



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Beszédátvitelt támogató jelzésmegoldások csomagkapcsolt hálózatokban

Szabó István

Távközlési és Telematikai Tanszék
Nagysebességű Hálózatok Laboratórium

Ph.D. téziszfüzet

Tudományos vezető:

Dr. Molnár Sándor

Távközlési és Telematikai Tanszék
Nagysebességű Hálózatok Laboratórium

Budapest
2003

1. Bevezetés

A távközlési rendszerek fejlődésében három fontos tendencia rajzolódott ki az elmúlt néhány évben. Az első a mobil hálózatok evolúciója, aminek köszönhetően lehetővé válik, hogy mozgó felhasználók a megszokott beszéd-átvitel mellett valós idejű multimédia- és szélessávú adatátviteli szolgáltatásokat használjanak. Ezt az új infrastruktúrát szokás harmadik generációs mobil hálózatként hivatkozni [1, 2]. Ezzel egyidőben komoly kutatómunkát végeznek az IP hálózati technológia továbbfejlesztése érdekében. A kutatás célja olyan megoldások kidolgozása, amelyek lehetővé teszik több, a valós idejű kommunikáció minőségi igényeit is kielégítő szolgáltatási osztály megvalósítását. Végül megfigyelhető e két hálózati technológia összeolvadása is. A mobil hálózatok vezetékes átviteli szakaszain egyre fontosabb szerepet kapnak az IP alapú megoldások, ugyanakkor a mobil terminálok is alkalmassá válnak internetes tartalmak elérésére IP alapon. Kutatómunkám célja olyan jelzés- és hálózat-vezérlő megoldások kidolgozása volt, melyek elősegítik valós idejű forgalom (elsősorban beszédhívások) átvitelét csomagkapcsolt hálózatokban. A javasolt megoldásokkal szemben támasztott fontos követelmény, hogy a hálózatokban fokozatosan, a meglévő infrastruktúra lépésenkénti bővítésével telepíthető legyen, illeszkedve a fentebb említett technológiai konvergencia során igen gyorsan változó, nem különösebben stabil hálózati viszonyokhoz.

Cellás rendszerű mobil hálózatokban mindig a rádiós kapacitás a legértékesebb erőforrás. A harmadik generációs rendszerekhez egy új rádiós technológiát használnak (W-CDMA [3]), ami a korábbi megoldásoknál hatékonyabb támogatást biztosít széles tartományban változó sáv szélesség-igényű, csomagkapcsolt adatátviteli szolgáltatások megvalósításához. A W-CDMA kutatások befejezése után megkezdődött a W-CDMA köré épülő teljes mobilhálózati környezet kialakítása. Ebben az időszakban az ATM tűnt a legígéretesebb választásnak, mely képes a hálózat vezetékes átviteli szakaszain a W-CDMA-val összemérhető minőségű szolgáltatást a rádiós technológia által támogatott sokféle alkalmazás számára megvalósítani. További lenyegző szempont volt, hogy — különösen Japánban, ahol a mobil hálózatok új generációja iránti igény a leghatározottabban jelentkezett — a hálózatüzemeltetők jelentős kapacitású kihasználatlan ATM hálózattal rendelkeztek. A tömörített beszéd hatékony átviteléhez, és a rádiós hozzáférő hálózat más jellegzetességei miatt az ATM technológia jelentős kiterjesztése vált szükségessé. Az ATM technológia egy új ATM adaptációs réteggel (AAL2 [4]) és ebben a rétegben egy új kapcsolási szinttel bővült. Kutatómunkám eredményeként javasoltam egy új jelzésprotokollt, ami elengedhetetlenül szükséges ezen új, ATM fölötti kapcsolási szint bevezetéséhez.

Időközben az IP technológia egyre életképebb alternatívát jelent mint általános platform eltérő minőségi igényeket támogató alkalmazások egy közös gerinchálózaton történő hatékony, minőségi garanciákkal biztosított átvitelére. A hagyományos telefonszolgáltatások éppúgy, mint a vállalati magánhá-

lózatok igyekeznek adatforgalmuk mellett a beszédforgalmat is IP hálózaton szállítani. Telefonminőségű beszédátvitel természetesen nem valósítható meg a megszokott, minden egyes csomagot azonos módon kezelő IP megoldással. Új megoldásokat kell kidolgozni, melyek lehetővé teszik torlódás esetén a valósidejű forgalom csomagjainak előnyösebb kezelését, illetve a hálózati kapacitás elégtelensége esetén az érkező hívások blokkolását. Számos megoldási javaslat ismert már, melyek erőforrás-foglalást és a folyamatok számára eltérő hálózatminőségi jellemzőkkel rendelkező szolgáltatások lehetőségét kínálják [5, 6, 7, 8, 9]. Ezek a megoldások abban különböznek, hogy mennyire összetett algoritmusokra épülnek és a hálózati erőforrások mennyire hatékony kihasználását teszik lehetővé. Ezen új megoldások telepítését lényegesen nehezíti, hogy igen jelentős számú, hagyományos IP technológiát támogató berendezés működik szerte a világban, melyeket lehetetlen egyszerre, egyik napról a másikra korszerűbbre cserélni. Kutatásom célja az volt, hogy kidolgozzak egy olyan megoldást, amely egyszerűen megvalósítható, nem igényli a már telepített hagyományos IP forgalomirányítók módosítását, viszont képes a források egy csoportjának jobb minőségű szolgáltatást nyújtani úgy, hogy a szolgáltatás minőségét nem befolyásolják a hálózatban működő, a kidolgozott új megoldást nem támogató egyszerű IP forgalomirányítók.

Az utóbbi időszakban ismertetett mérési eredmények szerint az Interneten használt alkalmazások nagyrészt a TCP protokollra épülnek [10], ugyanakkor folyamatosan nő a valósidejű átvitel aránya [11]. Ezek a valósidejű forgalomforrások a legkritkább esetben használnak torlódás-kezelő mechanizmusokat. Floyd és Fall felhívják a figyelmet a lehetséges negatív következményekre és javasolják, hogy valamennyi internetes alkalmazásnak használnia kellene torlódás-kezelést [12]. A folyamatok torlódás-kezelése helyett egy másik lehetséges megoldás a hálózatban szállított valósidejű forgalom mennyiségének szabályozására az érkező hívások blokkolása minden esetben, amikor a hálózati kapacitás kimerülőben van. Kutatásaim során megvizsgáltam a folyamat szintű hívás-engedélyezés és a folyamatok torlódás-kezelésének lehetséges egymásra hatásait, amikor a cél beszédhívások átvitele egy hagyományos IP forgalomirányítóból épített gerinchálózaton.

2. Kutatási célkitűzések

Kutatásaim célja általánosságban az volt, hogy megoldásokat találjak (tömrített) beszéd csomagkapcsolt hálózatokon történő továbbítása kapcsán felmerülő megoldatlan problémákra.

Foglalkoztam a harmadik generációs mobil távközlési rendszerek hozzáférési hálózatával (UTRAN). Céлом egy új jelzésprotokoll (AAL2 Signalling) kidolgozása volt, ami lehetővé teszi a megszokott ATM kapcsolási réteg fölött egy új AAL2 kapcsolási szint kialakítását.

Korábban a jelzésrendszerek egyetlen, előre meghatározott átviteli meg-

oldásra épültek. Második célkitűzésem az volt, hogy létrehozzak egy olyan új protokoll-architektúrát, ami ezt a kötöttséget megszünteti, lehetőséget teremt arra, hogy az AAL2 jelzésrendszer független legyen az átvitelére használt technológiától, és a jelzésprotokoll ATM, IP és SS#7 hálózatok fölött is működhessen.

Végül pedig az AAL2 jelzésprotokoll különböző megvalósítási módozatait elemeztem, koncentrálna a kapcsolatfelépítési késleltetésre, ami különösen kritikus tényező az UTRAN rendszerben való alkalmazhatóság szempontjából.

Az Internet tervezési filozófiájának kulcseleme volt a “végberendezések közötti működés” [13] elve. Ennek lényege, hogy a hálózati elemeknek csak azt a funkcionalitást kell támogatnia, amire minden egyes alkalmazásnak szüksége van, és minden olyan szolgáltatást, amelyek csak a végberendezések egy része számára szükségesek, a végpontokon futó alkalmazásoknak kell megvalósítaniuk. Kiemelt minőségű szolgáltatásokra és hívásengedélyezésre nyilván nincsen szüksége minden végberendezésnek, így a fenti elv szigorú alkalmazása azt jelentené, hogy a hálózatban működő forgalomirányítókat nem szabad hívásengedélyezéshez kapcsolódó funkcionalitással terhelni. Kutatásom célja egy olyan hívásengedélyezési megoldás kidolgozása volt, ami nem igényli a hálózat forgalomirányítóinak semmilyen közreműködését. Megvizsgáltam vajon lehetséges-e a végberendezések közötti passzív mérések alapján hívásengedélyezést végezni illetve, hogy egy ilyen módszer milyen minőségi garanciákat képes a hálózatba beengedett folyamatok számára biztosítani.

Miután az Interneten egyre jelentősebb a valósidejű forgalom aránya, fontossá vált olyan vezérlő módszerek bevezetése, melyek megakadályozzák, hogy a hagyományos folyamszintű torlódáskezelést alkalmazó TCP források ne kerüljenek lehetetlen helyzetbe a hálózati erőforrásokért való küzdelem során. Kutatásom során tanulmányoztam az általam javasolt hívásengedélyezési megoldás és a folyamszintű torlódáskezelés egymásra gyakorolt hatását hagyományos, egyetlen szolgáltatási osztály kezelésére képes IP hálózatokban.

3. A kutatás módszerei

Kutatómunkám egyik része új protokollok kidolgozása volt. A javasolt protokollok működőképességének, használhatóságának talán legegységertelműbb bizonyítéka, hogy mindkettőnek létezik működő megvalósítása. Az AAL2 jelzésprotokoll napjainkra már kereskedelemben kapható távközlő berendezéseknek is része. A javasolt hívásengedélyezési megoldás prototípusát ugyanakkor saját magam készítettem el az ns-2 szimulátor [14] kiterjesztéseként.

