminőséggyengítő hatásának kölcsönhatásával (PICR) számos cikk [24, 2, 3, 29] és egy projekt [12] is foglalkozott.

A forgalomkötegelés fogalmát és problémakörét [J4, 21, 22] tekintik át. [34] és [33] forgalomkötegelő problémákat és megoldásokat ismertet. [31] a korábban ismertetett GG gráfmodellemmel [C18, C40] megegyező modellt javasol. Forgalomkötegeléssel foglalkozik [15] szerkesztett könyv is.

Optikai és forgalomkötegelő hálózatok védelmi technikáit [18, 10, 26] tekintik át. Hullámhosszkonverterek és forgalomkötegelő csomópontok elhelyezésével [32, 27, 8, 7] foglalkoznak.

5. Új tudományos eredmények ismertetése

Téziseimet témáik szerint három csoportba soroltam értekezésem felépítésének megfelelően.

Az első csoport új védelmi módszereket javasol, a második forgalomkötegelő modellt és módszereket a harmadik az átviteli jelminőség-romlás mérséklésére javasol mód-

szereket.

Értekezésemben részletesen kifejtett állításaimat itt tömören, mégis közérthetően igyekeztem megfogalmazni, minden tézisnél hivatkozom értekezésem megfelelő fejezetére[1].

5.1. I. Meghibásodástűrő kapacitástakarékos hálózatvédelem

A hálózatok rendelkezésre állásának fokozása követelmény. A védelmi módszerek erőforrásigénye jellemzően magában meghaladja a hálózatvédelem nélküli teljes elvezetés erőforrásigényét. A felhasználók, ha fizetnek is az emelt rendelkezésre állásért az nem arányos az erőforrásigénnyel. Mindez arra készteti a szolgáltatókat, hogy a hálózatvédelmet minél kisebb többletráfordítással oldják meg. *Az első téziscsoportban négy meghibásodástűrő kapacitástakarékos hálózatvédelmi közelítést javasolok optimalizáló módszerekkel együtt.*

I.1. tézis: GSP általánosított megosztott védelem [M1.2]

Módszert javasoltam útvonalválasztásra megosztott védelemmel mely eldönti, hogy a szakasz-, a szegmens-, vagy a végponttól-végpontig út-védelem a legtakarékosabb egy igény elvezetésére az adott esetben és egyben a kiválasztott védelem optimális megoldását is megadja. (GSP: Generalised Shared Protection) [J6] [J10] [J7] [J14]

I.2. tézis: Útvonalválasztás védelmek újraoptimalizálásával [M1.3]

Módszert javasoltam útvonalválasztásra megosztott védelemmel, mely az adott üzemi utat vagy annak részeit egy vagy több védelmi úttal védi legalább egyszeres hibák ellen és melynek lényege, hogy egy igény elvezetésekor az összes már elvezetett igény védelmi útvonalait és erőforrásait is újraoptimalizálja.

A módszer előnye, hogy mivel a dinamikusan érkező és megszűnő forgalmak miatt a védelmek elvezetése szuboptimális, ezeket a módszer úgy újraoptimalizálja, hogy ezzel egyidőben egyrészt az új igény üzemi útvonala minél takarékosabban elvezethető legyen, másrészt biztosítva legyen védelme a többi védelemmel optimálisan megosztott erőforrások felett. A módszer további előnye, hogy csak azon útvonalakat rendezi át melyek nem szállítanak forgalmat. [H4, C41, C42, C98, C99] [J14] [J29]

I.3. tézis: Rugalmas forgalom pártatlan elvezetése és védelme [M1.4]

Rugalmas forgalom esetén az egyes források adatsebessége folyamatosan alkalmazkodik a hálózat forgalmi viszonyaihoz.

Rugalmas forgalmak elvezetéséhez két védelmi módszert (MBP és MWP) javasoltam valamint egy új pártatlanság definiciót (relatív pártatlanság - RF: Relative Fairness), melyek az igényeknek egyidőben foglalnak kapacitást, üzemi útvonalat és védelmi útvonalat optimális és pártatlan módon.

A javasolt közelítés előnye, hogy meghibásodás esetén nincs szükség többletkapacitásra a hálózatban, hanem csak az aktivált védelmi utak (MBP: Maximize Both Paths) vagy az általuk érintett valamennyi forgalom (MWP: Maximize Working Path)

[1] Például MTA doktori értekezésem második részének harmadik fejezetére [M2.3]-ként hivatkozom.

forrásának adatsebességét csökkentjük RF-pártatlan módon. Az utóbbi módszer pártatlanabb és egyben nagyobb hálózati áteresztőképességet is biztosít. [J9, C35, C37] [C83] [P2]

I.4. tézis: Védelemmegosztás többtartományos hálózatokban [M1.5]

Két módszert javasoltam többtartományos hálózatok védelmi erőforrásainak megosztására.

E módszereknél a megosztás működik, noha a már korábban más tartományokon elvezetett igények üzemi és védelmi útvonalairól semmilyen információ nem áll rendelkezésre. Többtartományos hálózatokban a tartományokat üzemeltető vetélytársak jellemzően nem osztanak meg ilyen információt egymással.

A két javasolt módszer a MD-PC (Multi-Domain P-Cycle) és a MD-MPP (Multi-Domain Multi-Path Protection). MD-PC (többtartományos védőkör) esetén azon igények osztoznak közös védelmi erőforrásokon, amelyeknek üzemi útvonalai ugyanazt a védőkört legalább két csomópontban érintik, de az adott védőkörből azonos elemeket nem használnak. MD-MPP (többutas védelem) esetén ugyanazon igény különböző ágai osztoznak egymással védelmi kapacitásaikon.

E tézisben külön kiemelendő *az MPP módszer, mely az útvonalak diszjunktságát nem a szokásos módon egészértékű változókkal valósítja meg, hanem folytonosakkal*, így a feladat exponenciális helyett polinom időben megoldhatóvá válik. A MPP módszer további értke, hogy nem előre megadott számú ágon (diszjunkt úton) vezeti el a forgalmat, hanem az optimalizálásnak része mind az ágak számának, mind útvonalaiknak az optimális meghatározása és méretezése (kapacitásfoglalása). [J25, C48, C25, C56, C64] [C89, C90] [J12] [C100] [J24] [J26] [C88, C49]

5.2. II. Forgalomkötegelő hálózatok optimális üzemeltetése

A korszerű szállító- (transport-) hálózatok zöme két-, esetleg több-rétegű. Az alsó réteg jellemzően a nagy-kapacitású, áramkörkapcsolt optikai réteg, míg a felső jellemzően finomabb granularitást biztosító, csomagkapcsolt elektronikus réteg.

A két réteget együttesen érdemes használni, átjárást biztosítva a kettő között egyes pontokon. Noha a két réteg együttes használata bonyolulttá teszi a hálózatüzemeltetést a kihasználtság javulása és a hatékonyság növekedése olyan mértékű hogy a forgalomkötegelés nemcsak a közeljövőben, de hosszabb távon sem tűnik elkerülhetőnek.

A második téziscsoportban a forgalomkötegelés modellezésére új gráfmodellt (II.3), optimalizálására hat területen új módszereket dolgoztam ki: (II.1) statikus védelem és többesadás; (II.2) méretezés; (II.4) dinamikus útvonalválasztás; (II.5) TE (forgalomterelés); (II.6) védelem; és (II.7) többesadás helyreállítással.

II.1. tézis: Védelmi és többesadás problémák ILP megfogalmazása [M2.2]

Optikai alapú, kétrétegű, statikus, forgalomkötegelő hálózatok védelmi és többesadás problémái optimumának meghatározására ILP módszereket dolgoztam ki.

Valamennyi egészérékű lineáris program (ILP: Integer Linear Program) a forgalomkötegelő gráf (GG: Grooming Graph) ([M2.1]) modellen alapszik. Az álábbi problémák és változataik optimális megoldására dolgoztam ki módszereket:

- Igények egyidejű optimális forgalomkötegelt elvezetése. [C38] ([J32] [P3])

- Igények egyidejű optimális forgalomkötegelt elvezetése védelemmel. A vizsgált védelmi módszerek az alábbiak voltak. Egyrészt a szakasz-, csomópont-, SRLG/SRG-diszjunkt védelmeket vizsgáltuk, másrészt megkülönböztettük a védelmet a felső rétegben, az alsó rétegben, valamint a két réteget együttesen használó védelmet. Az értekezés csak a legbonyolultabb esetet tartalmazza: az SRLG/SRG-diszjunkt, mindkét réteget használó védelmet. Ennek egyszerűsítésével valamennyi többi felsorolt eset könnyen formalizálható. (SR(L)G: Shared Risk (Link) Group - közös kockázatú (szakasz) csoport) [B1] [J16]

- Többesadás igények optimális egyidejű forgalomkötegelt elvezetése mely (1) csak felső rétegben; (2) csak alsó rétegben; vagy (3) mindkét rétegben engedélyez jeltöbbszörözést (jelosztást.) [C126]

II.2. tézis: Erőforrásméretezés forgalomkötegeléshez [M2.3]

Adott forgalmi viszonyok mellett, adott topológiájú forgalomkötegelő hálózat méretezésére javasoltam módszert.

A módszer a szimulációs eredmények statisztikai kiértékelésén alapszik, majd a terheltségi adatok iteratív visszatáplálásán és újraszimuláláson. Az optimalizálás eredménye egyrészt a fényszálankénti hullámhossz szám, másrészt a forgalomkötegelés megvalósításához szükséges portok száma az optikai és az elektronikus réteg között az egyes csomópontokon belül. [C108, C109, C110] [C40] [J1] [J4]

II.3. tézis: FG (fényút tördelő) gráf modell [M2.4]

Igények forgalomkötegelt elvezetésére olyan gráfmodellt javasoltam, amely a két réteg erőforrásait együttesen optimalizálja, és amely lehetővé teszi már kialakított hullámhossz-út tördelését (felszakítását) amennyiben (1) nincs több szabad hullámhossz; (2) ha a tördelés (felszakítás) összköltsége alacsonyabb egy új hullámhossz-út kialakításánál. Hasonlóan, ha megszűnik egy ponton a hullmhossz-útba, vagy -útból érkező forgalom az adott pontban a hullámhossz-utak összefűzhetők.

A fényút tördelő (felszakító) gráf modell (FG: Fragment Graph) alapú módszer előnyei hogy (1) a hálózat könnyen és gyorsan alkalmazkodik a változó forgalmi és hálózati viszonyokhoz; (2) a bonyolult kétrétegű forgalomkötegelt útvonalválasztás művelete legrövidebb út keresésé egyszerűsödik a FG felett. Hátránya a felszakítás - összefüzés által okozott csomagvesztés növekedés, amit a szinkron-vesztés tovább fokozhat. [J8] [C18] [P1] [B6] [J23]

II.4. tézis: Útvonalválasztás fényút-tördelő forgalomkötegeléssel [M2.5]

Megmutattam, hogy a FG gráf modell alkalmas dinamikus útvonalválasztásra az igényenként elvégzett legrövidebb út keresés és FG gráf módosítás által és hogy jobban teljesít mint a korábbi GG gráfmodell, különösen jelentősebb forgalmi változások esetén.

