

Kommunikációs hálózatok modellezése és tervezése a gyakorlatban

SIPOS ATTILA

Magyar Telekom, PKI Fejlesztési Igazgatóság
sipos.attila@telekom.hu

JEREB LÁSZLÓ

BME Nyugat-Magyarországi Egyetem, Informatikai és Gazdasági Intézet*
jereb@inf.nyme.hu

Kulcsszavak: kommunikációs hálózatok, modellezés, tervezés, megbízhatósági analízis, teljesítőképesség

A gyorsan fejlődő kommunikációs hálózati technológiák és szolgáltatások olyan tervezési és analízis-eszközöket igényelnek, amelyek technológiafüggetlen modellezési megközelítéssel alapulnak, ezért alkalmasak a gyors változások követésére. Cikkünk felvázolja a hálózattervezés és -analízis jellegzetes gyakorlati kérdéseit és bemutatja azt a többrétegű hálózatmodellezési megoldást, amelyet az elmúlt években eredményesen használtak a Magyar Telekom széleskörű tervezési tevékenységében.

1. Bevezetés

A kommunikációs hálózatok tervezési módszereinek fejlesztése a hálózati technológiákban és szolgáltatásokban történt változások miatt, ismételten a szakmai érdeklődés előterébe került. A változások okai jól ismertek: a sáv szélességigény folyamatos növekedése, a mozgó kommunikációs igények kiszolgálása, a csomagalapú átviteli eljárások általános használata és a szolgáltatások területén jelentkező konvergenciák hatása együttesen új hálózattervezési módszerek fejlesztését és alkalmazását követelik meg. Az új hálózattervezési módszereknek támogatniuk kell az olyan új hálózati technológiák bevezetését, mint az új generációs hullámhosszosztásos fényvezető rendszerek és a nagyteljesítményű kapcsolók, routerek. Ezen új technológiák megjelenése szükségessé teszi az új hálózati architektúrák és funkciók bevezetésének vizsgálatát annak érdekében, hogy az egyre kritikusabb felhasználói igényeket hálózati elemek meghibásodása vagy nagyobb hálózati sérülések esetén is folyamatosan, az elvárt minőségben szolgáljuk ki. A tervezési tevékenység legfontosabb kérdései minden esetben a tervezett hálózati változatok létesítési és üzemeltetési költsége, forgalmi teljesítőképessége, valamint a szolgáltatások rendelkezésre állása.

A gyakorlatban az új technológiák, rendszerek, gyártmánycsaládok megjelenése folyamatos, ezért a tervezést segítő eszközeinkkel, tervezési módszereinkkel szemben egyrészt alapvető követelmény a gyártmánytól és rendszerektől független modellek alkalmazása annak érdekében, hogy a gyors változások időben követhetők legyenek. Másrészt a hálózatok modellezésében egyre nagyobb jelentőséget kap az üzemelő rendszerekből automatikusan kinyerhető információk felhasználása és a térinformatika alkalmazása, melyek segítségével a többrétegű hálózatok leírásánál a fizikai réteg pontos megjelenítésével számos hálózatbiztonsági kérdés kezelhetővé válik.

2. NGN transzport-hálózat tervezési feladatai

Napjainkban a kommunikációs hálózatok tervezése az új generációs (NGN) architektúrán alapszik, amelynek egyik jellemzője a közös IP alapú transzport-réteg. Az alábbiakban az IP maghálózat és az IP transzport-réteg fényvezető hordozóhálózatának tervezési feladatait foglaljuk össze.

2.1. Forgalmérés és -elemzés

A csomagalapú hálózatok jellemzője, hogy a hang-, videó- és internet-alkalmazások különböző hosszúságú csomagokba szervezve, eltérő módon veszik igénybe a hálózati erőforrásokat. Az IP-hálózatok erőforrásainak méretezéséhez szükséges szabályok megalkotásához az üzemelő hálózaton méréseket, statisztikai elemzéseket kell készíteni a forgalom jellemzőinek megismeréséhez. Ezek kialakításánál figyelemmel kell lenni arra, hogy a hálózat működését a mérésekkel ne zavarjuk és minél kisebb erőforrásokat vonjunk el az üzemelő hálózattól.

Elméletileg a mérési módszereket két nagy csoportra oszthatjuk. Az aktív mérések esetén mintaüzeneteket küldünk rendszeresen a hálózat különböző pontjaira és ezen csomagok hálózaton történő áthaladását értékeljük. Az úgynevezett passzív mérések jellegzetesen a valós RTP és TCP/UDP csomagok fejlécének elemzésén alapulnak, amely statisztikai vizsgálatok kiterjedhetnek a hang- és videóforgalom mennyiségére, azok részarányára a teljes forgalomban, a csomagvesztésre, a csomagkésleltetés eloszlására, valamint ingadozására is. A gyakorlatban jellegzetesek a Netflow-mérések, amelyekből következtethetünk a TCP, UDP forgalom megosztására, irányultságára, mennyiségére és az átlagos csomagméretre, míg a Binnograph-alapú mérések a forgalom pillanatnyi értékét rögzítik és értékelhetjük a session-számot, a processzor terhelést és az IP-cím kihasználtságát is.

* A cikk eredményeinek döntő része a szerző BME Híradástechnikai Tanszékén végzett munkáihoz köthető.

