

IPTV forgalom paramétereinek mérése

MÁLIK DÁVID ZSOLT, LOIS LÁSZLÓ

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Híradástechnikai Tanszék
lois@hit.bme.hu

Kulcsszavak: IPTV, IP hálózati paraméterek, média adatfolyam, RTP

Ebben a cikkben az IPTV hálózaton alkalmazott médiaátvitel legfontosabb paramétereinek mérését mutatjuk be. Az IPTV rövid ismertetése után bemutatjuk az IPTV átvitel legfontosabb paramétereit, valamint ezek mérési megoldásait. A két legfontosabb átviteli paraméter – a késleltetésingadozás és a csomagvesztési arány – gyakorlati mérési megoldásait külön is részletezzük és ismertetünk egy-egy olyan algoritmust, amellyel valós időben és kis komplexitással lehetséges az adatfolyam folytonos monitorozása. A közölt algoritmus a méréshez szükséges becsléseket autoregresszív módszerrel határozza meg, ami lehetővé teszi a valós idejű implementációt. A cikk végén a megvalósítás és az ideális megoldás közötti különbséget mutatjuk be egy egyszerű mérési összeállítás felhasználásával.

1. Bevezetés

Az IPTV egy olyan rendszer, ahol digitális TV adást biztosítanak IP hálózaton keresztül. Az IPTV tehát egy olyan műsorterjesztési megoldás, amely a szokásos földfelszíni vagy kábeles adás mintájára egy IP alapú szolgáltatói hálózat segítségével juttatja el a programokat a nézőkhöz. Az IPTV szolgáltató nemcsak a hálózati infrastruktúrát birtokolja és üzemelteti, hanem ő tartja kezben a programok IPTV hálózatra történő bejuttatását, a felhasználók feltételes hozzáféréseinek vezérlését, valamint sok esetben a végberendezéseket (Set-top-box) is a szolgáltató biztosítja. Fontos hangsúlyozni, hogy az IPTV szolgáltatások magán IP hálózaton működnek és nem a bárki által elérhető Interneten keresztül, így egy kifejezetten IPTV-re tervezett magán IP hálózaton a szolgáltató könnyen biztosíthatja a szolgáltatásminőséget (QoS) is. Az IPTV hálózatban a TV csomagoknak van a legnagyobb prioritása, ebből következik, hogy a TV szolgáltatás szinte azonnali reakcióval rendelkezik, a csatornaváltásnak nincs és nem is lehet a néző által észrevehető késleltetési ideje. Az IPTV szolgáltatásnak legalább olyan minőségűnek kell lenni, mint a hagyományos műholdas vagy kábeltelevíziós szolgáltatásoknak, különben a nézők nem fogadják el [1,4].

Az IPTV szolgáltatást gyakran más szolgáltatásokkal összekapcsolva adják. Ilyen szolgáltatás például a VoD (Video on Demand), az internetelérés és a VoIP (Voice over IP). Az IPTV-t, a VoIP-ot és az internetelérést együttesen biztosító szolgáltatást *Triple Play*-nek nevezik. Az IPTV szolgáltatás általában egy zárt IP hálózaton keresztül elérhető. A nyilvános Interneten biztosított TV adásokat Internet TV-nek vagy WebTV-nek nevezik. Ezt a kettőt gyakran összekeverik [1,2,8].

A VoD, vagy magyarul „igény szerinti videó”, egy olyan szolgáltatást takar, ahol a felhasználó kívánsága szerint érhet el olyan videóanyagokat, amilyeneket akar és

mindezt akkor, amikor akarja. A VoD rendszer vagy élőben biztosítja a kívánt videó megnézését, vagy letölti a felhasználó a *Set-top-box*-ára (továbbiakban STB), lehetővé téve a film vagy videó későbbi megnézését. A legtöbb szolgáltató mindkét lehetőséget biztosítja [1,2,8].

A VoD szolgáltatások más módon működnek, mint a lineáris TV adások. Az IPTV rendszer az előfizető számára egyéni adásfolyamot biztosít, amelyet a megrendelő, akár csak egy videómagnót, megállíthat, vissza- vagy előretekerhet. Az *IPTV middleware* biztosítja a felhasználói felületet és a további elérhető szolgáltatásokat, mint például a hálózati videófelvevőt (Network-based Personal Video Recorder – PVR).

A médiatartalomnak azonban nagy a sávszélesség-igénye és nagyon érzékeny az IP hálózat jellemző hibáira, mint a csomagvesztés és a hálózat késleltetési idejének ingadozása. Akár pár százalékos csomagvesztés is élvezhetetlenné tehet egy filmet vagy TV adást. Biztosítani kell tehát, hogy a hálózat a nagy sávszélesség-igényt képes kiszolgálni minimális hibával. Ehhez azonban a hálózat folyamatos megfigyelésére van szükség, melyet az IPTV hálózatot monitorozó rendszerek végeznek. Ezeknek a rendszereknek élőben kell megfigyelniük a teljes hálózat legfontosabb pontjain a forgalmakat és azok paramétereit, hogy az esetleges hibákat előre jelezni tudják, vagy időben fényt derítsenek rájuk. Egy ilyen IPTV hálózatot monitorozó rendszer azonban drága hardvereket és szoftvereket igényel, melyek csak pár hálózati paramétert képesek mérni és bővíthetőségük módja is nehézkes.

Cikkünk bemutatja az IPTV rendszerek általános felépítését és a felmerülő hálózati hibaparamétereiket, a média továbbítására használt RTP protokollt és a hibaparaméterek mérésének elvi módszereit. Ezt követően ismertetjük a paraméterek gyakorlati megvalósítását, melynek során kitérünk a csomagvesztési arány és a késleltetési idő ingadozásának mérésére [2,8].

2. IPTV rendszerek általános felépítése

Egy IPTV rendszer az alábbi négy fő elemből épül fel:

- TV fejállomás (Video Head End),
- szolgáltatói gerinchálózat (Service Provider Core Network),
- szolgáltatás hozzáférési hálózat (Service Provider Access Network),
- otthoni hálózat (Home Network) a végberendezéssel.

Mindegyik elem általános és gyakori az IPTV szolgáltatók között.

Az 1. ábra csak egy általános ábrázolása az IPTV hálózatnak, a valóságban ennél sokkal több IPTV alrendszer és gyártóspecifikus architektúra létezik, ami ezáltal egyedibbé és komplexebbé teszi az IPTV hálózatokat. Az ábra jól szemlélteti az IPTV hálózat kétirányúságát, ami biztosítja az interaktivitást, amely az IPTV egyik előnye a régi TV szolgáltatásokkal szemben.