A javasolt megoldások teljesítmény-analízise során amennyiben lehetséges volt, használtam a sorbanállás elmélet elemi eredményeit, de a vizsgálataim során használt eszköz döntően a szimuláció volt. A szimulációs mód-

szert az alábbi szempontok indokolják:

- A vizsgált rendszerek bonyolultsága miatt leírásuk nem oldható meg a rendelkezésre álló analitikus eszközök segítségével.
- Az ns-2 egy szinte szabványosnak tekinthető eszköz IP alapú hálózati megoldásokkal kapcsolatos kutatásokhoz, a rendelkezésre álló keretrendszer lényegesen csökkenti egy-egy új megoldás teszteléséhez szükséges szimulációs környezet kialakításának idejét.
- Mivel ugyanazt a szimulációs eszközt szerte a világon nagyon sokan és hosszabb ideje használják kutatási célokra, a kapott számszerű eredmények megbízhatónak tekinthetők és a tudományos közélet számára is könnyebben elfogadhatóak.

4. Új eredmények

Tézis 1 : Új jelzésprotokoll AAL2 összeköttetések felépítésére UMTS rádiós hozzáférő hálózatokban

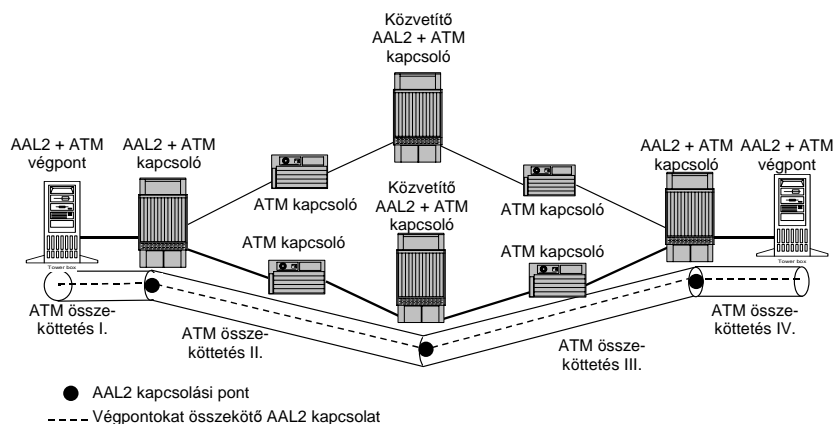
UMTS rádiós hozzáférő hálózatokban az ATM AAL2 [4] átviteli technológia használata ideálisnak tűnik, főként mert lehetővé teszi tömörített beszéd hatékonyan átvitelét [15]. A használt rádiós technológiával való hatékony együttműködés érdekében azonban szükség volt a megszokott ATM kapcsolási réteg fölött egy új AAL2 kapcsolási szint kialakítására. A meglévő ATM jelzésrendszerek és a kézenfekvő módosításuk alapos elemzésével kiderült, hogy a rendelkezésre álló jelzésprotokollok nem alkalmasak ezen új kapcsolási szint vezérlésére. Legfontosabb hátrányuk, hogy mindegyik elválaszthatatlanul összekapcsolja a hívásszintű logikát és az átvitelre használt hálózati technológiát, valamint bonyolult forgalommenedzsment információk használatát igényli. E tézis egy új jelzésprotokollt (AAL2 Signalling) és egy ehhez lazán kapcsolódó protokoll-architektúrát javasol, aminek használatával végberendezések kérésére kapcsolt AAL2 összeköttetéseket lehet felépíteni.

Altézis 1.1 : AAL2 jelzésprotokoll [C1, J2, J3]

Javasoltam egy új jelzésprotokollt kapcsolt AAL2 összeköttetések kezelésére.

A protokollnak a következő tulajdonságai vannak:

- Egy új, önálló, kizárólag az AAL2 réteg vezérlésével foglalkozó megoldás, nem pedig egy meglévő, a hívásszintű logikát és az átvitelre használt hálózati technológiát összekapcsoltan kezelő ATM jelzésprotokoll kiterjesztése.



1. ábra: ATM összeköttetések és végpontok közötti AAL2 összeköttetés egy ATM réteg fölött működő AAL2 hálózatban

- Több párhuzamos ATM összeköttetésen képes AAL2 kapcsolatokat felépíteni, kapcsolt- és a hálózatmenedzsment rendszer által kiépített állandó ATM összeköttetéseket egyaránt támogat.
- AAL2 hálózat, mely hálózat AAL2 végpontokból és AAL2 kapcsolóközpontokból áll, képes végpontok közötti pont-pont kapcsolatokat igény szerinti kiépítésére és lebontására. (1. ábra)
- A protokoll egy beépített mechanizmusa támogatja a rendszer bővítését olyan módon, hogy a bővített funkciókészlethez használt üzenetek nem okoznak működési zavarokat a csak a protokoll régebbi verziójának kezelésére alkalmas eszközökben.
- A protokoll üzenetekben lehetőség van a felépítendő AAL2 összeköttetést használó végpontok közötti rövid adatközlésre, mely adatot a hálózat AAL2 kapcsolóelemei nem használják, viszont a végberendezésekben lehetőséget teremt az AAL2 összeköttetések és a magasabb rétegbeli (pl. hívásszintű) logika összerendelésére, vagy — amint az UMTS rádiós hozzáférő hálózatokban történik — az AAL2 összeköttetés és az általa kiszolgált rádiócsatorna összekapcsolására.
- Az AAL2 kapcsolatok felépítéséhez a protokoll csomópontonkénti forgalomirányítást használ.
- A protokoll képes a jelzésátviteli hálózatban keletkezett torlódásra, hálózati csomópontok és csomópontok közötti összeköttetések időszakos hibájára reagálni.

A javasolt protokoll működőképességének és használhatóságának talán legkézenfekvőbb bizonyítéka, hogy számos független megvalósítása készült el

(Ericsson [16], Trillium [17], Spirent Communications [18]), melyek ma már kereskedelmi forgalomban is kapható távközlési berendezésekben működnek. A javasolt protokoll ellenőrzéséről és formális leírásáról további részletek az értekezés 2.2.1 fejezetében olvashatók. Mivel a javasolt protokoll egy új, az ATM fölötti kapcsolási szinten működik, a meglévő ATM jelzésprotokollokkal nem igazán összehasonlítható a teljesítménye. Ennek az új kapcsolási szintnek az előnyei csak a teljes rendszer szintjén mutathatók meg. Az AAL2 kapcsolás rendszer szintű teljesítményanalízisét az érdeklődő olvasó megtalálja a [J2, 19] cikkekben.

Altézis 1.2 : Átviteli technológia független jelzésprotokoll architektúra [P1, C1]

Bevezetem egy új jelzésprotokoll-architektúrát, ami lehetőséget teremt arra, hogy egy protokoll lényegében bármilyen adathálózaton átvihető legyen, működjön pl. SS#7 (MTP), IP és ATM hálózat fölött egyaránt.

Az AAL2 átviteli technológia és ennek részeként az általam javasolt jelzésprotokoll számos területen alkalmazható. A protokoll kialakításánál ezért fontos szempont, hogy könnyen telepíthető legyen a szóbjövő, igen eltérő hálózati környezetekben. Felmerül tehát a kérdés, hogy melyik az ideális átviteli megoldás az AAL2 jelzésüzenetek számára.

Ha kizárólag az AAL2 jelzésrendszer funkcionalitásából levezethető igényekre szorítkozunk, akkor az ATM Forum PNNI jelzésprotokolljának megoldását kell választani, amely ATM AAL5 kapcsolatokra telepített Signalling AAL összeköttetéseket (ITU-T Q.2110 & Q.2130) használ a jelzésrendszer csomópontjai között.

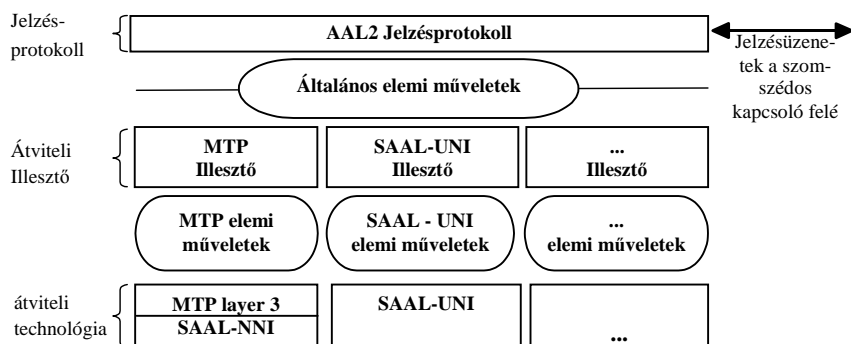
Ha tekintetbe vesszük az AAL2 talán legfontosabb alkalmazását, vagyis az UMTS rádiós hozzáférő hálózat esetét, akkor az SS#7-es jelzés hálózat szélessávú változata, ami mindenképpen szükséges a rádiós hálózat más jelzésüzeneteinek továbbítására, alkalmas az AAL2 protokoll üzenetek számára is. Ez a megoldás egyszerűsítene az AAL2 technológia használatát, hiszen nem szükséges kiépíteni és működtetni egy különálló jelzésátviteli hálózatot az AAL2 protokoll részére.

Az UMTS rádiós hozzáférő hálózatokat összekapcsoló hálózatrészben, illetve vezetékes telefonhálózat központjai között (ATM fölötti beszédátvitel) az SS#7-es hálózat keskenysávú módozata áll az előző esethez hasonlóan rendelkezésre, így opcióként esetleg szóba jön az AAL2 jelzésrendszer keskenysávú SS#7-es rendszer fölötti működésre tervezése.

Figyelembe véve az IETF-ben folyó munkát, melynek célja az IP technológia alkalmassá tétele jelzés hálózatok építéséhez, egy hosszútávon alkalmazható AAL2 jelzésprotokoll IP hálózaton is működőképes kell legyen.

A fenti érvek alapján javasoltam az *átviteli technológia független jelzésprotokoll* koncepciót, illetve azt a tervezési elvet, hogy az AAL2 jelzésproto-

koltt úgy kell kialakítani, hogy minden elméletileg elképzelhető átviteli hálózat fölött képes legyen működni. A javasolt protokoll architektúra látható a 2. ábrán.