2.2. Forgalomprognózis

A jövőbeni hálózatok tervezések egyik alapvető kiindulópontja a hálózaton átvinni tervezett forgalom mennyiségének és irányultságának meghatározása. Az integrált szolgáltatású hálózatok tervezése esetén az egyes IP kapcsolatok kapacitásigényét a különböző szolgáltatásokhoz tartozó alkalmazások forgalmi jellemzőiből, a tartalomszolgáltatók szervereinek földrajzi elhelyezkedéséből és az egyidejűleg igénybe vett alkalmazások darabszámaiból lehet származtatni. A forgalmi irányultságok meghatározásánál tekintettel kell lenni a hálózatban elhelyezkedő kiszolgáló szerverekre, amelyek a nem szerveralapú (peer-to-peer) kommunikációtípusú szolgáltatásoktól eltérő forgalmi viszonyokat eredményeznek.

Külön ki kell emelni a hálózatvezérlő és üzemeltést támogató jelzésátvitel kapcsán végzett forgalmi tervezést, amelynek elsősorban nem a forgalom mennyisége miatt van jelentősége, hanem a rendelkezésre állási és biztonsági követelményeik miatt kíván különös figyelmet.

2.3. IP-hálózati topológia- és linkkapacitás-tervezés

Az IP-hálózatok topológiájának és a szükséges linkkapacitásoknak a tervezése rendkívül összetett feladatot jelent. A technológia, a forgalmi viszonyok, a hálózati követelmények mindegyike drámai módon változik. Azért, hogy a feladat a gyakorlat számára is megoldható legyen, az IP-hálózatot célszerű berendezéseiben is és funkcionálisan is maghálózati (core) és aggregáló hálózati részekre szegmentálni. Az IP-hálózat szélén lévő (edge) routerek jelentik a kapcsolódást az aggregáló hálózat és az IP maghálózat között.

Jelen cikk keretében a transzportfunkciókra koncentrálna, elsősorban a hordozó fényvezető és az IP maghálózat modellezése és tervezése közti összefüggéseket vizsgáljuk, mivel ebben a hálózati szegmensben jelentkezik elsősorban a többrétegű hálózatok együttes tervezésének szükségessége.

A maghálózat rendelkezésreállási követelményét, teljesítményelőírásait úgy kell megtervezni, hogy a maghálózaton szállított valamennyi szolgáltatásra az erőforrások a kívánt mértékben rendelkezésre álljanak. Könnyű belátni, hogy a két technológiai réteg, a hordozó optikai hálózat és a kiszolgált IP maghálózat együttes méretezésével érhető el a hálózat költségoptimuma.

Figyelembe véve a két technológiai réteg jelenlegi adottságait, az IP rétegben kis kapacitások esetén a forgalom automatikus irányításával számos meghibásodás, nem várt forgalmi helyzet kezelhető. A Gigabit/sec kapacitású tartományban azonban ma a fényvezető rendszerek tartalékolása hatékonyabb. A fényvezető rendszerek vezérlése a közeljövőben a gyakorlati alkalmazás számára is elérhető lesz, így a mai hálózattervezési módszerekkel közelített statikus hálózati megoldásokat a szállítói rétegek automatikus vezérlése hatékonyabbá fogja tenni, s ezzel a nagyobb átviteli kapacitások tartományában is gazdaságosan megoldható lesz a nagy rendelkezésre állás biztosítása.

A két hálózati réteg együttes kezelése, mint látni fogjuk, a modellezésben megoldható, a tervezésben azonban meg kell elégedjünk a két réteg külön tervezésével és a tervezett hálózati változatok értékelése során tudunk visszacsatolásokat figyelembe venni a két réteg tervezésében. Az IP-hálózat tervezésénél meg kell határozzuk a routerek földrajzi helyét, kapacitását, a csomópontok közötti átviteli rendszerek kapacitását, forgalomirányítási szabályait, funkcionális követelményeit (QoS, multicast stb). Az eredményeknek olyan formában kell rendelkezésre állniuk, hogy a két réteg együttes értékelése elvégezhető legyen.

2.4. Fényvezető hordozóhálózat tervezése

A fényvezető hálózatok tervezése a WDM rendszerek újabb generációjának megjelenésével a csomagalapú transzport hálózatok új alkalmazási lehetőségeit nyitotta meg, amelyek kezelésére a tervező rendszereinket is alkalmassá kell tenni. Az optikai regenerátorok, leágazó multiplexerek és kapcsolórendszerek egy új átviteli/transzport réteg megjelenését jelentik a routerek és fényvezető szálak, kábelek között.

A tervezés alapkérdése az, hogy a meglévő fényvezető kábelek mely irányait használjuk az IP-hálózat átviteli igényeinek kiszolgálására és hol alkalmazzunk leágazó, vagy több irányba elágazó rendszereket, kapcsolókat. A tervezéshez a meglévő kábeleinket kell figyelembe venni oly módon, hogy a nyomvonalon kötöttségekből származó összes információt figyelembe vehessük. A módszer része az optikai logikai topológiai változatok közül a számunkra legkedvezőbb elrendezés kiválasztása, azon körülmények között, hogy az igényeket alapvetően az IP-klienshálózat határozza meg.

A tervezési feladat hasonló az IP-réteg tervezéséhez abban a vonatkozásban, hogy ezen réteg esetén is meghatározzuk a rendszerek földrajzi elhelyezkedését és az átviteli kapacitások értékét. Természetesen a mérnöki tervezés része a hullámhosszkiosztás a fényvezető szálakon, a regenerátortávolság meghatározása és a kábelben elhelyezkedő fényvezető szál összerendelése a WDM berendezésekkel, valamint a WDM rendszerek alkotó elemeinek meghatározása.

