

A WiFi rendszerek multimédiás alkalmazásokra gyakorolt hatása

Gál Zoltán, zgal@cis.unideb.hu
Karsai Andrea, kandrea@fox.unideb.hu
Orosz Péter, oroszp@delfin.unideb.hu

Debreceni Egyetem Informatikai Központ

Kulcsszók: IPv4, IPv6, IEEE 802.11b/g, IEEE 802.11a, WiFi, L2/L3 roaming, VoIP, kodek, QoS, H.323.

1. Bevezetés

Az IEEE 802.11 családhoz tartozó vezeték nélküli adatátviteli mechanizmusok a mobilitás miatt széles körben terjedtek el úgy beltéri, mint kültéri környezetben. A hot-spot-ok kialakításánál alapvető kérdésként vetődik fel, hogy a 802.11b/g és/vagy a 802.11a szabványnak megfelelő rendszer telepítésére kerüljön-e sor. Ennek eldöntése gazdasági racionalitási megfontolásokon túlmenően hatékonyság elemzést is szükségessé tesz. Mint ismeretes, a WiFi rendszer az ISM frekvencia sávokra épül, ami lehetővé teszi, hogy ugyanazon fizikai környezetben egymástól függetlenül akár több szolgáltató is hot-spot-okat telepítsen. A gyakorlati tapasztalat szerint kültéri környezetben a különböző szolgáltatók a használt rádiós csatornákat egymás között egyeztetés nélkül, vagy csak ritkán egyeztetett formában használják. Mivel a kisugárzott mikrohullámú energiára ETSI szabványok vonatkoznak, a sűrűn telepített WiFi rendszerek egymásra zavaró hatással vannak.

Céges, illetve egyetemi környezetben egyre hangsúlyosabban fogalmazódik meg az igény, hogy a WiFi mobil eszközök (notebook, palmtop, intelligens mobil telefon) multimédiás szolgáltatásokat is biztosítsanak. Mivel egyetemi környezetben egyre jobban elterjednek az IP telefon rendszerek, egyértelmű feladatként jelenik meg a WiFi telefonok campus területén beltéri, illetve kültéri környezetben, mozgás közbeni használhatóságának elemzése. A 2,4 GHz-es ISM tartományban a WiFi IP telefon beszédátviteli tulajdonságai a hangkódolási algoritmustól függenek. Az 5 GHz-es WiFi átvitel speciális csatornakódolási mechanizmusa hatékonyabb, mint az IEEE 802.11g esetén, ugyanakkor az átviteli sebesség nagyon érzékeny a bázisállomástól mért távolságra. Mozgás közben a nagyobb tömörítési aránnyal működő adatátviteli szabvány érzékenyebb a rádiós cellák közötti váltásra, mint az alacsonyabb tömörítésű algoritmus.

Előzetes elemzések alapján ismerjük, hogy a mobil terminálok használható multimédiás szolgáltatások minőségét erőteljesen befolyásolja a készülék roaming közbeni fizikai mozgásának sebessége [1]. A mobil terminálok működő multimédiás alkalmazások minősége erőteljesen függ az adatkapcsolati rétegben lejátszódó folyamatoktól.

2. Multimédia kódoló/dekódoló technológiák áttekintése

A DSP (Digital Signal Processing) architektúrák utóbbi években bekövetkezett látványos fejlődése, valamint a humán beszéd felismerés területén végzett kutatásoknak köszönhetően a hang kódoló/dekódoló (kodek) technológiák komoly előrelépést tettek [2]. Az új kodekek az egyszerű AD/DA átalakításon túlmenően, a becslő minták alkalmazása segítségével a bemenő hangjelet analizálják és minimális sávszélességet igénylő adatfolyamként képesek tovább küldeni.

1.1. PCM

Az egyszerű PCM (Pulse Code Modulation) kódolású hang az ITU-T G.711-es szabvány szerint történik [3]. A 64 kbps-os PCM hang tömörítése a μ -law és az A-law eljárásokkal valósul meg úgy, hogy a 12, 13 bites mintavételt logaritmikus törvény szerint képezi le 8 bitre. A két leképezési törvény analitikus formáját az 1. és a 2. ábra mutatja. Előnyök: egyszerű, kis komplexitású, kis késleltetés, jó hangminőség. Hátrány: nagy sávszélesség igény.

$$y = \text{sgn}(x) \cdot \frac{\ln(1 + \mu \cdot |x|)}{\ln(1 + \mu)},$$

ahol:

y – normalizált kimenet, [-1, 1] között

x – normalizált mintavétel, [-1, 1] között

$\mu = 255$, kompressziós paraméter

$$y = \begin{cases} \frac{A}{1 + \ln(A)} x, & \text{ha } |x| \leq \frac{1}{A} \\ \frac{\text{sgn}(x)}{1 + \ln(A)} \cdot (1 + \ln(A|x|)), & \text{ha } \frac{1}{A} < |x| \leq 1 \end{cases},$$

ahol:

y – normalizált kimenet, [-1, 1] között

x – normalizált mintavétel, [-1, 1] között

A = 255, kompressziós paraméter

1. ábra. A PCM μ -law

2. ábra. A PCM A-law

1.2. ADPCM

Az ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) ugyancsak gyakori kompressziós megoldás, amely az ITU-T G.726 szabványban van rögzítve. Ez négybites mintákat alkalmaz, amelyeket 32 kbps-os szállítási sebességgel továbbít. A PCM-mel ellentétben a négybites szók nem közvetlenül a beszéd amplitúdóját kódolják, hanem az amplitúdók különbségét és a változások rátáját. Ehhez egy nagyon egyszerű lineáris becslést alkalmaz. Előnyök: egyszerű, kis komplexitású, jó minőségű hang, kis késleltetés, több kódolási sebesség. Hátrányok: viszonylag nagy sávszélesség igény, kis sávszélességen a hang minősége romlik.

1.3. AMR-NB

Az AMR (Adaptive Multi Rate - Narrow Band) a GSM és az UMTS mobilhálózatokban használják. Az algoritmus nyolc kompressziós arányt támogat (4,75; 5,15; 5,90; 6,70; 7,40; 7,95; 10,20; 12,20 kbps). Az algoritmus bármikor képes váltani ezen arányok között, ami IP alapú hálózatokban előnyt jelent. A küldő bármikor megváltoztathatja a kimenő sávszélességet az RTP által valós időben szolgáltatott statisztikák alapján: az RTP réteg visszajelzésére a kódoló a következő hangmintákat már a megváltozott kódolási sebességgel tömöríti, és ezt a dekóder ugyanúgy dekódolni tudja. A 20ms-os műsorkeretek kódolása ACELP algoritmus alkalmazásával, és 5 ms lookahead értékkel történik. Előnyök: egyszerű, viszonylag kis komplexitású, kis sávszélesség igény, kis késleltetés, jó hangminőség, több kódolási sebesség. Hátrányok: még kevés implementáció létezik, nincs nyílt forráskód.

1.4. AMR-WB

Az AMR-WB (Adaptive Multi Rate - Wide Band) mechanizmust a G.722.2 kódoló alkalmazza, amely nagy sávszélességre optimalizált ACELP algoritmust használ és 7 kHz-es hangjelet kódol 16 kHz-en mintavételezve. Adaptívan változtatja a kódolási sebességet (23,85; 23,05; 19,85; 18,25; 15,85; 14,25; 12,65; 8,85; 6,6 kbps). A kódoló 20ms hosszúságú kereteket használ és 5ms lookahead buffert használ. Előnyök: nagyon jó minőségű hang, kis késleltetés, több kódolási sebesség. Hátrányok: nagy sávszélesség igény a jó minőségű hanghoz, közepesen nagy számolási komplexitás.

