

A grid hálózatokban alkalmazható jelzésarchitektúrák és helyreállítási mechanizmusok vizsgálata

LAKATOS ZSOLT

BME Híradástechnikai tanszék, lakatos@hit.bme.hu

SZEGEDI PÉTER

Magyar Telekom Távközlésfejlesztési Intézet, szegedi.peter3@t-com.hu

Lektorált

Kulcsszavak: grid hálózatok, jelzeshálózatok, késleltetési modellek, helyreállítás, optikai hálózatok

A távoli erőforrások összekapcsolására alkalmas grid hálózat, számos korábban nem létező követelményt támaszt az öt kiszolgáló optikai transzport-hálózattal szembe. Ilyen követelmény lehet a helyreállítási idő skálázhatósága és a szükséges minőségi paraméterekkel rendelkező kapcsolatok biztosítása, vagyis a „túlszolgáltatás” elkerülése. Feltételezve, hogy a helyreállítási idő elsősorban az alkalmazott jelzésrendszertől és a helyreállítási utak hosszától függ, ezek figyelembe vétele elkerülhetetlen a tervezés során. A következőkben bemutatunk egy analitikus modellt a vezérlési sík megvalósításainak értékelésére, illetve ismertetjük az alkalmazható helyreállítási mechanizmusok ILP alapú tervezési folyamatát. A kidolgozott modellek helyességét és alkalmazhatóságát illusztratív esettanulmányok bizonyítják.

1. Bevezetés

Nyilvánvaló, hogy a kutatóhelyek lokális számítási erőforrásainak fejlődése nem képes lépést tartani a vele szemben támasztott követelményekkel. A nagyobb számítási kapacitások létrehozása érdekében a térben elosztott szabad erőforrások összekapcsolása tűnik észszerűnek.

A grid hálózatok rugalmas, biztonságos, koordinált erőforrás-megosztást tesznek lehetővé a dinamikusan hozzájuk kapcsolódó felhasználók között. A grid hálózatok segítségével áthidalhatóak a távolságokból, szervezeti egységek felépítéséből, számítógép architektúrákból és szoftverekből származó korlátok, virtuálisan végtelen nagy számítási erőforrást biztosítva a felhasználók számára. A grid infrastruktúra-szállítók számos egymástól eltérő szempontok szerint, például a grid által kiszolgált szervezeti egységek szerkezete vagy a felépítésében részt vevő erőforrások alapján csoportosították a grid alkalmazásokat. Ebben a cikkben a következők három csoportra osztjuk fel a grid alkalmazásokat:

- „Számítási” grid hálózatok (*Compute Grid*) a hatékonyabb kihasználtság elérése érdekében összefogják és koordinálják a felépítésükben részt vevő számítástechnikai erőforrásokat. Többnyire olyan problémák megoldására alkalmazzák, amelyek több független szervezet együttműködését igénylik.

- „Adat”-grid hálózatok (*Data Grid*) nagymennyiségű adathalmazon végeznek műveleteket. Tipikusan az adat-orientált feldolgozásokra optimalizáltak. Habár nagymennyiségű tárolókapacitást használnak fel, eltérnek a klasszikus adattárolási hálózatoktól.

- „Alkalmazási” grid hálózatok (*Utility Grid*) az értékesíthető számítási erőforrások gyűjteménye, amelyek felügyeletét és menedzselését az öt működtető szolgáltató végzi el. A felhasználók szükség esetén képesek a lokális erőforrásaikat bővíteni az Alkalmazás grid hálózatoktól vásárolt számítási idő megvásárlásával.

A cikkben a grid hálózatok transzport-hálózatokkal szemben támasztott követelményeiket a MUPBED projekt alapján határoztuk meg. Az Európai Unió támogatásával zajló IST-FP6 MUPBED projekt a kutatóhálózatokban alkalmazott technológia vizsgálatával foglalkozik, beleértve a grid alkalmazásokat is [3].

A továbbiakban a lehetséges alkalmazások közül kizárólag az *Alkalmazás grid hálózatokra* koncentrálnunk, ugyanis az ezeken futó *Katasztrófa Helyreállítás (KH, Disaster Recovery)* és az *Üzleti Folytonosság (ÜF, Business Continuity)* alkalmazások igénylik a legmegbízhatóbb transzport-hálózatot, illetve ezek támasztják a legszigorúbb minőségi követelményeket.