2.5. Megbízhatósági és teljesítményelemzések

A megbízhatósági és hálózati teljesítőképességi elemzésekhez a berendezések és kábelek megbízhatósági értékeiből, a hálózati konfigurációkat figyelembe vevő adatokból, valamint a védelmi és tartalékolási előírásokból kell kiindulni. Az elemzéseket mind a tervezett, mind az üzemelő rendszerekre el kell tudni végezni. A meglévő rendszerekre vonatkozó információkat (például konfiguráció, az eszközök száma, kapacitása) a nyilvántartó rendszerekből kell kinyerni, amely felveti a nyilvántartó és tervező rendszerek modellezés szempontjából történő illesztését.

A tervezett hálózatok tervezési eredményeit olyan formában is meg kell jeleníteni, hogy alkalmas legyen a hálózat teljesítőképességét értékelő (rendelkezésre állási vagy QoS) számítások elvégzésére. A modellezés-

nél számításba kell venni az állapottér nagyságát és az elvárt becslések valószínűségi értékét. A számítások esetében az egyidejűleg bekövetkezett hibák valószínűségét és ennek hatásait is értékelnünk kell. Az eddigi tapasztalatokból látható, hogy a rendelkezésreállási számítások elfogadható időben történő végrehajtásához valamilyen nagyteljesítményű számítástechnikai környezetet is igénybe kell venni (például grid, klaszter).

2.6. A hálózatvezérlés és üzemeltetés tervezése

A hálózatvezérlés- és üzemeltetés-tervezést csak szorosan a témához kapcsolódóan említjük. A hálózatvezérlés információit, jelzéseit a tervezett hálózaton kell továbbítani és ahogyan már említettük, az információátvitel biztonságára megadott követelményeket kell kielégíteni. A hálózati elemek megbízhatósági értékeit a tervezés során az új eszközökre a gyártók által garantált meghibásodási értékek (MTBF – Mean Time Between Failures) figyelembevételével tervezzük. Üzemelő eszközöknél a hibastatisztikák értékelésével korrigáljuk a gyártói adatokat, becsléseket. Az üzemeltetés tervezésénél a hibaelhárítási időket az üzemvitel működési és folyamati szabályozásával összhangban kell meghatározni. Gyakori kérdés az automatikus tartalékolás vagy a hibajavítási időből eredő kapacitáskiesések hálózati hatásának értékelése.

3. Többrétegű hálózatok tervezési és megbízhatósági modellezése

3.1. Többrétegű hálózatok modellezési problémája

Az előző pontokban összefoglaltuk azokat a legfontosabb kérdéseket, amelyekkel a kommunikációs hálózatok tervezői a gyakorlati munkájukban találkozhatnak. Ebben a pontban e kérdések közül kettőt, a többrétegű technológiai környezetet és a megbízhatósági analízist emeljük ki és azokat a modellezési megoldásokat ismertetjük, amelyek lehetőséget adnak arra, hogy a hálózatok tervezésekor a gyakorlatban használható eredményeket lehessen szolgáltatni.

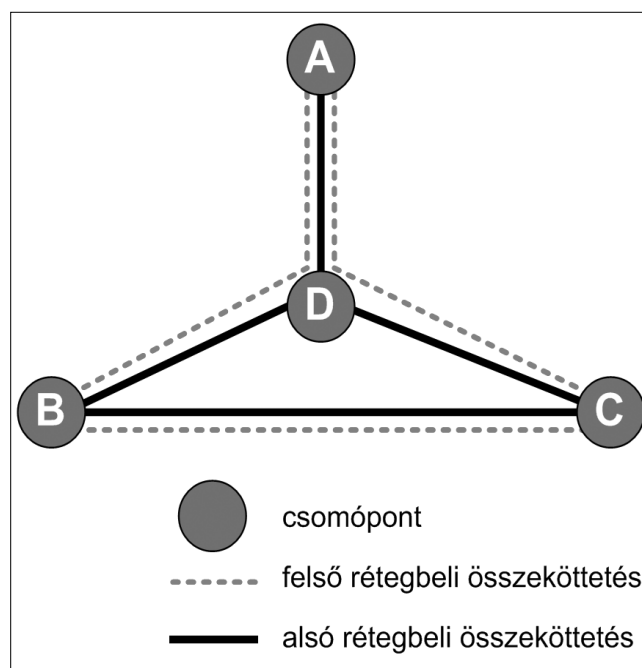
A hálózattervezés és analízis kritikus kérdése, hogy az alkalmazott sokféle technológia jellegzetesen nem külön-külön, hanem együttesen kerül alkalmazásra. Egy külső szemlélő számára ezek az összetett hálózati megoldások egyszerűen úgy értelmezhetők, hogy hálózati csomópontként vagy linkként pusztán a technológiai változatokból vagy modulméretekből adódó megvalósítási kérdésekkel kell számolni. Úgy tűnhet, hogy a hálózat egy gráffal viszonylag könnyen modellezhető, s bár a modularitásból adódóan a tervezési vagy analízis-feladatok elvégzéséhez szükség van speciális technikákra, azok elvégezhetők, majd a modell könnyen visszafordítható az aktuális, bár összetett technológiai környezetre.