A módszer használható mind a különböző függőlegesen összekötött (vertically interconnected) mind az integrált (vertically integrated) hálózati architektúrák esetén. Ennek alátámasztására megvizsgáltam a dinamikus útvonalválasztás teljesíményét mind dinamikus (FG) mind statikus (GG) optikai réteg esetében. [J8, C24, C26, C27, C28, C29, C69] [C23] [J3]

II.5. tézis: Állapotfüggő forgalomterelés (TE) forgalomkötegeléssel [M2.6]

Állapotfüggő a'priori forgalomterelő (TE: Traffic Engineering) módszert javasoltam mely csökkenti a felső réteg terhelését, rövidebb utakat, alacsonyabb blokkolást (torlódást) és alacsonyabb erőforrásigényt eredményez.

A módszer ötlete, hogy adaptív élsúlyozás révén, míg alacsony a hálózat terheltsége, addig az alsó, optikai réteget részesíti előnyben, ami hosszabb hullámhosszutakat eredményez, míg magasabb terheltség esetén inkább a felső réteget. [C86, C13] [J31] [C71] [J11] [J21] [J20] [J19]

II.6. tézis: Megosztott forgalomkötegelt védelem [M2.7]

Hozzárendelt és megosztott védelmi módszereket javasoltam kétrétegű hálózatokra, ahol mind az üzemi, mind a védelmi utak forgalma kötegelhető a FG modell segítségével kétféle diszjunkt útpárt kereső módszerrel. A javasolt port-szempontú megosztott védelem a szükséges átalakítók számát tekintve sokkal előnyösebb volt a kapacitás-szempontú megosztott védelemnél.

Mivel a *kapacitás*-szempontú megosztott védelem nagyon sok nagyon rövid fényútszegmenssel valósította meg a védelmet, javasoltam olyan *port*-szempontú megosztott védelmet, ahol a védelmi utakat nem hozzuk létre az igényelvezetés pillanatában, hanem csak lefoglaljuk az erőforrásokat. Az útvonalakat csak a meghibásodás pillanatában és csak azokra az igényekre hozzuk létre amelyek üzemi útvonala meghibásodott. Így a *port*-szempontú megosztott védelem esetén sokkal kevesebb védelmi utat kötegelünk egyszerre, ezáltal a szükséges O/E és E/O átalakító portok száma töredékére csökken. [C30, C31, C60, C62, C63] [J16, C82]

II.7. tézis: Többesadás helyreállítással [M2.8]

Négy módszert javasoltam többesadást megvalósító fák kialakítására és helyreállítására.

A tartalom többszörözése történhet mind az alsó rétegben optikai jelosztással, mind a felső rétegben elektronikus csomagkapcsolással. A fák helyreállítása lehet teljes vagy részleges. A szimulációs eredmények azt mutatják, hogy az optimumot adó vagy jobban közelítő módszerek futási ideje lényegesen nagyobb a kevésbé pontosakénál. A hosszabb futási idő hosszú helyreállítási időt eredményez, ezért érdemes az optimumtól távolabbi eredményt adó de lényegesen gyorsabb módszereket használni. [C126, C57, C44] [C77] [H5] [C111] [H6] [J22] [J13] [J5] [J15] [J2] [J18] [J28]

5.3. III. Gyengült minőségű jelek hatótáv-kiterjesztése

Optikai hálózatokkal mind nagyobb távolságokat hidalunk át O/E/O átalakítás nélkül. A jel tisztán optikai erősítése megoldott ugyan, tehát a jelszint szinten tartható, de a különböző lineáris és nemlineáris hatások felgyülemlenek és a tisztán optikai úton átvitt jel minősége a távolság növelésével romlik, ezáltal bithibaaránya (BER) növekszik.

E téziscsoportban két módszert javasolok a jelminőség javítására, hatótáv kiterjesztése céljából.

Az első módszer (III.1. tézis) O/E/O (opto-elektro-optikai) átalakításokon alapszik, melyeket nem elsősorban jelfrissítés céljából iktatunk be. A forgalomoptimalizálás miatt egyébként is használt forgalomkötegelő eszközök használatát újraoptimalizáljuk a forgalmi és *jelminőségi* szempontok együttes figyelembevételével.

A második módszer (III.2. tézis) ötlete, hogy a kritikusabb, nagyobb távra küldött jeleinket magasabb jelszinttel állítjuk elő. Ennek az a veszélye, hogy egyes szakaszokon az össz-jelszint olyan magas lesz, hogy valamennyi jel torzul a fokozódott nemlineáris hatások miatt. Ezért a kisebb távolságra küldött jelek szintjét visszavesszük úgy, hogy a jelszint egy szakaszban se érje el a kritikus szintet és ezzel egyidőben az útvonalakat is úgy választjuk meg, hogy a kritikus jelszintű éleket kerüljük.

E két jelminőség-javító hatótáv-kiterjesztő módszer alapján vizsgálom a teljesítmény szempontú forgalomterelési és védelmi problémákat.

III.1. tézis: Útvonalválasztás jelfrissítő forgalomkötegeléssel [M3.1]

Javasoltam, hogy a teljes (O/E/O) jelfrissítés eszközeként használjuk a hálózatban egyébként is jelenlévő, forgalom-optimalizálási célokat szolgáló forgalomkötegelő csomópontokat. Ehhez egyszerű heurisztikus módszereket javasoltam, melyek alapja az együttes forgalom- és jelszint-szempontú forgalomkötegelt útvonalválasztás.

Szimulációs eredményeink alátámasztották, hogy még kis kötegelő-kapacitás is nagymértékben javít a hálózat átviteli képességén amennyiben az egyes igények elvezethetőségét már korlátozzák a fizikai jelminőség-gyengítő hatások. Megmutattam, hogy ha a forgalomkötegelő erőforrásokat egyben jelfrissítési célokra is használjuk, ez csak jelentéktelen mértékben növeli a szükséges forgalomkötegelő kapacitást miközben implicit jelfrissítést is megvalósít. [C151, J33] [J30]

III.2. tézis: Útvonalválasztás jelszint-hangolással [M3.2]

Javasoltam, hogy az egy fényszálon belül különböző hullámhosszon haladó optikai jeleket különböző szintre állítsunk ezzel hangolva hatótávukat. Ehhez globális optimumot adó módszert dolgoztam ki, amely egyszerre hangolja a jelszinteket és határozza meg az útvonalakat.

A javasolt optimalizáló módszer tesztelése jelentős átviteli nyereséget mutatott, különösen ha a jelszint-hangolás mentes eset hatótávjának határán túllépve végeztük a vizsgálatokat. [C112, C51, C150] [H7] [P4] [C95, J17] [J27] [C50]

III.3. tézis: Teljesítmény-alapú forgalomterelés [M3.3]

Teljesítmény-terelő (PE) módszert javasoltam, amely a szakasz összteljesítményének függvényében állítja be az élsúlyokat melyek alapján a hagyományos forgalomterelő (TE) módszereknek megfelelően választ legrövidebb (legkisebb össz-élsúlyú) útvonalat, annak érdekében, hogy ne kelljen új igényeket visszautasítani a kritikus szakaszok megengedhetetlenül magas szakasz-összteljesítménye miatt.

Megmutattam, hogy míg a hagyományos forgalomterelő TE (Traffic Engineering) módszerek a forgalmat a kritikus szakaszokról más útra terelve növelik az átvitt forgalmat, addig a javasolt teljesítmény-terelő (teljesítmény-alapú vagy teljesítmény-szempontú forgalomterelő) PE (Power Engineering) módszer gyakran csökkenti. Ennek az az oka, hogy teljesítmény-kritikus rendszerekben a PE módszer (akárcsak a TE módszerek is) hosszabb útra tereli a forgalmat. Ezáltal az össz-teljesítmény szint emelkedik a hálózatban, még több lesz a kritikus szakasz, ami még hosszabb utakat eredményez, gyakran csökkentve az átvitt forgalmat. [C124]

III.4. tézis: Teljesítmény-megosztó védelem [M3.4]

Teljesítmény-megosztó védelmi módszert javasoltam, amely teljesítmény-kritikus hálózatokban a megosztott védelem kapacitás-megosztásához hasonlóan megosztja a nem egyszerre használt védelmi utak teljesítményét.

Megmutattam, hogy szemben a kapacitás-megosztó védelemmel a teljesítmény-megoszó védelem esetén gyakran a teljesítmény-hozzárendelt közelítés jobban teljesít mint a teljesítmény-megosztott. E váratlan viselkedés különösen akkor jelentős ha a hálózat kisebb (kisebbek a fizikai távok) vagy ha a rendszerben egyidőben jelen lévő igények száma nagy. [C47]

6. Az eredmények hasznosíthatósága és hasznosítása

Az ismertetett módszerek egy önálló hálózatméretező, konfiguráló és üzemeltetés optimalizáló rendszer kialakítására alkalmasak, de részei külön is felhasználhatók meglévő hálózatok menedzselő és vezérlő rendszereinek kiegészítésére.

Az első részben ismertetett módszerek különböző heterogén hálózatok optimális védelmének kiválasztására és kialakítására szolgálnak. A második rész a korszerű, optikai átvitelen alapuló többrétegű hálózatok méretezésére és szolgáltatásainak optimális kialakítására és üzemeltetésére javasol modelleket és módszereket. A harmadik rész fizikai korlátozó hatások mellett statikusan vagy dinamikusan választott útvonalak hatótávjának kiterjesztésére ad módszereket.

Kutatásom surán arra törekedtem, hogy eddig megoldatlan vagy újonnan felmerülő hálózatüzemeltetési problémákra adjak modelleket és megoldó módszereket, illetve, hogy az ismert módszereknél általánosabb vagy hatékonyabb (pontosabb vagy gyorsabb) megoldó módszereket dolgozzak ki.

Értekezésemben ismertetett eredményeimet több mint 200 bírált nemzetközi publikáció támasztja alá 25 feletti összegzett impakt faktorral és több mint 1100 hivatkozással (http://scholar.google.hu/citations?hl=hu&user=_Zl8D1UAAAAJ, önhivatkozást is tartalmaz).

Eredményeim gyakorlati jelentőségét és hasznosíthatóságát négy szabadalom is alátámasztja. Mind a négyet az Ericsson hasznosítja. A II. részben ismertetett többrétegű hálózatmodellt és a III. részben ismertetett optikai jelszinthangoló módszert az Ericsson és az Alcatel-Lucent használják.

A tézisek témájában megjelent közlemények

Folyóirat cikkek

[J1] L. Ast, T. Cinkler, G. Fodor, S. Racz, and S. Blaabjerg. Blocking probability approximations and revenue optimization in multirate loss networks. *SIMULATION-TRANSACTIONS OF THE SOCIETY FOR COMPUTER SIMULATION INTERNATIONAL*, 68:56–65, 1997. UT: A1997XF00500006.