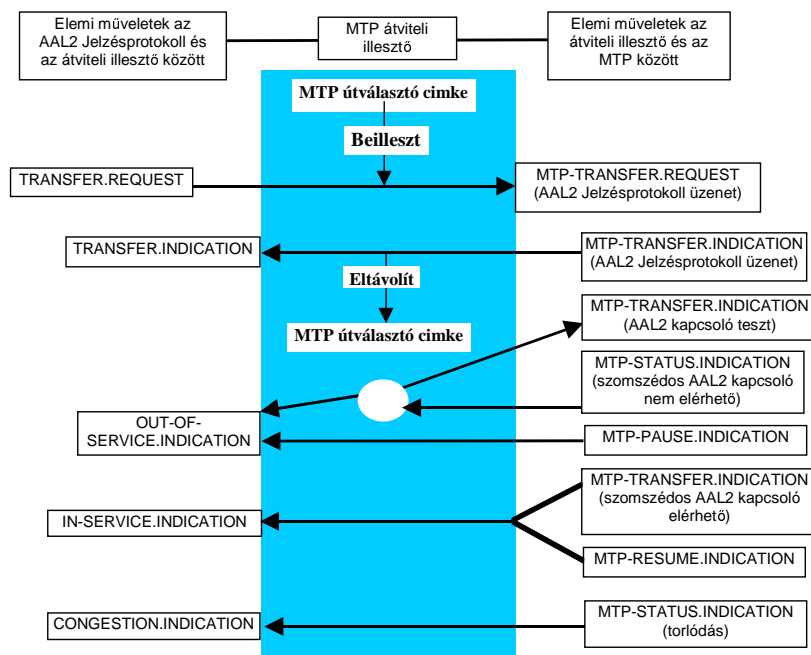


2. ábra: Az AAL2 Jelzésprotokoll felépítése

A javasolt architektúra leglényegesebb eleme az úgynevezett *Átviteli Illesztő*, amely a jelzésprotokoll számára biztosítja azokat az *Általános elemi műveleteket*, ami szükséges a protokoll üzeneteknek a szomszédos kapcsolók felé történő továbbításához, illetve a jelzésátvitelre használt hálózat állapotról érkező információ fogadásához. Az *Átviteli Illesztő* ezeket az “Általános elemi műveleteket” lefordítja az éppen használt átviteli technológia által felajánlott elemi műveletekre. Ezen a módon az egyes átviteli technológiák specifikumait elrejt a jelzésprotokoll előtt. Az *Átviteli Illesztő* feladata lehet pl. a szomszédos kapcsolóelemek és a kapcsolók közötti összeköttetések működőképességének folyamatos felügyelete. Szükség esetén sorszámmal látja el, feldarabolja, és a távoli kapcsolóban újra rendezi a protokoll átviendő üzeneteit, attól függően megvalósítva ezeket a funkciókat, hogy milyen szolgáltatásokat nyújt az éppen használt átviteli technológia.

Ez az új architektúra nagyon rugalmas, viszont cserébe a megvalósítása némiképp költségesebb. Igazolandó, hogy a fentebb vázolt koncepció a gyakorlatban is működőképes, az AAL2 Jelzésprotokollhoz kidolgoztam két *Átviteli Illesztőt*. Az első lehetővé teszi a jelzésprotokoll használatát SS#7-es hálózaton, míg a második átviteli technológiaként a ATM AAL5 kapcsolatokra telepített Signalling AAL összeköttetéseket használ. Ez utóbbi átviteli megoldást használják az ITU UNI jelzésprotokolljai, illetve a PNNI protokoll is. A javasolt átviteli illesztők működőképességének és használhatóságának igazolására megemlíthető, hogy mindkét általam javasolt illesztőnek létezik több, kereskedelmi forgalomban kapható, egymástól független megvalósítása (Trillium [17], Spirent Communications [18]). A 3. ábrán látható az SS#7 hálózathoz készült illesztő vázlatos működése.

Talán a legnagyobb kihívás azok számára, akik manapság kommunikációs hálózatokat terveznek, építenek és működtetnek az, hogy hogyan kezeljék az átmeneti időszakot, melynek során a különböző alkalmazásokhoz

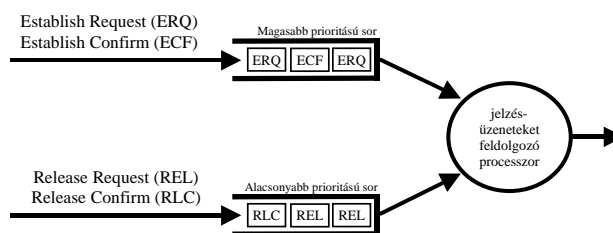


3. ábra: Elemi műveletek közötti fordítás az SS#7 hálózat fölött működő átviteli illesztőben

telepített, eltérő technológiákat használó hálózataik helyét átveszi egy, valamennyi hálózati alkalmazás kiszolgálására képes közös IP gerinchálózat. Ebben az átmeneti időszakban a hálózatüzemeltetők egy része ATM összeköttetések segítségével oldja meg hagyományos telefonforgalmának átvitelét. A telefonhálózat vezérlésére a régi SS#7-es jelzésrendszert használják. Időközben, köszönhetően a technológia folyamatos fejlesztésének, az IP egyre inkább alkalmassá válik valós idejű forgalom és jelzésüzenetek átvitelére. A javasolt jelzésprotokoll-architektúra legfontosabb előnye, hogy a protokoll átviteli-technológia függetlenné tételével biztosítja, hogy nem kell a protokollt minden egyes alkalommal áttervezni és a módosításokat hosszú folyamat eredményeként egyenként szabványosítani, amikor a hálózat áttér egy másik átviteli technológiára. Ezt az architektúrális elvet számos új protokoll követi, pl. az Átviteli Technológia Független Hívásvezérlő Protokoll (BICC ITU-T Q.1901) és az IP hálózaton történő jelzésátvitelre kifejlesztett Folyamszintű Átvitelvezérlő Protokoll (SCTP IETF RFC 2719).

Altézis 1.3 : Az AAL2 Jelzésprotokoll teljesítményének optimalizálása [C2]

Javasoltam az AAL2 Jelzésprotokoll üzeneteinek kezelését prioritásos sor használatával megvalósítani. Sorbanállás-elméleti és szimulációs módszerekkel kiértékeltem a javasolt megoldást.



4. ábra: Az AAL2 Jelzésprotokoll üzeneteinek kezelése prioritásos sorokkal

Amint arról korábban szóltam, az UMTS rádiós hozzáférő hálózata az AAL2 átviteli technológia egyik legfontosabb alkalmazási területe. A rádiós technológia sajátosságai (soft handover) miatt a hálózat vezetékes részében alkalmazott átviteli megoldással szemben támasztott legfontosabb követelmény az összeköttetések gyors felépítése.

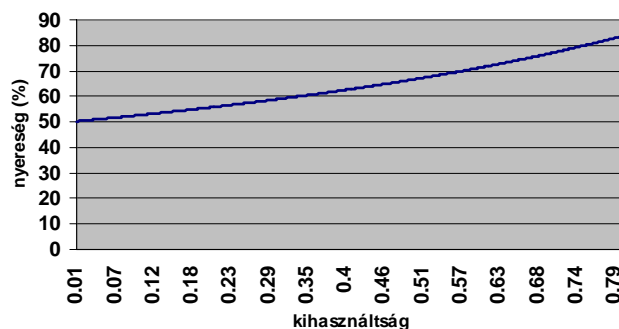
Amellett, hogy az AAL2 Jelzésprotokoll kidolgozásánál is fontos tervezési szempont volt a gyors működés biztosítása, a protokoll jelzésüzeneteinek prioritásos kezelésével, konkrétan az összeköttetések felépítéséért felelős üzenetek számára biztosított elsőbbséggel további időnyereség érhető el. A megoldás vázlata a 4. ábrán követhető. Az AAL2 kapcsolóelem két sorban fogadja a jelzésüzeneteket, a magasabb prioritással rendelkező sorban gyűjti a kapcsolatfelépítésben részt vevő jelzéseket (*ESTABLISH REQUEST (ERQ)* és *ESTABLISH CONFIRM (ECF)*), míg az alacsony prioritással kiszolgált sor az összes többi protokoll üzenet átmeneti tárolására szolgál. A prioritásos sorok használata jól ismert módszer a felhasználói adatsomagok kezelésére, de nem sok alkalmazása ismert jelzésforgalom esetében, különösen olyan, ahol a prioritásos mechanizmus ugyanazon jelzésprotokoll üzeneteit kezeli eltérően.

Egy AAL2 kapcsoló esete

Egyetlen AAL2 kapcsoló esetén a prioritásos üzenetkezelés hatása a sorbanállás elmélet elemi eredményei segítségével megvizsgálható [20]. Az AAL2 kapcsoló modellezhető mint M/G/1 sorbanállási rendszer. A prioritásos üzenetkezelésnek köszönhetően elérhető sorbanállási idő csökkenés kifejezhető az üzeneteknek a prioritásos és a prioritás nélküli esetben mért átlagos várakozási idejének hányadosaként. Ez a hányados az alábbi módon írható fel:

$$\frac{1 - \rho}{2 - \rho} \quad (1)$$

ahol ρ a kihasználtsági tényező. Az 5. ábrán látható a százalékosan elérhető nyereség a kihasználtsági tényező függvényében.



5. ábra: A jelzésüzenetek prioritásos kezelésével elérhető kapcsolatfelépítési idő csökkenés a kiszolgáló növekvő kihasználtsága mellett.