A probléma jellegét az 1. ábra egy egyszerű példával illusztrálja, amely mindössze négy csomópontot tartalmaz. Tegyük fel, hogy egy felső technológiai rétegben létezik az A-B, A-C és B-C összeköttetés, míg az

alsó rétegben csak az A-D, B-D, C-D és B-C linkek állnak rendelkezésre. A felső réteg linkjeit az egyszerűség érdekében tekintjük először kábeleknak, míg az alsó réteget alépítmény-összeköttetéseknek. Ilyen helyzet könnyen előállhat fizikai korlátok miatt, mikor például az A, illetve a B és C csomópontok egy folyó vagy vasúti összeköttetés két oldalán vannak és az adott akadály két oldala között a D pont biztosít átjárást.

1. ábra

Négy csomópontos egyszerű többrétegű illusztráció



Az 1. ábra több kérdésre is ráirányítja a figyelmet:

- Méretezési szempontból a felső rétegben a linkek „terhelése” közvetlenül rendelkezésre áll az adott rétegbeli összeköttetések közül, az alsó rétegben azonban a B-C link terhelése ugyan megegyezik a felső rétegbeli B-C link terheléssel és a B-D, C-D linkek terhelése megegyezik a felső rétegbeli A-B és A-C összeköttetésekkel, az A-D link terhelése azonban a felső rétegbeli A-B és A-C összeköttetések terhelésének összege lesz.
- Megbízhatósági szempontból a felső rétegbeli linkek kiesése csak az azokon realizált összeköttetések kiesésével jár, így mind az A-B, mind az A-C, mind pedig a B-C link kiesése esetén elvileg mód van a harmadik – rendre a B, C vagy A – csomóponton keresztül a kapcsolat helyreállítására. Könnyen felismerhető, hogy amennyiben az alsó rétegben a B-C, B-D vagy C-D linkek hibásodnak meg, akkor ez továbbra is kezelhető, az A-D link kiesése azonban az A-B és A-C összeköttetések védelmét egyaránt kizárja.

Hangsúlyoznunk kell, hogy a fenti példa két szempontból is csak illusztratív:

- a felső réteg lehetne például három viszonylag távoli pont közötti IP-összeköttetések rendszere, míg az alsó réteg jelenthetne fényhullámhosszon létesített optikai csatornákat is, amelyek a D pontban, egy optikai kapcsolóban találkoznak;

- az említett négy réteg (IP-rétegbeli összeköttetés, fényhullámhosszon létesített átviteli csatorna, fényvezető kábel, alépítmény) – és még számos további – a gyakorlatban nagyon gyakran együtt is előfordul úgy, hogy valamennyi felső és alsó réteg kapcsolatában a fenti problémák felmerülnek.

A hálózati modelltől ezért azt várjuk el, hogy képes legyen leírni

- összetett technológiai környezetben az együttesen előforduló technológiai változatokat;
- a létező és/vagy lehetséges hálózati erőforrásokat, azok aktuális felhasználását, a rendelkezésre álló szabad kapacitásokat;
- az egyes hálózatelemek megbízhatósági jellemzőit (meghibásodási gyakoriságát vagy kiesési időarányát), létesítési költségét, valamint
- a különböző rétegbeli linkek kiesése esetén az alkalmazott védelmi megoldásokat.

A gyors technológiaváltások következtében e célok csak egy olyan háttérrel érhetőek el, amely minden tervezési és analízis eljárást technológiafüggetlenül specifikál és csak azok paramétereiként kezeli az egyes technológiák különbözőségeit. A továbbiakban először egy általános, technológiafüggetlen rétegelt modellt javasolunk, majd egy olyan megoldást ismertetünk, amely lehetővé teszi nagyméretű hálózatok megbízhatósági elemzését is.

3.2. Rétegelt hálózati modell

Egy adott transzporttechnológián belül a rétegek szerinti felosztás hosszabb ideje szokásos megoldás. Az egyes rétegek funkcionális jelentéssel bírnak és különböző logikai elemeket reprezentálnak. Az általunk kialakított módszer a rétegek szerinti hálózatleírást általánosítja úgy, hogy minden adott rétegbeli kapcsolat szakaszokra bomlik és az adott rétegbeli szakaszokat

egy náluk alacsonyabb hierarchiájú réteg realizálja úgy, ahogyan azt a 2. ábra egy leegyszerűsített képen mutatja.

A rétegelt modell meghatározó elemei a következők:

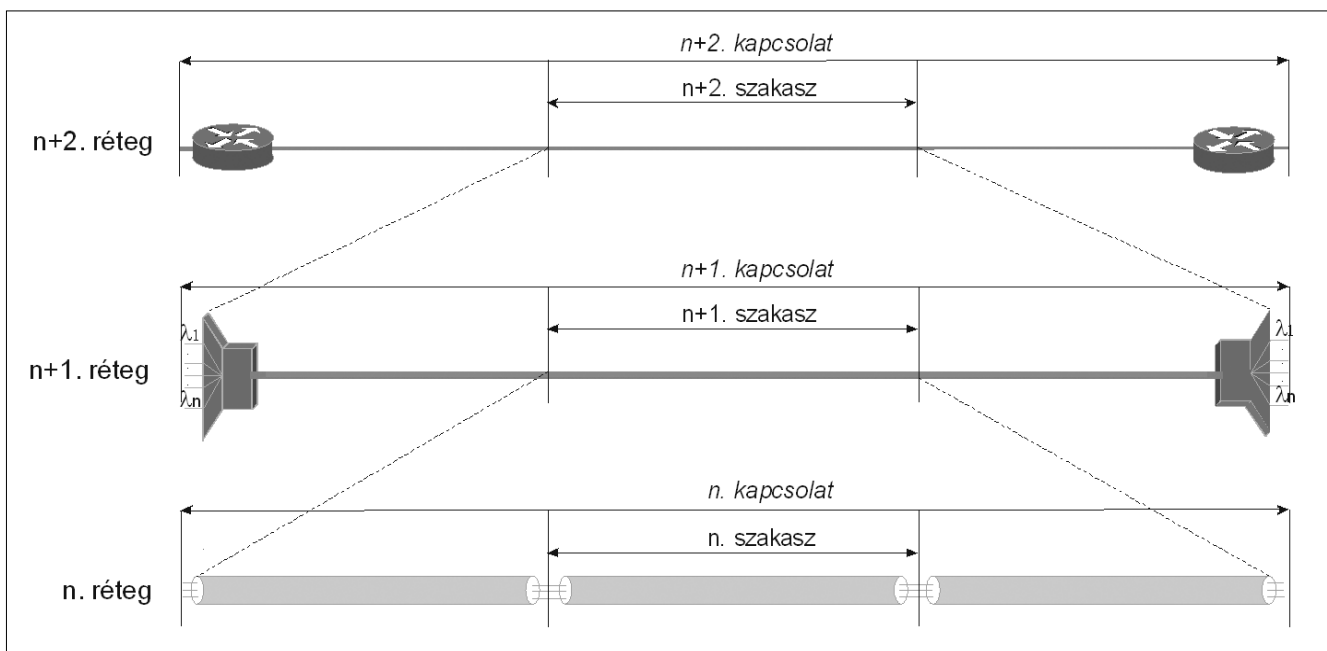
- A rétegek felülről lefelé, a logikai szintű forgalmi igényektől a kábelcsatornáig (N...1. réteg) rendezettek úgy, hogy a rétegek kliens-szerver kapcsolatban vannak egymással. Két – nem feltétlenül szomszédos – réteg esetén a logikai szinthez közelebb álló réteg a kliens és a fizikaihoz közelebbi pedig a szerver.

- Egy rétegben a csomópontpárok közötti kliensigények egy vagy több szakaszra bomlanak úgy, hogy a szakaszok végpontjában a szerverréteg egy-egy csomópontja helyezkedik el, míg a szakaszokat magukat a szerverréteg egy-egy linkje realizálja. Ezt folytatva, a szerverréteg kapcsolatait mint klienseket, mindig az alatta elhelyezkedő szerverréteg csomópontjai és linkjei valósítják meg úgy, hogy a szerverréteg kapcsolatai a kliensigények átviteli vagy forgalmi multiplexálását végzik kötött vagy kötetlen pozíciókkal.

- Az egyes rétegek csomópontjai és linkjei technológia-specifikus méretekkel és más fizikai jellemzőkkel rendelkezhetnek és fontos tulajdonságuk továbbá, hogy a tervezési és analízis-folyamatok számára hozzájuk költségek és megbízhatósági jellemzők is rendelhetők. Az egyes kapcsolatok közvetlenül megfeleltethetők létező vagy tervezett összeköttetéseknek és egyértelműen leírják azokat a megvalósítási viszonyokat is, amelyeket az 1. ábra bemutatott.

Az általános rétegelt modell alapján az optimalizálási folyamat csak a modelltől függ és közvetlenül nem függ a konkrét hálózattól, illetve az alkalmazott hálózati technológiáktól. A konkrét technológiai jellemzők csak a tervezési paramétereken keresztül gyakorolnak hatást a tervezési folyamatra. Minden rétegben különbö-

2. ábra A rétegelt modell illusztrációja három réteggel



ző tervezési-méretezési funkciók kerülnek végrehajtásra, amelyek megalapozzák az igények elvezetésének, multiplexálásának és az alkalmazott berendezések konfigurálásának részletes tervét is úgy, hogy az így kialakított komplex tervezési folyamatok alkalmasak a különböző rétegek egymásra hatásának figyelembevételére is.

E folyamatok egyaránt lehetnek „bottom-up” jellegűek, amikor először a legalacsonyabb rétegben történik meg az igények elvezetési nyomvonalának megtervezése, majd ezt követik a felsőbb rétegbeli tervezési lépések, vagy lehetnek „top-down” jellegűek, amikor a tervezési folyamat a felsőbb rétegek felől halad, de közben kezeli az alsóbb rétegbeli gráfok szerkezetét is. A gyakorlati esetek többségében önmagában egyik irány sem képes megfelelő eredményt szolgáltatni, hanem szükség van a tervezésben iteratív lépések beiktatására is.

3.3. Rétegtelt hálózatmodellre alapozott teljesítőképességi analízis

A mai kommunikációs hálózatok esetén nem egyszerűen a hálózati infrastruktúra rendelkezésre állásának jellemzése szükséges, hanem gyakori követelmény az egyedi szolgáltatások rendelkezésre állásának garantálása is. A szolgáltató számára ezért alapvető az aktuális hálózat ismeretében a hálózat egészére, az egyes szolgáltatástípusokra, illetve az egyes igényekre vonatkozó jellemzők meghatározása is.