Az IPTV hálózat egy úgynevezett SDV (Switched Digital Video – kapcsolt digitális videó) architektúra [3], ami azt jelenti, hogy mindig csak az aktuálisan nézett csatornák vannak a hálózaton, a nem nézett csatornák nem kerülnek be a hálózatba, így sávszélesség marad szabadon. Ez lehetőséget ad a szolgáltatóknak, hogy a szabadon maradt sávszélességet más szolgáltatásokra fordítsák.

Az IPTV hálózaton a jellemző fogyasztói szokás az élő műsor nézése, amely akkor valósítható meg sávszélesség-hatékonyan, ha az ilyen jellegű átvitelt multicast [9,12] módon valósítják meg. Az IPTV esetén a legjellemzőbb multicast megoldás az IP feletti multicast [1]. Az élő műsor mellett igénybe vehető még VoD szolgáltatás is, amely azonban már egyéni kiszolgálású és ezért unicast módon jut el a nézőhöz.

2.1. IPTV fejállomás

Az IPTV hálózatban a videótartalom forrása a IPTV fejállomás. A fejállomáson töltik be és alakítják át a lineáris adást (például a folyamatos TV adást) és az igényelt videót IP hálózaton történő szórásra. A fejállomásra jellemzően üvegszálalás optikán keresztül kerülnek be műholdas, földfelszíni adások, vagy akár szerkesztett műsorok is. A fejállomás feladata, hogy minden egyes bejövő csatornát a megfelelő digitális videó formátumra (pl. MPEG-2, MPEG-4 AVC) kódolja.

A fejállomás az átkódolás után minden élő csatorna jelfolyamát IP csomagokba teszi és szétküldi a hálózatba multicast folyamként. Az élő adások IP csomagjainak

az egyes nézőkhöz való eljutását már a multicast átviteli hálózat oldja meg. Az IP multicast alkalmazásának előnye, hogy TV csatornánként egy folyamat kell csak a fejállomásnak biztosítani nézőszámától függetlenül, még akkor is, ha több ezren kapcsolódnak rá.

2.2. Az IPTV hálózati architektúrája

Az IPTV hálózat alapvetően három különálló szakaszra osztható fel. A *szolgáltató IP hálózatában* történik meg a kódolt videófolyamok csoportosítása és a csatornakiosztás elkészítése. Ez lehet egy már létező IP hálózat, vagy egy, az adások szállítására dedikált IP hálózat. A szolgáltató hálózata a hozzáférési hálózathoz kapcsolódik.

A *hozzáférési hálózat* a szolgáltató és az előfizető közötti összeköttetést biztosítja. Ez a szélessávú kapcsolat különféle technológiákon alapulhat. A távközlési szolgáltatók általában DSL (Digital Subscriber Line) technológiát, a kábeltelevíziós szolgáltatók koaxiális kábelt használnak, de terjedőben van a PON (Passive Optical Network) is. A szolgáltató egy készülék (pl. DSL modem) segítségével teszi elérhetővé hálózatát.

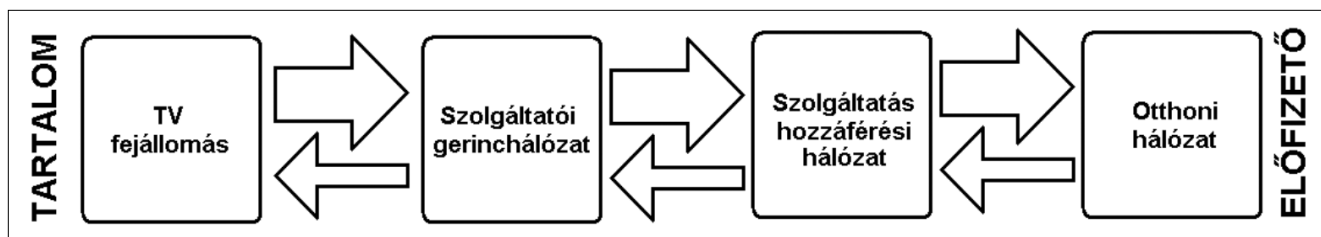
Az *otthoni hálózat* biztosítja az IPTV szolgáltatást az előfizetőnek saját házában belül. A hálózat végpontja az STB (Set-top-box), amihez a TV készülék is kapcsolódik, de a STB tartalmazhatja a hozzáférési hálózathoz szükséges interfészt is.

2.3. IPTV Middleware

Az IPTV *middleware* kifejezés egy olyan szoftvercsomagot jelent, amely lehetővé teszi az IPTV szolgáltatást. Nagyon sok ilyen szoftvercsomag található a piacon, minden gyártó saját, egyedi megoldásaival és szemléletmódjával. A middleware megválasztása erősen befolyásolhatja az IPTV hálózati architektúra felépítését. A middleware leggyakrabban egy olyan kliens-szerver architektúra, ahol a kliens nem más, mint az előfizető otthonában levő STB. A middleware biztosítja az előfizetői élményt, mert ez határozza meg a rendszer és az előfizető közti interakciót. A felhasználói felületért és az elérhető szolgáltatásokért – mint például az EPG (Electronic Program Guide – elektronikus műsorújság) vagy a már említett VoD, a middleware a felelős.

Az IPTV middleware a különböző szolgáltatások irányításához és felügyeletéhez kétirányú hálózati kapcsolatot igényel, amelyet az IP hálózat alapból biztosít. Az IP architektúra könnyen lehetővé teszi bizonyos új szolgáltatások bevezetését, és tulajdonképpen az IPTV is csak egy ilyen új szolgáltatás.

1. ábra Az IPTV hálózat vázlatos felépítése



2.4. Az IPTV átvitel paraméterei

A médiaátvitel szempontjából a szolgáltatásminőség következő paraméterei lényegesek:

Garantált és maximális bitsebesség

(kbit/s)

A garantált bitsebességen lehet a tartalmat adatfolyamként problémamentesen átvinni. A médiakódolás teljes bitsebessége, azaz a videó- és hangcsatornák nyálalás és RTP csomagolás után kiadódó bitsebessége nem lépheti túl ezt a bitsebességet. A garantált bitsebesség mellett a maximális bitsebesség betartása is fontos, mert a médiatartalom változatossága miatt a forráskódolás során a kódoló rövid időszakonként megemelheti a bitsebességet, ezzel azonban nem lépheti túl a maximális bitsebesség értéket.