2. Grid alkalmazások és követelményeik

Mivel a grid az elosztott erőforrások koordinált használatára épül, elkerülhetetlen az alatta lévő transzport-hálózat reagálása a sávszélesség igény, a hálózatminőség és az összeköttetések megváltozására. Az Alkalmazási grid hálózatok esetén elkerülhetetlen az olyan skálázható architektúra használata, amely képes rugalmasan biztosítani az eltérő erőforrás-típusok számára a nekik megfelelő QoS paramétereket. A jelenlegi grid implementációk gyakran a hagyományos harmadik rétegbeli protollokokra épülnek, mellőzve a megkövetelt hálózatminőség garantálását.

Az optikai transzport-hálózat minősége jelentős szerepet játszik az alkalmazás grid hálózatok szempontjából. Az optikai hálózatokban létrejövő kapcsolatok felépítését dinamikusan, közvetlenül a grid alkalmazások vezérlik, lehetővé téve az eltérő szolgáltatási paraméterek alkalmazását minden egyes kapcsolat számára. A potenciális minőségi leírók lehetnek az optikai összeköttetések rendelkezésre állása, a helyreállítási és a ki-esési idő, a kapcsolatok prioritása, valamint a fizikai rétegben mért jelszint degradáció.

Az „alkalmazási” grid hálózatok számára nehéz általános védelmi követelményrendszert előírni, ugyanis ezek szorosan függnek éppen futtatott alkalmazások egyedi tulajdonságaitól. Napjainkban számos bizonytalanság alakult ki a két legnépszerűbb grid alkalmazás, a Katasztrófa Helyreállítás és az Üzleti Folytonosság pontos definíciója körül. Hierarchikus megközelítés esetén, a legfelső szinten az ÜF áll, vagyis ez integrálja önmagába az összes alacsonyabb szintű funkciót. Egy szinttel lejjebb található meg a KH terv, amely általában magába foglalja az adatmentést, adat-helyreállítást, valamint a hálózatvédelmet. Ugyanakkor a valódi KH sokkal többet jelent, mint az adatmentés, mert egy adott esemény bekövetkezésekor az adatok vagy az egész üzleti folyamat tükrözésével képes sokkal komplexebb folyamatok helyreállítására is [1].

Az ÜF és KH alkalmazások esetén a hálózattal szemben támasztott követelmény lehet:

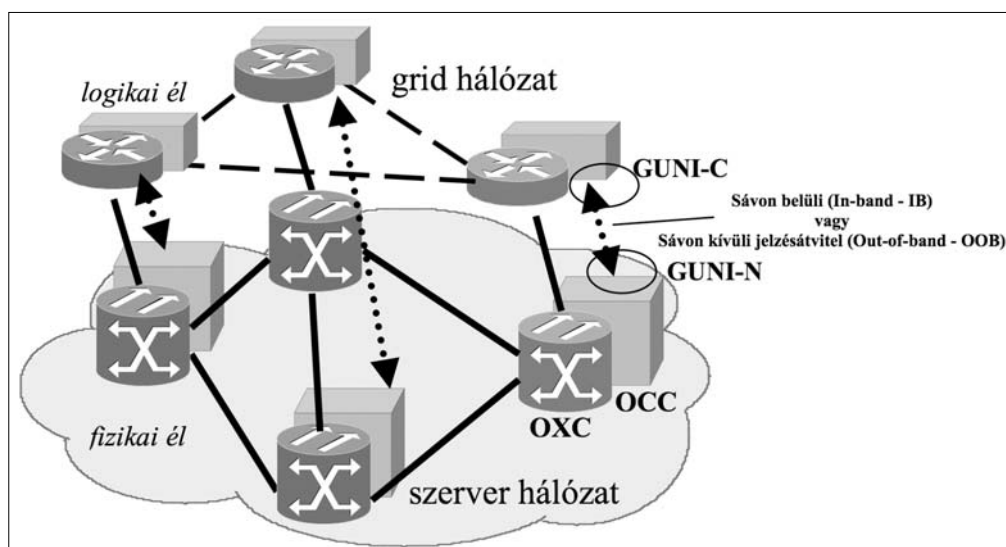
- Hálózat megbízhatóság:
 - MTBF (Mean Time Between Failure) és
 - MTTR (Mean Time To Restore) paraméterek;
- Az igény szerint létrehozott optikai összeköttetések felépítési ideje és késleltetése;
- Ütemezési idő többszörös érkezés esetén;
- Adatintegritás és adatbiztonság.

Az optikai hálózatok esetén minőségi követelmény a hálózat megbízhatósága. Az alkalmazás grid hálózatok helyreállítási-idejére érzékeny alkalmazásokat futtatnak, ezért az automatikus (öngyógyító) védelmi mechanizmusok használata elengedhetetlen kábel-meghibásodások hatásainak kivédésére. A MUPBED projekt célja olyan hálózat kialakítása, amely képest ezt az igényt kielégíteni [2,3].