AAL2 kapcsolókból felépített hálózat esete

Az UMTS rádiós hozzáférő hálózatban üzemelő AAL2 kapcsoló-hálózatnak van néhány egyedi felépítésbeli jellemzője. Az AAL2 kapcsolókat a rádiós átvitelt végző Bázisállomásokban (BS) és az ezek működését irányító Rádiós Hálózat Vezérlő (RNC) egységekben kell telepíteni. Egy-egy Bázisállomás csak az öt vezérlő RNC-vel van összeköttetésben, a Bázisállomások között nincs közvetlen kapcsolat. Az AAL2 összeköttetések felépítését mindig a Rádiós Hálózat Vezérlő kezdeményezi a megfelelő Bázisállomás felé. Elméletileg egy nagyon gyorsan mozgó terminál esetén szükséges lehet AAL2 összeköttetés felépítése egy Rádiós Hálózat Vezérlő és a hálózat tetszőleges Bázisállomása között, gyakorlatban azonban létezik egy eljárás az adott hívást kiszolgáló Rádiós Hálózat Vezérlő feladatainak átruházására, aminek következtében egy AAL2 összeköttetés legfeljebb két Rádiós Hálózat Vezérlőn halad át. A vizsgálatok elvégzéséhez konstruáltam két AAL2 kapcsoló-hálózat modellt, melyek megfelelnek az UMTS rádiós hozzáférő hálózatban tipikus elrendezéseknek. Az első elrendezésben, "Fa", két Rádiós Hálózat Vezérlőhöz egyenként tíz Bázisállomás tartozik, melyek egy fa topológiájú hálózatot alkotnak. A második esetben, "Sík", a különbség annyi, hogy mind a tíz Bázisállomás közvetlenül kapcsolódik az öt vezérlő RNC-hez.

Sajnos a fenti hálózatok analitikus modellel nem kezelhetők, ehelyett szimulációs vizsgálatokat végeztem. Mindkét hálózati topológiára futtattam szimulációkat, egyik esetben a hálózat kapcsolói prioritásos sorokban fogadták a jelzésüzeneteket, nagyobb prioritást biztosítva a kapcsolatfelépítéshez használt protokoll-üzeneteknek (ERQ, ECF), a másik esetben minden jelzésüzenet ugyanabban a sorban várakozott. A szimulációk bebizonyították, hogy a prioritásos módszer képes jelentősen csökkenteni a kapcsolatfelépítési késleltetést. A nyereség 4-11% között változik függően a hálózati topológiától és a kapcsolók processzor-terhelésétől. Minél kedvezőbb a kapcsolatfelépítési idő, annál kedvezőtlenebb a kapcsolatlebontás teljesítménye. UMTS rádiós hozzáférő hálózatokban azonban a rádiós erőforrás jó kihasználtsága a leg-

fontosabb tervezési szempont, amit a gyors AAL2 kapcsolatfelépítés szolgál leginkább.

Tézis 2 : Végpontok közötti mérést használó hívás-engedélyezési eljárás IP telefon rendszerekhez

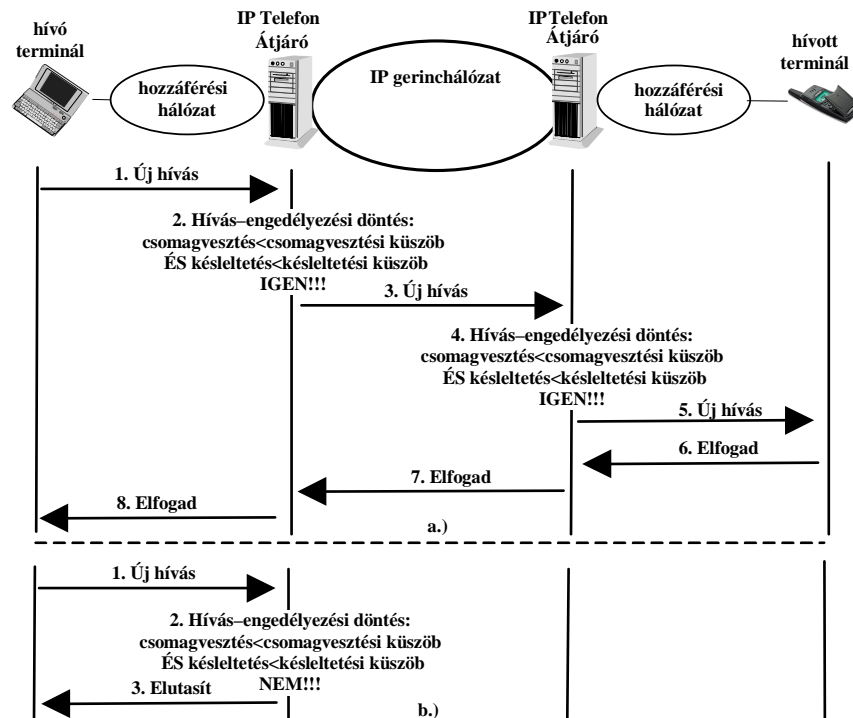
Az elmúlt években talán az IP hálózatok számára konstruált, különböző bonyolultságú hívás-engedélyezési megoldások kidolgozása és e megoldások komplexitásának és az elérhető minőségi garanciák összefüggésének feltárása volt a távközlés legnépszerűbb kutatási területe. Ha egy forgalomirányító támogatja a "Gyorsított Csomagtovábbítás" (Expedited Forwarding) megoldást [21], ezzel lehetőséget teremt arra, hogy az adott forgalomirányítón a beszédcsomagok kis késleltetéssel illetve késleltetés-ingadozással átjussanak. Ha a beszédcsomagok számára valamennyi hálózati elem biztosítja a fenti kiszolgálási módot, akkor lehetővé válik egy teljes hálózati szegmensben keresztülhaladó beszédáram számára biztosítani az igényelt szolgáltatásminőséget, de csak akkor, ha a hálózatba beengedett folyamatok számát egy kiegészítő mechanizmus megfelelően korlátozza. Ez a téziscsoport egy egyszerűen megvalósítható, végpontok közötti mérésen alapuló hívás-engedélyezési eljárást javasol, mely leginkább a hálózat szélein elhelyezkedő IP Telefon Átjárókban alkalmazható. A javasolt megoldás a hívásengedélyezési módszerek legutóbbi javasolt végpontok közötti mérést használó családjába tartozik [8, 22], de eltérően az ismert technikáktól nem igényli a hálózat rendelkezésre álló kapacitásának hívásonkénti aktív mérését, hanem a hálózaton átvitt valós forgalomról gyűjtött mérési eredményeket használja.

Altézis 2.1 : Végpontok közötti, passzív mérést használó hívás-engedélyezési eljárás IP telefon rendszerekhez [C3, P2]

Javasoltam egy végpontok közötti, passzív mérést használó hívás-engedélyezési eljárást, mely semmilyen támogatást nem igényel a hálózatban működő forgalomirányítóktól.

A 6. ábrán látható hálózat IP telefonhívásokat visz át a hálózat szélén elhelyezett IP Telefon Átjárók között. Általában több száz párhuzamos hívás zajlik bármely két IP Telefon Átjáró között. Az új hívásengedélyezési megoldás alap gondolata, hogy az IP Telefon Átjárók különféle összevont statisztikákat (pl. csomagvesztési arány) gyűjtenek az éppen aktív hívásokról, és egy egyszerű protokoll üzenetben ezeket a mérési eredményeket rendszeresen megosztják a velük kapcsolatban lévő többi IP Telefon Átjáróval. Amikor egy új hívás-felépítési kérés érkezik, az IP Telefon Átjáró a rendelkezésére álló legutolsó mérési eredményt összehasonlítja egy, a telefonhívások számára előre beállított küszöbértékkel, és engedélyezi a hívást, ha a mérési eredmények, melyek tulajdonképpen a hálózatban rendelkezésre álló erőforrásokról adnak képet a hívást végződtető IP Telefon Átjáró felé, a beállított küszöbértéknél kedvezőbbek. A küszöbértékeket úgy kell beállítani, hogy az egyes

beengedett hívások által elszenvedett késleltetés és csomagvesztési arány ne legyen nagyobb, mint amit az emberi agy és az alkalmazott beszédkódoló együttesen ellensúlyozni tud.¹

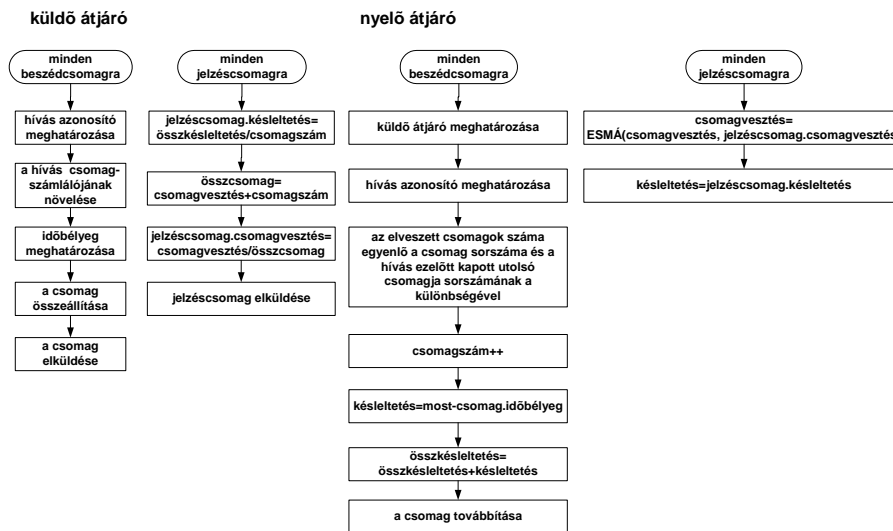


6. ábra: Sikeres (a.) és sikertelen (b.) hívásfelépítés során lejátszódó döntések és üzenetváltások

Az IP Telefon Átjáró működése a 7. ábrán követhető. A “nyelő” átjáró IP csomagokban kapja meg a tömörített beszédanyag egymást követő darabjait. Mielőtt a beszédcsomagot továbbküldi a hozzáférési hálózatba, meghatározza, hogy melyik “küldő” átjárótól kapta a csomagot, (A kapott csomag fejlésében lévő “forrás IP címe” mező alapján.) és azt is, hogy a csomag melyik híváshoz tartozik. (A kapott csomag fejlésében lévő “hívás azonosítója” mező alapján.) A csomag sorszáma segítségével meghatározza az esetlegesen elvesztett csomagok számát és frissíti az adott küldő átjáróhoz tartozó csomagvesztés-számlálót. A csomagban található időbélyeg alapján kiszámolja a csomag késleltetését és frissíti a késleltetés-számlálót is úgy, hogy az éppen kiszámolt csomagkésleltetést a számláló értékéhez hozzáadja. Még egy állapotváltozót kell frissíteni, nevezetesen a mérési intervallumban

¹Egy korszerű beszédkódoló használata esetén 1%-os csomagvesztési arány semmilyen észrevehető minőségi romlást nem okoz sőt, még 10%-os csomagvesztési arány mellett is érthető a beszéd. A legnagyobb megengedett késleltetés az IP gerinchálózati szakaszon kb. 150ms.

eddig beérkezett csomagok számát is növelni kell. Amikor a mérési intervallum véget ér, a nyelő átjáró összeállít egy egyszerű jelzéscsomagot, melyben tájékoztatja a küldőket a mért csomagvesztés és késleltetés értékekről. A jelzéscsomag tartalmazza a csomagvesztési arányt és az átlagos késleltetést. Utóbbit kiszámolhatjuk úgy, hogy a mérési intervallumban akkumulált késleltetés-számláló értékét elosztjuk az intervallumban érkezett csomagok számával.