Maximális átviteli késleltetési idő

(Maximum Transfer Delay, msec)

Ez az érték adja meg a kiszolgáló és az ügyfél közötti maximális késleltetést. Ez az érték befolyásolhatja a multicast csoportba való besorolás idejét is, ami a csatornaváltás sebességét döntően befolyásolhatja.

Csatornaváltás maximális késleltetési ideje

(msec)

E paraméter szorosan összefügg a maximális átviteli késleltetéssel. A TV nézők a csatornaváltáshoz legfeljebb néhány 100 msec reakcióidőt tolerálnak, ami nagyobb kiterjedésű IP hálózaton „távoli” fejállomásról nem oldható meg. Emiatt a csatornaváltást gyakran úgy oldják meg, hogy a váltás után a néző az új csatorna adatfolyamát átmenetileg egy „közelebbi” unicast médiaszerverről kapja, majd a multicast csoportba belépés folyamatának sikeres lezárása után tér csak át a multicast adatfolyam vételére. A megoldás a csatornaváltás időszakában egy redundáns unicast forgalmat generál az adott csatornára nézve, azonban fontos ezt megvalósítani annak érdekében, hogy a hagyományos szolgáltatással megegyező legyen a csatornaváltás késleltetési ideje.

Átviteli késleltetés maximális ingadozása

(Maximum Transfer Delay Jitter, msec)

Ez az érték adja meg a késleltetés ingadozásának maximumát. Ez az érték azért fontos, mert a multimédia adatot egyenletesen kell lejátszani, ezért ezt az ingadozást ki kell egyenlítenie.

Bithiba-arány

(Bit Error Rate, BER $<10^{-3}$)

Ez az érték mutatja meg a meghibásodott bitek és az összes elküldött bitek arányát. Vezetékes IP hálózatban elenyésző a bithiba bekövetkeztének valószínűsége, mert bithiba esetén az UDP fejlécben levő ellenőrző összeg (CRC) hibája miatt a rendszer az egész csomagot eldobja és nem bithiba, hanem csomagvesztés történik. A BER érték javasolt felső határa 10^{-3} , ennél nagyobb értékekre már különösen nehéz a meghibásodások kezelése az IPTV szolgáltatás elfogadhatóvá tételéhez.

Kerethiba-arány

(Frame Error Rate, FER, $<10^{-2}$)

A csatornán megjelenő csomagvesztési arány. Ezen értéknek 10^{-2} alatt kell lennie, hogy a hibavédelmi eljárások hibamentes média megjelenítést tegyenek lehetővé.

Maximális körbefordulási idő

(Maximum Roundtrip Time, msec)

A kiszolgáló és az ügyfél közötti oda-vissza útvonal maximális ideje.

Maximális szolgáltatás kiesési idő

(Maximum Service Loss Time, msec/sec)

Az a legnagyobb időintervallum, ameddig a kiszolgáló és az ügyfél közötti útvonalon nem volt forgalom. Az alacsony érték jelzi, hogy egy-két csomag elveszett, a magas, hogy teljes képek is kimaradhattak. Amennyiben ez az érték több képre is kiterjed, úgy az már elfogadhatatlan szintet jelent a hagyományos televíziós szolgáltatásokhoz képest.

A fentiek szerint az IPTV hálózatban alapvetően két meghibásodási paraméter jelenthet problémát a médiaátvitelnél, a késleltetési idő ingadozása és a csomagvesztés, a többi jelenséget lényegében vagy ezen két értéken belül figyelembe lehet venni, vagy pedig olyan kizáró kritériumban kapnak szerepet, amely nem teljesülése esetén az IP hálózat alkalmatlannak tekinthető az IPTV szolgáltatásra. Például meghatározott videó- és hangformátum esetén a garantált bitsebesség egy bizonyos értéke alatt a hálózat alkalmatlan IPTV szolgáltatásra, ugyanígy nem fogadható el a maximális szolgáltatás kiesési időre a 100 msec nagyságrendtől nagyobb érték sem.

Az átviteli késleltetési idő jelentős ingadozása az IP átvitel jellemző tulajdonsága. Az IP hálózaton az útvonalválasztók a küldendő csomagokat nem küldik tovább azonnal, hanem várakozási sorba teszik, a várakozási sor hossza pedig függ az útvonalválasztó pillanatnyi terhelésétől. Emiatt a két végpont között az egyes csomagok átvitele nem azonos késleltetési idővel történik meg. A csomagok egyedi késleltetési idejét ezen felül befolyásolhatja az is, hogy a hálózat milyen útvonalon továbbítja az adott csomagot. Ezen két jelenség miatt az azonos jelfolyam egymás utáni csomagjainak az átviteli késleltetési ideje ingadozást mutat.

Az IP feletti átvitel során a csomagvesztés az útvonalválasztókban fordulhat elő, többnyire torlódás esetén. Az útvonalválasztók, illetve a csomagkapcsolt átvitel által okozott másik hibajelenség a csomagrend-változás. Mivel mind a csomagvesztés, mind a csomagrend-változás kezelése a csomag sorszámozásával áll kapcsolatban, ezért ezt a két jelenséget együtt tárgyaljuk.

3. Az RTP protokoll

Egy TV hálózat feladata a műsort tartalmazó csomagok továbbítása, és ez a feladat teljesen független a forráskódolástól. Ennek érdekében az IPTV fejállomás a kódolt videó és hangcsatornákat multiplex adatfolyamba csomagolja, legjellemzőbb és legelterjedtebb megoldás a videó- és hangcsatornák átvitelére az MPEG-2 szállítási adatfolyamba (Transport Stream, TS) ágyazás.

A hagyományos digitális médiaátviteli rendszerekben az átvitel lényegében fix késleltetési idővel rendelkezik,

és a csomagvesztés vagy csomaghiba is jellemzően oly alacsony értékű, hogy ezekkel a vevőkészülékeknek külön nem kell foglalkozniuk. Ezzel szemben az IP hálózatokon mind a késleltetési idő ingadozása, mind pedig a csomagvesztés és csomagsorrend változása olyan mértékű, hogy azok kezelése nélkül a vett adatfolyamot elvezethetetlen minőségben lehetne csak lejátszani.