Hasonlóan fontos a hálózatban létrejövő új összeköttetések felépítési ideje is. A kapcsolatok felépítési ideje alapvetően a hálózatban alkalmazott jelzeshálózat architektúrájától és ennek a konkrét megvalósításától függ.

Az ütemezés szintén fontos szerepet játszik a grid alkalmazások esetén, mert többszörös beérkezés esetén fair ütemezéssel szabályozható a kapcsolatfelépítési idő. Megjegyzendő, hogy ÜF és KH esetén hatalmas mennyiségű adat mozgatása is lehetséges, vagyis az általuk használt összeköttetések élettartama a másodperces tartománytól egészen órákig is terjedhet.

1. ábra
A jelzeshálózat szerkezete



3. Az optikai vezérlési síkban alkalmazott jelzésrendszerek

Két lényegesen eltérő megoldás alakult ki a transzport-hálózatok jelzésrendszerének implementálására:

- Sávon belüli jelzésátvitel (In-band, IB)
- Sávon kívüli jelzésátvitel (Out-of-band, OOB)

Sávon belüli jelzésátvitel esetén a jelzési forgalom és az adatforgalom ugyanazt az adatcsatornát használja. A cikkben leírt vizsgálatoknál az SDH fejrészét (Data Communication Channel, DCC) használjuk fel a jelzési adatok átvitelére, melynek maximális adatsebessége az alkalmazott fejrészről függően 192 bit/s vagy 576 bit/s korlátot nem haladhatja meg.

A sokkal rugalmasabb OTN (Optical Transport Network, ITU-T Rec.G.709) architektúra esetén hasonló célokra a GCC (General Communication Channel), maximum 6 byte-ja használható. Ebben a megoldásban a jelzeshálózat megbízhatósága kellően jó, de a korlátos sáv szélesség egyes esetekben problémát okozhat (például on-line szoftverfrissítés esetén). Alternatív megoldásként, a hasznos adatok szállítására fenntartott mezőkből is rendelhetünk kizárólagos sáv szélességet a jelzésforgalom számára.

Sávon kívüli jelzésátvitel esetén eltérő kommunikációs csatornát alkalmazunk a jelzeshálózat és a hasznos adatok átvitelére. Klasszikus példája a sávon kívüli jelzésátvitelnek az SS7-es (Signaling System 7) hálózat. A napjainkban mindenütt jelenlévő IP következtében a GMPLS képes hálózatok tipikusan külső IP alapú jelzeshálózatot használnak. A sávon kívüli jelzésátvitel hátránya a jelzeshálózat megbízhatóságának biztosítása, illetve a jelzési üzenetek késleltetése. Hasonlóan a korábbi esethez itt is kiemelkedően fontos a jelzési üzenetek biztonságának garantálása.

A jelzési üzenetek eltérő továbbítási módjai mellett különböző üzenet-feldolgozási módok is kialakultak. A jelzési protokollok alapvetően szoftveres úton implementáltak a protokollok nagy komplexitása, illetve a gyakori frissítések szükségessége miatt. A szoftveres megvalósítás hátránya a jelzési üzenetek lassabb feldolgo-

zása, ugyanis az így implementált jelzési protokollok tipikusan néhány száz üzenetet képesek csak feldolgozni másodpercenként. A feldolgozási teljesítmény-növelése érdekében a szakirodalom a protokoll hardveres implementációját javasolja [4,6].

Kompromisszumos megoldásként újrakonfigurálható FPGA (Field Programmable Gate Arrays) és szoftveres technikák kombinációjának alkalmazása is felmerült, ami a kellő rugalmasság mellett a feldolgozási teljesítményt is jelentősen megnöveli. Ezt a megoldást alkalmazva a feldolgozási teljesítmény másodpercenként néhány akár százezer üzenetre is növelhető.

