



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

**Új eljárások IPTV rendszerek számára
vezeték nélküli hálózatokon**

Tézisfüzet

Jursonovics Tamás

Konzulens
Prof. Dr. Imre Sándor

Darmstadt
2014 május

Jursonovics Tamás 2003-ban szerezte az egyetemi diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán. A tanulmányai után a Deutsche Telekom csoportnál helyezkedett el, ahol jelenleg a Products & Innovation foglalkoztatja. A doktori tanulmányai mellett a Hochschule Darmstadt (h_da) – University of Applied Sciences MBA képzésén vesz részt. Kutatási területe felöleli a vezeték és vezeték nélküli multimédia átvitel különböző aspektusait a számlázástól az átviteli technológiáig.

©2014 Jursonovics Tamás

Minden jog fenntartva. Kiadva 2014.
Version 1.0

A mű eredeti címe: Enhanced methods for IPTV
Delivery over Wireless Networks
©2014 by Tamás Jursonovics

Ez a dokumentum és hivatkozások a
The Chicago Manual of Style
alapján lettek formázva.

This paper meets the requirements of
ANSI/NISO z39.48-1992 (Permanence of Paper).

Kivonat

A vezeték nélküli technológiák gyors fejlődése arra készítette az IPTV szolgáltatókat, hogy kihasználják ezt az új átviteli közeg által teremtett lehetőséget, azonban az IPTV rendszerek a vezetékes átvitelre lettek elsősorban tervezve, ezért a meglévő megoldásaik nem alkalmazhatók egyértelműen a mobil hálózatokban. A disszertációmban ennek a kihívásnak elemzem két aspektusát: a sávszélesség allokáció hatását a csomag újraküldésre, illetve a számlázási eljárásokat.

Először egy Markov lánc alapú modellt hoztam létre, amely képes a vezeték nélküli közeg speciális hatásait figyelembe venni a multimédia átvitel során, ezután új eljárásokat fejlesztettem a sávszélesség allokáció és a csomag újraküldés számára az optimális felhasználói élmény elérése érdekében. A második fejezetben új, minőség alapú számlázási architektúrát mutatok be IPTV rendszerek számára, és részletesen tárgyalom a mobil hálózatokon történő bevezetés feltételeit. Minden eredményemet elméleti alapon elemeztem és értékeltem, valamint alátámasztottam az általam felépített tesztkörnyezetben történt mérésekkel.

Meglátásom szerint az új eljárások és folyamatok hozzájárulnak ahhoz, hogy a szolgáltatás minőség emelkedjen, és a vezeték nélküli összeköttetés negatív hatásai mérséklődjenek az IPTV rendszerekben. Emellett a minőség alapú számlázás egyszerű és igazságos számlázást biztosít mindamellett, hogy a felhasználói elégedettséget növeli.

1. Bevezetés

A televízió, és ennek következtében Önmagunk is, nagy változáson mentünk keresztül, mióta Swinton (1908) "Distant electric vision" cikke megjelent a Nature magazinban. Ma, a televízió központi szerepet tölt be a mindennapi életben, a műsorszórási ipar formálja a tudásunkat, a jövőről alkotott vágyainkat, elvárásainkat és vízióinkat.

Az internet korszakának beköszöntével megindult a fejlődés a telekommunikációs szektorban is, azonban a növekvő vezetékes előfizetések számának ellenére az évek során a lakossági szolgáltatások üzletág bevétele folyamatosan csökkent. A profitlabilítás megőrzése érdekében a szolgáltatók az előfizetők megőrzése érdekében folyamatosan bővítették portfóliójukat olyan érték növelt szolgáltatások bevezetésével, mint triple-play és mobil fizetés.

Ez a stratégia eredményesnek bizonyult, azonban a jelenleg elterjedő, over-the-top (OTT) szolgáltatások újabb, még nagyon kihívásokat jelentenek.

Hogy példákon keresztül szemléltessem ezt a folyamatot, a Google nemrég mutatta be az interaktív TV platformját, amely ötvözi a televíziós és internet felhasználói élményeket. A Microsoft egyértelműen úgy pozicionálja az XBox One konzolját, mint a nappali egyetlen, univerzális tartalom szolgáltató készüléke. Az Apple szerződést kötött az HBO Go és WatchESPN tartalom szolgáltatókkal, és kibővítette az iTunes könyvtárban elérhető tartalmakat. Az Amazon kifejlesztette iPad kézi számítógépen futó alkalmazását, mellyel a felhasználók egy kattintásra kerültek az Amazon online videotékájától. Meglátásom szerint a felhasználókért folyó éles verseny egyértelműen megfigyelhető, és a telekommunikációs szektornak figyelembe kell venni ezeket a fenyegetéseket és ki kell aknáznia a háttérben rejlő lehetőségeket a lehető legjobb televíziós szolgáltatás biztosításával.

Emellett a Global IPTV Forecasts jelentés azt prognosztizálja, hogy 97 ország fizető IPTV felhasználóinak száma a következő 5 évben kétszeresére fog nőni. Ez évi 15%-os növekedést jelent 2013 és 2018 között, ami elsősorban az ázsiai, új IPTV létesítésekkel, illetve az IPTV arányának növekedésével magyarázható. Pénzügyi szempontból ez közel 20 milliárd dolláros bevételt jelent 2018 végén.

Felismerve az előbb említett központi szerepet és üzleti lehetőségeket, a kutatásom céljának az IPTV rendszerek eljárásainak javítását tűztem ki célul. Elsősorban a szolgáltatás minőségének javításával és versenyképes, új számlázási eljárásokkal fogok foglalkozni.

2. Kutatási célkitűzések

Az IPTV szolgáltatók elsősorban abban érdekeltek, hogy maximalizálják előfizető bázisukat, de a legtöbb esetben ez nem lehetséges, mert a hosszú digitál subscriber lines (DSL) nem biztosít megfelelő sávszélességet a HD szolgáltatásokhoz (Open IPTV Forum 2011). Ennek kiküszöbölése érdekében az IPTV szolgáltatóknak hatékonyabb tömörítési eljárásokat (H.264, H.265), hibrid szolgáltatásokat, progresszív tartalomtovábbítást vagy, ahogy az munkámban kiemelem, jobb sávszélesség kiosztást kell alkalmazniuk a hatékonyabb átvitel érdekében.

Az átvitel optimalizálása mellett a szolgáltatóknak szembe kell nézni a vezeték nélküli átvitel jelentette kihívásokkal is. A felhasználók nem csak

set-top-box (STB), hanem különböző mobil készülék segítségével is fogyasztanak tartalmat. Ma, a háztartások elsődleges hozzáférési technológiája a WLAN (wireless local area network), ezért a szolgáltatóknak figyelembe kell venniük az IPTV rendszerek telepítése során ennek a közegnek a sajátos tulajdonságait is. Mindezek mellett a technológia gyors fejlődése lehetővé tette, hogy a STB gyártól már a készülékekbe közvetlen WLAN interfészeket építsenek be (Sanchez et al. 2010), ami közvetlen előnyt teremt a felhasználók számára a körülményes kábelezés feleslegessé tételével.

Ma, az IPTV rendszerek alapvető átviteli technológiája nem elégséges arra, hogy a fent felsorolt kihívásokra egyértelmű választ adjon, és hatékonyan kezelje a vezetékes xDSL és WLAN hozzáférések kombinációját. Ennek megfelelően az alábbiak szerint határozom meg a kutatási kérdésemet:

Hogyan lehet az xDSL és WLAN hozzáférések együttes hatása mellett az IPTV szolgáltatás minőségét javítani a kitűnő felhasználói élmény nyújtása érdekében?

Ha az IPTV szolgáltatók képesek javítani ezen kettős közeg által meghatározott átvitel technológián, akkor növelni tudják a szolgáltatás minőségét, és következményképp a felhasználói elégedettséget.