7. ábra: A hívás-engedélyezési módszer folyamatábrája

Amikor a jelzéscsomag megérkezik, az átjáró frissíti a “késleltetés” és “csomagvesztés” állapotváltozókat, melyek az átjáró csomagjainak késleltetésére és csomagvesztésére vonatkozó aktuális becslést tárolják. A “késleltetés” értékét egyszerűen kimásolja a csomagból, a “csomagvesztés” új értékét pedig a jelzéscsomagban lévő mérési eredmény és az előző intervallumban érvényes becslés exponenciálisan súlyozott mozgó átlagaként (ESMÁ) határozza meg.

A 6. ábrán vázlatosan követhető, hogy mi történik, amikor egy végberendezés új hívást kezdeményez. Fontos megjegyezni, hogy az ábrán szereplő üzenetnevek csak a működés illusztrálását szolgálják, nem jelentik egy meghatározott hívásfelépítési protokoll használatát. A javasolt megoldás bármely elterjedt hívásfelépítési protokollal képes együttműködni. A hívásfelépítési üzenet a hívó terminál hozzáférési hálózatán keresztülhaladva eljut a “küldő” átjáróhoz. A hívott fél címe alapján a “küldő” átjáró meghatározza a “nyelő” átjáró IP címét. Az átjáró ellenőrzi, hogy a “nyelő” átjáró felé nyilvántartott késleltetés és csomagvesztés értékek az előre beállított határérték (“csomagvesztési küszöb” és “késleltetési küszöb”) alatt vannak-e. Amennyiben igen az új hívást engedélyezi és a hívásfelépítési üzenetet továbbküldi a “nyelő” átjárónak (6.a ábra 3. lépés). Ha a vonatkozó mérési eredmények

bármelyike meghaladja a határértéket, a hívást az átjáró elutasítja (6.b ábra 3. lépés). A “nyelő” átjáró pedig a hívásengedélyezési döntéshez (4. lépés) a “küldő” berendezéstől a saját beszédcsomagjairól kapott mérési eredményeket használja.

Közvetlenül indítás után, amikor a hálózatról még nem áll rendelkezésre mérési adat, az első néhány hívást az átjáró minden esetben engedélyezi. Jogos feltételezés ugyanis, hogy egy IP gerinchálózat több ezer párhuzamos hívást tud kiszolgálni, így néhány hívás beengedése érdemben nem befolyásolhatja a rendszer működését.

Ha egy hálózatban működik a “Gyorsított Csomagtovábbítás” (Expedited Forwarding) megoldás [21], akkor a beszédcsomagok kis késleltetése és késleltetés-ingadozása biztosítható a beszédcsomagok megfelelő megjelölésével. Abban a forgalmi osztályban, ahol a forgalomirányítók a beszédcsomagokat várakoztatják, kis méretű várakozási sorok beállításával korlátozni lehet a csomagkésleltetés lehetséges legnagyobb értékét. Ebben az esetben a javasolt megoldás működéséhez elegendő a csomagvesztési arány mérése.

A hívásengedélyezési eljárás tovább finomítható adaptív hívás-engedélyezési küszöbértékek alkalmazásával. Ez a kiegészítés kiváltképp hasznos, ha a felajánlott forgalom időben viszonylag széles tartományban változik. Az adaptív módszerek célja, hogy a kialakuló torlódásra gyorsan reagálva a hálózat terhelését egy elvárt állandó érték közelében tartsák, és így megakadályozzák a beszédminőség romlásával járó komoly torlódás kialakulását. Kutatásaim során két adaptív módszert vizsgáltam, mindkettő előnye az egyszerű megvalósíthatóság. Az első akkor eredményes, ha a felajánlott forgalom egy jól meghatározható napon belüli ingadozást mutat, míg a második általánosabb, a forgalom tetszőleges időbeli változására képes reagálni:

1. Ez a megközelítés a hagyományos telefonhálózatok világából kölcsönöz. Ha a hálózatot főként telefonhívások átvitelére használják, vagy egy virtuális magánhálózat működik a telefon-átjárók között, kihasználhatjuk, hogy a telefonhálózat forgalma egyszerűen leírható napon belüli mintát követ. Kisebb forgalmú periódusokat időnként nagy forgalmú időszakok, úgynevezett “terhelt” periódusok szakítják meg. Az átjárók beállításai követhetik a forgalom napon belüli ingadozását úgy, hogy a “terhelt” időszakokban szigorúbb hívás-engedélyezési küszöbértéket alkalmazunk.
2. Általánosabb megoldás a hívás-engedélyezési küszöbérték folyamatos frissítése. Új jelzéscsomag vétele esetén az átjáró a mérési eredményeket összeveti egy második küszöbértékkel és ha a kapott mérési eredmény meghaladja ezt a második küszöbértéket, beállít egy szigorúbb hívás-engedélyezési küszöbértéket. Az átjáró ezt a szigorúbb küszöbértéket alkalmazza mindaddig, amíg a mért értékek nem csökkenek a kívánt szintre.

A rendszert védeni kell a jelzéscsomagok elvesztésének esetleges negatív következményeitől is, ezért a jelzéscsomagok érkezését egy időzítő felügyeli, amit minden egyes jelzéscsomag érkezése újraindít. Ha az időzítő lejár, a hívás-engedélyezési küszöbértéket az átjáró alacsonyabbra állítja, pontosabban elosztja egy előre beállított, *visszalépés* tényezővel. Ezen a módon biztosítható, hogy a hálózatba beengedett forgalom a mérési eredmények hiányában sem növekszik. Ha végül megérkezik egy jelzéscsomag, a hívás-engedélyezési küszöbérték visszaáll az alapértelmezés szerinti értékre.

Szimuláció használatával elvégeztem a javasolt eljárás működőképességének és teljesítményének vizsgálatát. A szimulációs eredmények igazolják az eljárás működőképességét. A teljesítményvizsgálat részleteit a 3. tézis tárgyalja.

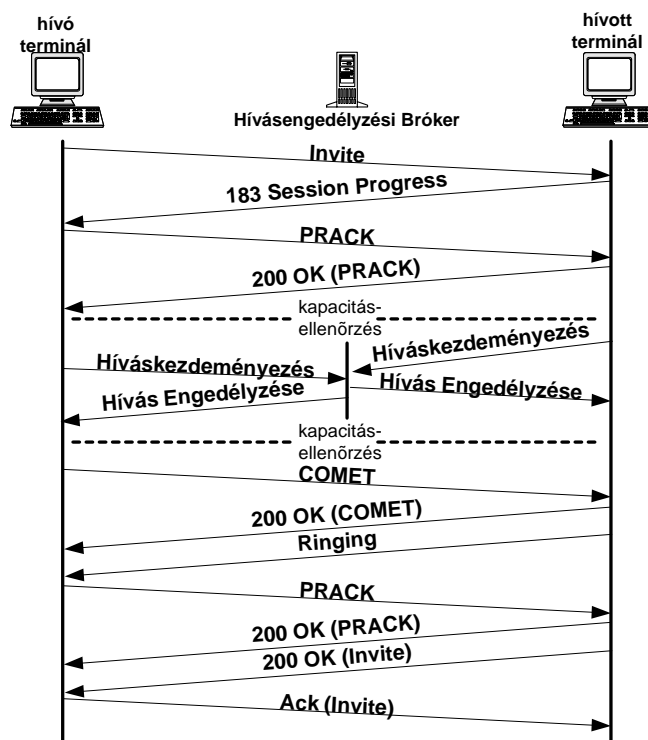
Altézis 2.2 : Elosztott mérési architektúra végpontok közötti mérésen alapuló hívásengedélyezési eljáráshoz

Javasoltam egy mérési rendszert, amely lehetőséget teremt arra, hogy a végpontok közötti passzív mérésen alapuló hívásengedélyezési eljárás ne csak IP telefon átjárókban, hanem IP telefon végberendezésekben is alkalmazható legyen.

Bevezettem egy Hívásengedélyezési Brókernek elnevezett hálózati elemet, aminek az a feladata, hogy a termináloktól begyűjtse a mérési eredményeket. A bróker a mérési eredményeket egy adatbázisba rendezi és ezen adatbázis segítségével dönt a terminálok által kezdeményezett új hívások engedélyezéséről.

Amikor új telefonhívást szeretne indítani, a terminál egy Híváskezdeményezés üzenetet küld a Hívásengedélyezési Brókernek. Az üzenetnek tartalmaznia kell legalább a hívó és a hívott IP címét. A bróker dönt a hívás engedélyezéséről és az eredményt visszaküldi (Hívás Engedélyezése) a hívást kezdeményező terminálnak. Ha a döntés pozitív, a végberendezés folytatja a hívás felépítését. A hívás során a terminál méri a beszédcsomagok késleltetését és a csomagvesztési arányt. A hívás végén a végberendezés egy Mérési Beszámoló üzenetet küld a brókernek, melyben közli a mérési eredményeket. A Mérési Beszámoló üzenet a hívás alatt mért csomagvesztési arány és átlagos késleltetés mellett tartalmazza a hívó és a hívott IP címét is.

A Hívásengedélyezési Bróker a Krishnamurthy és Wang [23] által javasolt osztályozási módszert használja az adatbázis felépítéséhez. Minden egyes, a Híváskezdeményezés üzenetekben érkező IP címet egy osztályba sorol és az előző tézisben bevezetett “késleltetés” és “csomagvesztés” állapotváltozókat osztálypáronként tárolja. A Mérési Beszámoló üzenetekben kapott, egy adott osztálypárba tartozó terminálok között lezajlott beszédhívásról szóló mérési eredmény alapján a bróker frissíti az osztálypárhoz tartozó késleltetés és csomagvesztés becslést. Ha egy Híváskezdeményezés üzenet érkezik, a bróker a



8. ábra: A javasolt hívásengedélyezési eljárás integrálása a SIP hívásfelépítéssel

hívó és a hívott IP címe alapján elvégzi a terminálok osztályozását. Az adott osztálypárhoz tartozó állapotváltozók segítségével a bróker döntést hoz az új hívásról, végül a döntésről értesíti a hívást kezdeményező végberendezést.