A videó-forráskódolás esetén ismert, hogy a csomagvesztés esetén az elvesztett csomaghoz tartozó kép tartalma jelentős mértékben leromlik és mivel a videó-forráskódolás többnyire képek közötti becslést is alkalmaz, ezért a hibás képből becsült további képek is hibásak lehetnek.

A késleltetési idő ingadozása, valamint a csomagvesztés és csomagsorrendezés kezelése érdekében az IPTV hálózaton még egy további protokollt kell alkalmazni, amely jellemzően az RTP protokoll. Az RTP (Real Time Transport Protocol) [6,7] egyaránt használható szolgáltatásminőséget (QoS) garantáló és azt nem garantáló „best-effort” hálózatban is. Az RTP nevével ellentétben nem foglalkozik szállítással (transzporttal), feladata csupán a valós idejű átvitel segítése, a szinkronizációs információk előállítás és kezelése, valamint a kapcsolat minőségének felügyelete. A szállítást és hibakezelést az alatta levő rétegekre bízta.

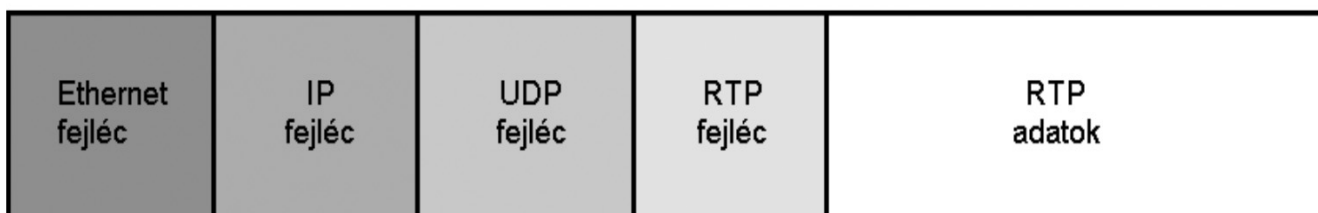
Az RTP-hez tartozik egy társprotokoll, az RTCP (Real Time Control Protocol – valós idejű vezérlő protokoll) [6]. Az RTCP felügyeleti üzeneteket hordoz és minden RTP kapcsolat mellé külön-külön kiépül egy RTCP kapcsolat is.

Visszatérve a napjainkban alkalmazott IPTV megoldásokhoz, a videó- és audióadatokat tartalmazó MPEG-2 TS csomagok RTP csomagokba kerülnek úgy, hogy egy RTP csomag több MPEG-2 TS csomagot is tartalmazhat. Az RTP csomag egy RTP fejlécből és a beágyazott hasznos tartalomból áll, ahol a beágyazás szabályait a fontosabb média formátumokra a megfelelő RFC-k pontosan tartalmazzák, például az alábbiak:

- RFC 2250, RTP Payload Format for MPEG1/MPEG2 Video.
- RFC 3984, RTP Payload Format for H.264 Video.
- RFC 3640, RTP Payload Format for Transport of MPEG-4 Elementary Streams.
- RFC 3016, RTP Payload Format for MPEG-4 Audio/Visual Streams.

Egy Ethernet alapú IPTV megoldásban ezután az RTP csomagok UDP csomagokba, azok IP csomagokba, majd Ethernet csomagokba ágyazódnak, előállítva a hálózatra kész csomagokat. Egy ilyen csomag felépítését láthatjuk a 2. ábrán.

2. ábra Az RTP csomag beágyazódása UDP, IP és Ethernet csomagokba



4. Az RTP forgalom mérésének elvi módszerei

4.1. A késleltetési idő ingadozásának mérése (jitter)

Amennyiben az adatfolyamot az átviteli hálózat csak változó késleltetéssel képes szolgáltatni, a folyamatos késleltetés-változás felborítja a harmóniát a csomagok beérkezési ideje között. Ez változóvá teszi a csomagok követési és beérkezési idejét, sőt akár bekövetkezhet az is, hogy az egyik csomag lemaradjon a nála korábban küldött csomagot, azaz csomagsorrend-változás történik.

Jelölje az i . csomag küldési idejét τ_i , T_i a beérkezési idejét és β_i a hálózati késleltetési idejét. Ekkor a késleltetési idő:

$$\beta_i = T_i - \tau_i \quad (1)$$

A csomagok időbélyeggel vannak ellátva, melyek a küldési időt tartalmazzák a küldő órája szerint, azonban a beérkezési időt a vevő órája alapján kapjuk meg. Ennek a problémának a megoldása az, hogy a vevő oldalon kell mérni az egymás utáni csomagok beérkezési időközzeit, és ezt kell összehasonlítani az időbélyegek szerinti beérkezési időközökkel. Ehhez a vevőnek nyilván kell tartania, hogy a csomagokat mikor kapta meg. Ha ingadozik az átviteli késleltetés, úgy a csomagok beérkezési ideje nem fog megfelelni az RTP-csomagokban szereplő időbélyegek szerinti időkülönbségeknek.

Ha a médiafolyam jittert okozó hálózaton halad át, a csomagok beérkezési ideje lényegesen eltérhet az időbélyegek alapján feltételezhető beérkezési időtől. Ez nehézkessé teheti a lejátszási órajel regenerálását, ami a dekódolóban levő puffer alul- vagy túlcordulásához is vezethet. A J jitter értéke a késleltetési idő maximumának és minimumának a különbsége, vagyis

$$J = \beta_{max} - \beta_{min} \quad (2)$$

ahol β_{max} és β_{min} a késleltetési idő legnagyobb és legkisebb értéke.