Elsősorban állítom, hogy a hagyományos IPTV rendszerek nem képesek teljes mértékben ezt a kettősséget kezelni. Másodsorban a minőséget a sáv szélesség kiosztás nagyban befolyásolja, ami három alapvető tényezőtől függ: az *általános, csomókon belüli* és *csomók közötti* feltételtől. Harmadsorban a csomagvesztés és újraküldés leírható sztochasztikus folyamatokkal, melyeket a *3SCM* modellben egyesítik. Negyedsorban meghatározom az optimális sáv szélesség allokációt, amely maximális minőséget tesz lehetővé a modellben alkalmazott feltételek mellett. Végül létrehozok egy új, csomag újraküldés algoritmust, amely az IPTV szolgáltatás minőségét javítja a fent tárgyalt kettős közegben.

A vezeték nélküli otthoni összeköttetések fejlődése mellett a mobil hálózatok is számos új eljárással gazdagodtak. Az universal mobile telecommunications system (UMTS) és general packet radio service (GPRS) megoldások még korlátozott számú érték növelt szolgáltatás biztosítottak, azonban az long term evolution (LTE) rendszerek már számos, multimédiás alkalmazást is támogatnak (Olariu et al. 2005; Bataa et al. 2012; Wolfinger 2012).

Annak ellenére, hogy a mobil hálózatok központi technológiája rohamosan fejlődött, a számlázási eljárások nem alkalmazkodtak a megfelelő mértékben az új, multimédiás szolgáltatásokhoz. A legtöbbjük még a mai napig is az idő vagy átvitt adatmennyiség alapú elszámolást alkalmazza. A következő fejezetekben meg fogom mutatni, hogy ezen számlázási eljárásoknak is figyelembe kell venniük a vezeték nélküli közeg multimédia átvitelre gyakorolt hatását.

Ezen indokok mellett a felhasználók által igénybe vett harmadik feles szolgáltatás számlázása is hatékonyan kell hogy történjen, a belső elszámolásnak figyelembe kell vennie a szolgáltatás minőségét, így a második kutatási kérdésemet az alábbiak szerint fogalmazom meg:

Hogyan lehet az IPTV szolgáltatás számlázási eljárásaiban az szolgáltatás minőséget figyelembe venni a felhasználói elégedettség növelése érdekében?

A kérdés megválaszolása közvetlenül elősegíti az igazságos árazási és számlázási séma létrejöttét.

A disszertációm második felében a számlázási eljárásokkal foglalkozom, ahol elsősorban kimondom, hogy a hagyományos eljárások nem képesek a multimédia átvitel minőségét figyelembe venni, ezért nem alkalmasak ezen szolgáltatás számlázására. Másodsorban kiválasztom a *network operátor* központú üzleti modellt, ami mentén létrehozok egy 3GPP kompatibilis számlázási architektúrát mobil hálózatok számára. Harmadsorban objektíven meghatározom az átvitel minőségét. Negyedsorban rámutatok a csomagvesztés és a minőség kapcsolatára. Ötödsorban létrehozok minőség alapú árazási függvényeket. Végül a fenti megoldásokat egy, minőség alapú számlázási eljárásban egyesítem.

3. Kutatási módszertan

A videó kodekek minőségének, illetve a csomagvesztés által okozott minőségcsökkenés számszerűsítéséhez olyan matematikai eljárásokra van szükség, melyek objektív alapon képesek a minőség összehasonlítására. Ennek a célnak az elérése érdekében számos referencia alapú képminőség mérő algorit-

mus került kifejlesztésre, a legismertebb ezek közül a peak signal noise ratio (PSNR) (Huynh-Thu and Ghanbari 2008):

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{MAX^2}{MSE} \right), \quad (1)$$

ahol MSE a képkockák pixel eltérésének négyzetes közepe.

Kutatásom során számos egyéb minőségmérő algoritmust is vizsgáltam, azonban arra a következtetésre jutottam, hogy disszertációmban a PSNR-t fogom használni, mert számos publikáció ezt az eljárást használja, ami megkönnyíti az eredményeim összehasonlítását.

Továbbá számos tézis értékelése során olyan statisztikai megoldásokat alkalmaztam, melyek megkövetelik a csomagvesztés valószínűségének zárt formában történő megadását. Ennek érdekében bemutattam egy Monte Carlo analízisen alapuló konvergencia vizsgálatot, illetve ezt megerősítettem analitikus levezetéssel is.

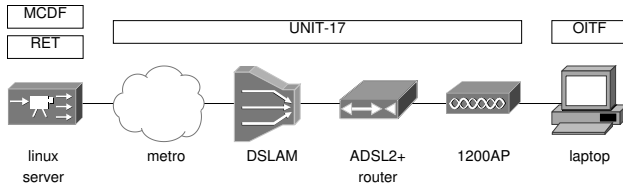
Eredményeim gyakorlati értékeléséhez számos minta videó forrásra volt szükségem. A kutatásom során úgy döntöttem, hogy Seeling and Reisslein (2012) által elérhetővé tett forrásokat választom az eredményeim reprodukálása érdekében.

A videó átvitel során tapasztalható keretvesztés elemzése érdekében a JM referencia alkalmazást (Tourapis et al. n.d.) használtam, ahol a 18.4-es verzióban a képismétlő hibajavító eljárás helyesen lett implementálva, ami alapvető eszköze a téziseim bizonyításának.

Hosszas vívódás után úgy döntöttem, hogy a gyakorlati eredményeket egy általam készített tesztrendszeren fogom ellenőrizni, mert úgy találtam, hogy az NS2 szimulátor (Mccanne, Floyd, and Fall n.d.) használata túlzott és felesleges erőforrásokat kötne le. Mivel nem találtam semmilyen negatív tényezőt ezen megközelítésben, ezért az OIPF architektúrát (Open IPTV Forum 2011) követve a következő funkciókat valósítottam meg:

Multicast content delivery function (MCDF). ser.cpp, saját c++ alkalmazásom, egy sima H.264 keretező, előállítja az UDP/RTP multicast folyamatot az RFC 6184 (Wang et al. 2011) alapján és létrehoz egy egyszerű vezérlő protokollt. Egy x86 Linux szerveren fut, ami a Deutsche Telekom (DT) hálózatához csatlakozik.

Retransmission server (RET). Saját c++ alkalmazás (ret.cpp), a multicast adatfolyamat egy körkörös bufferben tárolja, és egy egyszerű új-



1. ábra. Testkörnyezet az IPTV csomagújraküldés vizsgálatához

raküldési algoritmust valósít meg. Ugyanazon a Linux szerveren fut, mint az MCDF.

Unit-17 interfész, part a. DT belső hálózata.

Unit-17 interfész, part b. DSLAM, digital subscriber line access multiplexer.

Unit-17 interfész, part c. Egy ADSL2+ által biztosított IP összeköttetés.

Unit-17 interfész, part d. Egy 802.11b wireless local area network (WLAN) hálózat, amit egy Cisco 1200 access point szolgáltatott.

Open IPTV terminal function (OITF). cli.cpp, saját c++ alkalmazás, ami egy egyszerű multicast fogadó és vezérlő funkciót valósít meg.

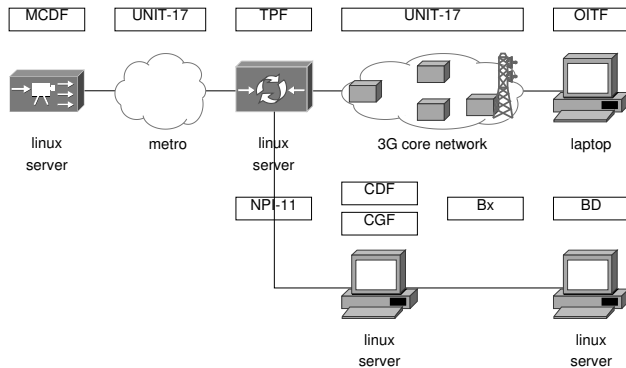
Munkám második feléhez, a számlázási eljárások vizsgálatához egy második tesztkörnyezetet építettem a 3GPP ajánlásait követve.

Multicast content delivery function (MCDF). általam készített alkalmazás (ser2.cpp), előállítja az UDP/RTP multicast folyamat az RFC 6184 (Wang et al. 2011) alapján és létrehoz egy egyszerű vezérlő protokollt. Egy x86 Linux szerveren fut, ami a DT hálózatához csatlakozik.

Unit-17 interface, part a. DT belső hálózata.