4. Jelzési késleltetés illusztrálása a grid UNI modell alapján

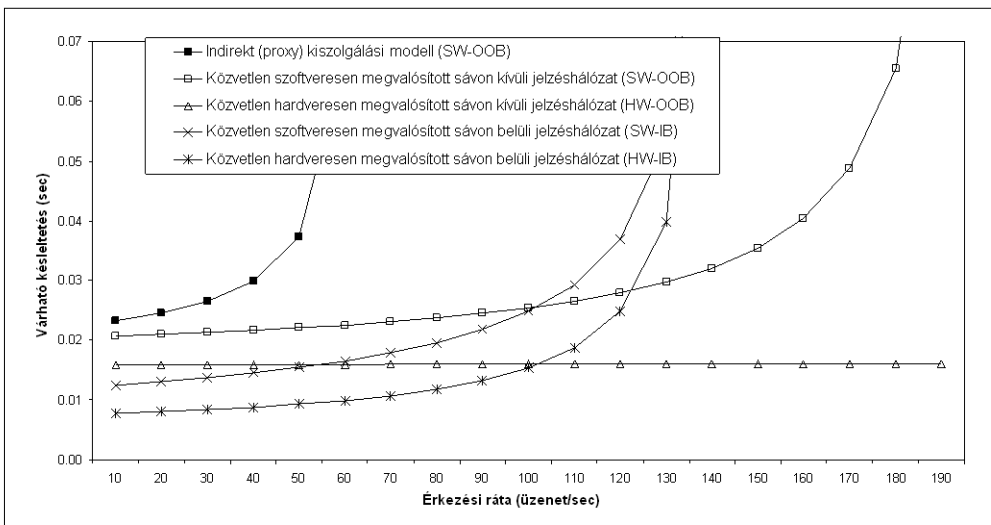
4.1. Analitikus modellek

Ebben a részben egyszerű sorbanállási modellek alapján [7] kiszámítjuk Alkalmazás grid hálózatokban a GUNI (Grid User Network Interface) jelzési modell várható késleltetését. Elsődleges feladat a késleltetést okozó komponensek azonosítása, majd a kiinduló feltételek definiálása. A jelzési késleltetés magába foglalja az alábbi tényezőket:

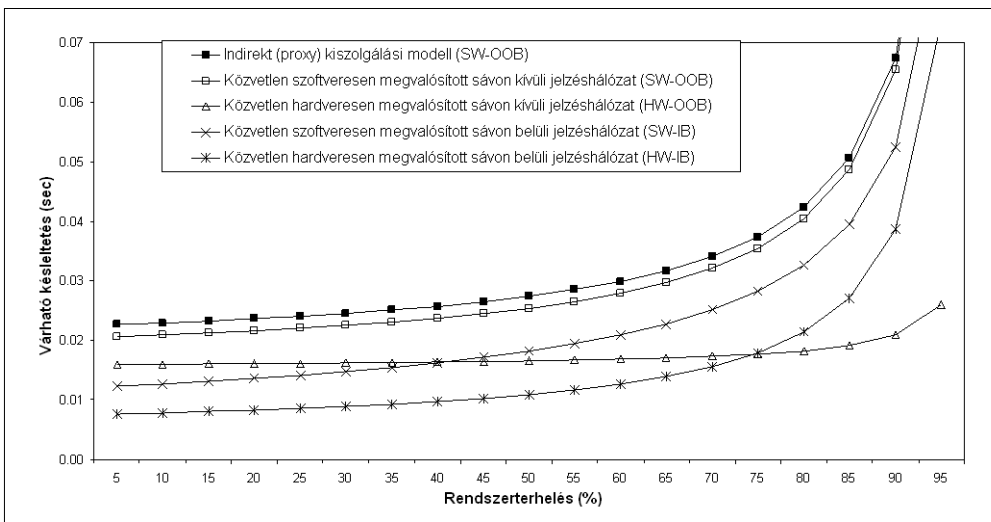
- Az üzenetek feldolgozásából származó késleltetést, ami jelentősen függ a jelzeshálózat feldolgozó képességétől (szoftveres implementáció esetén: 200 üzenet/s, hardveres implementáció esetén 20.000 üzenet/s);
- A jelzési adatok átviteli késleltetését. Ez függ a rendelkezésre álló sáv szélességtől, amely sávon belüli esetben maximálisan 576 kbit/s vagy sávon kívüli esetben maximálisan 10 Mbit/s;
- És az átviteli összeköttetésekől származó késleltetést: ez a komponens csak a sávon kívüli esetben fordul elő, mintapéldánk során konstans 15 ms-os késleltetéssel számoltunk.

A következő előfeltevések szükségesek a modell alkalmazásához:

- a jelzési üzenetek érkezési folyamata Poisson-folyamat (λ paraméterű),
- a feldolgozási folyamat exponenciális (μ_{proc}),
- az átviteli folyamat determinisztikus (μ_{tx}),
- az átviteli összeköttetésekől származó késleltetés konstans (T_{link}).