1.5. Az RTP protokoll

Az RTP (Real-Time Protocol) valós idejű forgalom számára végponttól-végpontig terjedő szállítási szolgáltatást (hang, kép) biztosít. Ehhez olyan szolgáltatásokat vesz igénybe, mint a PDU azonosítás, sorszámozás, időbélyegzés, és az átvitel felügyelete. Az RTP protokoll alkalmazás szintű keretkezést valósít meg. Általában UDP felett alkalmazzák, felhasználva annak multiplexelési és ellenőrző összeg képzési szolgáltatásait, de ritkán TCP felett is működtetik. Az RTP nem garantálja a csomagok megérkezését, és a helyes sorrendben érkezést sem. A mechanizmusnak két része van, az RTP és az RTCP (Real-Time Control Protocol). Az RTP PDU-k a valós idejű adatot szállítják, míg az RTCP PDU-k az átvitel minőségére és az entitásokra vonatkozó vezérlő információkat továbbítanak. Az RTP az IP hálózatokra jellemző változékony és túlterhelt hálózati feltételre van optimalizálva. Az RTP a tartalom adatokat továbbítja egyik irányba és az RTCP kétirányú csatornáit használja a minőségi jellemzőket is magába foglaló vezérlő információk számára. Az RTP viszony kiépítések az alkalmazások meghatározzák úgy az RTP, mint az RTCP számára a műsor csatornánkénti szállítási címét. Ez entitásonként az IP hálózati cím és a portszám páros lesz. Minden RTP csomagnak fix szerkezetű fejléce van, amelyet a 3. ábra szemléltet.

| 2 | 1 | 1 | 4 | 1 | 7 | 16 |
|------|---|---|----|---|----|----|
| V | P | X | CC | M | PT | SN |
| TS | | | | | | |
| SSRC | | | | | | |
| CSRC | | | | | | |

3. ábra. Az RTP PDU fejrészének formátuma

Az első tizenkét bájtt minden RTP csomagban megtalálható, viszont a közreműködő forrás azonosítók listája (CSRC) csak akkor fordul elő, ha azokat a keverő elhelyezte a csomagba. A mezők jelentése az alábbi:

- *V*: verzió (jelenleg 2)
- *P*: kitöltés (Padding), ha a bit értéke 1, akkor a csomag végén vannak kitöltő bájtok, amelyek nem a tartalom adat részei. Az utolsó kitöltő bájtt tartalmazza, hogy hány kitöltő bájtot kell figyelmen kívül hagyni. Kitöltésre lehet szükség, például fix blokkméretű titkosító algoritmus alkalmazásánál.
- *X*: kiterjesztés (Extension) : ha értéke 1, akkor a fix fejléc után következik pontosan egy fejléc kiterjesztés.
- *CC*: közreműködő forrásszámláló (CSRC Count): a fix fejléc után következő közreműködő forrás azonosítók száma.

- *M*: jelző (Marker) : a jelző bit értelmezése az alkalmazás profilban van meghatározva. Jelezheti például a képkockák határát a csomagfolyamban.
- *PT*: tartalom adat típus (Payload Type) : az alkalmazás profilban adott, hogy a típuskódhoz milyen tartalom adat formátum tartozik. Egy RTP adó egy adott tartalom adat típust bocsát ki egy viszonyban.
- *SN*: sorszám (Sequence Number) egyesével növekszik, minden elküldött csomaggal. A vevő ezáltal tudja észlelni, ha csomagvesztés történt, illetve helyre tudja állítani a sorrendet. Biztonsági okokból a kezdeti értéke véletlengenerált szám.
- *TS*: időbélyeg (Time Stamp) az RTP csomag adatrészében található első bájt mintavételezési időbélyege monoton és lineárisan növekvő órától származik. A kezdőérték itt is véletlengenerált szám. Egymás utáni RTP csomagoknak lehet ugyanaz az időbélyege, ha egyszerre keletkeztek, például ha ugyanahhoz a képkockához tartoznak. Az egymás után küldött csomagokban található időbélyegek nem feltétlenül monoton növekvők, ha az adatok nem a mintavételezésük sorrendjében kerülnek továbbításra, mint például az MPEG interpolált képkockáinál.
- *Szinkronizációs forrás* (SSRC) azonosító: azonosítja a forrást szinkronizáció céljából. Véletlen módon választott azonosító, minden forrásra egyedi. Ha megváltozik a szállítási cím, akkor meg kell változtatni az SSRC azonosítót is.
- *Közreműködő forrás* (CSRC) azonosító: 0-15 db, egyenként 32 bit, azonosítja az adatfolyamhoz tartozó közreműködő forrásokat. Ezt a keverő helyezi el a fejlécben, a közreműködő források SSRC azonosítóit felsorolva, így a vevő azonosítani tudja az adókat.

E mezők felhasználásával az RTP olyan funkciókat tud ellátni, mint az idő helyreállítás (időbélyeg mező), adó azonosítás (SSRC), tartalom azonosítás (PT), sorszámozás, veszteség észlelés. Nem az RTP hatáskörébe tartoznak a szolgáltatás minőség garantálása, az erőforrás foglалás, az időben történő kézbesítés, valamint a csomagvesztés helyrehozása. Mindezek mellett az RTP alkalmas valós idejű tartalom szállítására.

Az RTCP-t az RTP-vel együtt használják és elsősorban az RTP átvitelének a monitorozására, illetve szabályozására szolgál. Célja az adatátvitel minőségéről és a viszony résztvevőiről való értesítés. Az RTCP működése a szabályozó csomagok viszonybéli összes résztvevőnek való időnkénti újraküldésén alapul. Az RTCP is UDP felett fut. Több fajta RTCP csomag van, amelyek a vevő jelentést, az adó jelentést, a forrás leírást, a kapcsolatot bontást és az alkalmazásra jellemző feladatkör információkat tartalmazza. A különböző típusú csomagok szerkezete eltérő, viszont több különböző csomagot egybe lehet fogni, és együttesen lehet elküldeni.

1.6. Hangkódolók/dekódolók csoportosítása

A PCM és az ADPCM a *hullámforma kodekek* csoportjába tartoznak, amelyek a hullámforma redundáns karakterisztikáit használják fel. Az utóbbi 10-15 évben kifejlesztett más kompressziós technikák a beszéd forrás karakterisztikáira építenek. Ezek jelfeldolgozás és tömörítés segítségével az eredeti beszédjelnek csak az egyszerűsített paramétereit küldik el, így kisebb sávszélességet igényelnek. Ezeket *forrás kodekeknek* nevezzük és ide tartoznak az LPC (Linear Predictive Coding), a CELP (Code Excited Linear Prediction), valamint az MP-MLQ (Multipurpose Multilevel Quantization) eljárások. A fejlett becslő kodekek az emberi beszédjel forrást matematikai modellel helyettesítik és tömörített hangküldés helyett a hang reprezentációját továbbítják. A legnépszerűbb telefon hangkódolási és csomagkapcsolt hang szabványok az alábbiak:

- *G.711*: A 64 kbps PCM hangkódolási technika, amely a hagyományos digitális PBX központokban, illetve hálózatokban használatos.
- *G.726*: Ez 40, 32, 24, 16 kbps-os ADPCM kódolást használ. Az ADPCM hang a csomagkapcsolt és a hagyományos PBX hálózatok közötti hangátvitelhez javasolt.
- *G.728*: Ez a CELP tömörítés kis késleltetésű ingadozó változatával 16 kbps-os sávszélességen továbbítja a beszédet. A CELP hangot transzkódolni kell nyilvános telefon formátumra ahhoz, hogy nyilvános végpontokkal sikeres kommunikáció jöhessen létre.
- *G.729*: Ez CELP tömörítéssel a hangot 8 kbps-os jelfolyammá alakítja. A két alváltozata a processzárság komplexitásában lényegesen különbözik egymástól, és mindkettő a 32 kbps-os ADPCM-nek megfelelő beszédminőséget biztosítja.
- *G.731*: Ez beszéd vagy multimédiás szolgáltatás hang komponensének tömörítését végzi, nagyon alacsony sávszélesség mellett. A H.324 protokoll család részeként az 5,3 kbps, illetve a 6,3 kbps sávszélességen dolgozik. Előbbi CELP, utóbbi pedig MP-MLQ technológiát alkalmaz, miközben jó minőségű beszédátvitelt és további rugalmasságot biztosít a rendszer számára.
- *GSM*: A GSM (Global System for Mobile Communications) az ETSI I-30036 szabványa és széles körben használt, az európai mobil rádióhálózatokban hang és kis sávszélességű adatkommunikációra. A GSM teljes sebességű hangkódoló 13 kbps sebességen működik és RPE (Regular Pulse Excited) kódolót használ 8 kHz mintavételezési frekvencia mellett. A félsebességű GSM kódoló 7 kbps sávszélességet igényel 5 kHz mintavételezés mellett. A bemeneti hang 20 ms hosszúságú keretekre van osztva és minden keretre 8 rövid távú becslést végeznek. Ezután minden keret további 5 ms hosszúságú alkeretekre bomlik, melyekre a kódoló késleltetést és nyereséget számol a hosszú távú becslő számára. Végül a maradék jelet kvantálja minden alkeretben. A GSM kódoló jó minőségű hangot generál, mindazonáltal a G.728 kódoló (CELP) mégis felülmúlja a nagyobb sávszélességgel. A GSM

kódoló kis számításiigényű. Előnyök: egyszerű, viszonylag kis komplexitású, kis sávszélesség igény, kis késleltetés, nyílt forrás. Hátrányok: a sávszélesség/hangminőség arányban a G.729 felülmúlja.

1.7. A NullSoft Video protokoll

A NullSoft Video (NSV) formátum egy olyan bitstream jelfolyam, amely képes biztosítani a hang és a videó közös becsomagolását[4]. A gyakorlatban alkalmazott mindegyik hang és videó tömörítési mechanizmussal együttműködik. Mivel bitstream formátum, így nem igényli a teljes fájl letöltését a lejátszáshoz. Képes streaming szolgáltatásra, megbízható szinkronizálás valósul meg a jelfolyam bármely pontján. Másodlagos adatcsatornák segítségével több hang-, feliratozás-, vagy más adatfolyam is biztosítható. Az NSV fájl szerkezete két fő részből áll: egy opcionális fájl fejrész és egy kötelező bitstream alkotja. Minden több bájtos egész szám LSB formátumban van ábrázolva, azaz a legkisebb helyiértékű bájt baloldalon helyezkedik el. Így egy négy, illetve egy húszbites szám három bájtot fog elfoglalni.

Az NSV fájl fejrész formátuma: Az NSV fájlnak csak egy fájl fejrésze lehet, amely tartalmazza a fájl méretét bájtokban és ezredmásodpercben, a tartalomjegyzéket, amely a VBR tartalom szabatos keresését biztosítja, és a metaadatokat.

| | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|------------------|-------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------|
| 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| SIGNATURE | HEADER SIZE [B] | FILE SIZE [B] | FILE SIZE [ms] | METADATA LENGTH [B] | TOC SIZE [alloc. entries] | TOC SIZE [used entries] | DATA [metadata] | TOC [toc alloc * 4B] |

4. ábra. Az NSV PDU fejrészének formátuma

A fájl fejrész tartalmazhat további olyan információkat, mint a műsor címe, szerzője, javasolt képernyő oldalméreteinek aránya, stb. A metaadat bármennyi név-érték párt tartalmazhat.

Az NSV fájl fejrész tartalom tábla (TOC- Table of Contents) formátuma: Négybájtos egész számok tömbje. A TOC v1.0 esetén a bejegyzés sorszáma a bejegyzés idejével arányos. A bejegyzés értéke képezi az NSV bitstream-ben elfoglalt offset pozíciót. Nagyobb fájl esetén a keresés pontatlan volt. A TOC v2.0 esetén viszont adott bejegyzés a kulcskeret offset-jét adja a bitstream részletben, míg a tartalom méretével növelt sorszámu bejegyzés a kulcskeret abszolút helyét mutatja. Ez pontos keresést tesz lehetővé.

Az NSV bitstream formátum: A jelfolyam NSV kereteket tartalmaz, amelyek lehetnek szinkronizációs vagy nem-szinkronizációs keretek. Az NSV jelfolyam legalább egy szinkronizációs keretet kell tartalmazzon. A kétfajta keret az első részben különbözik egymástól, de mindkettő tartalmaz hasznos teher részt is. A szinkronizációs keret a műsor leírását tartalmazza. Ez maga a videó kulcskeret vagy közvetlenül előtte kell hogy legyen. A nem-szinkronizációs keret több hasznos terhet szállít, de nem tartalmaz járulékos információkat. Ezeket alacsonyabb sávszélesség esetén alkalmazzák. A hasznos teher minden esetben az aktuális adattípus kódját és magát az adatot tartalmazza. A típuskód függvényében az adat szerkezete beazonosítható, így az adat struktúra a további csatornák és műsorjellemezők adatait is tartalmazhatja. A hang és a videó adat csomagok egy-egy keretben továbbítódnak. Igénytől függően a hang megelőzi vagy követi a videót. A kiegészítő információk (műsor címe, 16:9/4:3 megjelenítési arány, másodlagos hang csatorna, stb.) csatornáinak száma összesen 15 lehet.

2. A VoIP hálózat jellemzői

Miután a hang tömörítése és adattá konvertálása megtörtént, az RTP (Real Stream Protocol) segítségével az IP hálózaton megtörténik a jelfolyam továbbítása. VoIP hálózatban úgy a sávszélességet, mint a hálózat késleltetését figyelembe kell venni. A sávszélesség igények kritikusak és nem csak a kiválasztott kodektól függ, hanem az egyes protokollok (IP, UDP, stb.) overhead-jétől is[5]. A késleltetés a jelterjedési sebessége, a küldő és a fogadó csomópont pufférének kezelési mechanizmusától, valamint a csomagolási késleltetéstől függ.

2.1. Sávszélesség követelmények a VoIP hálózatban

A hang párbeszéd IP hálózat feletti működését több tényező befolyásolja. Az alkalmazott kodek sávszélesség igénye a 3...64 kbps tartományban lehet. A hang protokoll adatelem (PDU) leggyakrabban 20 bájt nál rövidebb, míg az L2 (Ethernet) és az L3 (IP) rétegek szignifikáns overhead-et képeznek. Emiatt a valós fizikai sávszélesség igényt nagymértékben az overhead-ek befolyásolják[6]. E probléma egyszerűsítésére különböző megoldásokat vezettek be. Hangaktivitás felismerés (VOD - Voice Activity Detection) segítségével a küldő a csomagolt jelfolyamot megszakítja, ha a lokális analóg forrás jelszint egy megadott küszöbérték alá kerül. Ezáltal a sávszélesség igény közel felére csökken, mivel a humán beszélgetés közben várhatóan a személyek fele ideig a másikat hallgatják. Ez a megoldás viszont körültekintést igényel a ki/bekapcsolási pillanatok meghatározásánál, mivel tartalom kieséseket okozhat. Ugyanakkor a beszélgetés közbeni teljes csend is zavaró lehet. Emiatt alkalmazni szokták a komfort zajt, amely a nem beszélő fél párjánál a hangszóróban lokálisan generált halk fehérzajt jelent meg. Fejlettebb rendszerek a távoli környező háttérzajt reprodukálják a távoli személy hallgatási időintervallumaiban. Egy másik megoldás az RTP PDU fejrészének

tömörítése. Mivel az RTP PDU fejrészében több információ duplikált vagy redundáns módon jelen van, az útvonal mentén elhelyezkedő routerek a fejrészt tömörítik, így a beszéd számára szükséges sávszélesség lényegesen csökken. A leggyakoribb LAN/MAN technológiai környezetben a szükséges fizikai sávszélesség az 1. Táblázat szerint alakul. Az IP/UDP/RTP 40 bájt, az Ethernet pedig 14 bájt overhead-et képez.