Transport processing function (TPF). Saját c++ alkalmazásom, egy egyszerű transzparens streaming proxy a PCAP könyvtárra építve. Magában foglalja az élő multicast és unicast adatfolyamok támogatását, a hálózat optimalizálását és a resource admission control-tól érkező vezérlést.

Unit-17 interfész, part b. DT 3G mobil hálózata.



2. ábra. Tesztkörnyezet a minőség alapú számlázási eljárások vizsgálatához

OITF. Saját c++ alkalmazásom (cli2.cpp), egy egyszerű UDP/RTP nyelő, ami magában foglalja az alapvető streaming kliens funkciókat, streaming szerver vezérlést és csomag késleltetés ingadozás kiegyenlítést. Folyamatosan figyeli és analizálja a streaming átvitelt, valamint periodikusan jelenti a csomagvesztés paramétereit a streaming szervernek. Egy x86 alapú laptopon fut 4G adatkártya használatával.

NPI-11. Referencia pont számlázási információk küldésére. Megegyezik a 3GPP által leírt Rf referencia ponttal (3rd Generation Partnership Project 2010).

Charging data function (CDF). A CDF fogadja a számlázási eseményeket a CDF-től az Rf referencia ponton keresztül és létrehozza a charging data record (CDR)-t.

Charging gateway function (CGF). Általam készített bash szkriptgyűjtemény (ana.cpp, mse.cpp hist.cpp, createtrace.sh, decompress.sh). A CDR-ek késleltetés nélkül továbbítódnak a charging gateway function (CGF)-hez a Ga referencia ponton keresztül. A CGF egy átjáróként funkcionál a 3GPP hálózat és a számlázási domén között. A Bx referencia pontot használja fel a CDR állományok továbbítására. Létrehoz egy számlázási funkciót, amely az aggregált receiver reportok és a metaadatok alapján megbecsüli a streaming adatfolyam minőségét (teljes torzítás: $D[\kappa]$), és elkészíti a megfelelő CDR-eket.

Bx. A Bx referenciapont támogatja a kommunikációt a CGF és a szám-

lázási domén között. Az itt áramló információ CDR-ek formájában továbbbítódik. Egy egyszerű FTP protokoll valósítja meg.

Billing domain (BD). Saját c++alkalmazás (chg.cpp), létrehozza a minőség alapú számlázási funkciót az árazási függvénnyel együtt, és létrehozza a felhasználó számláját.

4. Új eredmények

A kutatási célkitűzéseimnek megfelelően a következő fejezet két csoportban ismerteti a téziseimet.

I. THESISGROUP (4.1, 4.2, 4.3, 4.4, és 4.5 fejezetben ismertette). *Csomagújraküldés IPTV hálózatok csomós hibájú csatornákon fölötti alkalmazására: Létrehoztam egy új sávszélesség foglalási eljárást és egy új csomag újraküldési algoritmust, amely jobb performancia értékeket biztosít vezeték nélküli hálózatokon kiterjesztett IPTV rendszerek számára, mint a hagyományos eljárások.*

Valamint ismertetek három tételt a 4.2 fejezetben, melyek megalapozzák a téziseim matematikai kifejtését.

II. THESISGROUP (4.6 és 4.7 fejezetben ismertette). *Minőség alapú számlázási eljárások: a számlázási követelmények elemzésére alapozva létrehoztam egy új, minőség alapú számlázási eljárást, amely képes az elengedhetetlen üzleti modelleket kielégíteni, és biztosítja a felhasználói élmény alapú számlázást.*

Jelen téziszfüzet terjedelmi korlátai miatt csak a legfontosabb egyenleteket és ábrákat ismertetem, a téma átfogó tárgyalásához javaslom a disszertációm áttekintését (Jursonovics 2014).

4.1. Sávszélesség allokáció IPTV rendszerekben

Az AV átvitel és a csomagújraküldés számára lefoglalt sávszélesség arányok egyensúlya elengedhetetlenül fontos a maximális minőség eléréséhez triple-play szolgáltatások során. Ha a multimédia átvitel túlsúlyba kerül, akkor

nem marad elegendő sávszélesség a hibajavításra, a felhasználók időközönként képkockásodásokat tapasztalhatnak. Fordított esetben valószínűleg a legtöbb átviteli hiba javításra kerül, de a multimédia számára lefoglalt, korlátos sávszélesség csak alacsony minőségű adatátvitelt tesz lehetővé.

I.1. THESIS (Jursonovics and Imre 2013). *Az optimális sávszélesség foglálás megakadályozza, hogy keretek vesszenek el túl késő csomagújraküldések következtében. Az általános, csomókon belüli és csomók közötti feltételek alapján fordított arányosság áll fent az optimális sávszélesség arány és a kijátszási buffer mérete között, illetve egyenes arányosság áll fent a round trip time és az átlagos csomagméret értékeivel (6). Az optimális értéket egy minimalizációs problémára visszavezetve állapítottam meg (5).*

A következő három egyenlet írja le az általános, csomókon belüli és csomók közötti feltételek IPTV rendszerek számára.

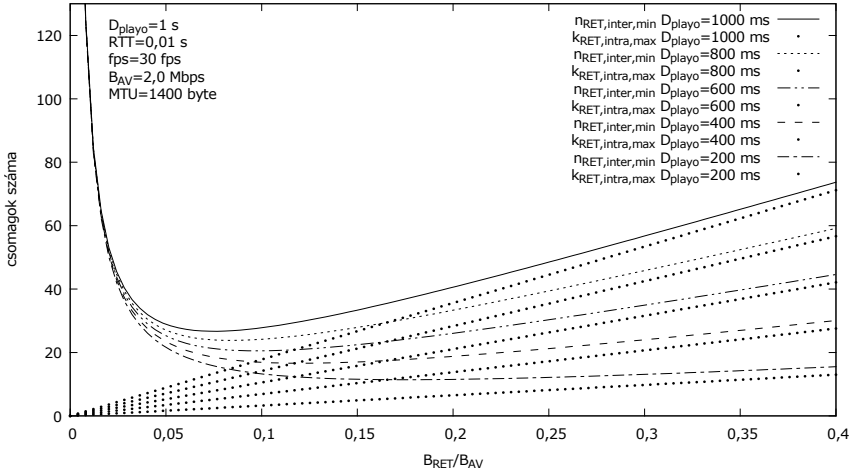
$$k_{R,general,max}(n) = n \frac{B_{RET}}{B_{AV}}, \quad (2)$$

$$k_{RET,intra,max} \left(\frac{B_{RET}}{B_{AV}} \right) = \frac{D_{playo} - 2D_{pkg} - RTT}{D_{pkg}} \cdot \frac{B_{RET}}{B_{AV}}, \quad (3)$$

$$n_{RET,inter,min} \left(k, \frac{B_{RET}}{B_{AV}} \right) = (k+1) \frac{1}{\frac{B_{RET}}{B_{AV}}} + \frac{RTT - D_{playo}}{D_{pkg}} + k + 2. \quad (4)$$

Állítom, hogy az optimális szolgáltatás minőség elérése érdekében a csomag újraküldéshez rendelt sávszélességnek rendelkezésre kell állnia. Ennek elérése érdekében a 3 ábrán bemutatom a csomókon belüli és a csomók közötti feltételek együttes hatását. A grafikon megmutatja, hogy relatíve kicsi sávszélesség arány mellett ($\frac{B_{AV}}{B_{RET}} \approx .05$) csak rövid (≈ 10) csomók újraküldése lehetséges, és az újraküldési sávszélesség hosszú ideig (≈ 30 csomag) le lesz foglalva. Ez a negatív hatás lassuló ütemben eltűnik a sávszélesség arány növelésével, de 20% fölött statikussá válik a csomókon belüli feltételhez viszonyítva: a két görbe párhuzamossá válik. Ennek a hatásnak a következtében nincs értelme a $\frac{B_{AV}}{B_{RET}}$ arányt 20-25% fölé emelni, ami egybevág a kereskedelmi IPTV rendszerekben használt sávszélesség értékekkel.