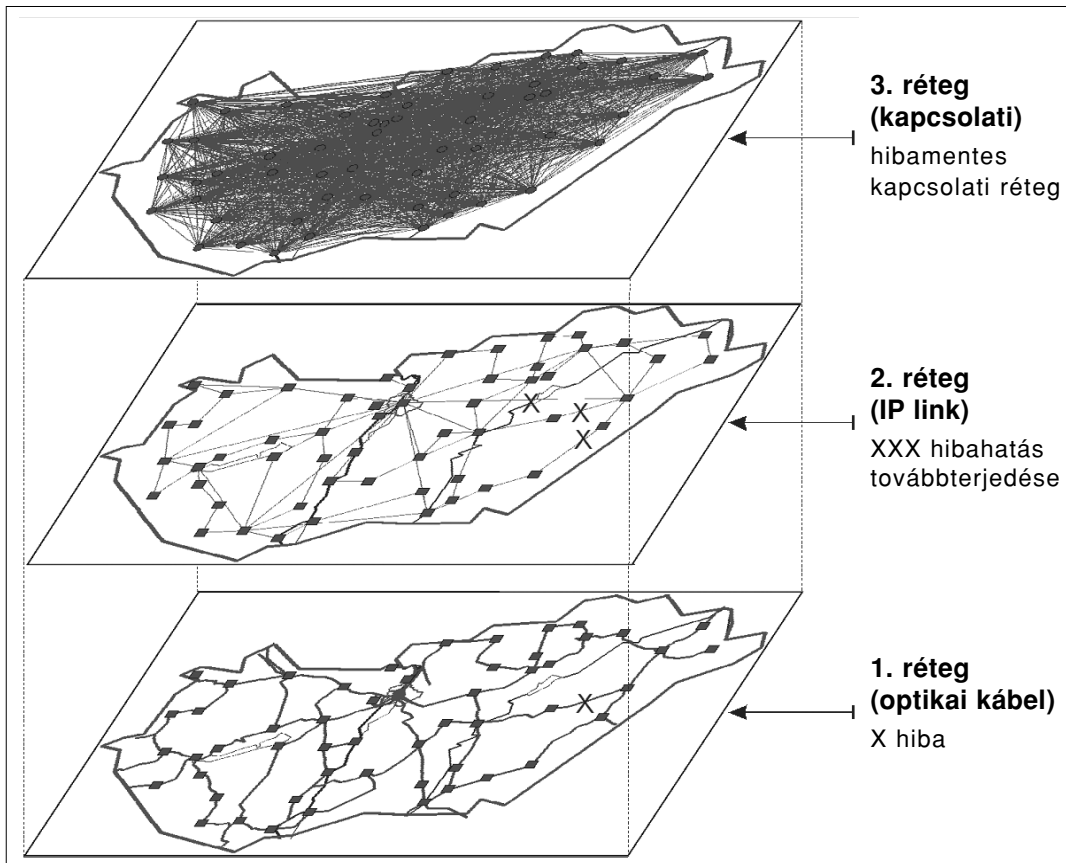
A rétegtelt hálózatmodellre alapozottan és ahhoz illeszkedően ezért egy általános teljesítőképességi analízis-folyamatot hoztunk létre, mely folyamat főbb elemeit

– egy leegyszerűsített háromszintű példán – a 3. ábra illusztrálja. E rétegtelt hálózatmodellre alapozott folyamatban a különböző elemek lehetséges meghibásodásai rétegről rétegre továbbterjednek a szerverrétegek felől a kliensrétegek felé azáltal, hogy

- a legalsó rétegben bekövetkezett kábelhibák (meghibásodott szerverkapcsolatok) megvalósíthatatlanná teszik az általuk realizált kliens kapcsolatokat;
- az adott rétegben vagy annak klienseiben aktivizálódnak a rétegben kialakított hibatűrési biztosító funkciók, amelyek megakadályozzák vagy megengedik a hibahatás továbbterjedését;
- az ábrán a 2. (a valóságban sokszor egy sokadik) réteg aktuális állapotában meghatározásra kerülnek a 3. (a valóságban sokszor magasabb kapcsolati) réteg megfelelő teljesítményjellemzői.

Az utóbbi lépésben meghatározó, hogy egyrészt a legfelső réteg valamennyi – hibamentes állapotban létező – kapcsolata vizsgálatra kerül. A bekövetkező meghibásodásoktól függetlenül megvalósítható kapcsolatok mennyisége jellemzi az alkalmazott hálózati architektúra, technológiák és védelmi megoldások hibatűrési hatékonyságát, azaz a hálózat teljesítőképességét, másrészt az egyes kapcsolatok külön is vizsgálhatók és ezzel az egyes kapcsolatok rendelkezésre állása egyedileg is értekelhető.

A kialakított általános folyamat fontos jellemzője, hogy nyitott mind az alkalmazott hálózati technológiá(ka)t, mind az alkalmazott hibatűrési megoldásokat, mind pedig a hálózat teljesítőképességét mérő jellemzőket te-



3. ábra
A teljesítőképességi analízis háromrétegű illusztrációja

kintve. Gyakorlatilag tetszés szerinti szimulációs vagy analízis eszköz csatlakoztatható hozzá, legfeljebb a rétegelt hálózatmodellben eredményként kapott meghibásodások utáni hálózati képet kell transzformálni az adott teljesítményelemző eszköz bemenetére.

A gyakorlati megbízhatósági analízis esetén kritikus kérdés még a rendkívül nagy állapotter kezelés, ami lehetetlenné teszi valós hálózatok esetén a teljes állapotter elemzését. E probléma kezelésére olyan mintavételezési eljárásokat használunk, amelyek vagy az állapotter legvalószínűbb állapotait kezelik, vagy a mintákat speciális módon (stratified sampling), az egyhibás állapotra alapozottan állítják elő és lehetővé teszik az értékelhető pontosságú eredmények előállítását, szolgáltatását viszonylag kevés (akár néhány száz ezer) állapot elemzése esetén is. A néhány száz ezres szám nagyon tűnik, fontos azonban azt látni, hogy egy reális méretű hazai hálózatban jellegzetes a nagyságrendben 1000 hálózatelem (kapcsoló, router, link) figyelembevétele, ami 2^{1000} lehetséges állapotot jelent és ehhez képest a 106 nagyságrendű állapot elemzése mellett, kellő (néhány százalékos) pontosságú becslés rendkívül kedvező.