1. Táblázat. VoIP/csatorna sávszélesség összehasonlítás

| Algoritmus | Hang sávsz. [kbps] | Kodek késleltetés [msec] | Hang PDU méret [B] | Hang ráta [PDU/sec] | L2 PDU méret [B] | Fizikai sávsz. [kbps] |
|------------|--------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|------------------|-----------------------|
| G.729 | 8,0 | 15,0 | 20 | 50 | 74 | 29,60 |
| G.711 | 64,0 | 1,5 | 160 | 50 | 214 | 85,60 |
| G.723.1 | 6,3 | 37,5 | 30 | 26 | 84 | 17,47 |
| G.723.1 | 5,3 | 37,5 | 30 | 22 | 84 | 14,78 |

Minden egyes beszédkapcsolat két hívás jelfolyamot, míg a videokapcsolat négy vagy hat egyidejű hívás jelfolyamot jelent.

2.2. Késleltetés a VoIP hálózatban

A VoIP rendszerek tervezésénél általánosan elfogadott szabály, hogy a végponttól végpontig terjedő késleltetés 150 ms alatt maradjon. A ma használatos médiák átviteli késleltetése önmagában az emberi fül számára ugyan nem érzékelhető, a kezelési késleltetéssel együttesen azonban már észrevehető torzulást okozhat. Felhasználói részről a késleltetés tolerancia küszöbe 250 ms. Ennél nagyobb késleltetést elszenvedett hangfolyam interferál a természetes hangfolyammal, így kiolthatják egymást, torzulás érzékelhető. A kezelési késleltetés befolyással van a hagyományos vonalkapcsolt telefonhálózatokra is, de a csomag alapú átvitelnél a puffereles miatt jelentősége erősen megnő. Ezért a késleltetés tervezésénél ezt 150-200 ms alatt kell tartani.

A G.729 szabvány algoritmus szerinti késleltetése 20 ms körül van, amelynek tervezésénél számításba vették a jövőbeli igényeket is. Egy VoIP termék általánosan 10 ms-onként generál egy keretet, majd párosával helyezi ezeket csomagba, így a késleltetés értéke 20 ms lesz. Csomag alapú hálózat esetén a késleltetés származhat egyrészt az aktuális csomag kimeneti sorba való helyezéséből, másrészt a sor késleltetéséből. Ennek értéke eszközfüggő, optimális esetben nem haladja meg a 30 ms-ot.

A VoIP alkalmazások nemcsak a késleltetésre, hanem annak változására is érzékenyek. Ellentétben a vonalkapcsolt hálózatokkal, a csomagkapcsolt átvitelinél a késleltetés értéke a hálózati forgalomtól függően erősen ingadozhat. A dzsitter a késleltetésnek rövid időn belüli változása, azaz a csomag várt és valós érkezési időpontja közötti ingadozás. Az eszközök ezt „playout” pufferekkel kompenzálják, hogy a hang vételében ne legyenek szakadások. Ez a teljes rendszer késleltetését tovább növeli. A puffer mérete lehet fix méretű, illetve bizonyos eszközöknél adaptív. VoIP esetében a dzsitter a minőséget legszembetűnőbb módon akadályozó paraméter. Általában a csomagkapcsolt hangátvitelnél a forgalom különböző késleltetésű, és minőségi paramétereket nyújtó rendszereken halad keresztül. Ezek alapvetően gyenge minőséget eredményeznek. Az ilyen alkalmazások általános jellemzője a nagyméretű fogadó oldali puffer, amely általában egy másodperc feletti hanganyag pufferelesét teszi lehetővé.

2.3. Szolgálat minőség a VoIP hálózatban

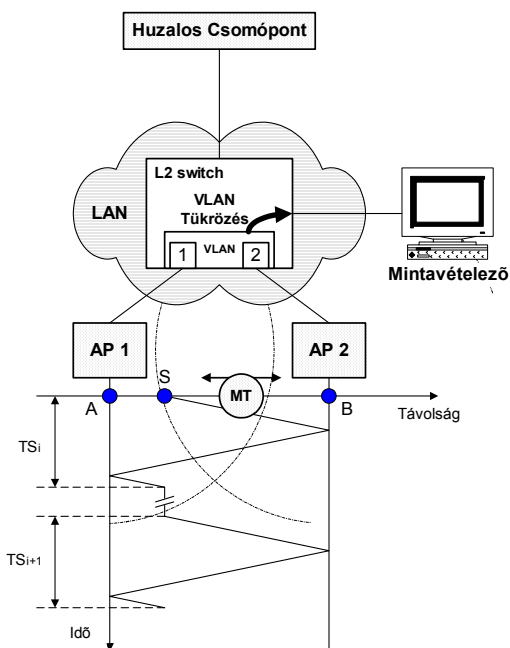
A csomagkapcsolt hálózatokban a hangminőséget döntően befolyásolja a hálózatra jellemző késleltetés és a dzsitter, így a hálózatok tervezésénél különös figyelmet kell fordítani a QoS paraméterek biztosítására. További lényeges szempont a hangforgalomnak az adatforgalomtól való védelme, valamint a kritikus adatforgalom védelme a hangforgalom esetleges nagyobb sávszélesség-foglalásával szemben. A hatékony QoS tervezés elemei a megfelelő sávszélesség, a csomagvesztés, a késleltetés, és a dzsitter. E tényezők megfelelő szintű biztosítása az alábbi leggyakoribb eszközökkel történik.

- *Vezérlési stratégia:* Forgalom limitálás, mely a csomagok eldobását jelenti, amennyiben az adott hálózati eszközök közötti forgalom túllép egy megadott küszöb értéket. Ez megadható az eszközre bemeneti vagy kimeneti oldalon. Tipikus példája a RED (Random Early Detection) és a WRED (Weighted RED). Ezek a technikák beazonosítják azokat a csomagokat, amelyek szükség esetén eldobhatók.
- *Forgalomtervezés:* Egyenletes bemenő és kimenő rátájú csomagmennyiség alapján biztosítja a pufferelesét. A vezérlési stratégiával ellentétben a forgalomtervezés igyekszik elkerülni a csomagok eldobását, ezzel viszont növeli a pufferelesből származó késleltetést és dzsittert.
- *Híváskezdeményezés kontroll:* Az alkalmazás sávszélesség igényének elutasítását szabályozza. VoIP esetében a hívás számára szükséges sávszélesség lefoglalására használható például az RSVP (Resource Reservation Protocol). Egy H.323 gatekeeper korlátozhatja a hívásonként lefoglalható sávszélességet.
- *Várakozási sorok/ütemezés:* A puffereles során használható, a csomagok prioritásának felderítésével. Külön sor tartható fenn a késleltetés-érzékeny hangcsomagok, és külön az adatsomagok számára. VoIP esetében gyakori mechanizmus az IP RTP prioritási sor.