Ez a következő minimalizációs problémához vezet:



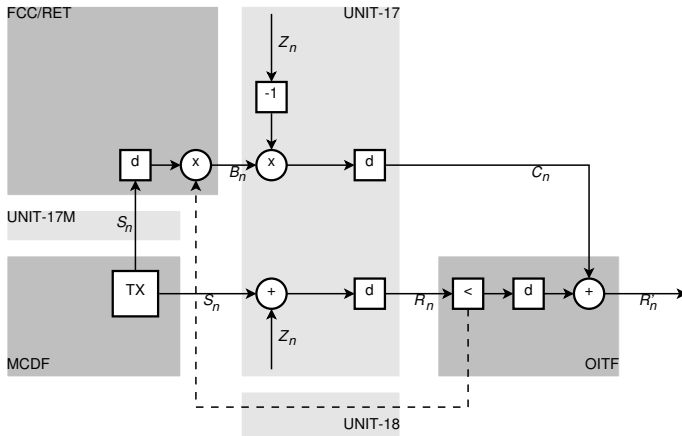
3. ábra. A csomókon belüli és a csomók közötti feltételek közös hatása

$$\min_{\frac{B_{RET}}{B_{AV}} \in \mathbb{R}^+} \left(n_{RET,inter,min} \left(k_{RET,intra,max}, \frac{B_{RET}}{B_{AV}} \right) \right). \quad (5)$$

Más szavakkal az n_{RET} görbe legalacsonyabb pontjait kell azonosítani, ami pontok az optimális sávszélesség értéket fogják reprezentálni. A minimalizációt megoldva az alábbi eredményt kapjuk:

$$B_{RET}|_{optimum} = B_{AV} \cdot \sqrt{\frac{1}{\frac{D_{playo}-RTT}{D_{pkg}} - 2}}. \quad (6)$$

Ez az egyenlet azt bizonyítja, hogy fordított arányosság áll fent az optimális sávszélesség arány és a kijátszási buffer értéke között, ami azzal magyarázható, hogy a kijátszási buffer késleltetés kompenzáló szerepe miatt kisebb sávszélesség érték is elegendő a csomag újraküldés számára, azonos minőség mellett. A round trip time-ban bekövetkező növekedés nagyobb sávszélesség-arányt követel, mert a megnövekedett információcsere miatt kevesebb idő áll rendelkezésre a tényleges csomag újraküldésre. Mindezek mellett nagyobb átlagos csomagméret gyorsabb újraküldést igényel. Az eredmény felhasználható a sávszélesség méretezésére IPTV rendszerekben.



4. ábra. Csatornamodell IPTV vizsgálatára

4.2. A három állapotú Markov modell

A kutatási kérdésemet egy másik szemszögből is megvizsgálom. A válasz megtalálásának érdekében egy új csatornamodellt készítek, mely a csomagvesztést és csomag újraküldést egyesíti IPTV rendszerekben (Jursonovics and Imre 2011, 2013). Ez a modell képes a vezeték nélküli közeg speciális tulajdonságainak a kezelésére, és biztosítja a szükséges matematikai apparátust az átvitel paramétereinek elemzésére és előrejelzésére.

I.2. THESIS (Jursonovics and Imre 2011, 2013). *Létrehoztam egy új matematikai modellt: three state channel model (3SCM) a csomós csomag újraküldés leírására vezeték nélküli hálózatokban IPTV rendszerek számára. A modellem egyesíti a csomagvesztés és csomag újraküldés leírását, és lehetőséget biztosít a csomagvesztés és újraküldés valószínűségét előre jelzésére.*

Jelentse $S_n = \{0, \forall n\}$ az elküldött csomagok számát az n időpillanatban a 4 ábra szerint, MCDF a Multicast Content Delivery Function-t, $Z_n = \{0; 1, \forall n\}$ egy additív zajt a Unit-17 interfészen, d az átviteli késleltetést, és OITF a open IPTV terminal function-t.

Feltételezem, hogy a vevő ($<$) a csomagvesztéseket a beérkező csomagok sorszámának ellenőrzésével detektálja, és az esetleges csomag újraküldéseket

a Unit-18-as interfészen keresztül kéri: $B_n = \{1, \text{csomag újraküldés kérése esetén}; 0 \text{ minden más esetben}\}$ minden elveszett csomagra egyszer az FCC/-RET szervertől. Továbbá feltételezem, hogy ez az összeköttetés hiba védett és a késleltetés a Unit-18 interfészen elhanyagolhatóan kicsi a Unit-17-hez képest az újraküldést kérő csomagok kis mérete miatt.

Megmutattam, hogy egy Markov láncot lehet definiálni a következő eseményekre: jelentse $X_n = 0$, ha az n -dik csomag helyesen továbbítva lett; $X_n = 1$, ha az n -dik csomag elveszett és a csomag újraküldés sem érkezett meg; illetve $X_n = 2$, ha az n -dik csomag sikeresen újra lett küldve.

A IPTV átvitel karakterizálásának egy kulcstulajdonsága a stacionárius állapot valószínűségei ($P_{L,steady}$, $P_{R,steady}$ and $P_{G,steady}$), melyek meghatározzák a három állapot várható valószínűségét, illetve a csomós előfordulás valószínűségei ($P_{L,burst}(l)$ és $P_{R,burst}(l)$), melyek egy l hosszúságú csomók előfordulását jellemzik. Ezek a valószínűség értékek az alábbiak szerint határozhatóak meg:

$$P_{L,steady} = \lim_{k \rightarrow \infty} y_1[k] = \lim_{k \rightarrow \infty} (B_r \delta[k] + u[k] A_1 d_1^k + u[k] A_2 d_2^k + u[k] A_3 d_3^k), \quad (7)$$

$$P_{G,steady} = \lim_{k \rightarrow \infty} y_0[k] = \lim_{k \rightarrow \infty} (B_{0,r} \delta[k] + u[k] A_{0,1} d_{0,1}^k + u[k] A_{0,2} d_{0,2}^k + u[k] A_{0,3} d_{0,3}^k), \quad (8)$$

$$P_{R,steady} = \lim_{k \rightarrow \infty} y_2[k] = \lim_{k \rightarrow \infty} (B_{2,r} \delta[k] + u[k] A_{2,1} d_{2,1}^k + u[k] A_{2,2} d_{2,2}^k + u[k] A_{2,3} d_{2,3}^k), \quad (9)$$

$$P_{L,burst}(l) = (1 - (1 - p_{10} - p_{12}))(1 - p_{10} - p_{12})^{l-1} = (p_{10} + p_{12})(1 - p_{10} - p_{12})^{l-1}, \quad (10)$$

$$P_{R,burst}(l) = (p_{20} + p_{21})(1 - p_{20} - p_{21})^{l-1}, \quad (11)$$

$$P_{G,burst}(l) = (p_{01} + p_{02})(1 - p_{01} - p_{02})^{l-1}. \quad (12)$$

A stacionárius állapot valószínűségeket fontos paraméterek a 3SCM statisztikai elemzéséhez, ezért ezen értékek zárt formában történő meghatározása elengedhetetlen (7), (8), and (9). Bizonyítom, hogy mindegyik paraméter felírható ilyen módon.

Először a stacionárius csomagvesztés értéket tekintem:

$$P_{L,steady} = \lim_{k \rightarrow \infty} y_1[k] = \lim_{k \rightarrow \infty} (B_r \delta[k] + u[k] A_1 d_1^k + u[k] A_2 d_2^k + u[k] A_3 d_3^k). \quad (13)$$

Annak érdekében, hogy ezt zárt alakban lehessen meghatározni, a d_i pólusok konvergenciáját kell bizonyítani, aminek feltétele az 1-nél kisebb érték felvétele. Ez a $d_1 = 1$ esetében magától értetődik, a másik két esetben az alábbi tételeket állítom és bizonyítom:

4.1. THEOREM (Jursonovics and Imre 2011). *A d_2 pólus konvergenciája létezik: $|d_2| \leq 1$.*

4.2. THEOREM (Jursonovics and Imre 2011). *A d_3 pólus konvergenciája létezik: $|d_3| \leq 1$.*

A modellem egyszerűségéből fakadóan következtettem arra, hogy ezek a konvergenciák léteznek, ezért a pólusok értékeit megvizsgáltam a Monte Carlo analízis segítségével egy millió véletlen mintát alapul véve.