Egy B állandó bitsebességű adatfolyamban a jitter kiegyenlíthető egy legalább $B \cdot J$ méretű puffert alkalmazó *leaky bucket* algoritmussal, de amennyiben B is ingadozik, a puffer méretét legalább $B_{max} \cdot J$ méretűre kell beállítani. [5]

A hálózatba belépéskor a csomagokba elhelyezett időbélyeg egyrészt segít a hálózat kimenetén a jitter el-távolításában, másrészt pedig segít a csomagokat újból sorba rendezni. A hálózathoz való kilépéskor tehát vissza-állítjuk az eredeti médiafolyamot és elvégezzük a jittermentesítést. [5]

A késleltetési idő ingadozásának mérése az alábbi autoregresszív algoritmussal [10] valósítható meg:

1) Legyen a jitter pillanatnyi becslése $J_{becsült}$
 2) Amennyiben a t . időpillanatban a t . és $(t-1)$. csomag is rendelkezésre áll, úgy β_t és β_{t-1} is ismert, ezért a jitter pillanatnyi értéke csupán e két késleltetési idő alapján (1) és (2) felhasználásával:

$$J_{t, pillanatnyi} = \beta_{max} - \beta_{min} = \max\{T_t - \tau_t, T_{t-1} - \tau_{t-1}\} - \min\{T_t - \tau_t, T_{t-1} - \tau_{t-1}\} = |(T_t - \tau_t) - (T_{t-1} - \tau_{t-1})| \quad (3)$$

vagy az egymás utáni értékek különbségeként használatos Δ operátorral

$$J_{t, pillanatnyi} = |\Delta T_t - \Delta \tau_t| \quad (4)$$

3) A pillanatnyi jitter alapján a jitter becsülhető egy egyszerű autoregresszív algoritmussal:

$$J_{becsült} = J_{becsült} + \delta \cdot (J_{t-1,t} - J_{becsült}) \quad (5)$$

ahol δ értéke a gyakorlatban tipikusan 0,05...0,1 közötti.

Az algoritmus egy jó elsőrendű közelítést ad a jitter értékére, folyamatosan közelítve azt és kiszűrve az ingadozásokat.

4.2. A csomagvesztési arány mérése

Vezetékes hálózaton az UDP csomagok elvesztésének oka többnyire a routerekben fellépő csomagtorlódás, illetve az ezzel összefüggően túl nagyra nőtt késleltetési idő. UDP átvitel során előfordulhat, hogy egyes csomagok nem érkeznek meg, mások duplikálódás miatt többször is megérkeznek, vagy a csomagok sorrendje megváltozik. Ezen okok miatt vezették be az RTP protokollban a csomagsorszámot. A csomagsorszám ismeretében az alábbi hibák detektálása lehetséges:

- *Csomagvesztés detektálása:*
az adott sorszámú csomag egy bizonyos ideig nem érkezik meg, miközben már kisebb és nagyobb sorszámú csomagok is megérkeztek.
- *Csomagsorrend-változás detektálása:*
a később beérkező csomag sorszáma szerint nem követi, hanem megelőzi a korábbi csomagot.
- *Csomagduplikálás detektálása:*
azonos sorszámmal érkezik meg két csomag.

A csomagvesztési arány meghatározásához az RTP fejlécben lévő csomagsorszám szükséges, vagy hosszútávon erre az RTCP-SR üzenetében lévő csomagszám-láló és bájt számláló is alkalmas.

4.3. A körbefordulási idő mérése

Az interaktív rendszerekben a körbefordulási idő is fontos paraméter, mert ez az idő behatárolja a szerverhez küldött kérés kiszolgálási idejét. RTP protokoll használata esetén a körbefordulási idő mérésehez a vevőnek az adó által küldött *RTCP-SR* (Sender Report) csomagra kell válaszolnia egy *RTCP-RR* (Receiver Report) csomaggal és az üzenetváltás eredményeképpen számítható a körbefordulási idő.

Ha a vevő képes lenne azonnal válaszolni, akkor a körbefordulási idő az adóoldalon egyszerűen mérhető lenne a kiküldött *RTCP-SR* üzenet időpontja és a rá be-

érkezett *RTCP-RR* csomag között eltelt idő alapján. Tehát ideális esetben a körbefordulási idő

$$T_{körbefordulási} = T_{RR_vétele} - T_{SR_küldése} \quad (6)$$

ahol $T_{SR_küldése}$ az *RTCP-SR* üzenet küldésének időpontja az adóban, $T_{RR_vétele}$ pedig az *RTCP-RR* vételi időpontja szintén az adóban.

Mivel azonban a vevő nem képes azonnal válaszolni, így a válasz vevőoldali késleltetését le kell vonni az előbb említett különbségből. A vevőoldali késleltetési időt ($T_{vevő_késli}$) a vevőnek figyelnie kell és továbbítania azt az *RTCP-RR* válaszcsoomagban, így azt az adó képes a körbefordulási idő számításánál figyelembe venni. Ez alapján a (4) kiegészíthető a vevőoldali feldolgozási késleltetéssel az alábbiak szerint:

$$T_{körbefordulási} = T_{RR_vétele} - T_{SR_küldése} - T_{vevő_késli} \quad (7)$$

5. A paraméterek mérésének gyakorlati megvalósítása

A körbefordulási idő gyakorlatban történő mérésére a korábban tárgyalt elvi módszerek használhatók, a csomagvesztési arány és a jitter méréséhez azonban általában más módszer szükséges.

5.1. Csomagvesztési arány mérése a gyakorlatban

A csomagvesztési arányhoz szükség van annak az ismeretére, hogy összesen mennyi csomagot kellett volna megkapni. Ez az adat a csomagsorszámok figyélésével meghatározható, de az *RTCP-SR* üzenetek is tartalmazzák ezt. A valós alkalmazásokban azonban nem minden esetben alkalmazzák az *RTCP-SR* üzeneteket olyan sűrűséggel, ahogy azt a mérés igényelné. Emiatt a csomagvesztési arány mérése az *RTCP*-től független megoldást szoktak alkalmazni, mely képes ezeket az értékeket közvetlenül az RTP adatfolyamból megállapítani.

A csomagvesztési arány kiszámításához egy számlálóra van szükség, mely számlálja a hozzá beérkező csomagokat. A mérés célja pedig az, hogy mérési periódusonként határozza meg a csomagvesztési arányt. Jelölje s_e és s_u a mérési periódus elején beérkező legelső, illetve legutolsó csomag sorszámát. Mivel minden csomagban a csomagsorszám egyel nő, így egy periódus végén e két adatból megkapjuk az $n_{elvárt}$ elvárt csomagmennyiséget:

$$n_{elvárt} = 1 + s_u - s_e \quad (8)$$

A csomagvesztési arányhoz már csak a mérési periódus során beérkezett csomagok számát kell meghatározni ($n_{megkapott}$). Ha eltekintünk a csomagduplikációtól, akkor $n_{megkapott}$ egy számlálóval meghatározható, ellenkező esetben egy megfelelően nagy méretű, bittérkép-ként megvalósított tagsági táblázat felvételével lehet meghatározni. A csomagvesztési arány így

$$\frac{\text{Elvesztett csomagok száma}}{n_{elvárt}} = \frac{n_{elvárt} - n_{megkapott}}{n_{elvárt}} = \frac{1 + s_u - s_e - n_{megkapott}}{1 + s_u - s_e} \quad (9)$$