[J2] P. Cholda, J. Tapolcai, T. Cinkler, K. Wajda, and A. Jajszczyk. Quality of resilience QoR as a network reliability characterization tool. *IEEE NETWORK*, 23(2):11–19, 2009. UT: 000264629300003.

[J3] T. Cinkler. Towards switched WR-DWDM networks: Design considerations. *BUSINESS BRIEFING (MINNEAPOLIS)*, 1(1):1–4, 2001. Special Issue of Business Briefing on Global Optical Communications, World Markets Research Centre.

[J4] T. Cinkler. Traffic and λ grooming. *IEEE NETWORK*, 17(2):16–21, 2003. UT: 000181608700004.

[J5] T. Cinkler. Configuring traffic grooming $VP\lambda N$s. *PHOTONIC NETWORK COMMUNICATIONS*, 7:239–253, 2004. UT: 000221273100004.

[J6] T. Cinkler. Some more aspects of resilience: Multi-domain, multi-cast, physical impairments. *TELECOMMUNICATION SYSTEMS*, 2011.

[J7] T. Cinkler, P. Demeester, and A. Jajszczyk. Resilience in communication networks. *IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE*, 40(1):30–32, 2002. UT: 000173296900004.

[J8] T. Cinkler and P. Hegyi. Automated adaptive on-line multi-layer traffic engineering through „tailoring"' wavelength-paths in the fragment graph. *OPTICAL SWITCHING AND NETWORKING*, 6:194–214, 2009. UT: 000269279000007.

[J9] T. Cinkler, P. Laborczi, and M. Pioro. Fairness considerations with algorithms for routing elastic traffic. *JTIT: JOURNAL OF TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGY*, 2:3–12, 2004.

[J10] G. Enyedi, G. Retvari, and T. Cinkler. A novel loop-free IP fast reroute algorithm. pages 111–119, Berlin ; Heidelberg, 2007.07.20 2007.07.18. Springer. UT: 000248243900014.

[J11] P. Fodor, G. Enyedi, G. Retvari, and T. Cinkler. Layer-preference policies in multi-layer GMPLS networks. *PHOTONIC NETWORK COMMUNICATIONS*, 18(3):300–313, 2009. UT: 000270743400004.

[J12] L. Gyarmati, T. T. Anh, and T. Cinkler. Path-based multi-path protection: resilience using multiple paths. *European Transactions on Telecommunications*, (ETT - 10-0141.R2), 2012.

[J13] P. Hegyi, A. Ladanyi, M. Maliosz, and T. Cinkler. Virtual private/overlay network design with traffic concentration and shared protection. *JOURNAL OF NETWORK AND SYSTEMS MANAGEMENT*, 13(1):119–138, 2005.

[J14] P.-H. Ho, J. Tapolcai, and T. Cinkler. Segment shared protection in mesh communications networks with bandwidth guaranteed tunnels. *IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING*, 12(6):1105–1118, 2004. UT: 000225745900011.

[J15] A. Kern, I. Moldovan, and T. Cinkler. Efficient traffic engineering and protection in metro Ethernet. *MEDITERRANEAN JOURNAL OF COMPUTERS AND NETWORKS*, 4(2):80–90, 2008.

[J16] P. Laborczi and T. Cinkler. IP over WDM configuration with shared protection. *OPTICAL NETWORKS MAGAZINE*, 3(5):21–33, 2002. Special Section on Traffic Engineering in IP over WDM Networks.

[J17] D. Mazroa, S. Zsigmond, and T. Cinkler. Determining the maximum signal power in 10 Gbit/s WDM optical networks. *PHOTONIC NETWORK COMMUNICATIONS*, 18(1):77–89, 2008.

[J18] A. Mitcsenkov, G. Paksy, and T. Cinkler. Geography and infrastructure aware topology design methodology for broadband access networks (fttx). *PHOTONIC NETWORK COMMUNICATIONS*, 21(3):253–266, 2011. UT: 000290225600004.

[J19] G. Retvari, J. Biro, and T. Cinkler. On improving the accuracy of OSPF traffic engineering. *LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE*, 3976:51–62, 2006. UT: 000238114800005.

[J20] G. Retvari, J. Biro, and T. Cinkler. On shortest path representation. *IEEE-ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING*, 15(6):1293–1306, 2007. UT: 000252125200007.

[J21] G. Retvari and T. Cinkler. Practical OSPF traffic engineering. *IEEE COMMUNICATIONS LETTERS*, 8(11):689–691, 2004. UT: 000225285000013.

[J22] P. Soproni, M. Perenyi, and T. Cinkler. Grooming-enhanced multicast in multilayer networks. *LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE*, 4534:259–268, 2007. UT: 000247270800029.

[J23] J. Szigeti and T. Cinkler. Rule-based advertisement and maintenance of network state information in optical-beared heterogeneous networks. *LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE*, 4534:279–288, 2007. UT: 000247270800031.

[J24] J. Szigeti and T. Cinkler. Evaluation and estimation of the availability of p-cycle protected connections. *TELECOMMUNICATION SYSTEMS*, 48, 2011. Art. No.: TELS9576.

[J25] J. Szigeti, L. Gyarmati, and T. Cinkler. Multidomain shared protection with limited information via MPP and p-cycles. *JOURNAL OF OPTICAL NETWORKING*, 7(4):400–409, 2008. UT: 000255731300003.

[J26] J. Szigeti, R. Romeral, T. Cinkler, and D. Larrabeiti. p-cycle protection in multi-domain environment. *PHOTONIC NETWORK COMMUNICATIONS*, 17(1):35–47, 2009.

[J27] L. Szilagyi, T. Cinkler, and Z. Csernatony. Energy-efficient networking: An overview. *ACTA UNIVERSITATIS SAPIENTIAE. ELECTRICAL AND MECHANICAL ENGINEERING*, 2:99–113, 2010.

[J28] A. Szlovencsak, I. Godor, J. Harmatos, and T. Cinkler. Planning reliable UMTS terrestrial access networks. *IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE*, 40(1):66–72, 2002. UT: 000173296900009.

[J29] J. Tapolcai, P.-H. Ho, D. Verchere, T. Cinkler, and A. Haque. A new shared segment protection method for survivable networks with guaranteed recovery time. *IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY*, 57(2):272–282, 2008. UT: 000258763700007.

[J30] A. Teixeira, L. Costa, G. Franzl, S. Azodolmolky, I. Tomkos, K. Vlachos, S. Zsigmond, T. Cinkler, G. Tosi-Beleffi, P. Gravey, T. Loukina, J. A. Lazaro, C. Vazquez, J. Montalvo, and E. L. Rouzic. An integrated view on monitoring and compensation for dynamic optical networks: from management to physical layer. *PHOTONIC NETWORK COMMUNICATIONS*, 18.(2,):191–210, 2009.

[J31] M. Vigoureux, B. Berde, L. Andersson, T. Cinkler, L. Levrau, M. Ondata, D. Colle, J. Fernandez-Palacios, and M. Jager. Multilayer traffic engineering for GMPLS-enabled networks. *IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE*, 43(7):44–50, 2005. UT: 000230543300007.

[J32] G. Ziegler, Z. Palotai, T. Cinkler, P. Arato, and A. Lorincz. Value prediction in engineering applications. *LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE*, 2070:25–34, 2001.

[J33] S. Zsigmond, G. Nemeth, and T. Cinkler. Mutual impact of physical impairments and grooming in multilayer networks. *LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE, ONDM 2007, 11th Conference on Optical Network Design and Modelling, May 29-31, 2007, Athens, Greece (www.ondm2007.gr)*, 4534:38–47, 2007. UT: 000247270800005.

Szabadalmak

[P1] T. Cinkler. Method for configuring and reconfiguring networks. (Patent WO9946951), 1998.

[P2] T. Cinkler. Method and tool for producing a telecommunications network. (Patent WO9809407), 2003.

[P3] T. Cinkler. Method for optimising a mostly optical ATM network. (Patent No. 9603081), 2004.

[P4] S. Zsigmond, M. Perenyi, and T. Cinkler. Signal power based routing in WDM all-optical networks. (Patent PCT/EP2008/056579), 2008.

Konferencia cikkek

[C1] L. Ast, S. Blaabjerg, and T. Cinkler. Approximations for revenue optimization in multi-rate loss networks. pages 1–20, ITC Seminar, St. Petersburg: New Telecommunication Services for Developing Networks, 1995.07.02 1995.06.25.

[C2] P. Bakos, P. Katzenberger, A. Mitcsenkov, G. Paksy, and T. Cinkler. Topology optimization for next generation access networks: Algorithmic overview. pages 107–119, MACRo 2011, 2011.04.08.

[C3] P. Cholda, K. Wajda, A. Jajszczyk, J. Tapolcai, T. Cinkler, S. Bodamer, D. Colle, and G. Ferraris. Considerations about service differentiation using a combined QoS/QoR approach. pages 345–352, DRCN 2005 Ischia, 2005.10.19 2005.10.16.

[C4] T. Cinkler. Heuristic algorithms for configuration of the ATM-layer over optical networks. pages 1164–1168, IEEE International Conference on Communications - Towards the : Knowledge Millennium (ICC 97), 1997.06.12 1997.06.08.

[C5] T. Cinkler. Design and configuration of reliable networks. pages 5–10, RelInCom'98 - Symposium on Quality and Reliability in Information and Communications Technologies, 1998. Source: PublEx.

[C6] T. Cinkler. Configuration of wavelength routing WDM networks. pages 49–60, Hungarian WDM workshop, Budapest, 1999.03.23. BME. Source: PublEx.

[C7] T. Cinkler. ILP formulation of grooming over wavelength routing with protection. pages 25–47, ONDM 2001, IFIP TC6 Fifth Working Conference on Optical Network Design and Modelling (ONDM 2001), Vienna, Austria, February 5-7 2001.

[C8] T. Cinkler. Wavelength routing and DWDM network configuration. pages 1–5, Second Hungarian WDM Workshop, 2001.03.27. Source: PublEx.

[C9] T. Cinkler. Switching and grooming in multilayer transport networks. page 1, THIRD HUNGARIAN WDM WORKSHOP, 2003.04.08. Source: PublEx.

[C10] T. Cinkler. On routing, traffic engineering and resilience over optical networks. page 1, US/EU Workshop on Key Issues and Grand Challenges in Optical Networking, European Commission Premises, Brussels, 2005.06.29 2005.06.27. Source: PublEx.

[C11] T. Cinkler. Routing, TE and resilience in heterogenious GMPLS networks. pages 1–6, MPLS/GMPLS Workshop„ 2006.03.31 2006.03.30. Source: PublEx.

[C12] T. Cinkler. Behind the optical access - over the optoelectronic systems: The core. pages 14–18, MOW 2007, Mobile Optical Wireless Week Budapest, 3. ISIS-IPHOBAC Workshop and Summer School, 2007.05.18 2007.05.14. Source: PublEx.

[C13] T. Cinkler. On 'a priori' and 'a posteriori' multi-layer traffic engineering schemes. pages 1–49, IEEE ICC 2007: International Conference on Communications WorkShop on Traffic Engineering in Next-Generation IP Networks, 2007.06.24. Source: PublEx.