Azt találtam, hogy a d_2 és d_3 pólusok komplex értékei az egységkörön belül helyezkednek el (figure 4.5). (A teljesség érdekében a konvergencia algebrai bizonyítását csatoltam a disszertációm mellékletében.)

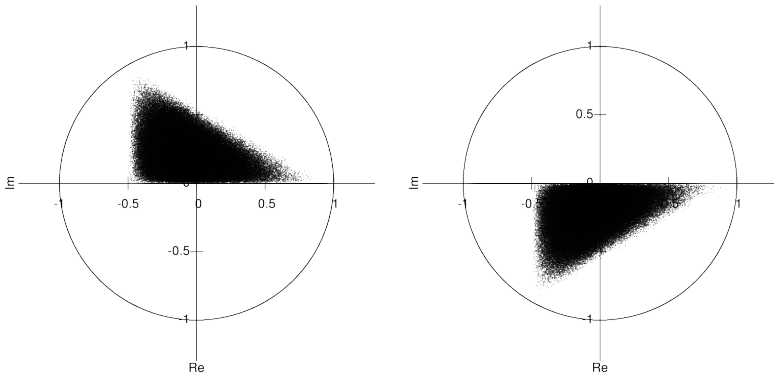
Ennek megfelelően meghatároztam a keresett valószínűség értékeket zárt alakban:

4.3. THEOREM (Jursonovics and Imre 2011). *A 3SCM stacionárius valószínűségei meghatározhatóak a következő alakban:*

$$P_{L,steady} = \frac{p_{02}p_{21} + p_{01}p_{20} + p_{01}p_{21}}{p_{10}p_{02} + p_{12}p_{01} + p_{12}p_{02} + p_{21}p_{10} + p_{20}p_{10} + p_{20}p_{12} + p_{01}p_{20} + p_{01}p_{21} + p_{02}p_{21}}$$

4.3. A 3SCM előrejelzési képessége

A performancia értékelés érdekében összehasonlítottam a modellem által előrejelzett valószínűség értékeket a mért értékekkel.



4.5. ábra. A pólusok Monte Carlo analízise

I.3. THESIS (Jursonovics and Imre 2011, 2013; Jursonovics and Butyka 2004). *Bebizonyítottam a tesztkörnyezetben végzett különböző videó minták alapján, hogy a 3SCM hatékonyan írja le és jelzi előre a csomagvesztés karakterisztikát mind csomag átvitel és csomag újraküldés esetén. A relatív átlagos becslési hiba 20% alatt maradt a stacionárius csomagújraküldés valószínűségére, és 1 nagyságrend alatt a a rövid csomós csomagvesztések esetén.*

Több mérést elvégezve azt állapítottam meg, hogy $w = 10\text{sec}$ csúszó ablak mellett az előrejelzett értékek nagyon közel vannak a mért értékekhez. A maximális, egyedi relatív becslési hiba 3,0; átlagban kisebb, mint 0,4. Megfigyelhető volt, hogy a becslés pontossága a csomagújraküldéseknél jobb volt, mint a csomagvesztéseknél, amit az magyaráz, hogy a csomagvesztések kisebb valószínűséggel fordulnak elő, és a Markov láncok egy közismert tulajdonsága az, hogy kisebb valószínűségeket pontatlanabban becsülnék (Bartholomew 1975). Ez a hatás magasabb relatív becslési hibát (20%-40%) okozott, azonban meg szeretném jegyezni, hogy abszolút értékben ez igen kis eltérést jelent ($0,4 \cdot 10^{-6}$).

Nagyobb csúszó ablak használata mellett az előrejelzett értékek szinte tökéletesen megegyeztek a mért értékekkel (az egyedi relatív becslési hiba kisebb, mint 1,2, átlagban 0,3).

Ezek mellett vizsgáltam a csomók kialakulásának valószínűségét külön-

böző csúszó ablak értékek mellett. Megfigyeltem, hogy a modell enyhén túlbecsülte a csomós csomagvesztések valószínűségét, az egyedi, relatív becslési hiba 10, ami változatlan maradt a csúszó ablak méretének növelése mellett. A modell becslési pontossága szintén csökkent a csökkenő valószínűség értékekkel.

4.4. Az optimális sávzélesség kiosztás

A csomag újraküldési sávzélesség megfelelő megválasztása fontos szempont minden IPTV rendszerben. Ahogy azt a 4.1 fejezetben állítom, a nem megfelelő érték minőségromlást eredményezhet. A valóságos rendszerekben a tökéletes értéket nem lehet elérni, a megengedett minőségromlás mértéke egy tervezési tényező, amit a sávzélesség kiosztás módszerének figyelembe kell vennie. Ennek érdekében az alábbi fejezetben egyesítem az előbb tárgyalt két aspektust: a sávzélesség allokációt (4.1 fejezet) és a csatorna modellt (4.2 fejezet) hogy egy méretezési megoldást adjak a fenti feladatra.

A vezeték nélküli kommunikációt a csatorna állapotátmeneti valószínűségei segítségével jellemzem, utána a 3SCM modell becslési képességét felhasználva kiszámolom a különböző valószínűség értékeket az ismertetett három feltétel mellett, ami meg fogja határozni a csomagvesztés értékét ebben a komplex esetben. Ez alapján a sávzélesség méretezés már könnyen megoldható.

I.4. THESIS. *Létrehoztam egy sávzélesség méretezési algoritmust IPTV rendszerek számára vezeték nélküli közegben. Az eljárás lehetővé teszi a sávzélesség meghatározását minimális csomagvesztés mellett.*

A fent bemutatott két aspektus alapján egy statisztikai módszerrel meghatározom a sávzélességet minimális csomagvesztés mellett:

$$\frac{B_{RET}}{B_{AV}} = \frac{D_{pkg}}{D_{playo} - 2D_{pkg} - RTT} \cdot \frac{\ln(P_{skip,intra}) - \ln(C_1) + \ln(C_2) - \ln(-\ln(C_1))}{\ln(C_2)} + 1. \quad (14)$$

ahol C_i konstansok.

Ez az egyenlet lehetővé teszi a sávzélesség méretezését.

4.5. Az optimális újraküldési algoritmus

A tradicionális csomagújraküldő algoritmusok minden csomagot újrakérnek, ezért egy hálózati rétegbeli adatfolyam korlátozó módszert kell alkalmazniuk, hogy az aktuális sávszélesség korlátot ne lépjék át. Ez jellemzően a csomagok várakoztatásával és eldobásával valósul meg, ami a teljes csomag újraküldési időt megnöveli, azaz a csomagok túl későn történő beérkezésének a valószínűségét rontják.

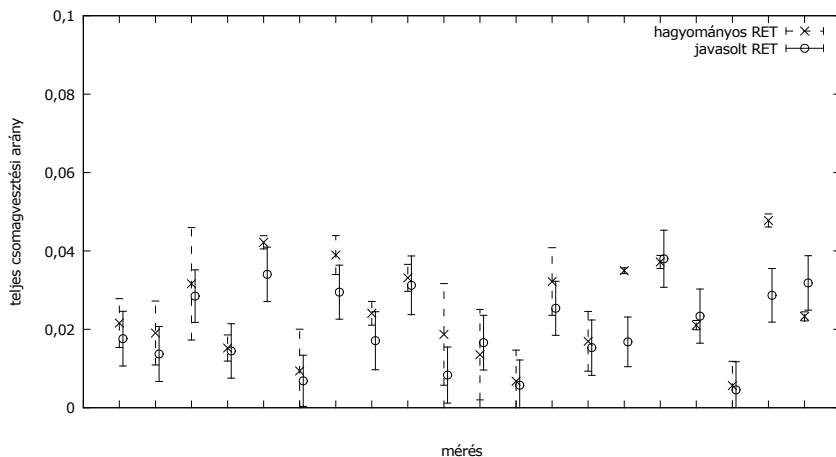
Az általam készített módszer fő előnyei között a kis erőforrás igényt, a vezeték nélküli közeg speciális tulajdonságainak a figyelembe vételét és a minimális addicionális késleltetést sorolom fel. Az eljárásom a csomag újraküldés mechanizmusát célozza meg, és megtiltja a csomag újraküldési kérések kiküldését, amennyiben az algoritmus által vizsgált feltételek azt valószínűsítik, hogy az újraküldés sikertelen lenne.