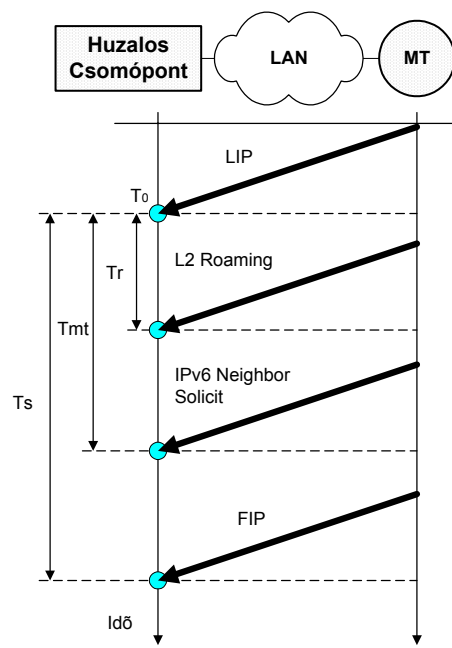
- *Tagging/megjelölés:* Különböző technikák használatosak a speciális kezelést igénylő csomagok megjelölésére. VoIP esetében a csomagok megjelölhetők például az IP precedencia bitekkel (IP fejrész ToS mezője). A csomagok megjelölés mechanizmusa a hálózat-határokon átnyúló QoS paraméterek megőrzéséhez szükséges.
- *Fragmentálás:* Bizonyos eszközökön engedélyezhető a nagyméretű csomagok további darabolása, mielőtt a kis sávszélességű linken azt továbbítaná. Ez megvédi a hangcsomagokat a nagyméretű adatcsomagok továbbításához szükséges hosszú várakozástól. Így a hangcsomag bekerülhet egy nagyméretű adatcsomag darabjai közé.

3. A mérési környezet és a mért adatok

A mérésekhez olyan eszközparkot használtunk, amelynél úgy a bázisállomások (AP1, AP2), mint a mobil terminál (MT) képes IEEE 802.11a, valamint IEEE 802.11b/g szabványoknak megfelelő mechanizmussal forgalmazni. Ehhez az 5. ábra szerinti beltéri teszt hálózaton gyalogos közlekedés közben a mobil terminál mozgása miatt bekövetkező L2 roaming hatását vizsgáltuk. Az MT 5-6 km/h (1,4-1,7 m/sec) sebességgel haladt a bázisállomásokot összekötő egyenessel párhuzamos irányban oda-vissza. Egy mérési periódus (TS_i) alatt az MT a AP1 mikrocellájából L2 roaming hatására átkerült a AP2 mikrocellájába, majd visszafelé haladva újabb L2 roaming hatására visszakerült a AP1 hatáskörébe. Multimédiás szolgáltatásként video streaming, illetve IP telefon alkalmazásokat futtattunk a mobil terminálon. Az MT egy notebook, amelyen multimédiás alkalmazásokként WinAmp, illetve SoftPhone szoftverek futottak a streaming (TCP), illetve telefonbeszélgetés (UDP) elemzéséhez.



5. ábra. A mérési környezet



6. ábra. A mért időtartamok

TCP forgalom esetén a huzalos csomópont egy streaming szerver, amiről különböző sávszélességű, NullSoft Video (NSV) szabványú multimédiás műsorokat töltöttünk le. UDP forgalom méréséhez a huzalos és az MT csomóponton SoftPhone telefonszoftvert futtattunk, amelyek között telefonbeszélgetés zajlott. A LAN belsejében elhelyezkedő Phone Center-ben választottuk ki a hangkódolási mechanizmust. A streaming (TCP) műsorok sávszélesség értékei a következők voltak: 80, 150, 300, 500 kbps. A hangkódolási (UDP) mechanizmusok pedig a következők voltak: G.728 (16 kbps), GSM (29 kbps), G.711 (80 kbps), Wideband (272 kbps). Úgy a TCP, mint az UDP forgalmak esetén a bázisállomások Data Retry paraméterét fixen 32-re állítottuk, míg a Beacon periódust a 20ms, 50ms, 100ms értékek között módosítottuk. A WinAmp program fogadó pufferét és a lejátszó puffere is fixen 1000 msec-on állt. Ezek alapján IEEE 802.11 szabványonként TCP-re tizenkét mérést és UDP-re is ugyanennyi mérést végeztünk, így összesen hetvenkét mérési eljárást folytattunk le.

A két bázisállomás (AP1, AP2) egy L2 kapcsoló két portján, ugyanabban az L2 VLAN-ban helyezkedett el. A huzalos hálózaton megjelenő Ethernet kereteket a kapcsoló VLAN-jából egy dedikált fizikai portra történő tükrözéssel juttattuk el a mintavételező géphez, amely TCPDump program segítségével Libcap formátumú fájlba tárolta azokat. Utólag Ethereal v0.10.14 protokoll analízátor program segítségével elemeztük a tárolt folyamatokat és ezáltal lehetséges volt beazonosítani az alkalmazások minőségét befolyásoló időtartamokat. A bázisállomások által sugárzott rádiós energia IEEE 802.11b/g esetén 5 mW, az IEEE 802.11a esetén, pedig 11 dB volt. A két bázisállomás közötti fizikai távolság 50 méter, az MT rádiós forgalma nyitott azonosítás és titkosítás nélküli volt. Minden egyes TS_i mérési eljárásnál (i=1,2, ... 72) az MT az S pontból indult és a B, majd S, A pontokon újból az S pontba érkezett vissza.

A multimédiás alkalmazások minőségét befolyásoló időtartamok meghatározásához Ethereal protokoll analízátorral minden egyes letárolt fájlban beazonosítottuk a 6. ábra szerinti T₀ időpontot. Ez nem más, mint az L2 roaming előtti LIP csomag (Last Important Packet) huzalos csomóponthoz történő beérkezésének időpillanata. Ez tulajdonképpen az MT cellaváltás előtti legutolsó tartalom adateleme. TCP, illetve UDP forgalmak esetén a LIP és a FIP csomagok jelentését a 2. Táblázat tartalmazza.

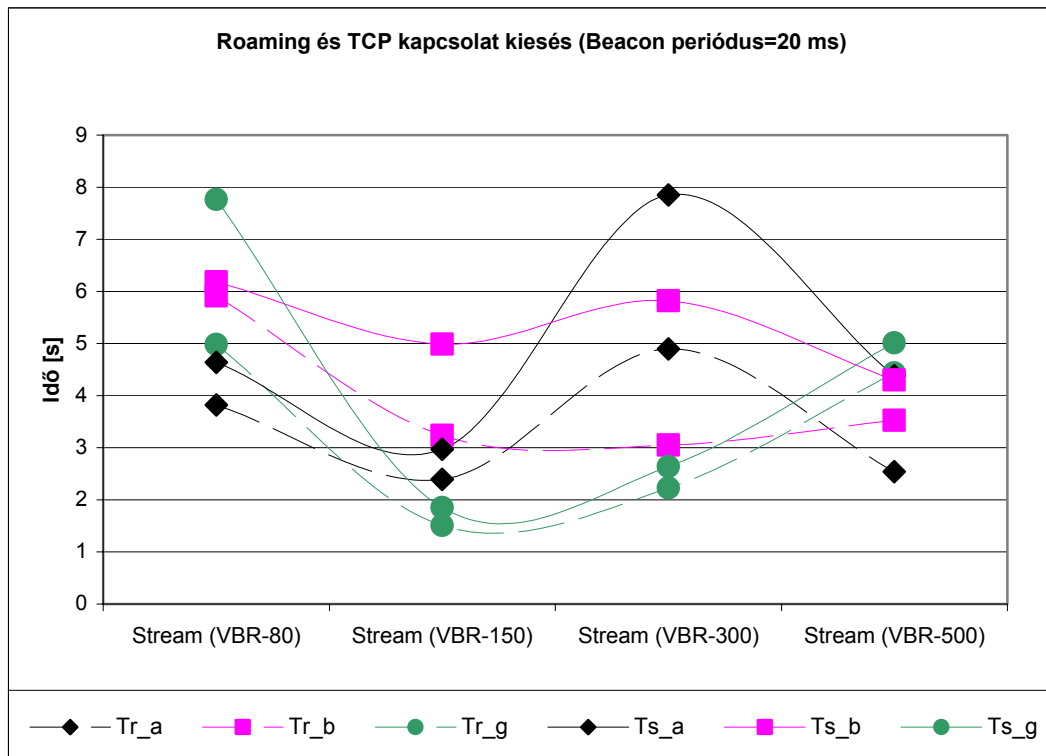
2. Táblázat. Fontos csomagok jelentése

| Szállítási réteg | Fontos csomag | Jelentés |
|------------------|---------------|--|
| TCP | LIP | L2 roaming előtti utolsó ACK csomag (60 bájt) az MT-től a szerverhez |
| TCP | FIP | L2 roaming utáni első ACK csomag (60 bájt) az MT-től a szerverhez |
| UDP | LIP | L2 roaming előtti utolsó UDP csomag az MT-től a huzalos csomóponthoz |
| UDP | FIP | L2 roaming utáni első UDP csomag az MT-től a huzalos csomóponthoz |