[C14] T. Cinkler, I. Andersson, and M. Zethzon. Greedy algorithms for topological design. pages 5–10, NETWORKS'98, 8th International Telecommunication Network Planning Symposium, 1998.10.23 1998.10.18. Source: PublEx.

[C15] T. Cinkler and L. Ast. Approximations for call-blocking probabilities in multirouting multicasting multirate loss networks. *LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE*, 1815:287–298, 2000. UT: 000165370000025.

[C16] T. Cinkler, L. Ast, A. Farago, and T. Henk. Configuration of the ATM-layer over optical networks. pages 1–4, Fifth International Conference on Telecommunication Systems: Modelling and Analysis, 1997.03.23 1997.03.20.

[C17] T. Cinkler, S. Bjornstad, D. Careglio, D. Colle, C. Gauger, M. Karasek, A. Kuchar, S. de Maesschalck, F. Matera, C. Manz, and M. Settembre. On the future of the optical infrastructure - COST 266 views. pages 87–92, ICTON 2002: 4th International Conference on Transparent Optical Networks/European : Symposium on Photonic Crystals, 2002.04.26 2002.04.21.

[C18] T. Cinkler, R. Castro, and S. Johansson. Configuration and reconfiguration of WDM networks. pages 6–13, European Conference on Networks and Optical Communications (NOC 98), 1998.06.25 1998.06.23.

[C19] T. Cinkler, K. Cinkler, T. Tron, and E. Halasz. On almost-all-optical ATM networks. pages 10–50, LANMAN1996: Eighth IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks, Potsdam, 1996. Source: PublEx.

[C20] T. Cinkler, A. Farago, and T. Henk. On almost-all-optical ATM networks: The design issue. pages 1–4, IEEE International Conference on Communication Systems; ICCS'96, 1996.11.29 1996.11.25.

[C21] T. Cinkler, G. Fodor, L. Ast, and S. Racz. End-to-end blocking probability approximations for resource management in multi-rate loss networks. pages 1–10, ITC Seminar, Bangkok, 1995.12.01 1995.11.28.

[C22] T. Cinkler, G. Fodor, S. Racz, and T. Henk. Simulative analysis of end-to-end call-blocking probability evaluation techniques in multi-rate loss networks. pages 521–525, EMS96, Budapest, 1996.06.06 1996.06.02. UT: 000088778200091.

[C23] T. Cinkler and C. Gáspár. Fairness issues of routing with grooming and shared protection. pages 665–684, ONDM 2004, 8th Conference on Optical Network Design and Modelling, Ghent, Belgium, February 2-4 2004. Source: PublEx.

[C24] T. Cinkler, G. Geleji, M. Asztalos, P. Hegyi, A. Kern, and J. Szigeti. Lambda-path fragmentation and defragmentation through dynamic grooming. pages 1–4, 7th International Conference on Transparent Optical Networks, 2005.07.07 2005.07.03. IEEE Press. UT: 000234111600001.

[C25] T. Cinkler and L. Gyarmati. MPP: Optimal multi-path routing with protection. pages 165–169, ICC 2008: IEEE International Conference on Communications, 2008.05.23 2008.05.19. UT: 000259505000030.

[C26] T. Cinkler, P. Hegyi, M. Asztalos, G. Geleji, A. Kern, and J. Szigeti. Multi-layer traffic engineering through adaptive lambda-path fragmentation and de-fragmentation: The grooming-graph and shadow-capacities. pages 715–726, Networking 2006 Coimbra, 2006.05.19 2006.05.15.

[C27] T. Cinkler, P. Hegyi, G. Geleji, and J. Szigeti. Multi-layer traffic engineering: Should only the upper-most layer be switched? pages 1–8, 10th conference on Optical Network Design & Modelling, 2006.05.24 2006.05.22.

[C28] T. Cinkler, P. Hegyi, G. Geleji, and J. Szigeti. Configured vs switched underlying wavelength system for traffic engineering with grooming. pages 1–4, TELFOR 2006, 2006.11.23 2006.11.21.

[C29] T. Cinkler, P. Hegyi, G. Geleji, and J. Szigeti. Fairness issues of AMLTE: Adaptive multi-layer traffic engineering with grooming. pages 1–4, ICTON 2007: 9th International Conference on Transparent Optical Networks, 2007.07.05 2007.07.01.

[C30] T. Cinkler, P. Hegyi, G. Geleji, and J. Szigeti. Protection for adaptive multi-layer traffic engineering. page 7, 6th International Workshop on Design and Reliable Communication Networks: DRCN 2007, 2007.10.10 2007.10.07. Art. No.: http://mycite.omikk.bme.hu/doc/1726.pdf.

[C31] T. Cinkler, P. Hegyi, G. Geleji, J. Szigeti, and A. Ladanyi. Adaptive multi-layer traffic engineering with shared risk group protection. pages 1–5, ICC 2008, Beijing, 2008.05.23 2008.05.19.

[C32] T. Cinkler, T. Henk, and G. Gordos. Stochastic algorithms for design of thrifty single-failure protected networks. pages 299–303, Second International Workshop on the Design of Reliable Communications Networks; DRCN2000, 2000.04.12 2000.04.10.

[C33] T. Cinkler, A. Kern, and I. Moldovan. Optimized QoS protection of Ethernet trees. pages 337–344, DRCN 2005 Ischia, 2005.10.19 2005.10.16. UT: 000234649900044.

[C34] T. Cinkler, A. Kern, I. Moldovan, and G. Sallai. Dimensioning transport networks for VPNs over capacities with stepwise costs. pages 1–4, Networks2006, Berlin, 2006.11.09 2006.11.06. VDE.

[C35] T. Cinkler and P. Laborczi. Joint path and bandwidth allocation of protected elastic traffic. pages 23–30, Networks 2002, Munich, 2002.06.27 2002.06.22. VDE.

[C36] T. Cinkler, P. Laborczi, and A. Horvath. Protection through thrifty configuration. pages 975–989, ITC-a6: International Teletraffic Congress - Teletraffic Engineering in a Competitive World, Edinburgh, UK, June 7-11 1999.

[C37] T. Cinkler, P. Laborczi, M. Pioro, G. Malicsko, G. Fodor, and A. Szentesi. Algorithms for path and bandwidth allocation for elastic traffic under various fairness constraints. pages 1–5, PGTS2002, Polish German Teletraffic Symposium, 2002. Source: PublEx.

[C38] T. Cinkler and C. P. Larsen. Integer linear programming (ILP) formulation of the optimal light-path configuration problem in wavelength-routing WDM networks. pages 1–13, ONDM'99, Third Working Conference on Optical Network Design and Modelling, IFIP TC6/WG 6.10 (Task Group on Photonic Communication Networks), 1999. Source: PublEx.

[C39] T. Cinkler and M. Maliosz. Configuration of protected virtual private networks. pages 197–204, Third Internatational Workshop on Design of Reliable Communication Networks: DRCN 2001, 2001.10.10 2001.10.07. Scientific Association for Infocommunications.

[C40] T. Cinkler, D. Marx, C.-P. Larsen, and D. Fogaras. Heuristic algorithms for joint configuration of the optical and electrical layer in multi-hop wavelength routing networks. volume 2, pages 1000–1009, INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings, March 26-30 2000. IEEE. ScopusID: 0033884540.

[C41] T. Cinkler, D. Mesko, A. Mitcsenkov, and G. Viola. Adaptive shared protection rearrangement. pages 429–435, Third Internatational Workshop on Design of Reliable Communication Networks: DRCN 2001, Ischia, 2005.10.19 2005.10.16. UT: 000234649900055.

[C42] T. Cinkler, D. Mesko, G. Viola, and J. Tapolcai. Routing with partially disjoint shared path (pdsp) protection. pages 47–52, 1st Conference on Next Generation Internet Networks Traffic Engineering, 2005.04.20 2005.04.18.

[C43] T. Cinkler, I. Moldovan, A. Kern, C. Lukovszki, and G. Sallai. Optimizing QoS aware Ethernet Spanning Trees. pages 30–34, First International Conference on Multimedia Services Access Networks (MSAN 2005), 2005.06.15 2005.06.13. UT: 000230426400007.

[C44] T. Cinkler, M. Perenyi, and P. Soproni. Restoration of multi-cast trees in optical-beared grooming-capable two-layer networks. volume 3, June 22-26 2008.

[C45] T. Cinkler and M. Pioro. Role of backup capacity allocation strategies in network design. pages 1–5, PGTS2000: Proceedings of the First Polish German Teletraffic Symposium PGTS 2000 jointly held with the 7th Polish Teletraffic Symposium, 2000.09.26 2000.09.24. VDE. Source: PublEx.

[C46] T. Cinkler and M. Pioro. Impact of shared protection strategies on network design. pages 483–490, Networks 2002, 10th International Telecommunication Network Planning Symposium, Munich, Germany„ 2002.06.27 2002.06.22. VDE. Source: PublEx.

[C47] T. Cinkler, P. Soproni, and G. Sallai. Shared protection of demands with physical impairment constrained routing. pages 1–6, Warsaw, 2010.09.30 2010.09.27. Networks 2010 Warsaw.

[C48] T. Cinkler, J. Szigeti, and L. Gyarmati. Multi-domain resilience: Can I share protection resources with my competitors? pages 138–141, ICTON 2007: 9th International Conference on Transparent Optical Networks, 2007.07.05 2007.07.01. UT: 000250511300035.

[C49] T. Cinkler, J. Szigeti, and D. Larrabeiti. Towards optimal routing in heterogeneous optical networks. pages 5–8, 8th International Conference on Transparent Optical Networks, 2006.06.22 2006.06.18.

[C50] T. Cinkler, Z. Szilard, P. Marcell, and G. Denes. Physical aspects of end-to-end optical routing. page 1, IWOO 2008: 3rd International Workshop on OPS & OCDMA, 2008.10.25 2008.10.23.

[C51] T. Cinkler, S. Zsigmond, and M. Perenyi. Traffic grooming and power level tuning for physical impairment constrained routing. pages 1–10, Proc., 10th Int. Conf. on Transparent Optical Networks (ICTON), 2008.06.26 2008.06.22.

[C52] Z. Csernatony, A. V. Manolova, and T. Cinkler. Efficiency issues of multi-domain routing. pages 1–4, 12th International Conference on Transparent Optical Networks, 2010.07.01 2010.06.27.

[C53] Z. Csernatony, A. V. Manolova, and T. Cinkler. Improving routing efficiency with scalability constraints in multi-domain networks. pages 1–3, Budapest, 2010.09.10 2010.09.06.

[C54] A. Farago, T. Cinkler, V. T. Hai, and S. Malomsoky. Joint planning of the physical and logical configuration for ATM networks. pages 119–124, Networks'96, 1996.

[C55] A. Farago, S. Racz, T. Cinkler, A. Magi, G. Gordos, A. Horvath, and P. Laborczi. Virtual path layout design. pages 581–585, NETWORKS'98 Sorrento, 8th International Telecommunication Network Planning Symposium, 1998.10.23 1998.10.18.