I.5. THESIS (Jursonovics and Imre 2013). *Létrehoztam egy algoritmust a csomag újraküldés számára IPTV rendszerek vezeték nélküli kiterjesztései számára a 3SCM alapján. Bizonyítottam, hogy az algoritmus képes a csomag újraküldési sávszélesség korlátok közötti hatékony vezérlésre, és megmutattam, hogy az algoritmusom kisebb csomagvesztési értékekkel dolgozik, mint a tradicionális algoritmusok, ezért jobb szolgáltatás minőséget biztosít. A csomag újraküldés és vesztes valószínűségeit algebrai úton is meghatároztam.*

A 6 ábrán az algoritmusom csomagvesztési értékeinek átlaga és szórása van feltüntetve 20, egyedi mérés alapján. Jól látható, hogy a legtöbb esetben (17 a 20-ból) az eljárásom jobb értékeket eredményezett a tradicionális eljárásokhoz képest. A teljes csomagvesztés javítás értéke 0,63% volt átlagosan. A maradék 3 esetben a tradicionális eljárás bizonyult jobbnak 0,37% átlagos javulás mellett.

4.6. A javasolt üzleti modell és architektúra

A továbbiakban a második téziscsoport eredményeit ismertetem. A 4. generációs számlázási rendszer alapjaiban az előző generációra épül, ami operátor központú.

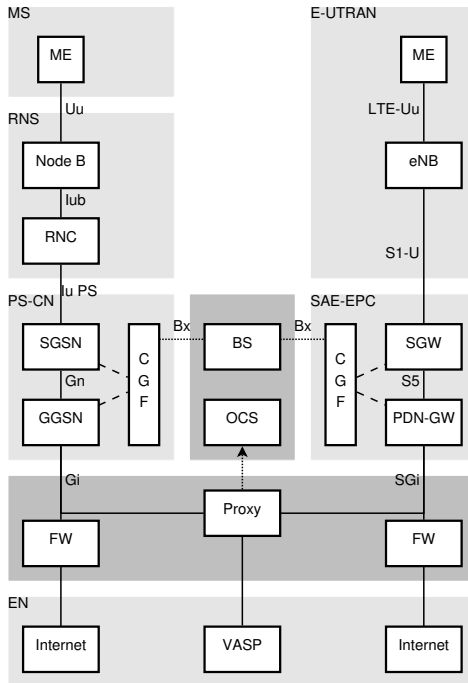


6. ábra. Teljes csomagvesztés átlagos és szórás értékek

II.1. THESIS (Jursonovics et al. 2004; Jursonovics and Imre 2005; Jursonovics, Butyka, and Imre 2005, 2008; Jursonovics and Imre 2014). *Kiválasztottam az operátor központú üzleti modellt a minőség alapú számlázási megoldás alapjául, és a számlázási architektúrát kiegészítettem az általam létrehozott proxy megoldással, ami megalósítja a minőség alapú számlázást a mobil rendszerekben.*

A megfelelő modell kiválasztásához figyelembe kell venni a tipikus IPTV termék portfólió felépítését. A megoldásnak lehetővé kell tennie, hogy az operátorok egyben kezeljék az összes IPTV szolgáltatás számlázását, és egy, univerzális számlát adjanak a felhasználóknak. Mindemellett a modellnek lehetővé kell tenni, hogy az IPTV szolgáltatók partner szolgáltatásokat építsenek be a termékkínálatukba (például HBO Go). Ezen érvek alapján az operátor központú üzleti modellt választottam a saját modellem alapjául.

A 7 ábra szerint a klasszikus mobil adat összeköttetés során, a felhasználó kommunikációját a mobil terminál mobile equipment (ME) kezdeményezi egy packet data protocol (PDP) kontextus felépítésével az radio network subsystem (RNS), Node B, radio network controller (RNC), serving GPRS support node (SGSN) és gateway GPRS support node (GGSN) elemeken keresztül. Az SGSN ugyan képes az egyes felhasználókhöz tartozó PDP



7. ábra. Proxy alapú számlázási architektúra

kontextusok megkülönböztetésére, de már nem alkalmas arra, hogy a PDP kontextuson belül elhelyezkedő csomagok tartalmát analizálja. Ennek értelmében az SGSN nem megfelelő a számlázási funkció megvalósítására.

Az LTE rendszer már egy optimalizált adatátviteli technológiát biztosít, azonban az előző megállapításhoz hasonlóan, itt sem alkalmas az SGW a számlázási megoldás megvalósítására.

Hogy ezeket a megköteket feloldjam, egy új elemet vezetek be a multimédia továbbítás architektúrájába: egy streaming proxy-t, ami a minőség alapú számlázási megoldást megvalósítja.

A proxy magához ragadja a multimédia továbbítás szerepét és lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy rajta keresztül éri el a harmadik feles multimédia szolgáltatásokat. Annak érdekében, hogy ez a proxy ne legyen megkerülhető, hozzáférés korlátozó elemekre van szükség (tűzfal – FW).

4.7. A minőség alapú számlázási megoldás

Végül ebben a fejezetben ismertetem az általam kidolgozott minőség alapú számlázási eljárást. Az $F()$ árazási függvény meghatározza az egyes tartalmak árát (*price*) a számlázási paraméterek (\mathbf{c}) alapján.

$$price = F(\mathbf{c}). \quad (15)$$

A fent ismertetett számlázási architektúra, minőség becslés és csomag vesztés előrejelzés alapján, a minőség alapú számlázás során ez az alap ár módosításra kerül a \mathbf{q} minőség paraméterek alapján, amit a $P()$ minőség alapú árazási függvény definiál:

$$price = F(\mathbf{c}) \cdot P(\mathbf{q}), \text{ ahol} \quad (16)$$

$$0 \leq P() \leq 1$$

II.2. THESIS (Jursonovics and Imre 2005; Jursonovics, Butyka, and Imre 2005, 2008; Jursonovics and Imre 2014; D, E melléklet). *Létrehoztam egy minőség alapú számlázási eljárást IPTV rendszerek vezeték nélküli kiterjesztésének számára, amely hatékonyan ötvözi a multimédia átvitel minőségi jellemzőit. Meghatároztam a minőség alapú ár várható értékét és eloszlását. Rámutattam módszerem előnyére, mely a hagyományos számlázási megoldásokkal ellentétben a minőséget megfelelően veszi figyelembe.*

Három árazási függvényt mutatok be. A lineáris közelítésnél a tartalom ára folyamatosan csökken a minőség romlásával. A koszinuszos lekerekítés elkerüli a lineáris árazás éles váltásait, és folytonos átmenetet biztosít, azonban az alsó minőség korlátnál egy hirtelen ugrásban ér véget. Az elliptikus közelítés mindkét helyen átmenetet biztosít.

$$P_{PSNR,linear}(x) = \begin{cases} \text{meghatározatlan} & \text{if } x < Q_m, \\ \frac{1-r}{Q_p-Q_m}x + 1 - \frac{Q_p(1-r)}{Q_p-Q_m} & \text{if } Q_m \leq x \leq Q_p, \\ 1 & \text{if } x > Q_p. \end{cases} \quad (17)$$

$$P_{PSNR,cos}(x) = \begin{cases} \text{meghatározatlan} & \text{if } x < Q_m, \\ \frac{r-1}{2} \cos\left(\frac{x-Q_m}{Q_p-Q_m} \pi\right) + r + \frac{1-r}{2} & \text{if } Q_m \leq x \leq Q_p, \\ 1 & \text{if } x > Q_p. \end{cases} \quad (18)$$

$$P_{PSNR,elliptic}(x) = \begin{cases} \text{meghatározatlan} & \text{if } x < Q_m, \\ \sqrt{1 - \left(\frac{x-Q_p}{Q_p-Q_m}\right)^2} & \text{if } Q_m \leq x \leq Q_p, \\ 1 & \text{if } x > Q_p, \end{cases} \quad (19)$$

Q_p a legkisebb minőség érték, melynél még a tartalom ára nincs csökkentve, valamint Q_m a minimálisan elfogadott minőség érték, melynél még értelme van a videó átvitel fenntartásának. Ezekből fakadóan $Q_p > Q_m > 0$.

