

## Bírálat

### Cinkler Tibor „Módszerek heterogén hálózatok üzemeltetésének optimalizálására”

#### című doktori értekezéséről

A dolgozat témája a korszerű, sokrétűen tagolt és több szempontból is heterogén hálózatok útvonalválasztásának optimalizálása. A témakör a hálózati világ még mindig gyorsuló kiépülése és szolgáltatásainak bővülése miatt folyamatosan aktuális.

Az igények és a hálózat felépítése igen széles skálán mozog, amihez a szolgáltatás elvárt színvonalú teljesítésének gazdaságos biztosítása specifikus modelleket igényel, amelyek lehetővé teszik, hogy hatékonyan lehessen az igen nagy gyakorisággal szükséges optimalizálási algoritmusokat futtatni.

Új megoldások eléréséhez két oldalról kell igen mélyen ismerni a modellezés lehetőségeit: először a hálózat műszaki felépítését, aminek alapján a szolgáltatáshoz megfelelő gráf modell és protokoll készíthető, másodsor a gráfon megfogalmazott optimalizálási feladathoz ismerni kell az optimalizálás matematikai módszereit, algoritmusait.

A témakör kutatása nem kisszámú erős tézishez vezet, hanem szisztematikus, a lehetőségeket feltáró, sok esetben heurisztikát is használó közelítések keresése, összehasonlítása más módszerekkel, szimulációs ellenőrzés, és a valós alkalmazásig való kidolgozás jellemzi az eredményeket.

Ez magyarázza, hogy az értekezés három téziscsoportjában összesen 15 tézis szerepel.

A négy fejezetből álló 102 oldalas dolgozatot 23 oldalnyi irodalomjegyzék egészíti ki, ebből 16 tartalmazza a jelölt publikációit.

A dolgozat három érdemi fejezete tartalmaz egy-egy téziscsoportot. A fejezetek belső számozásában az első szakasz ismerteti a témakör előzményeit, alapjait. A következő szakaszok pedig egy-egy modell, protokoll elemzését tartalmazzák, amelyek a téziszűzetben szereplő téziseknek felelnek meg, azokat fejtik ki. A dolgozatban az eredmények nem tézisként szerepelnek. A téziszűzettel együtt minden tézis egyértelműen azonosítható.

Az első fejezet a meghibásodás-tűrő hálózatvédelemmel foglalkozik. Az alapfeladat lényege az, hogy egy forgalmi igény elvezetéséhez lefoglalt útvonal mellett meghibásodás esetére lefoglalt tartalék útvonalat kell megadni, optimális módon.

Az I.1. tézisben a szakasz, szegmens vagy teljes útvonal szintű választás között ad egyedi igény elvezetésére optimalizálást. Az éleken lekötött munka, illetve védelmi kapacitások optimalizálását a három választás súlyozott célfüggvénybe kombinálásával vegyes egészértékű lineáris optimalizálásra vezeti vissza. A blokkolódási hányadot összehasonlítja más módszerekkel. A tapasztalat alapján hatékony a megoldás.

A I.2. tézisben a dinamikusan érkező és megszűnő forgalmak figyelembevételével megszűnés esetén együttesen újra optimalizálja a tartalékútvonalakat. Az együttes meghibásodástól letekint a modell, ezért osztott tartalékútvonal használható, sajátos kapacitás-lekötési függvényrel. Hálózati folyamatok optimalizálási feladatára vezet a modell, speciális részlehetőségeket is figyelembe vesz. Végül vegyes lineáris programozási feladatot old meg. A szokásos módszertől bonyolultabb optimalizáló algoritmus 30 csomópontra is elfogadható időben fut, jobb eredményre vezet.

A következő, I.3. tézis a rugalmas forgalmi igények útvonalának biztosítására vonatkozik. A rugalmas igények intenzitása adott határok között változtatható. Hiba esetén egyes útvonalakon a forgalom csökkenthető, így nem blokkolódik a forgalom. Kritikus kérdés ennél a protokollnál az igazságosság, amihez új mérőszámot, a relatív pártalanságot vezet be. Két esetre (mindkét útra maximális, csak a munka útvonalra maximális) keres optimalizáló módszert. Kis gráfokra egész értékű lineáris programozást javasol, nagyobbakra már részben heurisztikus, illetve közelítő lineáris programozást ad meg. A megoldásokat futási időre nézve és eredményességükben is elemzi.