[C56] A. Farkas, J. Szigeti, and T. Cinkler. p-cycle based protection schemes for multi-domain networks. In *DRCN 2005, The 5th International Workshop on Design of Reliable Communication Networks*, pages 223–230, Ischia, Italy, October 16-19 2005. www.drcn.org. UT: 000234649900029.

[C57] J. Fernandez-Palacios, R. Duque, J. Aracil, R. Gruenzinger, T. Cinkler, P. Soproni, M. Perenyi, J. Tapolcai, P. Fodor, A. Gulyas, G. Sallai, and J. A. Hernandez. Network resilience requirements and algorithms for multicasting and broadcasting digital tv. 2008.

[C58] P. Fodor, G. Enyedi, and T. Cinkler. Fmira: A fast and efficient traffic engineering method for transport networks. pages 129–140, WGN5: V Workshop in G/MPLS Networks, 2006.03.31 2006.03.30.

[C59] P. Fodor, G. Enyedi, G. Retvari, and T. Cinkler. An efficient and practical layer-preference policy for routing in GMPLS networks. pages 2–11, Networks 2008: 13th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, 2008.10.02 2008.09.28.

[C60] L. Fulop and T. Cinkler. Algorithms for grooming over wavelength routing with protection. pages 160–167, Third Internatational Workshop on Design of Reliable Communication Networks: DRCN 2001, 2001.10.10 2001.10.07. Scientific Association for Infocommunications. Source: PublEx.

[C61] J. Gal, N. Szabo, A. Ladanyi, and T. Cinkler. Cost and time trade-off of scheduling grid tasks over grooming capable networks. pages 1–6, Networks 2008: 13th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, 2008.10.02 2008.09.28. Source: PublEx.

[C62] C. Gáspár, G. Makács, T. Cinkler, and J. Tapolcai. Wavelength routing with grooming and protection. pages 469–487, IFIP ONDM 2003, 7th Conference on Optical Network Design and Modelling, Budapest, February 3-5 2003.

[C63] C. Gaspar, S. Szentes, J. Tapolcai, and T. Cinkler. Approximative algorithms for configuration of multi-layer networks with protection. pages 228–235, Third Internatational Workshop on Design of Reliable Communication Networks: DRCN 2001, 2001.10.10 2001.10.07. Scientific Association for Infocommunications.

[C64] L. Gyarmati, T. Cinkler, and G. Sallai. SRLG-disjoint multi-path protection: When LP meets ILP. pages 1–15, Networks 2008: 13th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, 2008.10.02 2008.09.28. Source: PublEx.

[C65] V. T. Hai, A. Farago, T. Henk, and T. Cinkler. Optimization of ring networks. pages 126–130, Symposium on Combinatorial Optimization, 1996.03.29 1996.03.27.

[C66] P. Hegyi, A. Ladanyi, M. Maliosz, and T. Cinkler. Heuristic algorithms for shared protection of virtual private networks. pages 108–113, EUNICE 2003: 9th Open European Summer School and IFIP Workshop on Next Generation Networks, 2003.09.10 2003.09.08.

[C67] P. Hegyi, A. Ladanyi, M. Maliosz, and T. Cinkler. Shared protection of virtual private networks with heuristic methods. pages 19–24, Polish-Hungarian-Czech Workshop 2003, 2003.09.13 2003.09.11.

[C68] P. Hegyi, A. Ladanyi, M. Maliosz, and T. Cinkler. Shared protection of virtual private networks with traffic concentration. pages 448–453, Design of Reliable Communication Networks, 2003.10.22 2003.10.19.

[C69] P. Hegyi, S. Namik, K. Ezhan, and T. Cinkler. Traffic engineering in case of interconnected and integrated layers. pages 1–8, Networks 2008: 13th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, 2008.10.02 2008.09.28.

[C70] P.-H. Ho, J. Tapolcai, A. Haque, S. Shen, T. Cinkler, and M. Desroches. A novel dynamic availability-aware survivable routing architecture with partial restorability. pages 360–363, 23rd Biennial Symposium on Communications, 2006.06.01 2006.05.29.

[C71] J. Jimenez, O. Gonzalez, B. Puype, T. Cinkler, P. Hegyi, R. Muñoz, R. Martinez, F. Galan, and R. Morro. Multilayer traffic engineering experimental demonstrator in the NOBEL-II project. pages 1–6, BroadBand Europe 2007, 2007.12.06 2007.12.03.

[C72] A. Juttner, T. Cinkler, and B. Dezso. A randomized cost smoothing approach for optical network design. pages 75–78, 9th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON : 2007), 2007.06.05 2007.07.01.

[C73] A. Kern, T. Cinkler, and I. Moldovan. On the optimal configuration of metro Ethernet for triple play. pages 334–341, 2nd Conference on Next Generation Internet Design and Engineering: EuroNGI 2006, 2006.04.05 2006.04.03. IEEE. UT: 000245100600044.

[C74] A. Kern, I. Moldován, and T. Cinkler. Traffic-driven optimization of routing for metropolitan Ethernet networks. pages 1–16, WTC2006 World Telecommunications Congress 2006, 2006.05.03 2006.05.01.

[C75] A. Kern, I. Moldovan, and T. Cinkler. Scalable tree optimization for QoS Ethernet. pages 578–584, The 11th IEEE Symposioum on Computers and Communications (ISCC 2006), 2006.06.29 2006.06.26. IEEE Computer Society Press.

[C76] A. Kern, I. Moldovan, and T. Cinkler. Bandwidth guarantees for resilient Ethernet networks through RSTP port cost optimization. In *Access Networks & Workshops, 2007. AccessNets' 07. Second International Conference on*, page &, Ottawa, 2007.08.23 2007.08.21. IEEE.

[C77] A. Kern, I. Moldovan, P. Hegyi, and T. Cinkler. Ethernet over WDM: Optimization for resilience and scalability. page 8, 6th International Workshop on Design and Reliable Communication Networks: DRCN 2007 La Rochelle, 2007.10.10 2007.10.07. Art. No.: 26496.

[C78] A. Kern, G. Somogyi, and T. Cinkler. On the gain of statistical multiplexing over traffic grooming. pages 112–115, ICTON, International Conference on Transparent Optical Networks, 2006.06.20 2006.06.18. UT: 000240400100029.

[C79] A. Kuchar, T. Cinkler, S. Bjornstad, D. Careglio, D. Colle, C. Gauger, M. Karasek, M. Settembre, S. de Maesschalck, F. Matera, and C. Mauz. COST 266 views on the development of advanced infrastructure for photonic network. pages 1–46, ONDM 2002, Torino, IST Optimist International Workshop on Trends of Technologies for Photonic Networks, 2002.

[C80] P. Laborczi and T. Cinkler. How to extend a network to reach an aimed level of reliability. pages 1–5, 9th IFIP Working Conference on Performance Modelling and Evaluation of ATM & IP Networks, 2001.06.29 2001.06.27.

[C81] P. Laborczi and T. Cinkler. Evaluation and advance of multilayer network availability. pages 1–5, EUNICE 2001, 2001.09.05 2001.09.03.

[C82] P. Laborczi and T. Cinkler. Efficient algorithms for physically-disjoint routing in survivable GMPLS/ASTN network. pages 185–191, Networks 2004: 11th International Telecommunications Network Strategy and Planning : Symposium, 2004.06.16 2004.06.13.

[C83] P. Laborczi and T. Cinkler. On-line routing and bandwidth allocation for elastic traffic and for its restoration. pages 106–110, Networks 2006: 12th International Telecommunications Network Strategy and Planning : Symposium, NewDelhi, India, 2006.11.09 2006.11.06.

[C84] P. Laborczi, T. Cinkler, and I. Budai. How to extend a network to reach an aimed level of reliability? pages 1–7, NETWORKS 2000, 9th International Telecommunication Network Planning Symposium, 2000.09.15 2000.09.10. Source: PublEx.

[C85] P. Laborczi, P. Fige, and T. Cinkler. Static LSP routing algorithms for MPLS networks. pages 6–10, 9th IFIP Working Conference on Performance Modelling and Evaluation of ATM & IP Networks, 2001.06.29 2001.06.27.

[C86] A. Ladanyi, T. Cinkler, P. Hegyi, and J. Szigeti. SD-MLTE: State-dependent multi-layer traffic engineering. pages 1–12, WGN6: VI Workshop on GMPLS networks, 2007.04.13 2007.04.12.

[C87] A. Ladanyi, A. Juttner, and T. Cinkler. Metaheuristic scheme to find good solutions with running time limitation. page 1, Veszprem Optimization Conference: Advanced Algorithms (VOCAL), December, 2004.12.15 2004.12.13. Source: PublEx.

[C88] D. Larrabeiti, T. Cinkler, R. Romeral, and M. Uruea. Towards GMPLS-based fast recovery between BGP ASes. pages 375–380, BroadBand Europe 2005, 2005.11.15 2005.12.12.

[C89] D. Larrabeiti, R. Romeral, I. Soto, M. Uruea, T. Cinkler, J. Szigeti, and J. Tapolcai. Multi-domain issues of resilience. pages 375–380, ICTON 2005 Barcelona: 7th International Conference on Transparent Optical Networks, 2005.07.07 2005.07.03. IEEE Press.

[C90] K. Loja, J. Szigeti, and T. Cinkler. Inter-domain routing in multiprovider optical networks: Game theory and simulations. pages 157–164, 1st Conference on Next Generation Internet Networks Traffic Engineering, 2005.04.20 2005.04.18.

[C91] S. D. Maesschalk, D. Colle, B. Puype, Q. Yan, M. Pickavet, P. Demeester, T. Cinkler, C. Mauz, M. Kohn, C. M. Gauger, S. Sanchez-Lopez, X. Masip-Bruin, J. Sole-Pareta, S. Tomic, M. Ljolje, M. Lackovic, R. Inkret, B. Mikac, D. Schupke, and M. Mattiello. Circuit/wavelength switching and routing. pages 769–773, ConTel 2003, 7th International Conference on Telecommunications, 2003.06.13 2003.06.11.

[C92] M. Maliosz and T. Cinkler. Optimizing configuration of virtual private networks. pages 241–247, Proceedings of the Polish-Czech-Hungarian Workshop on Circuit Theory, Signal Processing and Telecommunication Networks, 2001.09.17 2001.09.14.

[C93] M. Maliosz and T. Cinkler. Methods for optical VPN design over multifiber wavelength routing networks. pages 81–92, IFIP ONDM 2003, 7th Conference on Optical Network Design and Modelling, 2003.02.05 2003.02.03.

[C94] D. Mazroa, S. Shinada, H. Furukawa, S. Zsigmond, T. Cinkler, and N. Wada. Amplitude vs phase regeneration for BPSK modulation format. page 1, IEICE Technical Meeting on Photonic Networks, 2010.06.24.

[C95] D. Mazroa, S. Zsigmond, and T. Cinkler. Determining the maximum power level in optical fibers. page 1, BONE Summer and Master Schools 2008, 2008.10.13.