2/a. ábra
A várható késleltetés a grid UNI jelzeshálózat esetén, abszolút skálán



2/b. ábra
A várható késleltetés a grid UNI jelzeshálózat esetén, relatív skálán

A késleltetési modellben az üzenetek feldolgozási folyamatát M/M/1 sorral, az átviteli késleltetést M/D/1 sorral írtuk le. Az analitikus számítások során Little és Burke-tételek alapján [7] kiszámolható két sorból álló tandem rendszer a várható késleltetése. A GUNI jelzési hálózat késleltetésének várható értéke általános esetben a következő módon számítható:

$$E[T_s] = E[T_{M/M/1}] + E[T_{M/D/1}] + T_{link} \quad (1)$$

Alkalmazva az általános képletet (1) az adott műszaki problémára, a késleltetés várható értéke az alábbi módon áll számolható:

$$E[T_s] = \frac{1}{\mu_{proc} - \lambda_{input}} + \frac{1 - \lambda_{input}}{2\mu_{tx} - \lambda_{input}} + T_{link} \quad (2)$$

A modellek alapján kiszámított eredmények a 2/a. és 2/b. ábrán láthatók, az előző oldalon. A 2/a. ábra függőleges tengelyén a várható késleltetés értéke szerepel másodperces léptékkel, a GUNI jelzésűzenetek beérkezési gyakoriságának (üzenet/sec) függvényében. Az indirekt (proxy) kiszolgálási modellben számolt késleltetés emelkedik a leggyorsabban a lehetséges megvalósítási esetek közül.

A közvetlen kiszolgálási modelleknek négyféle változata szerepelt a vizsgálatokban:

a) A sávon kívüli jelzeshálózat és szoftveresen megvalósított üzenet-feldolgozás esetén (Software Processed Out-of-Band, SW-OOB) a várható késleltetés kisebb, mint az indirekt esetben, ugyanakkor a szoftveres feldolgozás teljesítőképességének határát elérve meredeken emelkedik a késleltetés.

b) A szoftveres megvalósítás helyett a hardver alkalmazása (Hardware Accelerated Out-of-Band, HW-OOB) nagyságrendekkel megnöveli a feldolgozó-kapacitást, ezért még nagy terhelés esetén sem tapasztalható számottevő késleltetés, vagyis az ehhez tartozó görbe gyakorlatilag konstans.

c) A sávon belüli jelzésrendszer szoftveres feldolgozással kombinálva (Software Processed In-Band, SW-IB) ugyan az átviteli összeköttetésekből származó késleltetés nem jelenik meg, de a korlátozottan rendelkezésre álló sáv szélesség ellensúlyozza ezt. Az SW-IB alacsony terhelésen jobb teljesítményt nyújt (55 üzenet/sec), mint a HW-OOB és közepes terhelésnél kisebb késleltetést eredményez (100 üzenet/sec), mint a SW-OOB.

d) A sávon belüli jelzeshálózatoknál, a hardveres jelzésűzenet feldolgozás (HW-IB) felülmúlja a szoftverest (SW-IB).

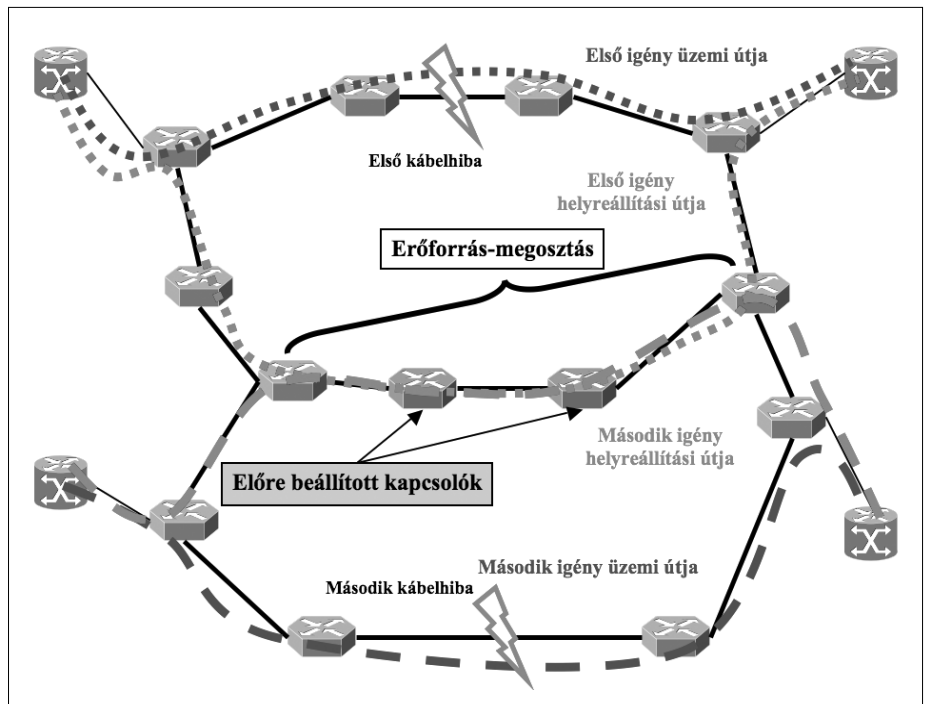
A 2/b. ábrán a várható késleltetés értékei találhatóak meg a rendszer relatív terhelésének függvényében. A 100 százalékos terhelés esetén rendszerben lévő feldolgozatlan üzenetek száma a tandem sorok mindegyikében a végtelenhez közelít, vagyis a rendszer instabil állapotba kerül. Általános tendenciaként megállapítható, hogy a közvetlen kiszolgálási modellek mindegyike felülmúlja az indirekt esetet. Emellett a közvetlen megvalósításoknál 40 százalékos terhelés alatt az SW-IB felülmúlja a HW-OOB esetet, köszönhetően a sávon kívüli megvalósítás magasabb átviteli késleltetésének. Ez a korlát 75 százalékgig terjeszthető ki sávon belüli jelzeshálózat alkalmazásával.