Tr időtartam alatt az L2 roaming folyamat játszódik le, aminek részletezését más cikkben mutattuk be[1]. A Tr időtartam beazonosítása a roaming keretek új bázisállomáshoz megérkezésének érzékelésével történt. Az MT gépen IPv6 kliens program is fut, amely az IPv4-hez képest rögtön érzékeli a protokoll stack kettes rétegének helyreállítását, és azonnal megkezdte a szomszédos csomópontok felfedezését. A Tmt időtartam az MT LLC (Logical Link Control) szintű forgalmazás képességének késleltetését jelenti. Az IPv6 kliens e tulajdonságát ahhoz használtuk fel, hogy a határozott roaming során küldött kereteket pontosan beazonosíthassuk, mivel az MT S->B->S->A->S beltéri pontok mentén történő haladása közben az épület falain bekövetkező reflexiók miatt esetenként kettőnél több cellaváltást is tapasztaltunk. A Ts időtartam az MT-n futó multimédia kapcsolat működésének késleltetése. Ezt a felhasználó közvetlenül érzékeli és ennek nagy értéke a szolgáltatás akadozásához, illetve a kapcsolat teljes megszakadásához vezethet. Ennek meghatározása a FIP csomag (First Important Packet) beérkezésének beazonosításával történt.

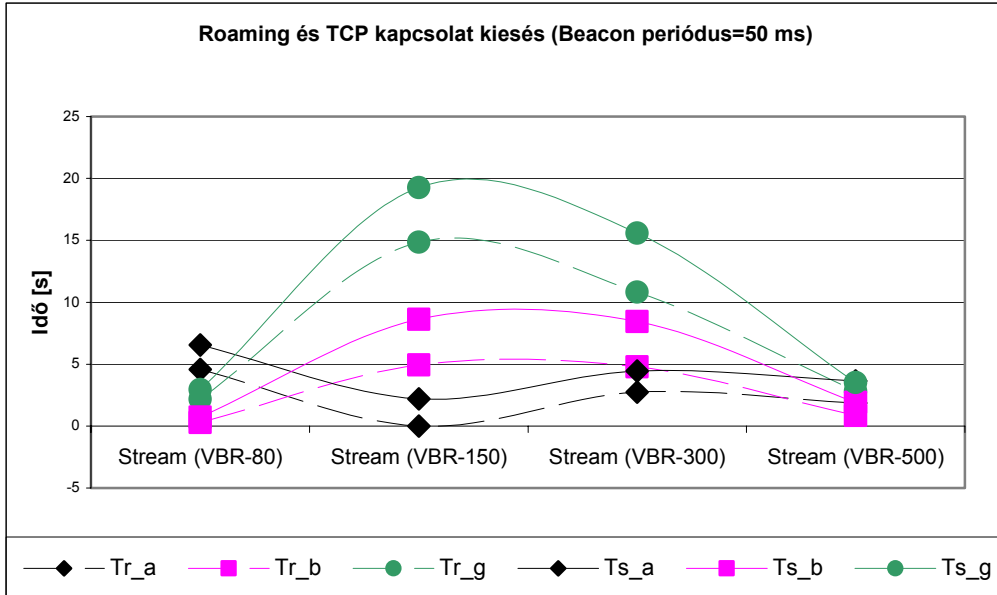
4. A mérési eredmények elemzése és értelmezése

A mérési eredmények összehasonlítása és elemzése fontos következtetések levonására ad lehetőséget. A különböző IEEE 802.11 szabványok eltérő módon viselkednek beltéri környezetben végrehajtott cellaváltások esetén[7]. A roaming folyamat lejátszódása nagymértékben függ a bázisállomáson beállított beacon periódus (T_b) időtől. Ez a periódus egyben konfigurációs paraméter is[8]. A terminál a beacon-ben továbbított jelzés alapján megtanulja a bázisállomás periódusát[9]. Amennyiben az MT nyolc periódus ideig nem kap beacon-t, kezdetét veszi a roaming folyamat[1]. A beérkező beacon keretek folyamatos figyelésével az MT érzékeli a vezeték nélküli kapcsolat minőségének romlását és cellaváltást kezdeményez. A TCP forgalom mért értékeinek grafikonjait a 7., 8., 9. ábra, az UDP forgalomra vonatkozó grafikonokat, pedig a 10., 11., 12. ábra mutatja.



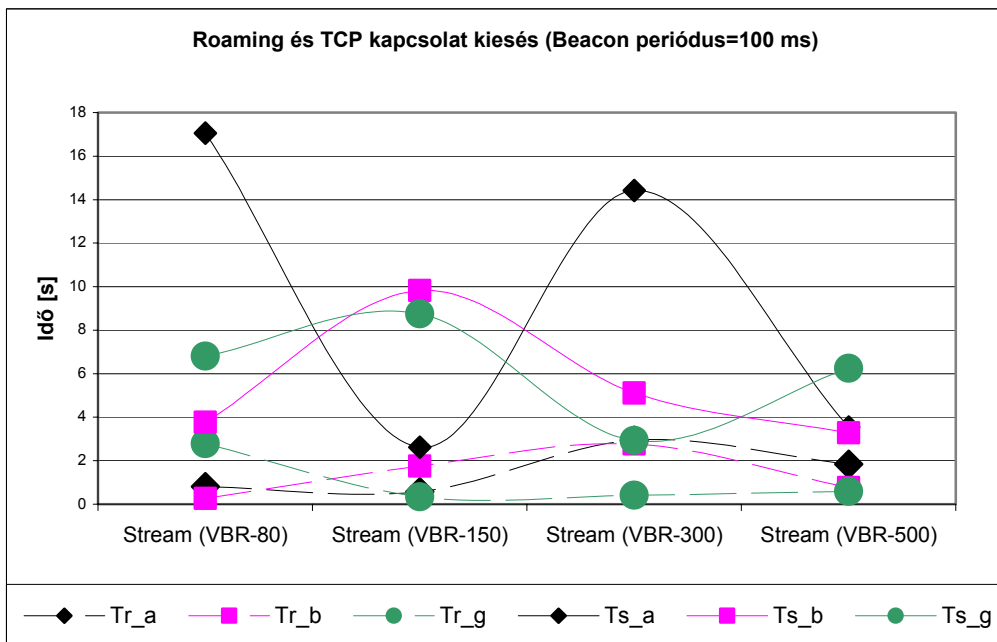
7. ábra. A streaming viselkedése (T_b=20 msec)

- Ha beacon periódust az alapértelmezett 100 ms értékről 50 ms, majd 20 ms-ra csökkentjük, akkor az MT gyakrabban érzékeli a jel/zaj viszony változását, így mozgás közben érzékenyebb lesz a környezeti viszonyok változására. Ilyenkor minden egyes streaming technológia esetén a cellaváltási idő 0,5-2,8 sec értékről előbb 0,1-14,9 sec értékre nő, majd 1,5-5,9 sec értékre csökken, a TCP kapcsolat kiesése pedig 2,5-17 sec értékről előbb 2,4-19,8 sec értékre nő, majd 1,8-7,9 sec értékre csökken. Tehát a $T_b=20$ msec periódusidő jobb, mint a 100 msec érték. Ez hasznos konfigurálási jelenségnek számít. A T_b nagyon kis értékre vétele sem lehet jó a gyakorlatban, mivel a beltéri környezetben a többutas terjedés miatt a túlzott érzékenység gyakori cellaváltást okoz, ami a TCP kapcsolat gyakori kiesését jelenti.