[C96] B. Megyer, T. Cinkler, and Z. Szombat. Setting up oVPNs with traffic grooming and protection. pages 1–25, IFIP ONDM 2003, 7th Conference on Optical Network Design and Modelling, 2003.02.05 2003.02.03.

[C97] B. Megyer, Z. Szombat, and T. Cinkler. On optical VPNs. pages 1–4, THIRD HUNGARIAN WDM WORKSHOP, 2003.04.08. Source: PublEx.

[C98] D. Mesko, T. Cinkler, A. Mitcsenkov, G. Viola, and J. Nagy. Adaptive shared protection methods. pages 1–8, WTC2006 World Telecommunications Congress 2006, 2006.05.03 2006.05.01.

[C99] D. Mesko, T. Cinkler, G. Viola, and J. Tapolcai. Shared protection with partially disjoint paths. pages 1–8, EUNICE 2003: 9th Open European Summer School and IFIP Workshop on Next Generation Networks, 2003.09.10 2003.09.08.

[C100] D. Mesko, G. Viola, and T. Cinkler. A hierarchical and a non-hierarchical european multi-domain reference network: Routing and protection. pages 101–105, Networks 2006: 12th International Telecommunications Network Strategy and Planning : Symposium, 2006.11.09 2006.10.06.

[C101] A. Mitcsenkov, P. Katzenberger, P. Bakos, G. Paksy, and T. Cinkler. Computer-aided, automatic design of fttx access networks. pages 29–31, BONE Summer School 2010, 2010.09.07 2010.09.06.

[C102] A. Mitcsenkov, G. Paksy, and T. Cinkler. Efficient heuristic methods for fttx topology optimization and architecture cost minimization. pages 495–502, NOC/OC&I 2009 Proceedings: 14th European Conference on Networks and Optical Communications, 2009.06.12 2009.06.10.

[C103] A. Mitcsenkov, G. Paksy, and T. Cinkler. Topology design and capex estimation for passive optical networks. pages 1–8, BroadNets 2009 - Sixth International ICST Conference on Broadband Communications, Networks, and Systems, 2009.09.16 2009.09.15.

[C104] I. Moldovan, K. Nemeth, and T. Cinkler. Merging in MPLS networks. pages 1–4, IEEE ICT 2001 conference, 2001.06.07 2001.06.04.

[C105] E. Onur, E. Sfakianakis, C. Papagianni, G. Karagiannis, T. Kontos, I. Niemegeers, I. P. Chochliouros, S. H. d. Groot, P. Sjodin, M. Hidell, T. Cinkler, M. Maliosz, D. I. Kaklamani, J. Carapinha, M. Belesioti, and E. Fytros. Intelligent end-to-end resource virtualization using service oriented architecture. pages 1–4, The 3rd IEEE Workshop on Enabling the Future Service-Oriented Internet: Towards Socially-Aware Networks, 2009.12.04. poster.

[C106] C. Papagianni, G. Karagiannis, D. T. N., E. Sfakianakis, P. C. I., D. Kabilafkas, T. Cinkler, L. Westberg, P. Sjodin, M. Hidell, H. de Groot S., T. Kontos, C. Katsigiannis, C. Pappas, A. Antonakopoulou, and S. V. I. Supporting end-to-end resource virtualization for web 2.0 applications using service oriented architecture. pages 1–7, GLOBECOM Workshops, 2008 IEEE, 2008.12.04 2008.11.30. Source: PublEx.

[C107] A. Pataki, D. Mesko, G. Viola, and T. Cinkler. Architectural consideration for multi-domain networks. pages 1–4, Transcom 2007, 2007.06.27 2007.06.25.

[C108] M. Perényi, J. Breuer, T. Cinkler, and C. Gáspár. Grooming node placement in switched multilayer networks. page 10, ONDM 2005: 9th Conference on Optical Network Design and Modelling, Milano, Italy, February 7-9 2005. Art. No.: http://mycite.omikk.bme.hu/doc/13974.pdf.

[C109] M. Perenyi, P. Hegyi, J. Szigeti, T. Cinkler, and G. Sallai. Joint grooming capability and wavelength number optimization with protection. pages 1–8, WTC2006 World Telecommunications Congress 2006, 2006.05.03 2006.05.01.

[C110] M. Perenyi, A. Ladanyi, and T. Cinkler. Joint grooming capability and wavelength number optimization. pages 77–84, ICTON 2005 Barcelona: 7th International Conference on Transparent Optical Networks, 2005.07.07 2005.07.03. IEEE Press.

[C111] M. Perenyi, P. Soproni, T. Cinkler, and D. Larrabeiti. Regular reconfiguration of light-trees in multilayer optical networks. page 6, ONDM 2008, 12th Int. Conf. on Optical Networking Design and Modeling, 2008.03.14 2008.03.12. Vilanova i la Geltru, Catalonia, Spain. Art. No.: 1569077507.

[C112] M. Perenyi, S. Zsigmond, and T. Cinkler. ILP formulation of signal power based routing for single- and multi-layer optical networks. page 10, BROADNETS 2008 - Fifth International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems, 2008.09.11 2008.09.08. Art. No.: 1.

[C113] G. Retvari, J. Biro, and T. Cinkler. A novel lagrangian-relaxation to the minimum cost multicommodity flow problem and its application to OSPF traffic engineering. pages 957–962, IEEE International Symposium on Computers and Communications ISCC 2004, 2004.07.01 2004.06.28. UT: 000224456700158.

[C114] G. Retvari, J. Biro, and T. Cinkler. Novel methods for traffic engineering in legacy IP networks. pages 111–117, WTC2006 World Telecommunications Congress 2006, 2006.05.03 2006.05.01.

[C115] G. Retvari, J. Biro, and T. Cinkler. Fairness in capacitated networks - a polyhedral approach. pages 1604–1612, IEEE International Conference on Computer Communications - INFOCOM 2007, 2007.05.12 2007.05.06. UT: 000249117703005.

[C116] G. Retvari, J. Biro, and T. Cinkler. Routing independent fairness in capacitated networks. pages 6344–6349, ICC 2007: IEEE International Conference on Communications, 2007.06.28 2007.06.24. UT: 000257882504110.

[C117] G. Retvari, J. Biro, T. Cinkler, and T. Henk. A precomputation scheme for minimum interference routing: the least-critical-path-first algorithm. pages 260–268, INFOCOM 2005: 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, March 13-17 2005. UT: 000231441000024.

[C118] G. Retvari, P. Fodor, J. Tapolcai, and T. Cinkler. Multi-layer traffic engineering schemes in GMPLS networks. pages 197–200, ICTON 2005 Barcelona: 7th International Conference on Transparent Optical Networks, July 3-7 2005. IEEE Press. UT: 000234111300045.

[C119] G. Salamon, S. Gyori, T. Cinkler, and J. Harmatos. Dimensioning multi-layer transport networks with grooming by genetic algorithm. pages 1–5, Proceedings of the 5th European Conference on Networks and Optical Communications (NOC2002), 2002.06.21 2002.06.18.

[C120] C. Simon, M. Maliosz, and T. Cinkler. Network resource optimization for grid services. Girona, 2009.06.29. Art. No.: 11.

[C121] P. Soproni, P. Babarczi, J. Tapolcai, T. Cinkler, and P.-H. Ho. A meta-heuristic approach for non-bifurcated dedicated protection in WDM optical networks. pages 110–117, Design of Reliable Communication Networks (DRCN2011), 2011.10.12 2011.10.10.

[C122] P. Soproni, J. Botzheim, T. Cinkler, and L. T. Koczy. Grooming-enhanced multicast in multilayer networks with bacterial evolutionary algorithm. pages 211–225, Proceedings of Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 8th International Symposium of Hungarian Researchers: Magyar Kutatok 8. Nemzetkozi Szimpoziuma, Budapest, Hungary, 2007.10.17 2007.10.15.

[C123] P. Soproni, J. Botzheim, T. Cinkler, M. Perenyi, and D. Larrabeiti. Protection of demands against single link failure in two layer networks with bacterial evolutionary algorithm. pages 1–8, ICT Mobile Summit 2009 Conference Proceedings, 2009.06.12 2009.06.10.

[C124] P. Soproni and T. Cinkler. Why traffic engineering does not work for physical impairments based routing? pages 1–2, ECOC 2009, Wien, Austria, September 20-24 2009.

[C125] P. Soproni and T. Cinkler. Physical impairment aware multicast routing heuristics. pages 1–4, 13th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON'2011), 2011.06.30 2011.06.25.

[C126] P. Soproni, M. Perenyi, and T. Cinkler. Grooming-enhanced multicast in multilayer networks. pages 259–268, ONDM 2007: 11th IFIP Int. Conf. on Optical Networking Design and Modeling, May 29-31 2007. Athens, Greece. Art. No.: 1.

[C127] A. Szabo, T. Cinkler, and S. Zsigmond. Impact of physical effects onto the optimal signal power in CWDM optical networks. pages 428–432, 6th Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, 2008.07.25 2008.07.23. Source: PublEx.

[C128] P. Szegedi, J. Szigeti, and T. Cinkler. Reliable control and management plane design in multi-domain optical networks. pages 193–196, ICTON 2007: 9th International Conference on Transparent Optical Networks, 2007.07.05 2007.07.01.

[C129] J. Szigeti, I. Ballok, and T. Cinkler. Efficiency of information update strategies for automatically switched multi-domain optical networks. pages 445–454, ICTON 2005 Barcelona: 7th International Conference on Transparent Optical Networks, 2005.07.07 2005.07.03. IEEE Press. UT: 000234111300099.

[C130] J. Szigeti and T. Cinkler. Incremental availability evaluation model for p-cycle protected connections. pages 1–8, 6th International Workshop on Design and Reliable Communication Networks: DRCN 2007 La Rochelle, 2007.10.10 2007.10.07. Source: PublEx.

[C131] J. Szigeti and T. Cinkler. Inaccuracy of the serial-parallel availability estimation method. pages 615–621, RNDM 2010 - 2nd International Worskhop on Reliable Networks Design and Modeling, 2010.10.20 2010.10.18.

[C132] J. Szigeti, T. Cinkler, and R. Romeral. Rule-based topology advertisement supporting generalized protection. pages 1–7, ONDM 2009 Braunschweig: 13th Conference on Optical Network Design and Modeling, 2009.02.20 2009.02.18.

[C133] J. Szigeti, J. Tapolcai, T. Cinkler, T. Henk, and G. Sallai. Stalled information based routing in multi-domain multilayer networks. pages 297–302, Networks 2004 - 11th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, 2004.06.16 2004.06.13. UT: 000223201000047.

[C134] A. Szlovencsak, I. Godor, J. Harmatos, and T. Cinkler. Planning reliable umts terrestrial access networks. pages 84–90, Third Internatational Workshop on Design of Reliable Communication Networks: DRCN 2001, 2001.10.10 2001.10.07. Scientific Association for Infocommunications. Source: PublEx.