A számítási eredmények alapján megállapítható, hogy a grid hálózatok által elszenvedett transzport-hálózati kapcsolási késleltetések, jelentősen függenek az adott transzport-hálózat jelzeshálózatának megvalósításától.

5. A grid hálózatokban alkalmazható helyreállítási mechanizmusok

A grid hálózatok szigorú minőségi követelményeinek hatékony kielégítéséhez elengedhetetlen olyan védelmi mechanizmusok alkalmazása, amelyek skálázhatóan kezelik az adott összeköttetések helyreállítási idejét. A jelzeshálózat teljesítménye kritikus a helyreállítási idők szempontjából, ugyanis jelentősen befolyásolja az alkalmazott védelmi mechanizmus végrehajtásának időbeli lefolyását. A következőkben tárgyalt tervezési modell lehetővé teszi az összeköttetések helyreállítási idejének egyenként kezelését.

3. ábra
Az előre bekonfigurált kapcsolók alkalmazása a védelmi utak mentén



A helyreállítási idő arányosnak tekinthető a helyreállítási utakban részt vevő aktív csomópontok számával és az átkonfiguráláshoz szükséges feldolgozási idővel. A helyreállítási idő skálázhatósága a helyreállítási utak mentén előre beállított kapcsolók alkalmazásával érhető el (3. ábra) [5]. Ez a megoldás egyrészt lecsökkenti a kapcsolók feldolgozó kapacitásának terhelését, másrészt a kapcsolók előre bekonfigurálásával csökken a hálózat rugalmassága és ennek következményeként romlik az erőforrások közös használatának lehetősége.

5.1. A helyreállítási idő skálázhatóságának modellezési kérdései

A modell alapvető ötlete az, hogy helyreállítási utak kiválasztása közben figyelembe veszi a helyreállítási időre vonatkozó kritériumot is, vagyis az aktív kapcsolópontot tartalmazó szakaszok számát. Ennek eléréséhez a hálózatmodellben bekerülnek olyan új élek, amelyek a kapcsolópontok előre beállításával megkerülik az aktív kapcsolópontokat. Ezek a megkerülő élek a hálózat fizikai éleire ráültetett logikai élek.