A minőség alapú számlázás főbb lépései:

- 0a. Tartalom publikáció:** egy tartalom publikálása során az egyes keretek közötti különbség
- 0b. Élő kijátszás:** Az élő TV kijátszás során a keretek közötti különbség ($d[k]$) folyamatosan ki lesz számolva és a rendszer egy élő adatfolyam formájában a proxyra küldi.
- 1. Csomagvesztés jelentés:** a mobil kliens folyamatosan monitorozza a csomag érkezési folyamatot, és periodikusan jelenti a csomagvesztési mintázatot (κ) a proxy számára.
- 2. Minőség becslés:** a proxy összegyűjti a receiver reportok-at és megbecsüli a teljes minőségromlást ($D[\kappa]$) a csomagvesztési minta (κ) és az előre definiált képkülönbségek ($d[k]$) alapján. A számlázási paraméterek (\mathbf{c}) és a minőség paraméterek ($D[\kappa] \in \mathbf{q}$) a számlázási rendszernek lesznek elküldve egy CDR formájában.
- 3. Számlázás:** a számlázási rendszer valósítja meg az árazási funkciókat ($F(\mathbf{c}), P(\mathbf{q})$) és határozza meg az egyes tartalmak minőség alapú árát és készíti el a számlát.

5. Összefoglaló

A kutatásom során az IPTV átvitelt vizsgáltam az xDSL és vezeték nélküli közegek kombinációja felett, és meghatároztam ezen közeg sajátos követelményeit, ami alapján a multimédia átvitel minőségének javítási lehetőségeit kerestem. Az általános kutatás ezen a területen elsősorban a MAC rétegbeli megoldásokat vizsgálja, és a rádiós átvitel javítására tesz ajánlásokat, azonban ez nem minden esetben fogadható el IPTV rendszerek esetén,

mert az átvitelben részt vevő eszközöket nem minden esetben felügyeli közvetlenül az IPTV szolgáltató. Téziseimben az alkalmazás rétegbeli megoldásokat tárgyaltam és egy átfogó megoldást adtam a kutatási célkitűzéseimre:

1. Az IPTV rendszerekben alkalmazott sávszélesség optimális megválasztása a minőség növelése érdekében.
2. A csomag újraküldés korlátainak megértése IPTV rendszerekben.
3. Az átvitel matematikai modellezése a fent ismertetett kombinált közegben.
4. Az optimális sávszélesség meghatározása.

Disszertációm második felében az IPTV rendszerek vezeték nélküli kiterjesztésének számlázási kérdéseit tárgyaltam, a minőség alapú számlázás szerepét és fontosságát elemeztem, valamint igazságos árazási és számlázási megoldást fejlesztettem. Az általános kutatás ezen aspektusok közül sokat magába foglal, de nem ad teljes átfogó eredményt a kutatási céljaimra:

1. Olyan számlázási megoldás létrehozása vezeték nélküli hálózatokban, mely figyelembe veszi a multimédia átvitel minőségét, és ezáltal igazságos számlázást biztosít.
2. A szolgáltatás számlázás és a vezeték nélküli átvitel közötti összefüggések felderítése.
3. Az a priori árazás problémájának megoldása.

A gyakorlati kutatás az általam épített tesztkörnyezet segítségével folyt, melyben integráltam az általam megvalósított funkciókat, metódusokat:

Csomag vesztes előrejelzése a 3SCM segítségével. Kifejtettem, hogy az előrejelzési performanciája a 3SCM-nek megfelelő, azonban a kis valószínűségű értékeket a modell túlbecsülte.

Optimális újraküldési algoritmus. Megmutattam, hogy az algoritmusom alkalmazása IPTV rendszerekben kisebb csomagvesztés értékeket eredményez, mint az általános megoldások.

A minőség becslés pontossága. Megmutattam, hogy a választott minőségbecslő megoldás képes a minőségromlás értékeinek hatékony becslésére. Minta videó fájlok segítségével mért értékek keretenként -10% és 15% között ingadoztak.

A minőség értékek eloszlása. Minta videó fájlok alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a keret eltérések eloszlása exponenciális vagy

Weibull eloszlással pontosan leírható. A megállapításomat Q-Q plottal és Chi-Square teszttel ellenőriztem.

Különböző árazási függvények összehasonlítása. Minta videó fájlok segítségével összehasonlítottam három, általam ajánlott árazási függvényt, és megmutattam hogy az elliptikus árazás biztosítja a folytonos átmenetet, mialatt akár teljesen ingyenes szolgáltatást is biztosít.

Jövőbeli kutatási célként a bitrate adaptív átvitel technológiájának a vizsgálatát tűzöm ki. A fejlődésben lévő Scalable Video Coding (Fraunhofer Heinrich Hertz Institute 2013) szabvány lehetőséget teremt az IPTV szolgáltatóknak arra, hogy különböző minőségű szolgáltatást nyújtsanak multicast adatátvitel mellett, ami a sávszélesség jobb kihasználását eredményezné, egyben jobb minőséget. Ennek elérése érdekében a csomagújraküldési modellt ki kell egészíteni az egyes minőség rétegek közötti függőségekkel.

Második célként a vezeték nélküli adatátvitel rádiós optimalizálását tűzöm ki, meg szeretném vizsgálni, hogy az alkalmazott 3SCM hogyan ültethető át a rádiós rétegbe, ami elősegítené az a priori csomag veszteségek becslését (Miguel et al. 2011).

Kutatásom számos aspektusát vizsgálta az IPTV átvitelnek, azonban eredményeim a következő korlátozások mellett vehetők figyelembe:

MAC réteg. A WLAN szabvány már önmagában biztosít egy rádiós rétegbeli csomag újraküldést (IEEE 802.11 Working Group 1999), ami nem az IPTV rendszerek számára lett kifejlesztve, de javítja az átviteli hibák statisztikáját. Disszertációmban ezt az aspektust nem vettem figyelembe, ezért eredményeim enyhén befolyásoltak ennek révén.

IP fragmentáció. A tesztkörnyezetben megvalósított elemek egyszerűségéből adódóan a streaming szerver nem használta a H-264 fragmentációs egységét, ezért minden keret egy nagy IP csomagba lett kódolva, amit a hálózat tovább fragmentálhatott.

Keretenkénti csomagok száma. A tesztfájlok CIF mérete azt eredményezte, hogy az enkóder az egyes kereteket egy IP csomagba helyezte el, azonban a kereskedelmi rendszerekben ez a felbontás nagyobb lehet, ami a keretenkénti csomagok számát növelheti.

Úgy gondolom, hogy ezek az új eredmények hozzájárulnak az IPTV szolgáltatások minőségének javításához, és remélem, hogy az IPTV szolgáltatók felhasználhatják ezen módszereket a szolgáltatás növelése érdekében.

6. Az új eredmények alkalmazása

Disszertációmban több eljárást ismertettem az IPTV vezeték nélküli átvitelre történő kiterjesztésének minőség javítására és igazságos, minőség alapú árazás bevezetésére. A módszerek ismertetése során megmutattam, hogy egy IPTV szolgáltató hogyan tudja hasznosítani az ismertett megoldásokat, és hogyan tudja a felhasználói elégedettséget növelni. Meglátásom szerint ezek a szempontok hamarosan az előtérbe kerülnek a gyorsuló technológiai verseny során.