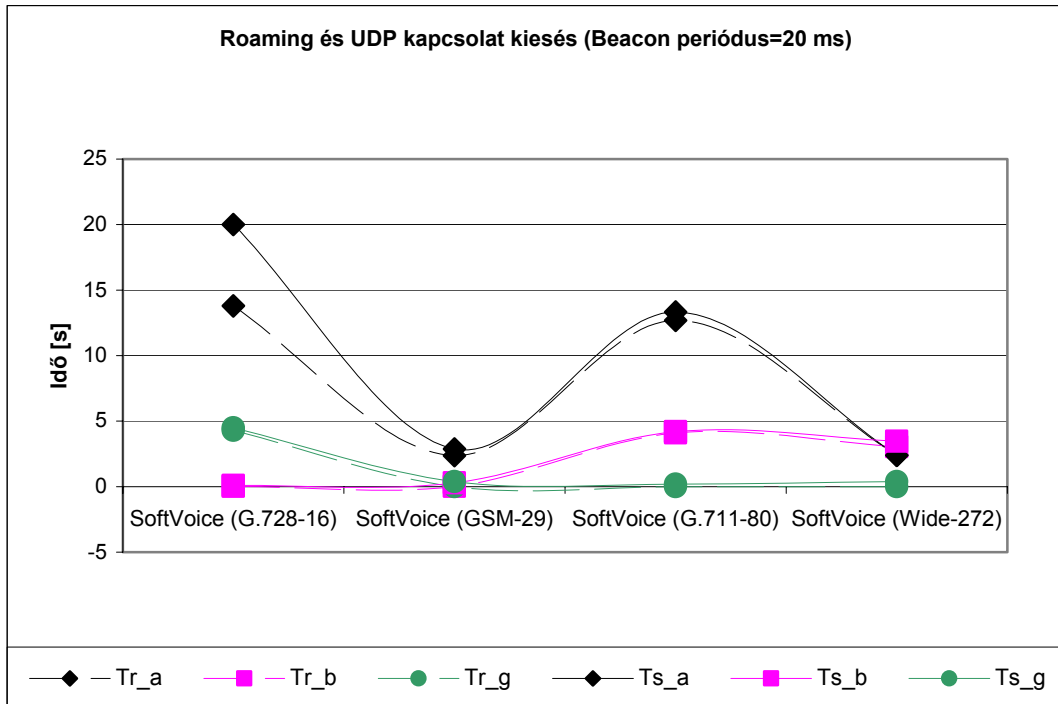
8. ábra. A streaming viselkedése ($T_b=50$ msec)

- IP telefon kapcsolat esetén adott hangkódolási technikánál a cellaváltási időre a beacon periódus csökkentése 100 msec értékről 50 msec, majd 20 msec-re a cellaváltási időt a 0,1-44,5 sec értékről 0,1-12,5 sec értékekre csökkenti. Az UDP kapcsolat kiesése a 0,2-49,8 sec értékről a 0,2-19,9 sec értékekre csökken. Ez is a $T_b=20$ msec érték előnyét jelzi.



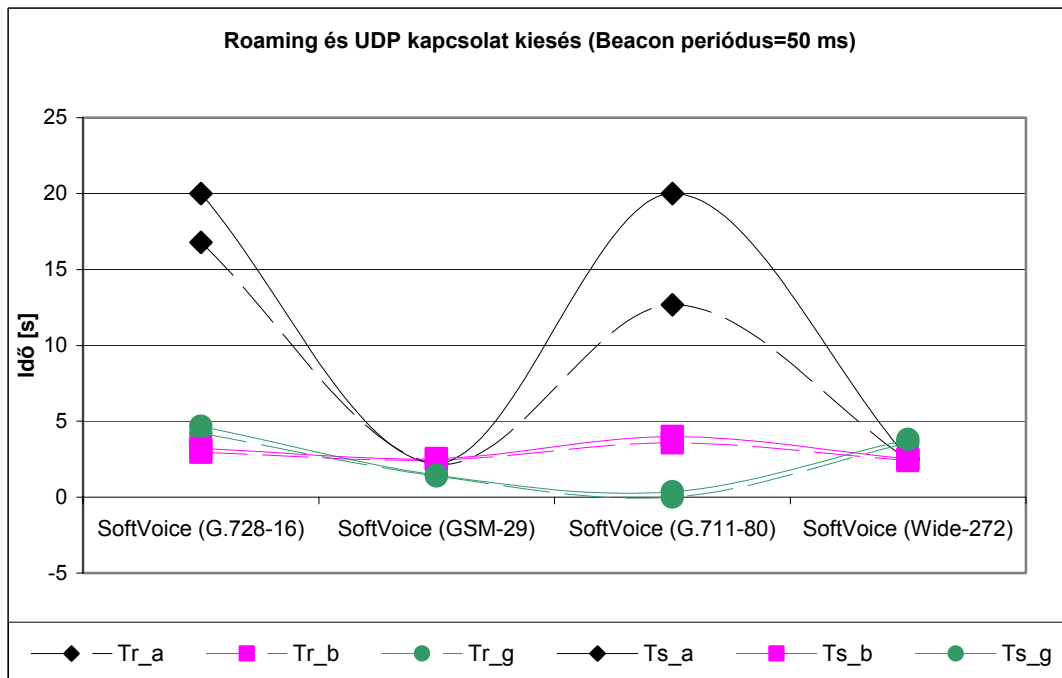
9. ábra. A streaming viselkedése ($T_b=100$ msec)

- Épületen belül az IEEE 802.11 technológiák különbözőképpen reagálnak a beacon periódusra. Streaming forgalom esetén az IEEE 802.11a hosszabb ideig állítja vissza a kapcsolatot. Utána az IEEE 802.11b következik, és legelőnyösebb tulajdonságokkal az IEEE 802.11g rendelkezik beltéri cellaváltás esetén.



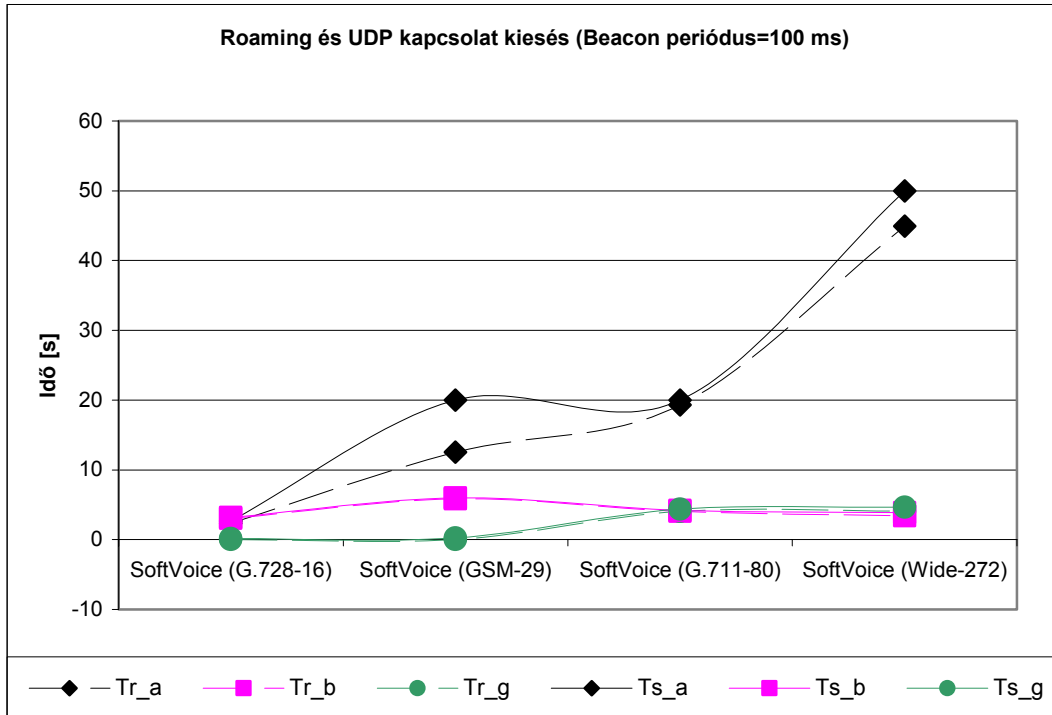
10. ábra. Az IP telefon viselkedése ($T_b=20$ msec)