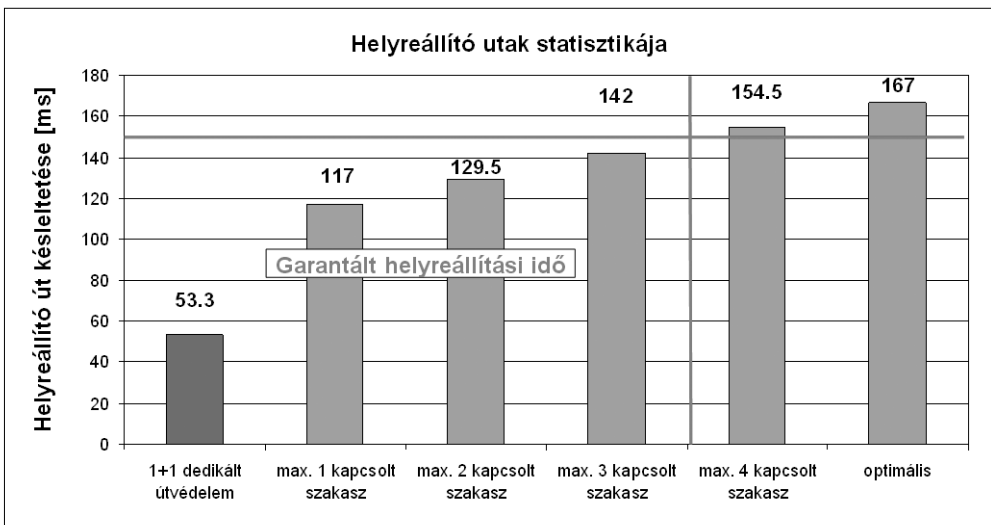
Elméletileg egy teljes gráfot kellene felépíteni a logikai élek segítségével, de néhány egyszerű műszaki megfontolás alapján jelentősen csökkenthető a szük-

séges logikai élek száma. Mivel a hálózat védelmi mechanizmusa csak egyszeres hibák esetén garantálja a teljes helyreállítást, elegendő minden szomszédos csomópontpár között egy, a nem szomszédos csomópontpárok között két új logikai él bevétele. Amennyiben ezek az új élek a független minimálutak mentén helyezkednek el a fizikai rétegben, garantálják az elkerülő utak meglétét az egyszeres hibáknál.

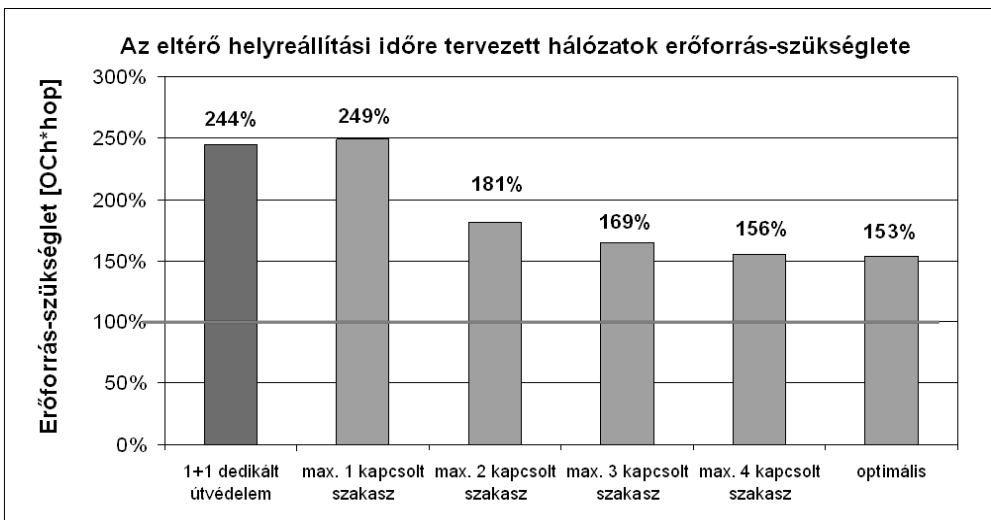
Az új logikai élek bevitelével a modell mérete meg növekedett, az új hálózat éleinek száma nagyobb lett, de a csomópontok száma nem változott. Erre a hálózatmodellre alapozva felépíthető egy útalapú ILP (Integer Linear Programming) formalizálás, amelyet felhasználásra került az esettanulmány előállításakor. Az ILP program egyszerű költségfüggvénye a felhasznált hálózati erőforrásait tartalmazta. A formalizálások megoldása során az ILOG cég CPLEX megoldószoftverét alkalmaztuk [10].

5.2. Illusztratív esettanulmányok

A következő esettanulmányban az ÜF applikációk számára 150 ms-os helyreállítási időkorlátot tételeztünk fel. A hatékony erőforrás-kihasználás érdekében az optikai transzportálózatban osztott erőforrásokon alapuló úthelyreállítást alkalmaztunk.



4/a. ábra
Késleltetési értékek összehasonlítása



4/b. ábra
Erőforrás-szükségletek összehasonlítása

Az eltérő jelzeshálózati modelleknek köszönhetően lehetővé vált az adott feltételeknek megfelelő hálózat megtervezése. A 4/a. ábrán megfigyelhető, hogy az erőforrás-felhasználás szempontjából optimális megoldás esetén az adott jelzeshálózat (OOB-SW) nagyobb késleltetést eredményez, mint az applikáció által megkövetelt korlát. A helyreállítási idő javítása érdekében a helyreállító utak mentén található aktív kapcsolók számát korlátoztuk. Megfigyelhető, hogy az adott hálózat és követelményrendszer esetén maximálisan három aktív kapcsoló alkalmazása megengedett a helyreállító utak mentén.