5.2. A jitter mérése

A jitter pillanatnyi értéke (4) alapján meghatározható lenne, azonban egy külső (nem RTP) alkalmazás számára problémát jelenthet, hogy nem ismert az RTP folyamatban használt időalap, ami függ az átvitt média formátumától. Audió esetén például ez kódolótól függően 8 kHz vagy 16 kHz és általában megfelel az audió mintavételi frekvenciájának, videó esetén az IETF által ajánlott órajel a 90 kHz [7,11]. A videó esetében az időbélyeg órajelének frekvenciáját pont azért választják nagyra, hogy a hálózati jitter érték megfelelő pontossággal meghatározható legyen. Az órajelek ilyen megválasztása azonban csak irányadó, a gyártók ettől eltérő értéket is választhatnak, ráadásul az órajelet akár az adás közben is megváltoztathatják – erről persze az adónak a vevőt valamilyen módon értesítenie kell. Ezekből kifolyólag van szükség az órajel folyamatos meghatározására.

Ez a probléma úgy oldható meg, hogy meg kell határozni az RTP csomagban szereplő ismeretlen időalapú időbélyegeket és a mérőegység órája közötti kapcsolatot. A két időalap közötti letérés általában egy α meredekségben és egy δ eltolásban jelentkezik az eltérés. Ezáltal az i . csomagnál a mérő alkalmazás órája szerinti τ_i küldési idő és az RTP fejlécben szereplő TS_i időbélyeg között az alábbi kapcsolat áll fenn:

$$\tau_i \approx \alpha \cdot TS_i + \delta \quad (10)$$

A pillanatnyi jitter értéke így (4) és (10) felhasználásával az alábbiak szerint alakul, ha (10) esetében egyenlőséget feltételezünk:

$$J_{t, pillanatnyi} = |\Delta T_t - \Delta \tau_t| = |\Delta T_t - \alpha \cdot \Delta TS_t| \quad (11)$$

továbbá a (10) összefüggésre alkalmazva az egymás utáni értékek különbségeként használatos Δ operátort, az alábbi összefüggés adódik ki

$$\Delta \tau_i \approx \alpha \cdot \Delta TS_i \quad (11)$$

A (10) és (11) azt mutatja, hogy a Δ operátornak köszönhetően a δ eltolás már nem kap szerepet, ezért a mérés során csak az α meredekség meghatározása a feladat.

A (11) majd az (1) összefüggések alapján azt kapjuk, hogy

$$\alpha \approx \frac{\Delta \tau_i}{\Delta TS_i} = \frac{\Delta T_i - \Delta \beta_i}{\Delta TS_i} = \frac{\Delta T_i}{\Delta TS_i} - \frac{\Delta \beta_i}{\Delta TS_i} \quad (12)$$

A (12) alapján jobban látszik a körülbelüli egyenlőség lényege, ami abban áll, hogy ha α értékét két különböző időpontban értékelnénk ki az addigi adatok alapján, akkor két nagyon közeli vagy gyakorlatilag egyenlő számot kapnánk, amelyek azonban elvileg nem azonosak.

Ez a (12) összefüggésben úgy jelenik meg, hogy a $\frac{\Delta T_i}{\Delta TS_i}$ tag tartalmazza az ideális α értéket, amelyet akkor tudnánk azonnal kimérni, ha a hálózaton nem lenne késleltetésingadozás, azaz a második tag értéke 0 lenne. Az ideális α érték meghatározható például abban az esetben, ha feltételezzük, hogy a hálózaton $\Delta \beta$, azaz a késleltetésingadozás várható értéke 0, ami gyakorlatilag teljesül. Ezzel a feltétellel tehát

$$\alpha_{ideális} = E \left\{ \frac{\Delta T}{\Delta TS} \right\} \quad (13)$$

A (13) meghatározható úgy, hogy elegendően sok egymás utáni $\frac{\Delta T_i}{\Delta TS_i}$ mintát véve kiszámítjuk az α tényező empirikus várható értékét, azaz

$$\alpha_{ideális} \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\Delta T_i}{\Delta TS_i} \quad (14)$$

A gyakorlatban problémát jelenthet az N darab előző minta tárolása, ekkor a várható érték autoregresszív módon is számítható, azaz:

$$\alpha_{i, becsült} = \alpha_{i-1, becsült} + \eta \left(\frac{\Delta T_i}{\Delta TS_i} - \alpha_{i-1, becsült} \right) \quad (15)$$

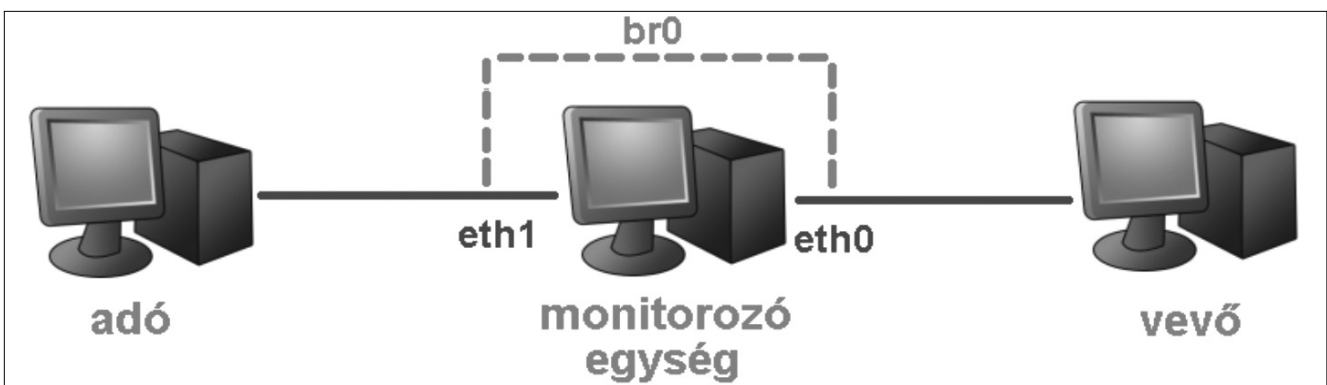
ahol η egy jellemzően 0.01 érték körüli konstans és $\alpha_{i, becsült}$ jelöli az i -ik lépésben érvényes becslését az α tényezőnek.