Még akkor is ha a végberendezések az IETF szabvány szerinti Session Initiation Protocol-t (SIP) [24] használják a hívás felépítésére és a jelzésüzenetek a végberendezések között, proxy közbeiktatása nélkül történnek, egy nemrég javasolt mechanizmus [25] lehetőséget ad a hívás elutasítására, ha az elvárt minőségű átvitelhez szükséges hálózati erőforrásokat nem lehet lefoglalni. A felhasználó a Session Description Protocol segítségével biztonsági és erőforrás igényeket határozhat meg, melyek teljesítése a SIP hívás sikeres felépítésének előfeltétele. Ezek az előfeltételek például előírhatják, hogy a terminálnak bizonyos hálózati erőforrásokat le kell foglalnia, mielőtt a kapcsolatfelépítést befejezi. Az erőforrásfoglalás teljesíthető valamely létező erőforrás-foglalási mechanizmus alkalmazásával az adatforgalom megkezdése előtt. Végeredményben egy több fázisú hívásfelépítési folyamat zajlik, aminek során a hívásfelépítés kezdő- és zárószakasza között történik az erőforrások lefoglalása. A 8. ábra mutatja, hogyan lehet a fent vázolt módon az általam javasolt hívásengedélyezési megoldást a SIP jelzésüzenetekkel integrálni. Az ábra a sikeresen záruló hívásfelépítést szemlélteti.

Tézis 3 : A végpontok közötti mérésen alapuló hívásengedélyezési eljárás részletes teljesítményanalízise

A javasolt megoldás átfogó teljesítményvizsgálatát elvégeztem szimulációs módszerrel. A hálózatok két fő osztályát érdemes a vizsgálat szempontjából megkülönböztetni. Az első típusba a differenciált szolgáltatást támogató IP hálózatok tartoznak, amelyek a beszédcsomagokat egy külön forgalmi osztályban továbbítják. A második típus a hagyományos, minden forgalomtípust azonos módon kezelő IP hálózat, ahol a beszédcsomagok a hálózat várakozási soraiban TCP csomagokkal osztoznak a rendelkezésre álló erőforrásokon. E második eset már csak azért is megkülönböztetendő, mert ebben a hálózati környezetben nemcsak a beszédcsomagok számára biztosított szolgáltatás minősége a fontos, hanem az is, hogy a két, meglehetősen eltérő jellemzőkkel bíró forgalomtípus hogyan hat egymásra.

Altézis 3.1 : Teljesítményanalízis differenciált szolgáltatást nyújtó IP hálózatokban [C3]

Egy minden gyakorlati esetet lefedő szimulációs vizsgálat eredményeinek részletes elemzésével igazoltam a javasolt hívásengedélyezési módszer előnyös tulajdonságait.

Az alábbi eseteket vizsgáltam, melyek lefedik a vizsgált hálózati környezet valamennyi lényeges vonatkozását:

- Két — az irodalomban általánosan elfogadott — beszédmodellt használtam.
 - CBR** Ez a forrástípus konstans időintervallumonként rögzített méretű csomagokat generál.
 - ON/OFF** Ez a forrás szintén rögzített méretű csomagokat generál, konstans időintervallumonként, de csak ON állapotban, míg OFF állapotban egyáltalán nem küld csomagot. Az ON és OFF állapotok hossza exponenciális eloszlást követ.
- A háttérforgalom generálására háromféle forrást használtam: a fenthez hasonló ON/OFF forrást, de Pareto eloszlást követő ON és OFF periódusokkal, beszédforrások hívásengedélyezéssel, beszédforrások hívásengedélyezés nélkül.
- Számos hálózati topológiát vizsgáltam.
 - A hálózatot egyetlen, túlterhelt, közvetlen összeköttetés modellezi a vizsgált IP telefon átjáró pár tagjai között.
 - A hálózatban lévő egyetlen túlterhelt összeköttetésen több átjáró pár versenyez az erőforrásért.

– Számos átjáró pár, több túlterhelt összeköttetés egy viszonylag kiterjedt, 15 forgalomirányító alkotta hálózatban.

- Szimulációkat futtattam a hálózat több terhelési szintjén: közepes terhelés, jelentős túlterhelés és időben változó felajánlott forgalom mellett.
- Szimulációkat futtattam a hívás-engedélyezési küszöbérték, a hálózati sorok, a mérési intervallum, a szűk keresztmetszet kapacitásának változtatásával.

Bevezettem egy új mérőszámot a hívásengedélyezési eljárások teljesítményének jellemzésére. Az irodalomban szinte kizárólagosan alkalmazott a “csomagvesztés-terhelés” [26] görbe, ami a csomagvesztési arányt mutatja a teljes forgalomra a hálózati terhelés függvényében. Az új mérőszám beszédhívásonként gyűjtött statisztikát használ, és azt mutatja meg, hogy a beszédhívások hány százaléka szenvedett egy határértéknél nagyobb csomagvesztést. Ez egy jobb mérőszám, hiszen a modern beszédkódolók képesek viszonylag magas (kb. 1%) csomagvesztési arányt is észrevehetlenné tenni, továbbá a felhasználó által érzékelt szolgáltatás-minőséget a hívásonként mért jellemzők sokkal jobban kifejezik.

A szimulációs eredmények alapján a javasolt módszer az alábbiak szerint jellemezhető:

1. A megoldás jól használható IP telefon rendszerekben, mert képes biztosítani a beszédhívások számára elvárt 1% körüli csomagvesztési arányt a hálózati kapacitás elfogadható kihasználtsága (70% körül) mellett.
2. A hálózati sorok növelése csökkenti a blokkolt hívások számát és javítja az engedélyezett hívások minőségét egyaránt.²
3. Az optimális hívásengedélyezési-küszöbérték függ az érkező hívások intenzitásától. Ha nő a hívásintenzitás, kisebb küszöbértéket kell alkalmazni, hogy a hívások minősége és a hálózat kihasználtsága ne változzon.³ Ez a probléma adaptív küszöbérték használatával kezelhető.
4. Ha két átjáró pár ugyanazokat a beállításokat használja, hívásaik is azonos minőségű szolgáltatást tapasztalnak, és a túlterhelt összeköttetés sávszélességén a két átjáró pár hívásai egyenlő arányban osztoznak. Ha azonban a beállítások eltérőek, a kevésbé szigorú hívásengedélyezési küszöbértéket használó átjáró pár kisajátítja a túlterhelt linket, lényegében egyetlen hívást sem kell blokkolnia, ugyanakkor a hívások minősége a két átjáró pár esetén azonos.

²Egy adott szimulációs elrendezésben a blokkolási arány 12%-kal, az 1%-nál nagyobb csomagvesztést szenvedő hívások aránya pedig 14%-kal csökkent.

³Egy adott szimulációs elrendezésben a küszöbértéket 0.0005-re kellett csökkenteni 0.1-ről.

5. Időben változó intenzitású forgalom esetén a módszer képes reagálni a megnövekedett terhelésre, amit jól jelez a növekvő számú hívásblokkolás. A reakció azonban nem elég agresszív, amit jelez a beszédhívások romló minősége.⁴
6. Ha a hálózatban több túlterhelt link is található, akkor a hívásengedélyezési eljárás hátrányosan különbözteti meg azokat az átjárókat melyek forgalma a hálózatban hosszabb úton halad.⁵

Amint a fenti felsorolásból kiderül (3. pont), a javasolt módszer leegyszerűbb megvalósítása nem elég robusztus. A módszer széles tartományban változó felajánlott forgalmat képes kezelni, az optimális hívásengedélyezési küszöbérték azonban különbözik az eltérő forgalmi szinteken, különösen ha nem csak a hívások minősége, hanem a hálózat kihasználtsági szintje is lényeges szempont. Szimulációs eredmények szerint a mért csomagvesztési arány nagyjából egy nagyságrenddel kell kisebb legyen, mint az az érték, amit a beszéghívások számára biztosítani kell. Szimulációs vizsgálatot végeztem a 2.1-es tézisben ismertetett mindkét adaptációs módszerre.

A "terhelt" időszakok azonosításán alapuló megoldás megakadályozza a hálózati terhelés ingadozását, viszont csak akkor használható ha a forgalom napon belüli ingadozásai előre meghatározhatók.

A hívásengedélyezési küszöbérték folyamatos hangolását használó megoldás alacsony forgalmú időszakban 4.4%-kal növeli a blokkolások számát, és 6.6%-kal csökkenti a túlterhelt összeköttetés kihasználtságát, ugyanakkor nagy forgalmú időszakban jelentősen javítja a szolgáltatás minőségét. (Az 1%-ot meghaladó csomagvesztést szenvedő hívások száma 20%-kal csökken.)

Altézis 3.2 : A végpontok közötti passzív mérésen alapuló hívásengedélyezési eljárás és a TCP forgalom egymásra hatásának elemzése [J1, C4]

Jellemeztem a beszédforrások által érzékelt szolgáltatás-minőséget, a TCP források átviteli sebességét, a jelzés-csomagok elvesztésének hatásait és azt, hogy a két forgalmi osztály hogyan osztozik meg a hálózati erőforrásokon, ha egy IP hálózatban a hívások blokkolásával operáló hívásengedélyezés és TCP torlódáskezelés módszerek egyszerre működnek.

Szimuláció használatával elemeztem a végpontok közötti passzív mérésen alapuló hívásengedélyezés eredményeként kialakuló forgalom és a TCP forgalom egymásra hatását. Az alábbi eseteket vizsgáltam:

⁴A blokkolási arány 25%-kal emelkedett, ugyanakkor az 1%-ot meghaladó csomagvesztést szenvedő hívások száma is nőtt 26%-kal.

⁵Az az átjáró, melynek hívásai 3 túlterhelt összeköttetésen haladnak át, kb. 3-szor akkora blokkolási arányt mér, mint az az átjáró melynek hívásai csak 1 túlterhelt összeköttetést érintenek.