4. NGN transzporthálózat-tervezés gyakorlati példája

Az előző szakaszokban részletesebben ismertetett tervezési és modellezési feladatok gyakorlati megvalósítá-

sának főbb építőköveit és adatbázis-kapcsolatait szemlélteti a 4. ábra.

A tervezési folyamatot négy különálló, egyenként is több alrendszerből álló tervezőmodul alkotja. A cikkünkben bemutatott tervezési feladatok, az IP és átviteli hálózati réteg tervezése, modellezése és megbízhatósági elemzése a FLEXPLANET tervezői csomag segítségével végezhető el.

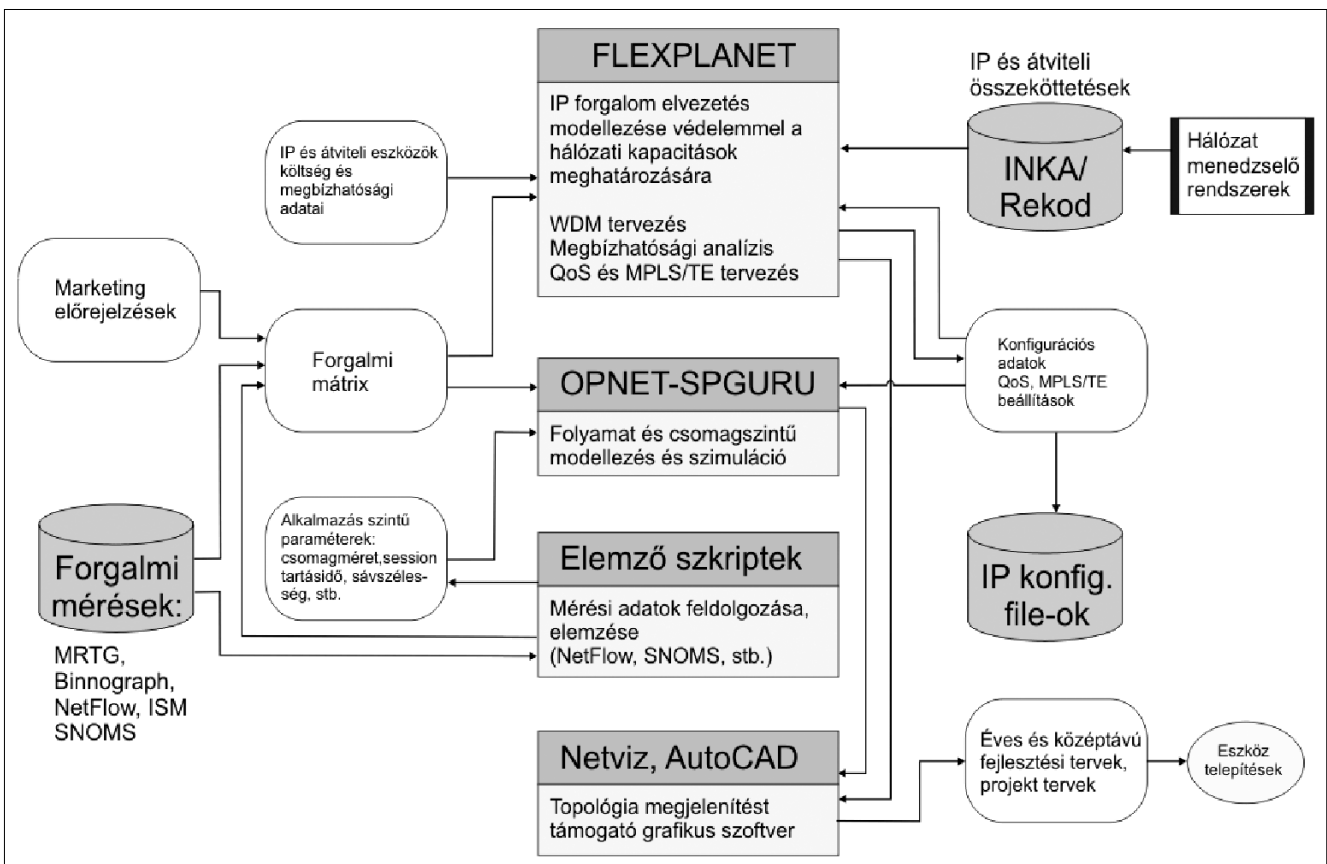
A tervező rendszer fejlesztése során a BME és PKI munkatársainak közös munkájában alkalmaztuk a fentebb ismertetett, többretegű hálózatok leírására alkalmas elvet, amely az új technológiák megjelenését követve alkalmas az új tervezési követelményeknek megfelelni. A tervező rendszerhez kapcsolódnak a Magyar Telekom nyilvántartási adatbázisai és a tervezést, üzemeltetést támogató egyéb rendszerek.

A tervezői és nyilvántartó adatbázis összekapcsolásának példáját mutatja a FLEXPLANET tervező és INKA/Rekod nyilvántartási rendszerek együttműködése. Az INKA/Rekod adatbázis tartalmazza a Magyar Telekom IP és WDM rendszereinek, valamint fényvezető kábeleinek adatait.