[C135] A. Szodenyi, S. Zsigmond, B. Megyer, and T. Cinkler. Design of traffic grooming optical virtual private networks obeying physical limitations. pages 221–225, International Conference on Wireless and Optical Communications : Networks, 2005.03.08 2005.03.06.

[C136] A. Takacs, A. Csaszar, R. Szabo, and T. Cinkler. Thrifty traffic engineering through CSLLS. pages 61–70, 18th International Teletraffic Congress: ITC18, 2003.09.05 2003.09.01. Elsevier. UT: 000186212700007.

[C137] J. Tapolcai, P. Cholda, T. Cinkler, K. Wajda, A. Jajszczyk, A. Autenrieth, S. Bodamer, D. Colle, G. Ferraris, H. L. nsethagen, I. E. Svinnset, and D. Verchere. Quality of resilience (QoR): NOBEL approach to the multi-service resilience characterization. pages 405–414, GOSP 2005, First IEEE/CreateNet International Workshop on Guaranteed Optical Service Provisioning, BroadNets 2005, 2005.10.07 2005.10.03. Source: PublEx.

[C138] J. Tapolcai, P. Cholda, T. Cinkler, K. Wajda, A. Jajszczyk, and D. Verchere. Joint quantification of resilience and quality of service. pages 477–482, IEEE ICC 2006 Istambul, 2006.06.15 2006.06.11. UT: 000287032700079.

[C139] J. Tapolcai and T. Cinkler. Iterative multihop wavelength routing through decomposition. pages 1–10, NETWORKS 2000, 9th International Telecommunication Network Planning Symposium, 2000.09.15 2000.09.10.

[C140] J. Tapolcai, T. Cinkler, and A. Recski. On-line routing algorithms with shared protection in WDM networks. pages 351–364, 7th IFIP Working Conference on Optical Network Design and Modelling, 2003.02.05 2003.02.03. BME.

[C141] J. Tapolcai, P. Fodor, G. Retvari, M. Maliosz, and T. Cinkler. Class-based minimum interference routing for traffic engineering in optical networks. pages 31–38, 1st Conference on Next Generation Internet Networks Traffic Engineering, 2005.04.20 2005.04.18.

[C142] J. Tapolcai, P.-H. Ho, and T. Cinkler. A compact mathematical formulation for shared path protection with general shared risk groups. pages 250–254, International Conference on Wireless and Optical Communications : Networks, 2005.03.08 2005.03.06.

[C143] J. Tapolcai, P.-H. Ho, and T. Cinkler. A distributed control framework for shared protection based on tropical semi-rings. pages 1–10, MPLS/GMPLS Workshop, 2006.03.31 2006.03.30.

[C144] J. Tapolcai, P.-H. Ho, D. Verchere, and T. Cinkler. A novel shared segment protection method for guaranteed recovery time. pages 127–136, BroadNets 2005, The Second International Conference on Broadband Networks, 2005.10.07 2005.10.03. Source: PublEx.

[C145] J. Tapolcai, P. Laborczi, P.-H. Ho, A. Recski, T. Cinkler, and H. T. Mouftah. Algorithms for asymmetrically weighted pair of disjoint paths in survivable networks. pages 220–227, Third Internatational Workshop on Design of Reliable Communication Networks: DRCN 2001, Budapest, Hungary, 2001.10.10 2001.10.07. Scientific Association for Infocommunications.

[C146] J. Tapolcai, D. Mathe, A. Zahemszky, A. Autenrieth, P. Cholda, T. Cinkler, D. Colle, and K. Wajda. Quantification of resilience for voice-over-IP applications. pages 10–15, ISBAT 2006, International Symposium on Broadband Access Technologies in Metropolitan Area Networks, 2006.10.06 2006.10.05.

[C147] A. Zahemszky, A. Csaszar, G. Toth, A. Takacs, and T. Cinkler. Dual purpose gateway selection in the GMPLS PCE architecture. pages 1–4, Transcom2007, 2007.06.27 2007.06.25.

[C148] G. Ziegler, Z. Palotai, T. Cinkler, P. Arato, and A. Lorincz. Value prediction in engineering applications. pages 25–34, Engineering of Intelligent Systems, Proceedings of AIE/IEA 2001, Budapest, Hungary, 2001.06.07 2001.06.04. Springer-Verlag.

[C149] S. Zsigmond, B. Megyer, and T. Cinkler. Design of optical VPNs with simulating physical limitations. pages 1–4, Eunice Short Paper 2004, 2004.01.01. IEEE.

[C150] S. Zsigmond, M. Perenyi, and T. Cinkler. Cross-layer optimization of OSNR-constraint RWA in WDM optical networks. pages 1–4, COST 291 workshop on The Role of Optical Networking in the Future Internet, 2008.03.13 2008.03.11.

[C151] S. Zsigmond, A. Szodenyi, B. Megyer, T. Cinkler, A. Tzanakaki, and I. Tomkos. A new method for considering physical impairments in multilayer routing. page 1, COST291/GBOU ONNA workshop on Design of Next Generation Optical Networks, 2006.02.06. IEEE.

Oktatóanyagok (Tutorial)

[T1] T. Cinkler. The optical networking roadmap, tutorial. page 1, Networks 2004 - 11th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, 2004.06.16 2004.06.13. Source: PublEx.

[T2] T. Cinkler. On multi-layer multi-domain core networks. page 1, NoE e-Photon/ONe Winter School on Optical Core Network Technologies, Aveiro, 2005.02.25 2005.02.23.

[T3] T. Cinkler. Optimizing traffic performance in converging heterogeneous optical-based networks: Resource and traffic engineering. pages 1–40, ITC-20 Ottawa, 20th International Teletraffic Congress, 2007.06.21 2007.06.17. Source: PublEx.

[T4] T. Cinkler. Routing, TE and resilience in heterogeneous optical networks. pages 1–4, IEEE ICC 2007 Glasgow, International Conference on Communications, 2007.06.28 2007.06.24. Source: PublEx.

[T5] T. Cinkler. ILP (integer linear programming) for optimising operation of optical networks. In *Advances in Core Networks BONE Summer School 2009*, AGH, Krakkow, Poland, September 28 – 29 2009. BONE.

[T6] T. Cinkler. MLTE: Multi-layer traffic engineering. In *Optical Core Networks BONE Master School 2009*, AGH, Krakkow, Poland, September 30 – October 2 2009. BONE.

Könyvfejezetek

[B1] T. Cinkler. *Towards an optical internet: new visions in optical network design and modelling*, chapter ILP Formulation of Grooming over Wavelength Routing with Protection, pages 25 – 48. Number ISBN 0-7923-7541-6. Springer, 2001.

[B2] T. Cinkler. chapter 3.6. ATM, IP ATM felett, ATM-LAN és MPLS, pages 74–88. Online book, HTE Scientific Association for Infocommunications Hungary, 2002., Budapest, 2002.

[B3] T. Cinkler. chapter 2.1.1. Digitális PDH és SDH hierarchia, pages 62–73. Online book, HTE Scientific Association for Infocommunications Hungary, 2002., Budapest, 2002.

[B4] T. Cinkler, editor. *Proceedings of ONDM 2003, The 7th IFIP Working Conference on Optical Network Design and Modelling*. Number Volume I, ISBN 963206406-2. ONDM, February 2003.

[B5] T. Cinkler, editor. *Proceedings of ONDM 2003, The 7th IFIP Working Conference on Optical Network Design and Modelling*. Number Volume II, ISBN 963206407-0. ONDM, February 2003.

[B6] T. Cinkler, D. Coudert, M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, X. Munoz, I. Sau, M. Shalom, and S. Zaks. *Graphs and Algorithms in Communication Networks: Studies in Broadband, Optical, Wireless, and Ad Hoc Networks*, chapter Traffic Grooming: Combinatorial Results and Practical Resolutions, pages 63–94. Number ISBN 978-3-642-02249-4. Springer, 2009.

[B7] T. Cinkler and T. Henk. chapter 4.2. Hálózati követelmények és teljesítésük elvei, pages 23–39. Online book, HTE Scientific Association for Infocommunications Hungary, 2002., Budapest, 2002.

[B8] D. Colle, T. Cinkler, S. D. Maesschalck, (editors), P. Demeester, C. M. Gauger, R. Inkret, M. Köhn, M. Lackovic, M. Ljolje, X. Masip-Bruin, M. Mattiello, C. Mauz, B. Mikac, M. Pickavet, B. Puype, S. Sánchez-López, D. A. Schupke, J. Solé-Pareta, S. Tomić, and Q. Yan. *Advanced Infrastructure for Photonic Networks, Extended Final Report of COST Action 266*, chapter 3. Circuit/Wavelength Switching and Routing, pages 71 – 114. Number ISBN 953-184-064-4. University of Zagreb, 2003.

Magyarországi magyar nyelvű folyóiratok

[F1] T. Cinkler, A. Farkas, C. Gaspar-Papanek, J. Szigeti, and K. Veto. Vedokorok hasznalata ketretegu szallitohalozatokban. *MAGYAR TAVKOZLES*, XV:32–38, 2004.

[F2] T. Cinkler and R. Vida. Halozati technologiak fejlodese. *MAGYAR TUDOMANY*, 168(7):852–861, 2007.

[F3] G. Geleji, M. Asztalos, T. Cinkler, and P. Hegyi. A hullámhossz-utak de-fragmentálódásának hatása forgalomkotegeléses WDM optikai hálózatokban. *HIRADÁSTECHNIKA*, LXI(2):54–59, 2006.

[F4] P. Hegyi and T. Cinkler. Megosztott vedelem tobbretegu halozatokban. *HIRADASTECHNIKA*, LXV(3-4):36, 2010.

[F5] A. Kern, G. Somogyi, and T. Cinkler. Statisztikus nyalabolas es forgalom kotegeles egyuttes hatasa optikai halozatokban. *HIRADASTECHNIKA*, 61(2):35–39, 2006.

[F6] M. Maliosz and T. Cinkler. Virtualis maganhalozatok tervezese vedelemmel. *HIRADASTECHNIKA*, LVII(1):33–39, 2002.

[F7] A. Mitcsenkov, D. Mesko, and T. Cinkler. Forgalomhoz alkalmazkodo vedelmi modszerek. *HIRADASTECHNIKA*, LXII(2), 2007.

[F8] M. Perenyi, P. Soproni, and T. Cinkler. Multicast fak rendszeres ujrakonfiguralasa tobbretegu optikai halozatokban. *HIRADASTECHNIKA*, LXII(8):14–22, 2007.

[F9] P. Soproni, M. Perenyi, and T. Cinkler. Multicast es forgalomkotegeles tobbretegu halozatokban. *HIRADASTECHNIKA*, LXII(2):19–24, 2007.

[F10] P. Szegedi, J. Szigeti, and T. Cinkler. Nagymegbizhatosagu optikai vezerlo- es menedzsmentsik tervezes. *PKI KOZLEMENYEK*, 51:9–18, 2007.

[F11] J. Szigeti, I. Ballok, and T. Cinkler. Hatekony informaciofrissitesi strategiak automatikusan kapcsolt optikai halozatokban. *HIRADASTECHNIKA*, LX:45–49, 2005.