- A TCP Reno változatát használtam, mert napjainkban ez a legelterjedtebb.
- Egy és több túlterhelt összeköttetést tartalmazó hálózati topológiákat vizsgáltam.
- Szimuláltam a TCP források száma és a túlterhelt összeköttetés kapacitása különböző beállításainak hatását.
- A hívásengedélyezési módszer számos különböző beállításával futtattam szimulációkat.
- Megvizsgáltam a két legelterjedtebb sorkezelési algoritmus (RED és FIFO) hatását az eredményekre.

A szimulációs eredmények alapján az alábbi két alapkérdést sikerült megválaszolni:

1. Hogyan befolyásolja a hívásengedélyezési módszer által a hálózatba beengedett forgalom a párhuzamos TCP források átviteli sebességét?
2. Milyen feltételek mellett lehetséges elfogadható minőségű beszédátvitel, ha a hálózatban versengő TCP források is működnek?

Ha nő a TCP források száma, ezek elkerülhetetlenül kiszorítják a hálózatból a beszédhívásokat egyszerűen azért, mert a TCP források kevésbé érzékenyek a csomagvesztésre, a beszédforrások által elviseltnél lényegesen nagyobb csomagvesztési arány mellett is használhatóak maradnak. Az általam javasolt, hívás szintű, mérés alapú torlódáskezelő módszer alkalmazásának azonban ekkor is van nagyon lényeges előnye:

- Blokkolja mindazokat a beszédhívásokat, melyek a magas csomagvesztési arány miatt egyébként is használhatatlanok lennének, így biztosítva lényegesen nagyobb átviteli sebességet a TCP forrásoknak.

Ha a párhuzamosan működő TCP források száma kellőképpen korlátozott, ami azt jelenti, hogy a hálózatban észlelhető csomagvesztési arány még nem haladja meg a beszédhívások által elviselhető mértéket, az eljárásnak két további előnye van:

- Megvédi a TCP forrásokat a beszédforrásoktól, melyek nem képesek az adási sebességüket a hálózati viszonyok változásával összhangban módosítani, és biztosítja, hogy e két nagyon eltérő forrástípus közel azonos arányban részesüljön a rendelkezésre álló sáv szélességből.⁶

⁶E kitétel azt jelenti, hogy a két forgalmi osztály a rendelkezésre álló kapacitásból egyenlő részt tud megszerezni. A szimulációk során a TCP források a rendelkezésre álló összkapacitás és a források számának széles tartományában a sáv szélesség 40–60%-át kapták.

- Biztosítja a beszédhívások számára elviselhető (<10%) csomagvesztési arányt.

A javasolt megoldás a beszécsomagok késleltetését is képes megadott korlát alatt tartani. Ha azonban a hívásengedélyezési algoritmus a késleltetés mérések eredményét is figyelembe veszi a döntések meghozatalához, akkor a TCP források előbb kiszorítják a hálózathoz a beszédforgalmat.⁷

A javasolt eljárás rendeltetésszerű működésében kritikus szerepe van a rendszeresen érkező mérési eredményeknek: ha a jelzések csomagok elvesznek, az átjáró nem tudja a döntésekhez használt állapotváltozóit frissíteni.

Kísérleteket végeztem a 2.1 altézisben ismertetett "visszalépéses" módszerrel. Ez a védekezési mechanizmus javítja a szolgáltatás minőségét minden hálózati konfigurációban.⁸ A minőségi javulásért cserébe a hálózat kihasználtságának csökkenésével kell számolni⁹, de a legtöbb gyakorlati esetben a jó minőségű szolgáltatás sokkal fontosabb, mint a hálózat magas kihasználtsága, kiváltképp akkor, ha hangátvitelről van szó.

5. Az új eredmények gyakorlati alkalmazásáról

Az AAL2 jelzésprotokoll kidolgozásával kapcsolatban számos javaslatot nyújtottam be a Nemzetközi Távközlési Unió (ITU-T) 11-es Tanulmányi Csoportjához [S1]–[S24]. Elfogadott javasolataim képezik két nemrég elfogadott ITU szabvány a Q.2630.1 [27] és a Q.2150.1 [28] gerincét. A Q.2630.1 ajánlást a 3GPP beépítette az UMTS Rádiós Hozzáférő Hálózatot leíró szabványába [29], ahol az AAL2 összeköttetések felépítésére használják. A [J2] folyóiratcikknek 5 idegen hivatkozása van [Cit1]–[Cit5].

Az Internet lassan egy egyetemes szolgáltatási platformmá fejlődik, ami egyaránt alkalmas valós-idejű, szélessávú multimédia szolgáltatások, egyszerű file átvitel, web böngészés, levelezés lebonyolítására. Ugyanakkor a ma működő forgalomirányítók döntő része nem képes az eltérő minőségi igényű alkalmazások csomagjai számára differenciált szolgáltatást nyújtani, még sok időt és komoly befektetést igényel, amíg a hálózat valamennyi forgalomirányítóját a hálózatüzemeltetők korszerűbbre cserélik. Szükség van a fokozatos, zökkenőmentes átmenetet lehetővé tevő megoldásokra. Ebben az átmeneti időszakban jól alkalmazhatók azok a megoldások, amelyek bizonyos korlátozásokkal ugyan, de képesek a valós idejű forgalom számára szükséges minőségi garanciákat biztosítani, ráadásul úgy, hogy ehhez csak a

⁷24 TCP forrás elegendő a túlterhelt, 8 Mb/s-os összeköttetés kisajátításához, ha a hívásengedélyezési eljárás 50ms-os késleltetési küszöböt használ. Ha a küszöbérték 80ms, akkor 32 TCP forrás is csak a kapacitás 77%-át képes megszerezni.

⁸A minőségjavulás jelentősebb amikor a jelzések csomagok számottevő része (45%) elvész. Az 1%-ot meghaladó csomagvesztést elszennvedő hívások száma a felére csökken, ha az időzítő lejártakor a hívásengedélyezési küszöbérték mindig negyedére csökken.

⁹A csökkenés 1-5% között változik, függ természetesen a jelzések csomagok elveszésének gyakoriságától és a küszöbérték változtatásának mértékétől.

végberendezéseket kell továbbfejleszteni, a gerinchálózatban működő forgalomirányítókat nem. Ilyen, az átmeneti időszakban nagyon előnyös megoldást javaslok a 2.1-es altézisben.

Irodalom

- [1] *Introduction to 3G Mobile Communications*. Artech House, Norwood, USA, 2001.
- [2] *Third Generation Mobile Systems*, <http://www.ericsson.com/3G>.
- [3] *Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications*. Artech House, Norwood, USA, 1998.
- [4] ITU-T Recommendation I.363.2. *B-ISDN ATM Adatpation Layer Type 2*, 1997.
- [5] IETF RFC 2210. *The Use of RSVP with IETF Integrated Services*, 1997.
- [6] IETF RFC 2475. *An Architecture for Differentiated Services*, 1998.
- [7] Internet draft, Work in progress. *Load Control of Real Time Traffic*, 1999.
- [8] Viktória Elek, Gunnar Karlsson, and Robert Rönngren. Admission control based on end-to-end measurements. In *IEEE Infocom*, Tel-Aviv, Israel, April 2000.
- [9] Ion Stoica and Hui Zhang. Providing guaranteed services without per flow management. In *ACM Sigcomm*, Cambridge, USA, August 1999.
- [10] Kevin Thompson, Gregory J. Miller, and Rick Wilder. Wide-area internet traffic patterns and characteristics. *IEEE Network*, 11(6), November/December 1997.
- [11] Art Mena and John Heidemann. An empirical study of real audio traffic. In *IEEE Infocom*, Tel-Aviv, Israel, April 2000.
- [12] Sally Floyd and Kevin Fall. Promoting the use of end-to-end congestion control in the Internet. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, August 1999.
- [13] Jerome H. Saltzer, David P. Reed, and David D. Clark. End-to-end arguments in system design. *ACM Transactions on Computer Systems*, 2(4), November 1984.

- [14] *UCB/LBNL/VINT Network Simulator ns (version 2) can be found at: <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/ns.html>.*
- [15] Göran Eneroth and Martin Johnsson. ATM transport in cellular networks. In *International Switching Symposium (ISS'97)*, Toronto, Canada, September 1997.
- [16] Jonas Reinius. Cello — an ATM transport and control platform. *Ericsson Review*, (2), 1999.
- [17] *Trillium's AAL2 Solutions*,
<http://www.trillium.com/products/broadband/aal2/solutions>.
- [18] *Extreme AAL 2 Emulation Option*,
<http://adtech.spirentcom.com/datasheets/T4159.asp>.
- [19] András Valkó, András Rácz, and Gábor Fodor. Voice QoS in 3rd generation mobile systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 17(1), January 1999.
- [20] *Queuing Systems*. John Wiley and Sons, New York, USA, 1976.
- [21] IETF RFC 2598. *An Expedited Forwarding PHB*, 1999.
- [22] Giuseppe Bianchi, Antonio Capone, and Chiara Petrioli. Throughput analysis of end-to-end measurement-based admission control in IP. In *IEEE Infocom*, Israel, April 2000.
- [23] Balachander Krishnamurthy and Jia Wang. On network-aware clustering of web clients. In *ACM Sigcomm*, Stockholm, Sweden, August 2000.
- [24] IETF RFC 2543. *SIP: Session Initiation Protocol*, 1999.
- [25] Internet draft, Work in progress. *Integration of Resource Management and SIP*, 2001.
- [26] Lee Breslau, Sugih Jamin, and Scott Shenker. Comments on the performance of measurement-based admission control algorithms. In *IEEE Infocom*, Tel-Aviv, Israel, April 2000.
- [27] ITU-T Recommendation Q.2630.1. *AAL type 2 signalling protocol (Capability Set 1)*, 1999.
- [28] ITU-T Recommendation Q.2150.1. *Signalling Transport Converter on MTP3 and MTP3b*, 2001.
- [29] 3GPP Technical Specification TR 25.426. *UTRAN Iur and Iub Interface Data Transport & Transport Signalling for DCH Data Streams*, 1999.