A többtartományos hálózatok védelemmegosztására az I.4. tézis két új módszert javasol. A több utas védelem esetében az egész értékű lineáris programozás helyett valós értékűt használ, ami lényegesen gyorsabb lett. Az eredményeket más módszerekkel szimuláció útján hasonlította össze.

A második fejezet a forgalomkötegelés (grooming) modellezésében hét részeredményt tartalmaz, amelyek a téziszfüzet II.1.-II.7. téziseinek felelnek meg. Az optimalizálásra a nagyobb kapacitású optikai réteg és a csomagkapcsolt elektronikus réteg, valamint a több tartomány összehangolása ad lehetőséget. Ebben az alapvető lehetőség a nagy kapacitású optikai kapcsolatokon (lambda-linkek) a nagyságrenddel kisebb egyedi forgalmi igények kötegeléssel való elvezetése. A kötegelés és szétbontás az elektronikus rétegre tartozik, így a két réteg összehangolására számos protokoll létezik, amelyeket a bevezető ismertet. Az előkészítő 2.1 szakasz ismerteti a jelölt meghatározó közreműködésével felépített kötegelési gráf modellt. (Grooming Graph). A 2.1. ábráról lemaradtak az élek címkéi, így csak sejthető, mit jelentenek az élek. A modellben a csomópontok igen összetettek, több típusuk van, a lambda szálak össze- szétfűzését, az elektronikus forgalom konvertálását végzik.

A II.1. tézis a kötegelési gráfon egész értékű lineáris programozásra vezeti vissza a igények egyidejű elvezetésének optimalizálását, ugyanennek védelemmel együttes, illetve többesadósos változatát.

A II.2. tézis a forgalomkötegelt hálózat tervezéséhez javasol új módszert. Az algoritmus iterációval javítja a kezdeti hullámhossz utakhoz és port számokhoz tartozó gráfot, szimulált forgalomhoz keresi a jobb megoldást.

A II.3. tézis a hullámhossz utak felbontásának lehetőségét is figyelembe vevő optimalizálást javasol., új gráf modell bevezetése is tartozik hozzá, a fényút tördelő gráf modell, (Fragment Graph).

A 2.5 szakasz komplex szimulációs hatékonyságelemzést mutat be az NSF és a COST266 hálózatok topológiáján. A gráf modell használja a fényút tördelést is. A szimuláció a fényút tördelést is használó módszert különféle részesetekre is hatékonyabbnak mutatja a többinél. Ezt fogalmazza meg a II.4. tézis.

A 2.6 szakaszban a csomópontok terheltségének függvényében változó súlyozás rendelődik az optikai illetve elektronikus út választásához. A referenciaként használt két hálózati topológián szimulációval elemzi a súlyozást használó optimalizálás hatását. A tézisben megfogalmazott eredmény egyetlen

típusú forgalom (60. oldal közepe) generálására érvényes. **Kérdés**, milyen esetben várható hasonló jó tulajdonság. A II.5. tézis nem a kombinatorikus optimalizálás, hanem a tömeg-kiszolgálási modellezés technikáját használja.

A II.6. tézist lefedő 2.7. fejezetben a védelmi utak figyelembe vételével bővíti a 2.5. fejezet fényút tördelést is használó kötegelési modellt. Dedikált és osztott védelmi útvonalakkal együtt a munka útvonal és a védelmi útvonal meghatározására a Dijkstra, illetve a két (diszjunkt) útvonal egyszerre történő optimális választására a Suurballe algoritmusokat használja. A módszer hatékonyságát a minta topológiákon szimulációval elemzi.