- IP telefon szolgáltatásnál az IEEE 802.11a nagyon nagy késleltetéseket produkál, nagy sávszélességű hangkapcsolat esetén le is szakad a szolgáltatás. Az IEEE 802.11g a legjobb reakcióidőt biztosítja, így a szolgáltatás kiesése 4 sec alatti. Ez még elviselhető ritka esemény lehet mozgó IP telefonos környezetben, ha a felhasználók erről előzetes értesüléssel rendelkeznek.



11. ábra. Az IP telefon viselkedése ($T_b=50$ msec)

- A streaming sávszélesség igényétől függően a műsor kiesési idő is eltérő viselkedést mutat. A 150 kbps-os NSV műsor $T_b=20$ msec esetén a legkevésbé függ a rádiós technológiától, viszont $T_b=50$ msec esetén éppen a 150 kbps-os NSV műsor függ leginkább a rádiós technológiától. $T_b \leq 50$ msec esetén a 80 kbps-os és az 500 kbps-os NSV műsorok kevésbé függnék a rádiós technológiától.



12. ábra. Az IP telefon viselkedése ($T_b=100$ msec)

- Az IP telefon kapcsolat $T_b \leq 50$ msec esetén a GSM hangkódolásnál mutatja a legkisebb kiesést. Ez a GSM technológia mobil viszonyokra optimalizált tulajdonságából adódik. Annak ellenére, hogy a GSM minőségben gyengébb, mégis jobban illeszkedik a cellaváltás okozta környezetváltozáshoz. $T_b \leq 50$ msec esetén a G.711 nagyon függ a rádiós technológia cellaváltási mechanizmusától. Ez a PCM hagyományos huzalos környezetre kialakított tulajdonságából adódik.

- Cellaváltás befejezése után a streaming kapcsolat folytatása nagy beacon periódusidő esetén későn, 4-11 sec késleltetéssel történik. Ezzel ellentétben $T_b \leq 50$ msec esetén az új cellába váltás után a TCP kapcsolat 3 sec késleltetés után folytatódik. Ez az adott technológia $T_s - T_r$ időkülönbség értékekből figyelhető meg.

- IP telefon esetén a cellaváltás utáni UDP forgalom folytatásának késleltetése IEEE 802.11b/g rádiós technológiák esetén minden hangkódolási technika esetén 0,5 sec alatt van. Az IEEE 802.11a viszont az MT új cellába érkezése után még az UDP forgalom folytatását is jelentősen (3-7 sec) késlelteti.

- Az IEEE 802.11a rádiós technológia a streaming számára $T_b=50$ msec értékre mutatja az összességében legelőnyösebb tulajdonságait. Az IEEE 802.11g pedig a $T_b=20$ msec értékre képes legelőnyösebb adatkapcsolati szolgáltatást nyújtani a streaming részére.

- Az IP telefon számára hangkódolási technikától függetlenül bármilyen beacon periódusra az IEEE 802.11g rádiós technológia a legjobb, ezt követi az IEEE 802.11b, majd a legkedvezőtlenebb viselkedést az IEEE 802.11a mutatja.

- Az IP telefon esetén a cellaváltásból származó adatkapcsolati szintű kimaradás miatt a hangkódolási technikák rugalmassági sorrendje csökkenő sorrendben a következő: GSM, Wideband, G.711, G,728.

5. Összefoglalás

Az cikkben elemeztük az IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g WiFi átviteli technikákon működő multimédiás (streaming, IP telefon) alkalmazások jellemzőit beltéri cellaváltás közben. A TCP típusú mérésekhez Nullsoft Video formátumú, különböző sávszélességű streaming jelfolyamokat indítottunk egy beltéri környezetben gyalog mozgó notebook irányába. Az UDP típusú mérésekhez IP Softphone futott az előzetesen említett notebook gépen, miközben egy másik, huzalos IP telefontal beszélgetést folytatott. A leggyakoribb hangkódolási mechanizmusokra készültek a mérések.

Ezek alapján megállapítható, hogy a bázisállomás beacon periódus ideje erőteljesen befolyásolja a cellaváltás folyamatát. A különböző IEEE 802.11 rádiós technológiák eltérő módon viselkednek TCP, illetve UDP forgalom

esetén. Ugyancsak különböző hatást gyakorol ezekre is a beacon periódus értéke. Mozgó beltéri vezeték nélküli streaming terminál számára 150 kbps esetén az IEEE 802.11g szabvány 20 msec értékű beacon periódus idővel a legelőnyösebb. Mozgó vezeték nélküli IP telefon számára gyengén terhelt IEEE 802.11g beltéri rádiós környezetben jó minőségű szolgáltatás vehető igénybe. A cellaváltás legjobb esetben 2-3 sec szolgáltatás kimaradást okozhat, amit a felhasználók előzetes értesítése esetén elfogadhatónak tarthatnak. A GSM hangkódolási mechanizmus a legrugalmasabban viszonyul a cellaváltás hatására bekövetkező adatkapcsolati szintű szolgáltatás kimaradására, amit a wideband kódolás követ, annak ellenére, hogy sávszélesség igénye egy nagyságrenddel nagyobb, mint a G.711, G.728 esetén.

A későbbiekben gyors konvergenciájú cellaváltású, illetve 250 msec alatti szolgáltatás kiesést biztosító szállítási rétegbeli mechanizmusok kialakítására van szükség ahhoz, hogy mobil vezeték nélküli beltéri környezetben a multimédiás szolgáltatások folyamatosan elfogadható minőségben működőképesek legyenek. Ugyancsak értékelést kell végezni a H.323/SIP típusú mobil IP videokonferencia szolgáltatásra vonatkozóan is.

Irodalom

- [1] Zoltán Gál, Andrea Karsai, Peter Orosz: „*Evaluation of IPv6 Services in Mobile WiFi Environment*”, Selected Papers of Info-Communication-Technology, Volume LX., 2005., pp 47-54.
- [2] Dodd, Annabel Z.: *The Essential Guide to Telecommunications*
- [3] Newton, Harry: *Newton's Telecom Dictionary*, <http://www.harrynewton.com/>
- [4] Justin Frankel: “*Nullsoft Video (NSV) Format 2.1 Specification*”, <http://ultravox.aol.com/NSVFormat.rtf>
- [5] Jonathan Davidson: „*Voice over IP Fundamentals*”, <http://www.ciscopress.com/>
- [6] Cisco Documentation DVD Home Page: „*Voice/Data Integration Technologies*”, http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/voicdata.htm
- [7] WiFi Alliance: „*Wi-Fi Certified for WMM- Support for Multimedia Applications with Quality of Service in Wi-Fi Networks*”, http://www.wi-fi.org/files/uploaded_files/wp_1_WMM%20QoS%20In%20Wi-Fi_9-1-04.pdf
- [8] SpectraLink Co.: „*White paper: Deploying netlink wireless telephones, best practices*”, http://www.spectralink.com/files/literature/NetLink_Best_Practices_122105_01.pdf
- [9] 3Com Co: “*White paper: Deploying 802.11 Wireless LANs*”, http://www.3com.com/other/pdfs/products/en_US/wireless_lans_wp.pdf