Publikációk

Folyóiratcikkek

- [J1] I. Szabó, *On Call Admission Control for IP Telephony in Best Effort Networks*, Computer Communications, Vol. 26, No. 4, pp. 304-313, March 2003.
- [J2] G. Eneroth, G. Fodor, G. Leijonhufvud, A. Rácz, I. Szabó, *Applying ATM/AAL2 as a Switching Technology for 3rd Generation Mobile Networks*, IEEE Communications Magazine, Vol. 37, No. 6, pp. 112-122, June 1999.
- [J3] A. Rácz, I. Szabó, *Az ATM/AAL2 alkalmazása UMTS hálózatokban*, Magyar Távközlés, pp. 9-14, 2000 február.
- [J4] I. Cselényi, R. Szabó, I. Szabó, N. Björkman, A. Latour-Henner, C. Gisgård, *Experimental Platform for Telecommunication Resource Management*, Computer Communications, Vol. 21 pp. 1624-1640, November 1998.
- [J5] R. Ozvald, I. Szabó, *Jelölő algoritmusok teljesítményvizsgálata differenciált szolgáltatást nyújtó IP-hálózatokban*, Híradástechnika, pp. 37-40, 2001 április.

Konferenciatickek

- [C1] I. Szabó, *A Flexible Signalling Protocol for Supporting Switched AAL type 2 Connections in UMTS Terrestrial Radio Access Networks*, IEEE International Conference on ATM, Colmar, France, June 1999.
- [C2] I. Szabó, S. Székely, I. Moldován, *Performance Optimisation of AAL2 Signalling for Supporting Soft Handoffs in UMTS Terrestrial Radio Access Networks*, IEEE International Symposium on Computers and Communications, Antibes, France, July 2000.
- [C3] I. Szabó, *Performance Evaluation of a New End-to-end Measurement Based Call Admission Control Scheme for Supporting IP Telephony*, SCS, International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems, Orlando, Florida, July 2001.
- [C4] I. Szabó, *A Call Admission Control Method for Supporting Telephony Sessions in a Best Effort IP Network*, COST Workshop on Quality of Future Internet Services, Coimbra, Portugal, September 2001.

- [C5] I. Cselényi, C. Gisgård, P. Haraszti, A. Latour-Henner, I. Szabó, G. Záruba, *Multipurpose Middleware for Broadband Multimedia Applications*, ConTEL Broadband & Multimedia Workshop, Zagreb, Croatia, November 1996.
- [C6] I. Cselényi, I. Szabó, P. Haraszti, N. Björkman, C. Gisgård, *A Versatile Multimedia Platform*, IASTED International Conference on Applied Informatics, Innsbruck, Austria, February 1997.
- [C7] B. Benkovics, I. Szabó, *Provisioning QoS in 3G Networks With RSVP Proxy*, International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, Aalborg, Denmark, September 2001.
- [C8] A. Jüttner, I. Szabó, Á. Szentési, *On Bandwidth Efficiency of the Hose Resource Management Model in Virtual Private Networks*, accepted for publication, IEEE Infocom 2003.

Szabadalmak

- [P1] I. Szabó, G. Eneroth, *Bearer Independent Signalling Protocol*, US Patent and Trademark Office patent application No. 09/064,830, April 1998.
- [P2] I. Szabó, *A Lightweight Core-stateless Call Admission Control Method for IP Telephony Gateways*, European Patent Office patent application No. 00850110.8, June 2000.
- [P3] I. Szabó, *Supporting QoS Differentiation in RTP Multiplexing Scenarios*, European Patent Office patent application No. 00850111.6, June 2000.
- [P4] I. Szabó, *A Method for Improving the Bandwidth Efficiency of RTP Multiplexing while Maintaining Tolerable Delay*, European Patent Office patent application No. 00850112.4, June 2000.
- [P5] S. Rácz, Sz. Malomsoky, I. Szabó, *Extending the Content of the Link Characteristics Parameter in AAL2 Signalling to Enable the Use of Much More Reliable Connection Admission Control Methods*, US Patent and Trademark Office patent application No. 10/143,826, May 2002.

Szabványosítási szervezetekhez beadott javaslatok

- [S1] *AAL2 Link Identifier*, Delayed Contribution D.966, ITU-T Study Group 11 Meeting, Geneva, Switzerland, May 1998.

- [S2] *Addressing in AAL2 Networks*, Delayed Contribution D.971, ITU-T Study Group 11 Meeting, Geneva, Switzerland, May 1998.
- [S3] *Addressing of AAL2 Nodes in a Switched ATM Network*, Delayed Contribution D.972, ITU-T Study Group 11 Meeting, Geneva, Switzerland, May 1998.
- [S4] *Making the AAL2 Signaling Protocol Independent of Underlying Signaling Bearer*, Delayed Contribution D.973, ITU-T Study Group 11 Meeting, Geneva, Switzerland, May 1998.
- [S5] *AAL2 Signaling Protocol Architecture Reference Figure*, HEL.29, ITU-T Study Group 11 AAL2 Special Rapporteur's Meeting, Helsinki, Finland, August 1998.
- [S6] *AAL type 2 Addressing Considerations*, HEL.34, ITU-T Study Group 11 AAL2 Special Rapporteur's Meeting, Helsinki, Finland, August 1998.
- [S7] *AAL2 CID Contention Handling*, HEL.35, ITU-T Study Group 11 AAL2 Special Rapporteur's Meeting, Helsinki, Finland, August 1998.
- [S8] *Generic Primitives Provided for the AAL type 2 Signaling Protocol*, HEL.37, ITU-T Study Group 11 AAL2 Special Rapporteur's Meeting, Helsinki, Finland, August 1998.
- [S9] *AAL type 2 Signaling Message Flows for Basic Connection Handling*, HEL.39, ITU-T Study Group 11 AAL2 Special Rapporteur's Meeting, Helsinki, Finland, August 1998.
- [S10] *AAL type 2 Path Identifier*, HEL.40, ITU-T Study Group 11 AAL2 Special Rapporteur's Meeting, Helsinki, Finland, August 1998.
- [S11] *Coding of SSCS Specific Information in Q.AAL2*, Delayed Contribution D.1103, ITU-T Study Group 11 Working Party 1 Meeting, Ostend, Belgium, November 1998.
- [S12] *Blocking Procedure*, Delayed Contribution D.1105, ITU-T Study Group 11 Working Party 1 Meeting, Ostend, Belgium, November 1998.
- [S13] *Basic Connection Control*, Delayed Contribution D.1109, ITU-T Study Group 11 Working Party 1 Meeting, Ostend, Belgium, November 1998.
- [S14] *Proposed Modifications to Appendix 1 in Draft Q.AAL2*, Delayed Contribution D.1112, ITU-T Study Group 11 Working Party 1 Meeting, Ostend, Belgium, November 1998.

- [S15] *Service Provided by the AAL Type 2 Signaling Entity*, Delayed Contribution D.1113, ITU-T Study Group 11 Working Party 1 Meeting, Ostend, Belgium, November 1998.
- [S16] *Timers & Cause Codes in Q.AAL2*, Delayed Contribution D.1114, ITU-T Study Group 11 Working Party 1 Meeting, Ostend, Belgium, November 1998.
- [S17] *Reuse of Cause Values Defined in Q.2610*, BER.20, ITU-T Study Group 11 AAL2 Special Rapporteur's Meeting, Bern, Switzerland, January 1999.
- [S18] *Layer Management Interface Definition and Related Corrections*, BER.25, ITU-T Study Group 11 AAL2 Special Rapporteur's Meeting, Bern, Switzerland, January 1999.
- [S19] *State Transition Diagrams for the Maintenance Protocol Procedures*, BER.26, ITU-T Study Group 11 AAL2 Special Rapporteur's Meeting, Bern, Switzerland, January 1999.
- [S20] *A Correction in the Normal Connection Release Procedure*, BER.29, ITU-T Study Group 11 AAL2 Special Rapporteur's Meeting, Bern, Switzerland, January 1999.
- [S21] *Draft New ITU-T Recommendation Q.sbcmtp AAL type 2 Signalling Bearer Converter on Broadband MTP*, BER.34, ITU-T Study Group 11 AAL2 Special Rapporteur's Meeting, Bern, Switzerland, January 1999.
- [S22] *State Transition and SDL Diagrams for Signalling Bearer Converter on Broadband MTP*, Delayed Contribution D.1334, ITU-T Study Group 11 Meeting, Geneva, Switzerland, March 1999.
- [S23] *Aligning the Cause Values Used in Q.AAL2 with Q.2610 Based on the Agreement Made in Bern*, Delayed Contribution D.1239, ITU-T Study Group 11 Meeting, Geneva, Switzerland, March 1999.
- [S24] *Modifications to the GIT Recommendation to Support Identification of Q.AAL2 Users*, Delayed Contribution D.1240, ITU-T Study Group 11 Meeting, Geneva, Switzerland, March 1999.
- [S25] *Delay Performance of AAL2 over a 2 Mb/s I_{ub} Link*, 3GPP TSG-RAN Working Group 3 meeting, Berlin, Germany, August 2000.

Idegen hivatkozások

Az alábbi publikációk hivatkoznak [J2]–re:

- [Cit1] S. Nananukul, Y. Guo, M. Holma, S. Kekki, *Some Issues in Performance and Design of the ATM/AAL2 Transport in the UTRAN*, IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Chicago, USA, September 2000.
- [Cit2] A-F. Canton, S. Tohme, D. Zeglache, T. Chahed, *Performance Analysis of AAL2/ATM in UMTS Radio Access Network*, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Lisboa, Portugal, September 2002.
- [Cit3] A. B. Garcia, M. Alvarez-Campana, E. Vázquez, J. Berrocal, *Quality of Service Support in the UMTS Terrestrial Radio Access Network*, 9th Workshop of the HP OpenView University Association, June 2002.
- [Cit4] S. Dixit, Y. Guo, Z. Antoniou, *Resource Management and Quality of Service in Third-Generation Wireless Networks*, IEEE Communications Magazine, Vol. 39, No. 2, pp. 125-133, February 2001.
- [Cit5] J. F. Huber, D. Weiler, H. Brand, *UMTS, the Mobile Multimedia Vision for IMT-2000: A Focus on Standardization*, IEEE Communications Magazine, Vol. 38, No. 9, pp. 129-136, September 2000.