5. Tervezési tapasztalatok

Az ismertetett általános modell és tervezési alaplépések lehetőséget adtak arra, hogy az elmúlt 15 éves időszakban bevezetésre került kommunikációs technológi-

4. ábra Az NGN transzportrétegének fő tervezési elemei és adatbázis-kapcsolata



ákra (SDH, ATM, IP, WDM) alapozott hálózatok tervezését széles körben támogatni lehessen, mind a bevezetés, mind pedig az azt követő továbbfejlesztések során, és egyúttal számos tapasztalatot is eredményeznek a gyakorlati alkalmazások kapcsán.

A legutóbbi időben a többrétegű hálózati elemzések egyrészt rámutattak a fizikai és logikai rétegek együttes kezelésének előnyeire és elősegítették a hálózat gyenge pontjainak meghatározását. Másrészt az IP és WDM rétegek együttes tervezése, a tartalékolási elvek összehangolt kezelése költségmegtakarítást eredményezett a megfelelő szintű hálózat-rendelkezésreállítás biztosítása során.

A technológia-független hálózatmodellezés lehetővé teszi a gyors technológiai változások tervezői módszertanban történő folyamatos követését. A hálózatnyilvántartó és tervező rendszerek összekapcsolásával ellenőrizhetővé válnak olyan nyilvántartási hiányosságok, amelyek csak nehezen fedezhetők fel és az üzemeltetés során hibás döntésekhez vezethetnek.

Végül megemlíthető, hogy az időszakos hálózatátrendezésekkel a hálózat kihasználtsága gazdaságosabbá tehető a folyamatosan felmerülő igények változatlan hálózati állapot szerint történő megvalósításához képest.

Összefoglalva megállapítható, hogy a technológia-független hálózatmodellezésre alapozott tervezési és analízis folyamatok lehetővé tették a gyors technológiai változások folyamatos követését és módot adtak a felmerülő gyakorlati feladatok hatékony megoldására.

A szerzőkről

SIPOS ATTILA a Budapesti Műszaki Egyetemen 1976-ban szerzett villamosmérnöki oklevelet. Az egyetem elvégzése után a Postai Tervező Intézetben távközlési rendszertervezőként, 1986-tól csoportvezetőként, 1990-től a Távközlési Rendszertervező iroda vezetőjeként dolgozott. 1991-ben a tervező és kutató intézet összevonása után a MATÁV Rt. PKI Távközlésfejlesztési Intézet hálózatfejlesztési igazgatóhelyettesévé nevezték ki. Részt vett a MATÁV hálózatának digitalizálásában és az országos fényvezető hálózat kiépítésének tervezésében. Jelenleg a Magyar Telekom PKI Fejlesztési Igazgatóság, Hálózatfejlesztési ágazatának vezetőjeként szervezi a Magyar Telekom fixhálózatának fejlesztését. Irányításával készülnek az országos IP és WDM transzportálózat, valamint az aggregációs hálózat fejlesztési és megvalósítási tervei. A távközlő hálózat gördülő tervezésének kidolgozása és bevezetése területén végzett tevékenységért 1994-ben Békésy emlékéremmel tüntették ki. A Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület és a Mérnök-kamara tagja.

JEREB LÁSZLÓ a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán 1971-ben villamosmérnöki és mérnök-tanári oklevelet, 2004-ben MTA doktora címet szerzett. 1971-től 2005-ig a BME Híradástechnikai Tanszékének főállású oktatója, 2004 óta a BME, 2005 óta a Nyugat-Magyarországi Egyetem (NYME) főállású egyetemi tanára. Fő oktatási és kutatási területe a kommunikációs hálózatok tervezése, teljesítmény- és megbízhatósági elemzése. E témakörökben számos hazai és több külföldi egyetemi tantárgy kidolgozója és oktatója, hazai és nemzetközi kutatási-fejlesztési projektek vezetője. A 2002 óta a Sopronban beindított gazdaság-informatikus képzés szervezője, 2003-tól az NYME Informatikai, majd Informatikai és Gazdasági Intézetének igazgatója, 2008-tól a Faipari Mérnöki Kar dékánja. 1999-2004 között a Távközlési Mérnöki Minősítő Bizottság, majd az Informatikai és Hírközlési Szakértői Bizottság elnöke, az MTA Távközlési Rendszerek Bizottság (TRB) tagja, a Magyar Akkreditációs Bizottság informatikai és villamosmérnöki tudományok szakbizottság, a Nemzeti Hírközlési és Informatikai Tanács, valamint az OTKA Életlen Természettudományi Kollégiumának tagja.

Irodalom

- [1] L. Jereb, T. Jakab, M. Telek, A. Sipos, G. Paksy, "Planet: A tool for telecommunication network planning and its application in Hungary," *Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 12:7, 1994, pp.1261–1272.
- [2] L. Jereb, F. Unghváry, T. Jakab, "A methodology for reliability analysis of multi-layer communication networks," *Optical Networks Magazine*, Vol. 2, 2001, pp.42–51.
- [3] E. Babics, E. Csákány, T. Jakab, R. Konkoly, L. Szandi, "Operational database-related multi-layer network modeling to support network development at Magyar Telekom", in *NETWORKS 2008 – 13th Int. Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium*, Budapest, 2008. (elfogadott előadás)
- [4] Z. Zsóka, F. Unghváry, L. Jereb, T. Izsó, "FLEXPLANET, a flexible multilayer network design tool," in *NETWORKS 2008 – 13th Int. Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium*, Budapest, 2008. (elfogadott előadás)