Az alacsonyabb helyreállítási idő eléréséhez, nagyobb erőforrás-felhasználás tartozik. A 4/b. ábrán az eltérő tervezési eredmények erőforrás-szükséglete látható. Optimális erőforrás-felhasználás esetén 53 százalékkal több erőforrás szükséges, mint a nem védett hálózatban. A követelményrendszert éppen kielégítő hálózati megoldás (maximálisan 3 aktív kapcsoló) 67 százalékkal több erőforrási igényel, mint a referenciának nem védett hálózat. A részletes hálózati adatok feldolgozásából megállapítható, hogy az optimális erőforrás-felhasználás esetén a helyreállító utak 42,7 százaléka, még a maximálisan 4 aktív kapcsolót tartalmazó esetben 37,7 százaléka marad a helyreállítási időkorláton belül. Ha a helyreállító utak számát háromra korlátozzuk, minden összekötött helyreállítási ideje kielégíti a követelményrendszert.

6. Összefoglalás

Az intelligens optikai hálózatok elosztott vezérlési funkciói (gyakori erőforrás lefoglalási-, vagy útvonalválasztási-információ váltások) kritikus skálázhatósági problémákat okozhatnak pont a vezérlő sík kialakítása során. Ezért egy lényeges tervezési szempont a jelzéstovábbítás módjának optimális megválasztás. Az analitikus modellek segítségével bemutattuk, hogy a sávon kívüli jelzéstovábbítás, bár kevésbé terhelt hálózat esetén nagyobb késleltetést visz a rendszerbe, mint a sávon belüli megvalósítás, növekvő jelzeshálózat terhelésnél, a nem limitált sáv szélessége miatt, késleltetés szempontjából jobban teljesít.

A jelzeshálózat megfelelő kiválasztásának összhangban kell lennie az alkalmazott védelmi stratégiával. A bemutatott modellek és esettanulmányok alapján megállapítható, hogy az adott hálózat tulajdonságaitól függően, megtalálható az optimális megoldás a felhasznált erőforrások és a helyreállítási idők tekintetében.

Köszönetnyilvánítás

Ez úton szeretnének köszönetet mondani a szerzők Dr. Jan Spaeth-nek (Marconi) a cikk megírásában nyújtott szakmai támogatásáért, és a MUPBED projekt minden résztvevőjének az együttműködésükért és támogatásukért.

Ezt a munkát az FP6-511780 projekt keretében az Európai Bizottság részlegesen támogatta.

Irodalom

- [1] Drew Robb:
„Disaster Recovery vs. Business Continuity”,
April 2005.
<http://www.esecurityplanet.com>.
- [2] IST-MUPBED, Deliverable 1.1,
„Preliminary Definition of a Reference Architecture
for an Intelligent Optical Network Supporting
Advanced Applications in Research Environments”,
May 2005.
<http://www.ist-mupbed.org/publications>
- [3] <http://www.ist-mupbed.org>
- [4] P. Szegedi,
„Delay Models for Different UNI Signaling Implementations in the Context of IST Project MUPBED”,
ICTON 2005, July 3-7, Barcelona 2005.
- [5] T. Jakab, Zs. Lakatos:
Resilience with Tailored Recovery Time in
Switched Optical Networks, Proceedings of 8th
European Conference on Networks & Optical
Communications – NOC 2003, Vienna, July 2003.
- [6] H. Wang, R. Karri, M. Veeraraghavan, T. Li:
„Hardware-Accelerated Implementation of
the RSVP-TE Signaling Protocol,”
In Proc. of IEEE ICC2004, June 20-24, Paris 2004.
- [7] Chen, Hong, Yao, David D.:
„Fundamentals of Queuing Networks”, Springer;
1st Edition, June 15, 2001,
ISBN 0387951660
- [8] OIF-UNI 1.0 Release 2,
„User Network Interface (UNI) 1.0
Signaling Specification, Release 2: Common Part”,
[http://www.oiforum.com/public/documents/
OIF-UNI-01.0-R2-Common.pdf](http://www.oiforum.com/public/documents/OIF-UNI-01.0-R2-Common.pdf)
- [9] ITU-T Rec.G.8080/Y.1304,
„Architecture for the
Automatically Switched Optical Network (ASON)”.
- [10] <http://www.ilog.com>