A (15) összefüggés alapján már számítható a (11) összefüggésben szereplő $\Delta \tau_i$, és ezután (4) és (5) képletekkel megkapható a jitter pillanatnyi becsült értéke.

6. Kísérleti eredmények, tapasztalatok

A késleltetésingadozás mérésére közölt algoritmus vizsgálatát valós laboratóriumi környezetben is elvégeztük. A mérési elrendezést vázlatosan a 3. ábra mutatja be.

3. ábra A méréshez használt elrendezés



A forgalmi adatokat monitorozó egység egy két há-
lózati kártyával rendelkező számítógép volt, melyen De-
bian Linux alatt futott a jitter mérését végző mérőeszköz.
A monitorozó egység bridge-ként (az ábrán *br0* névvel
jelölve) működött, ahol az egyik interfészről a másikra (az
ábrán ez az adó→vevő irányú forgalomnál *eth1*, illetve
eth0) átmásolt csomagokat elemzés céljából megkapta
a monitorozást végző processz is. A tesztelés során a
program a mért adatokat egy, a monitorozó egységen fu-
tó adatbázisban tárolta.

A mérés során az RTP adatfolyamot az adóban a Vi-
deoLAN lejátszó [13] állította elő, melynek a nyálabolási
formátuma MPEG-2 Transport Stream volt, a videó-forrás-
kódolás MPEG-2 videó, az audióé pedig „MPEG-1 Audio
Layer III. A vevőn a dekódolás vagy lejátszás szintén a
VideoLAN lejátszóval történt. A kidolgozott mérőmodul
tartalmazta a jitter, a csomagvesztés és a sáv szélesség
mérését, ezen módszerek közül a jitter mérését végző
egység működése csak az érdekes.

6.1. A valós idejű jitter-mérő és az off-line kiértékelés eredményeinek összehasonlítása

Az összehasonlítás párhuzamos mérésen alapult, va-
gyis egyetlen 1600 kbit/sec-os bitsebességű RTP forgal-
mat mértünk, melyet a monitorozó egység és a vevő pár-
huzamosan figyelt. A monitorozó egységen a jitter értékét
a mérőmodul mérte és a mért értékeket adatbázisba írta.
A jitter méréséhez az (5) képletnél δ értékére 0.06, a (15)
képletbeli η esetén pedig 0.008 értékeket használtunk.

A vevőoldalon a jitter értékét úgy határoztuk meg, hogy
csomagonként rögzítettük az RTP folyamat a vételi idő-
vel együtt, ezután off-line kiszámoltuk az átlagos késlel-
tetést és kiértékeljük az ingadozását úgy, hogy az off-line
módszernél ismertük a 90 kHz-es referencia órajel értékét.

A 4. ábra megmutatja, hogy a (15) összefüggés alap-
ján működő algoritmus milyen pontossággal volt képes
az órajel értékek becslésére. Látható, hogy ugyan a leg-

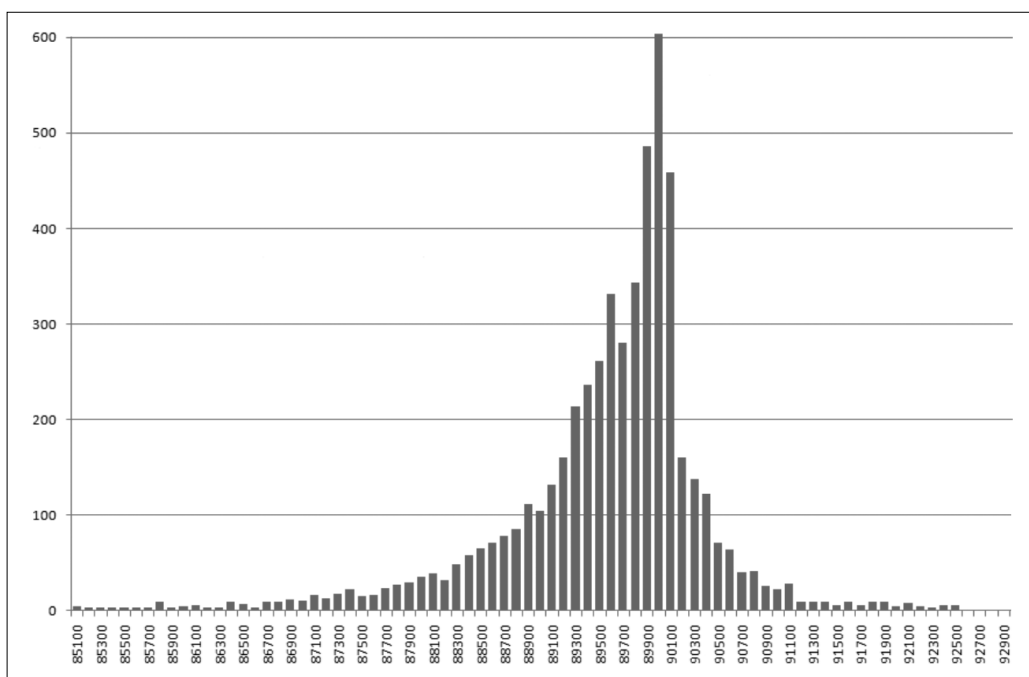
magasabb értéket a 90 kHz mutatja, de jelentős szám-
ban fordultak elő a 89 kHz és 91 kHz közötti értékek is.
Ennek a mérésnek ott van jelentősége, hogy ennek alap-
ján lehet csak a (11) képletet alkalmazni, ami emiatt a becslés
miatt már csak közelítőleges pontosságot ad, és az
on-line jitter mérésnél alkalmazott (4) és (5) összefüggé-
sekben ezt a közelítő értéket tudjuk figyelembe venni.

Az off-line mérések során kapott jitter értékeket az 5.
ábra, a bemutatott módszeren alapuló valós idejű mérés
eredményeit 1 másodperces mérési periódus mellett pe-
dig a 6. ábra mutatja be.

A két ábra összehasonlításából látszik, hogy a valós
idejű jitter mérés lényegében jól adja vissza az optimális
off-line kiértékeléses algoritmus eredményeit. A két mód-
szer által kimutatott időbeli változás lényegében meg-
egyező, a különbség ebből a szempontból csak az idő-
alap finomsága és az off-line algoritmus kezdeti értéke-
nek (0-ik másodperc) bizonytalansága. A mért értékek
nagyságának tekintetében pedig az figyelhető meg, hogy
a valós idejű algoritmus az autoregresszív becslés miatt
kissé kisimítja az értékeket, ami mind a lokális átlag fe-
letti értékeknél, mind pedig a lokális átlag alatti értékek-
nél az átlag felé módosítja azokat, vagyis a kiugróan ma-
gas értékek kevésbé magasak, és az átlagtól kisebb ér-
tékek is kevésbé lesznek kisebbek.