A kötegelés utolsó tézise a többesadás, műsorszórás két rétegű (optikai és elektromos) szolgáltatásának a védelemmel együtt történő optimalizálására vonatkozik. A dinamikusan változó forgalmat megvalósító fa kialakítására és helyreállítására több fa-újraépítési módszerrel javasol új megoldásokat. A módszerek hatékonyságát szimulációval elemzi.

A harmadik téziscsoport az optikai jelek minőségének javítását veszi még figyelembe a fényút-tördelés és kötegelés optimalizálásával kombinálva. Kihhasználja, hogy a forgalom optimalizálás miatt szükséges O/E/O átalakítók a jelerősítésre is kihasználhatók. A III.1 tézis a jelfrissítés és kötegelés együttes optimalizálására jó hatásfokú heurisztikus algoritmust ad meg. Az elemzést a minta topológián széles paraméterskálán végezte el. A III.2. tézis az azonos fényszálon haladó jelek szintjének hangolásához ad globális optimalizálást. A vegyes értékű lineáris programozásra vezető matematikai modell megadása a műszaki feladat igen mély ismeretére alapul. A III.3. tézis érdemi újdonsága, hogy a dinamikus döntési feladathoz az új igény kielégítéséhez keresendő legrövidebb út megkereséséhez nem a kapacitást választja az élek súlyozásához, hanem a teljesítményeket. Ezzel a kerülő utak hosszának növekedésével járó teljesítménynövekedést igyekszik csökkenteni. Szimulációval ellenőrzi, milyen esetekben ad ez előnyösebb megoldást, és magyarázatot is ad rá.

A jelromlással és jelerősítéssel összefüggő utolsó III.4. tézisben a teljesítményalapú osztott védelmi vonal használatát vezeti be, ad rá optimalizáló algoritmust, és szimulációval elemzi, mikor előnyös.

Az értekezés a téziseihez igen gazdag, kiemelkedő publikációs háttér tartozik. A tézisekhez tartozó szakaszokban minden esetben megtalálhatók a tézisekhez tartozó publikációk. 33 folyóiratcikk, 151 konferencia cikk, 25 kumulált impakt faktor, 1000 feletti hivatkozás önmagáért beszél.

A jelölt a hálózatüzemeltetés során felmerülő újabb és újabb problémák, lehetőségek feltárásában igen széleskörű, és a gyakorlathoz szorosan kapcsolódó kutatást végzett. Az alkalmazhatóságot a tézisekhez fűződő 4, ma is használt szabadalom is jól mutatja.

A témakör kezeléséhez tartozó matematikai apparátust nagy biztonsággal használja, ez teszi lehetővé, hogy a műszaki megfontolásokhoz meg tudja adni a megfelelő, és kezelhető matematikai modelleket.

A tézisek mindegyikét elfogadom, azzal a megjegyzéssel, hogy ugyan egyedileg nem jelentnek erős eredményt, viszont a három téziscsoport mindegyike már jelentős hozzájárulás a hálózatüzemeltetés valós feladatának megoldásához.

A dolgozatban szereplő algoritmusok tipikusan determinisztikus algoritmusok, általában a teljes forgalmi feladat egészére adnak optimalizáló megoldást, az on-line döntési típusú esetben (III.3.

tézis) determinisztikus stratégia adja a döntést. A módszerek hatékonyságát a forgalom szimulálása támasztja alá.

Kérdés, hogy összehasonlíthatók-e ezek a módszerek tömeg-kiszolgálási modellek alapján történő megoldásokkal? Az on-line döntési feladatnál felvetődött-e véletlenített stratégia használata?

Az angol nyelvű dolgozat jó, világos stílusú. Az ábrák általában jók, segítik a megértést. Egyedül a 2.1. ábráról hiányoznak feliratok. A szimulációs mérések grafikonjai elegendőek az algoritmusok tulajdonságainak alátámasztásához. A téziszfüzet és a dolgozatban szereplő 4. összefoglaló fejezet hiteles, érdemi új eredményeket sorol fel.

Összegezve, a doktori munka tudományos eredményeit elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez, javaslom a nyilvános védés kitűzését, és az MTA doktori cím odaítélését.

Budapest, 2013. május 17.

Dr. Benczúr András

matematikai tudományok doktora