Az eredményeim alkalmazása az alábbi fontos előnyöket is magában hordozza:

- **Költséghatékonyság:** a telekommunikációs szektor folyamatosan készítve van arra, hogy jobb hatékonysággal dolgozzon és optimalizálja belső folyamatait alacsonyabb költség elérése érdekében. Ma, egy nagy amerikai internet szolgáltatónál a triple-play szolgáltatás telepítési ideje 4 órát vesz igényben (Multimedia Research Group 2008), azonban a vezeték nélküli STB-ok alkalmazásával ez az idő jelentősen, 3 órára csökkenthető az időigényes kábelezés kiküszöbölése mellett, ami a kábel szolgáltatókkal szemben egy egyedi versenyelőnyt jelent.
- **Szolgáltatás hordozhatóság:** a WLAN technológia lehetővé teszi, hogy a felhasználók a multimédiás tartalmat mobil készüléken is elérhessék.
- **Üzemeltetési komplexitás:** egy, többfunkciós IPTV platform üzemeltetésének egyértelmű előnye van több, specifikus platformmal szemben, ami jelentősen csökkentheti az üzemeltetési költségeket.
- **Szolgáltatás minőség:** a minőség alapú számlázás bevezetése közvetlen kapcsolatot hoz létre a bevételek és a szolgáltatás minőség között. Ez az egyszerű pénzügyi motiváció arra készítetné az IPTV szolgáltatókat, hogy a szolgáltatást a lehető legmagasabb minőségen nyújtsák, ami egyben a felhasználói elégedettséget is növelné.
- **Felhasználói elégedettség:** az igazságos, minőségen alapuló árazás egyértelműen a felhasználói elégedettség növelését teszi lehetővé kevesebb ügyfélpanasz mellett.
- **Minőség visszajelzés:** ezeken felül, a minőség alapú számlázás melléktermékeként az IPTV átvitel minősége folyamatosan monitorozva lenne, ami a minőségbiztosítás számára egy fontos inputot képezne.

Biztos vagyok benne, hogy ezek az új eredmények hozzájárulnak az IPTV

szolgáltatás minőségének optimalizálásához, és remélem, hogy az IPTV szolgáltatók alkalmazzák módszereimet a minőség javítása érdekében.

Irodalomjegyzék

- 3rd Generation Partnership Project. 2010. *IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2*. Technical report TS 23.228. 3GPP.
- Abramowski, Andrzej. 2011. “Towards H. 265 video coding standard.” In *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2011*, 800819–800819. International Society for Optics and Photonics.
- Bartholomew, D. J. 1975. “Errors of Prediction for Markov Chain Models” [in English]. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* 37 (3): pages. ISSN: 00359246. <http://www.jstor.org/stable/2984790>.
- Bataa, Otgonbayar, Oyu Chuluun, Tulga Orosoo, Erdenebayar Lamjav, Young-il Kim, and Khishigjargal Gonchigsumlaa. 2012. “A functional design of BM-SC to support mobile IPTV in LTE network.” In *Strategic Technology (IFOST), 2012 7th International Forum on*, 1–5. doi:10.1109/IFOST.2012.6357671.
- Benoit, Herve. 2008. *Digital television: satellite, cable, terrestrial, IPTV, mobile TV in the DVB framework*. 3rd. Focal Press.
- Fraunhofer Heinrich Hertz Institute. 2013. *SVC: Scalable Extension of H.264/AVC*. <http://www.hhi.fraunhofer.de/en/fields-of-competence/image-processing/research-groups/image-video-coding/scalable-video-coding/svc-scalable-extension-of-h264avc.html>.
- Huynh-Thu, Q., and M. Ghanbari. 2008. “Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment.” *Electronics Letters* 44 (13): 800–801. ISSN: 0013-5194. doi:10.1049/el:20080522.
- IEEE 802.11 Working Group. 1999. “Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications.” In *ANSI/IEEE Std 802.11*. IEEE.
- Jursonovics, Tamás. 2014. “Enhanced Methods for IPTV Delivery over Wireless Networks.” PhD diss., Budapest University of Technology and Economics. http://www.mcl.hu/~jursonovics/pub_files/tjthesismain_v0p7_for-private-defence.pdf.

- Jursonovics, Tamás, and Zsolt Butyka. 2004. "Lokális vezeték nélküli technológiák." *Magyar Távközlés* 15 (2): 14–21. http://www.mcl.hu/~jursonovics/pub_files/MagyarTavkozles2004.pdf.
- Jursonovics, Tamás, Zsolt Butyka, Bálint Ary, Gábor Debrei, and Sándor Imre. 2004. "Accounting in next generation mobile networks." In *ETIK Conference 2004*, 42–47. http://www.mcl.hu/~jursonovics/pub_files/Etik2004.pdf.
- Jursonovics, Tamás, Zsolt Butyka, and Sándor Imre. 2005. "Examination and New Charging Solution for Multimedia Streams over Mobile Network." In *The Third International Conference on Advances in mobile Multimedia (MoMM2005)*, 311–320. Kuala Lumpur, Malaysia. http://www.mcl.hu/~jursonovics/pub_files/Momm2005.pdf.
- . 2008. "New Fair Qos-Based Charging Solution for Mobile Multimedia Streams." *International Journal Virtual Technology and Multimedia* 1:3–22. doi:10.1504/IJVTM.2008.017107.
- Jursonovics, Tamás, and Sándor Imre. 2005. "Charging, Accounting and Billing of Multimedia Streaming in 3G Mobile Networks." In *14th IST Mobile Summit 2005*, 1–5. Dresden, Germany. <http://www.eurasip.org/Proceedings/Ext/IST05/papers/208.pdf>.
- . 2011. "Analysis of a new Markov model for packet loss characterization in IPTV Solutions." *Infocommunications Journal* 2:28–33. http://www.hiradastecnika.hu/data/upload/file/2012/InfocomJ_2011_II_04.pdf.
- . 2013. "Bandwidth Management in Wireless Home Networks for IPTV Solutions." *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting* 2013:7. doi:10.1155/2013/474212.
- . 2014. "Quality Based Charging Solutions for Wireless Multimedia Services." Accepted for publication in the *International Journal of Network Management*.
- Mccanne, S., S. Floyd, and K. Fall. n.d. *ns2 (network simulator 2)*. <http://www-nrg.ee.lbl.gov/ns/>. <http://www-nrg.ee.lbl.gov/ns/>.
- Miguel, V., J. Cabrera, F. Jaureguizar, and N. Garcia. 2011. "Distribution of high-definition video in 802.11 wireless home networks." *Consumer Electronics, IEEE Transactions on* 57 (1): 53–61. ISSN: 0098-3063. doi:10.1109/TCE.2011.5735481.
- Multimedia Research Group. 2008. *IPTV Home Networking Strategies Report*. Technical report. [Http://www.ospmag.com/issue/article/072008-Ready](http://www.ospmag.com/issue/article/072008-Ready). Multimedia Research Group, Inc.

- Olariu, S, K Maly, EC Foudriat, CM Overstreet, S Yamani, and T Luckenbach. 2005. "Telemedicine for disaster relief: a novel architecture." *Journal of Mobile Multimedia* 1 (4): 285–306.
- Open IPTV Forum. 2011. *OIPF Release 2 Specification*. V2.1. 650 Route des Lucioles - Sophia Antipolis Valbonne - FRANCE.
- Sanchez, Marla, Steven Lanzisera, Bruce Nordman, Alan Meier, and Rich Brown. 2010. *EEDN: Set Top Box Market Assessment Report*.
- Schulzrinne, H., S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson. 2003. *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*. Technical report. Internet Engineering Task Force, July.
- Seeling, P., and M. Reisslein. 2012. "Video Transport Evaluation With H.264 Video Traces." *IEEE Communications Surveys and Tutorials, in print* 14 (4): 1142–1165.
- Swinton, Alan Archibald Campbell. 1908. "Distant electric vision." *Nature* 78:151.
- Tourapis, Alexis Michael, Athanasios Leontaris, Karsten Sühning, and Gary Sullivan. n.d. *H.264/14496-10 AVC Reference Software Manual*. Microsoft Corp., One Microsoft Way, Bldg. 9, Redmond WA 98052-6399, USA: Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG.
- Wang, Y.-K., R. Even, T. Kristensen, and Tandberg R. Jesup. 2011. *RTP Payload Format for H.264 Video*. Technical report. Internet Engineering Task Force, May.
- Wolfinger, B.E. 2012. "Keynote lecture research challenges and proposed solutions to improve availability and quality-of-service in future IPTV systems." In *Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP), 2012 IEEE International Conference on*, vii–vii. doi:10.1109/ICCP.2012.6356151.