7. Összefoglalás

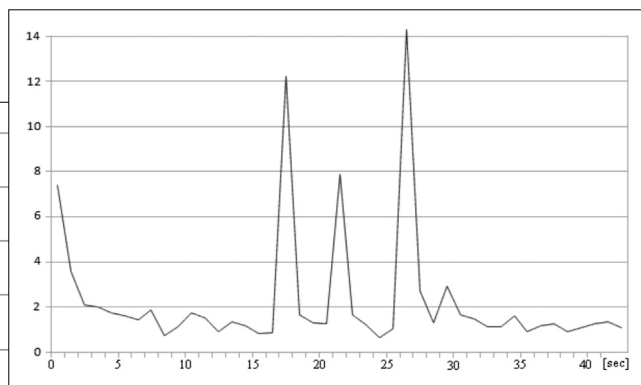
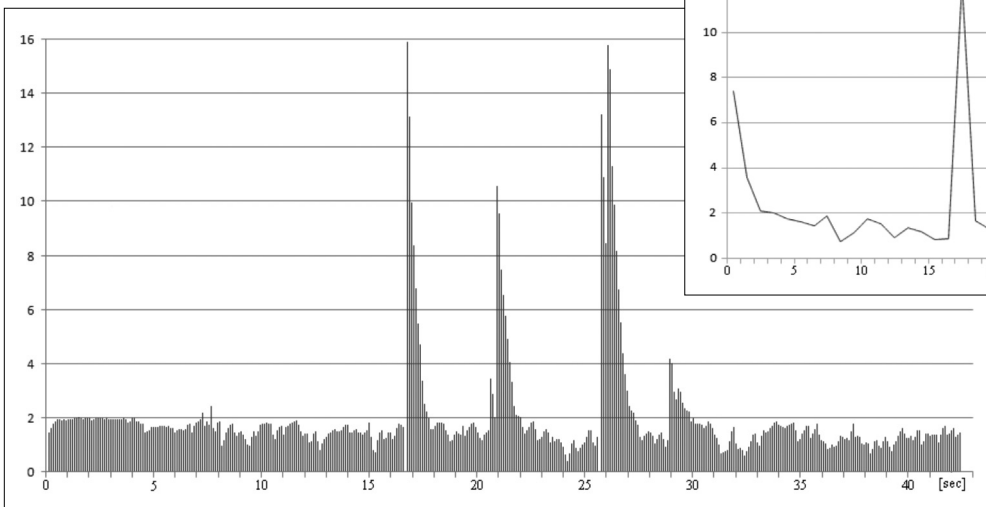
Az IP hálózat bizonyos működési paraméterei jelentő-
sen befolyásolhatják az IPTV szolgáltatás minőségét.
Ezen paraméterek mérése ezért mind a médiaátviteli al-
kalmazások számára, mind pedig a hálózat tervezése és
üzemeltetése szempontjából fontosak. A cikkben bemu-
tattuk a videó-adatfolyam átvitele szempontjából kritikus
IP hálózati paramétereket, ismertettük azok alapvető mé-
rési módszereit, valamint a két legfontosabb paraméter,



4. ábra
A megfigyelt RTP
időbélyegek alapján
a becsült órajel értékek
hisztogramja
100 Hz pontossággal

5. ábra

Az off-line mérés alapján kapott jitter értékek [msec] az idő függvényében



6. ábra
Valós idejű mérés alapján kapott jitter értékek [msec]

a csomagvesztési arány és a jitter mérésére mutattunk be egy-egy egyszerű gyakorlati módszert.

A jitter mérésének gyakorlati megvalósításához egy olyan módszert ismertettünk, amely több részadatot egyszerű becsléssel határoz meg a pontos, de lényegesen komplexebb megoldással szemben. A módszer alapján kifejlesztett mérőeszköz folyamatosan, valós időben képes a jitter értékek meghatározására lényeges tárkapacitás igény nélkül, miközben az off-line módszer csak a rögzített forgalmon képes meghatározni a jitter értéket és több menetben határozza meg a paramétert, ami memóriai igényes és valós mérésként nem használható.

A szerzőkről



LOIS LÁSZLÓ 1971-ben született Tatabányán. 1995-ben okleveles mérnök-informatikus diplomát szerzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, majd 2005-ben ugyanitt szerezte meg a PhD fokozatát. 1998 óta a BME Híradástechnikai Tanszékén dolgozik, jelenlegi beosztása egyetemi adjunktus. Fő kutatási területe többek között a videó- és hangjelek forráskódolása és átvitele műsorterjesztő és adatátviteli hálózatokon.

Irodalom

- [1] BSF – Broadband Services Forum, IPTV Explained – Part 1 in a BSF Series. <http://www.broadbandservicesforum.com/images/Pages/IPTV%20Explained.pdf>
- [2] <http://en.wikipedia.org/wiki/IPTV>
- [3] Breznick, A. (2008), A Switch in Time: The Role of Switched Digital Video in Easing the Looming Bandwidth Crisis in Cable. IEEE Communications Magazine, 46 (7), pp.96–102.
- [4] SYSTIQUE. IPTV, <http://wiki.hsc.com/IPTV>
- [5] Lois L., Sebestyén Á., „Hibajavító kódolás IPTV hálózaton”. Kutatási jelentés, BME Híradástechnikai Tanszék, 2008. szeptember.
- [6] Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., Jacobson, V., „RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications”, RFC 3550, July 2003.
- [7] Schulzrinne, H., Casner, S., „RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control”, RFC 3551, July 2003.
- [8] Palotás, G. (2006/1). Multimédia szolgáltatások IP hálózatokon: Triple Play. Híradástechnika. LXI (2), pp.6–11.
- [9] Lois L. (2007/9) Videós szolgáltatások megvalósítása adatátviteli hálózatokon. Híradástechnika, LXII (5), pp.35–48.
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Autoregressive_moving_average_model
- [11] Real-time Transport Protocol (RTP) Parameters. Clock rates. <http://www.iana.org/assignments/rtp-parameters>
- [12] <http://en.wikipedia.org/wiki/Multicast>
- [13] VLC media player website. <http://www.videolan.org/vlc/>