[F12] J. Szigeti, J. Tapolcai, G. Retvari, L. Laposi, and T. Cinkler. Utvonalkijeloles es forgalomelvezetes tobb tartomanyu kapcsolt optikai halozatokban. *HIRADASTECHNIKA*, 59(2):42–49, 2004.

[F13] L. Szilagyi, T. Cinkler, and Z. Csernatony. Energiahatekony hálózati megoldások. *HIRADASTECHNIKA*, LXV(7-8):2–8, 2010.

[F14] S. Zsigmond, B. Megyer, and T. Cinkler. Optikai virtualis maganhalozatok kialakitasa a fizikai szint korlatainak figyelembevetelevel. *MAGYAR TAVKOZLES*, XV(2):1, 2004.

[F15] S. Zsigmond, M. Perenyi, and T. Cinkler. Jel/zaj viszonyon alapulo utvonalvalasztas WDM halozatokban. *HIRADASTECHNIKA*, LXIII(6):35–42, 2008.

Magyarországi angol nyelvű folyóiratok

[H1] L. Ast, S. Blaabjerg, T. Cinkler, V. Hai, and G. Fodor. Fairness and revenue optimization in multi-rate loss networks. *JOURNAL ON COMMUNICATIONS, ATM Networks II.*, XLVII(2), March 1996.

[H2] A. Farago, V. T. Hai, T. Cinkler, Z. Fekete, and A. Arato. An ATM network planning model. *JOURNAL ON COMMUNICATIONS ATM Networks I.*, XLVII(1):1–13, January-February 1996.

[H3] A. Kern, G. Somogyi, and T. Cinkler. On the joint application of statistical multiplexing and traffic grooming in optical networks. *HIRADASTECHNIKA*, 61(7):17–21, 2006.

[H4] A. Mitcsenkov, D. Mesko, and T. Cinkler. Adaptive protection methods. *HIRADASTECHNIKA*, LXII(7):2–9, 2007.

[H5] M. Perenyi, P. Soproni, and T. Cinkler. Periodic reconfiguration of groomed multicast trees in WDM networks. *HIRADASTECHNIKA*, LXIII(1):2–10, 2008. Selected Papers of the year.

[H6] M. Perényi, P. Soproni, and T. Cinkler. Regular reconfiguration of light-trees in WDM networks. *Híradástechnika*, LXIII, 2008.

[H7] S. Zsigmond, M. Perenyi, and T. Cinkler. OSNR based routing in WDM optical networks. *HIRADASTECHNIKA*, LXIII(7):47–54, July 2008.

PhD disszertációk

[D1] T. Cinkler. *Models and Algorithms for Design and Configuration of Transport Networks.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Hungary, Budapest, Hungary, 1999.

[D2] L. Gyarmati. *Socio-economics of the Future Internet: Profit-aware Solutions in Networking.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2011.

[D3] P. Hegyi. *Multi-layer Traffic Engineering and Protection.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2010.

[D4] B. Józsa. *Traffic Engineering Algorithms for MPLS Networks.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2005.

[D5] A. Kern. *Traffic Driven Optimization of Resilient QoS-aware Metro Ethernet Networks.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2008.

[D6] P. Laborczi. *Configuration of Fault Tolerant Infocommunication Networks.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2002.

[D7] M. Maliosz. *Optimization Methods for Virtual Private Network Design.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2006.

[D8] A. Mitcsenkov. *Efficient Topology Design Methods for Next Generation Access Networks.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2012.

[D9] D. Orincsay. *Design and Performance Analisys of Traffic Engineering Algorithms in Telecommunnication Networks.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2005.

[D10] M. Perényi. *Resource Optimization in Optical Networks and Peer-to-Peer Traffic Identification in IP Networks.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2009.

[D11] G. Rétvári. *Novel Methods for IP Traffic Engineering.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2007.

[D12] P. Soproni. *Efficient Multi-Layer Unicast and Multicast Algorithms in Optical Routing Networks.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2012.

[D13] J. Szigeti. *Network State Advertisement and p-cycle Protection for Reliable Connections.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2012.

[D14] J. Tapolcai. *Routing Algorithms in Survivable Telecommunication Networks.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2005.

[D15] S. Zsigmond. *Routing in Optical Networks Based on Physical Effects.* PhD thesis, BME, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2010.

Egyéb csatlakozó szakirodalmi hivatkozások

[1] R. Ahuja, T. Magnanti, and J. Orlin. *Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications.* Prentice-Hall, 1993.

[2] M. Ali, D. Elie-Dit-Cosaque, and L. Tancevski. Enhancements to multi-protocol lambda switching (mpλs) to accommodate transmission impairments. In *Global Telecommunications Conference, 2001. GLOBECOM'01. IEEE*, volume 1, pages 70–75. IEEE, 2001.

[3] M. Ali, D. Elie-Dit-Cosaque, and L. Tancevski. Network optimization with transmission impairments-based routing. In *ECOC 2001 27th European Conference on Optical Communication, Amsterdam*, volume 1, pages 42–43. IEEE, 2001.

[4] A. Banerjee, J. Drake, J. Lang, B. Turner, D. Awduche, L. Berger, K. Kompella, and Y. Rekhter. Generalized multiprotocol label switching: An overview of signalling enhancements and recovery techniques. *Communications Magazine, IEEE*, 39(7):144–151, July 2001.

[5] M. Bazaraa, J. Jarvis, and H. Sherali. *Linear programming and network flows.* John Wiley & Sons, 1990.

[6] R. Bhandari. *Survivable networks: algorithms for diverse routing*, volume 477. Kluwer Academic Publishers, 1999.

[7] S. Bose, Y. Singh, A. Raju, and B. Popat. Sparse converter placement in WDM networks and their dynamic operation using path-metric based algorithms. In *Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on*, volume 5, pages 2855–2859. IEEE, 2002.

[8] X. Chu, J. Liu, and Z. Zhang. Analysis of sparse-partial wavelength conversion in wavelength-routed WDM networks. In *INFOCOM 2004. Twenty-third AnnualJoint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, volume 2, pages 1363–1371. IEEE, 2004.

[9] COST 266. Cost 266 reference scenario, http://www.ure.cas.cz/dpt240/cost266/index.html. Technical report, COST 266, January 2002.

[10] S. De Maesschalck, D. Colle, A. Groebbens, C. Develder, A. Lievens, P. Lagasse, M. Pickavet, P. Demeester, F. Saluta, and M. Quagliatti. Intelligent optical networking for multilayer survivability. *Communications Magazine, IEEE*, 40(1):42–49, 2002.

[11] M. Dell'Amico, F. Maffioli, and S. Martello. *Annotated bibliographies in combinatorial optimization.* John Wiley & Sons Inc, 1997.

[12] DICONET. *Dynamic Impairment Constraint Network for Transparent Mesh Optical Networks.* A European ICT Research Project, FP7 STREP.

[13] E. W. Dijkstra. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1(1):269–271, 1959.

[14] E. Dotaro, M. Vigoureux, and D. Papadimitriou. Multi-region networks: Generalized multi-protocol label switching (GMPLS) as enabler for vertical integration. In *Global Telecommunications Conference Workshops, 2004. GlobeCom Workshops 2004. IEEE*, pages 374–379. IEEE, 2004.

[15] R. Dutta, A. Kamal, and G. Rouskas. *Traffic grooming for optical networks: foundations, techniques, and frontiers.* Springer Verlag, 2008.

[16] G. Fodor, G. Malicsko, M. Pioro, and T. Szymanski. Path optimization for elastic traffic under fairness constraints. In *17th International Teletraffic Congress, Salvador da Bahia, Brasil*, 2001.

[17] W. Grover. *Mesh-Based Survivable Networks*. Prentice Hall PTR, Erewhon, NC, 2004.

[18] Y. S. Kavian and M. S. Leeson, editors. *Resilient Optical Network Design: Advances in Fault-Tolerant Methodologies*. Number doi:10.4018/978-1-61350-426-0. IGI Global, 2012.

[19] M. Kodialam and T. Lakshman. Minimum interference routing with applications to MPLS traffic engineering. In *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, volume 2, pages 884–893. IEEE, 2000.

[20] Q. Ma, P. Steenkiste, and H. Zhang. Routing high-bandwidth traffic in max-min fair share networks. In *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, volume 26, pages 206–217. ACM, 1996.

[21] E. Modiano. Traffic grooming in WDM networks. *Communications Magazine, IEEE*, 39(7):124–129, 2001.

[22] C. Ou, K. Zhu, H. Zang, L. Sahasrabuddhe, and B. Mukherjee. Traffic grooming for survivable WDM networks-shared protection. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 21(9):1367–1383, 2003.

[23] M. Pióro and D. Medhi. *Routing, flow, and capacity design in communication and computer networks*. Elsevier/Morgan Kaufmann, 2004.

[24] B. Ramamurthy, D. Datta, H. Feng, J. Heritage, and B. Mukherjee. Impact of transmission impairments on the teletraffic performance of wavelength-routed optical networks. *Journal of Lightwave Technology*, 17(10):1713–1723, 1999.

[25] R. Salbella and H. Zang. Guest editorial: Traffic engineering in optical networks. *Network, IEEE*, 17(2):6–7, March/April 2003. UT: 000181608700004.

[26] A. Somani. *Survivability and traffic grooming in WDM optical networks*. Cambridge Univ Pr, 2006.

[27] S. Subramaniam, M. Azizoglu, and A. Somani. On optimal converter placement in wavelength-routed networks. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, 7(5):754–766, 1999.

[28] J. Suurballe. Disjoint paths in a network. *Networks*, 4(2):125–145, 1974.

[29] I. Tomkos, D. Vogiatzis, C. Mas, I. Zacharopoulos, A. Tzanakaki, and E. Varvarigos. Performance engineering of metropolitan area optical networks through impairment constraint routing. *Communications Magazine, IEEE*, 42(8):S40–S47, 2004.

[30] J.-P. Vasseur, M. Pickavet, and P. Demeester. *Network Recovery - Protection and Restoration of Optical, SONET-SDH, IP, and MPLS*. Morgen Kaufmann Publishers, Erewhon, NC, 2004.

[31] H. Zhu, H. Zang, K. Zhu, and B. Mukherjee. A novel generic graph model for traffic grooming in heterogeneous WDM mesh networks. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, 11(2):285–299, 2003.

[32] K. Zhu, H. Zang, and B. Mukherjee. Design of WDM mesh networks with sparse grooming capability. In *Global Telecommunications Conference, 2002. GLOBECOM'02. IEEE*, volume 3, pages 2696–2700. IEEE, 2002.

[33] K. Zhu, H. Zhu, and B. Mukherjee. Traffic engineering in multigranularity heterogeneous optical WDM mesh networks through dynamic traffic grooming. *Network, IEEE*, 17(2):8–15, 2003.

[34] K. Zhu, H. Zhu, and B. Mukherjee. *Traffic grooming in optical WDM mesh networks*. Springer-Verlag New York Inc, 2005.