

IPTV műsorszórás és annak méréstechnikája vezeték-nélküli és HFC hozzáférési hálózatokban

IPTV Broadcasting and its Measurement Techniques in Wireless and HFC Access Networks

Radiodifuzare IPTV și tehnici de măsurare în rețele cu acces fără fir și HFC

¹KILIK Roland, ²FARKAS András László

¹egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem Automatizálási
és Kommunikáció-technológiai Tanszék, Miskolc, Magyarország
kilik@mazsola.iit.uni-miskolc.hu

²HLR tesztmérnök, Nokia Siemens Networks, Magyarország
farkas.andras.laszlo@gmail.com

ABSTRACT

In the paper the authors introduce the reader to a test system – that is made by the authors in different access networks – and a real IPTV broadcasting system, and then the analyzation of those systems is shown, along with the measurement of the QoS parameters. The authors try to put emphasis on the IPTV QoS, as the parameters of the environment how much affect it both at the provider and the subscriber side.

ÖSSZEFOGLALÓ

Cikkünkben két általunk – különböző hozzáférési hálózatok – kialakított tesztrendszert, valamint egy éles IP televíziós rendszert mutatunk be, majd foglalkozunk e rendszerek működésének vizsgálatával és a szolgáltatás-minőségi paraméterek mérésével. Munkánk során megpróbáltunk rávilágítani arra, hogy az eltérő közegeken mérhető hálózati jellemzők milyen hatással vannak az IPTV szolgáltatás minőségére mind szolgáltatói, mind előfizetői oldalról.

Kulcsszavak IPTV, hozzáférési hálózat, vezeték-nélküli hálózat, HFC (Hibrid Fiber Coax), DOCSIS, QoS, MDI

1. BEVEZETÉS

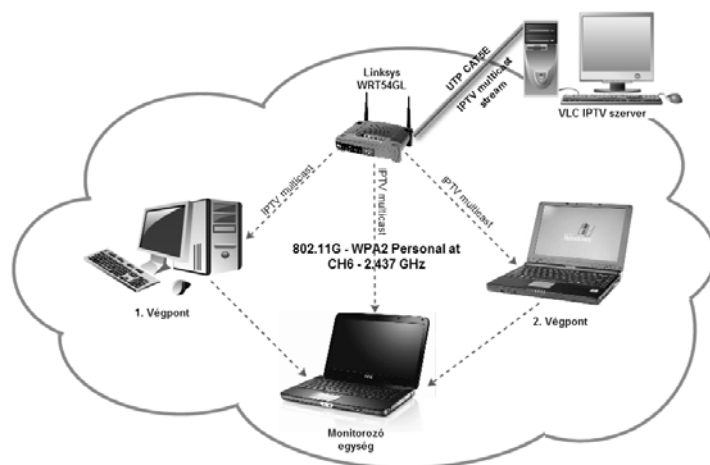
Az IPTV-szolgáltatás műszaki szempontból alapvetően két nagy kihívással néz szembe. Az egyik a képminőség, a másik a rendelkezésre állás vagy megbízhatóság. Ezek garantálásához elengedhetetlen a stabil és QoS biztosított hozzáférési hálózat, amely – célszerűen – a szolgáltató hálózatának az előfizetőkhez közvetlenül kapcsolódó része.

A hozzáférési hálózattal szembeni legfontosabb elvárások: nagy felhasználó-sűrűségű és kiterjedésű szolgáltatási terület lefedésére legyen alkalmas, a szükséges sáv szélesség allokálása megoldott legyen az adott adatfolyam számára, lehetőség legyen a megfelelő QoS paraméterek biztosítására, valamint IPTV szempontból fontos az is, hogy a multicast adatforgalom kezelése optimálisan megoldott legyen. Szükséges továbbá olyan hálózatmonitorozó és mérőrendszerek alkalmazása, melyek a szolgáltatáshibákat valós időben jelzik az üzemeltetőknek. Bizonyos paraméterek mérése mind a média-átviteli alkalmazások számára, mind pedig a hálózat tervezése és üzemeltetése szempontjából fontos.

A megvalósítás és a mérések három hozzáférési-hálózaton történtek, DOCSIS 3.0-ás HFC hálózaton, illetve 802.11n és 802.11g szabványú vezeték-nélküli hálózatokon.

2. VEZETÉK NÉLKÜLI IPTV MÉRÉSEK LABORKÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT, ÁTLAGOS FELHASZNÁLÓI ESZKÖZÖKKEL

Első méréseink során azt vizsgáltuk, hogy egy alacsony árkategóriájú, „kommersz” felhasználói eszközökből álló végponti vezeték nélküli szegmensnek (1. ábra) milyen jellemzői vannak az IPTV átvitel tekintetében, illetve hogy ezen eszközök mennyire jelentenek szűk keresztmetszetet a minőség szempontjából.



1. ábra
Tesztrendszer

Az IPTV szerver feladatát egy asztali számítógép látta el, melyen az adatfolyam szórását a nyílt forráskódú VLC playerrel oldottuk meg. Egy előre rögzített 10 perces, ~2000 kbit/s bitsebességű adást szórtunk a szerver gépről routeren keresztül, multicast-os címre. A vezeték nélküli adó funkcióját egy Linksys WRT54GL típusú wireless router töltötte be, melyen elsőként néhány, a vezeték nélküli kapcsolatot gyorsító és javító, illetve multicast beállítást kellett eszközölni. Ezek a következők:

- Az internet forgalmat megszüntettük a hálózatban, így a megfigyelés során az esetleges internetről bejövő csomagok, valamint a kéretlen internetes kommunikáció nem lehet zavaró tényező.
- A tűzfalon engedélyeztük a multicast áteresztést, így a kliensek csatlakozni tudtak a multicast adatfolyamhoz. (Allow Multicast)
- A szervergépnél és a klienseknél statikus IP címet adtunk, hogy a különböző DHCP folyamatok ne zavarjanak a megfigyelésben.
- A Ch6-os csatornát választottuk a vezeték nélküli kommunikációra – elkerülendő az interferencia miatti jelgyengülést – mivel ez volt a környéken elérhető hálózatok tekintetében a legkevésbé használt.
- Afterburner (enable): Ez egy, a 802.11g szabvány Broadcom általi kiterjesztése, amely kompatibilis a minősített 802.11b/g eszközökkel is, azonban az ugyanezen kiterjesztést használó eszközökkel 125 Mbps átviteli sebességre képes.
- Frame Burst – keretösszefogás (enable)
- Multicast Rate (54 Mbit/s „only G” módban)
- Preamble (short): a preamble-t rövidre állítottuk, tovább gyorsítva ezzel az átvitelt.
- Transmit Power (84 mW): Az átviteli teljesítményt az alapértelmezett 42 mW-hoz képest megdupláztuk, mellyel jelentősen javult a kapcsolat minősége.
- WMM (kliens és szerver oldalon is engedélyezve)

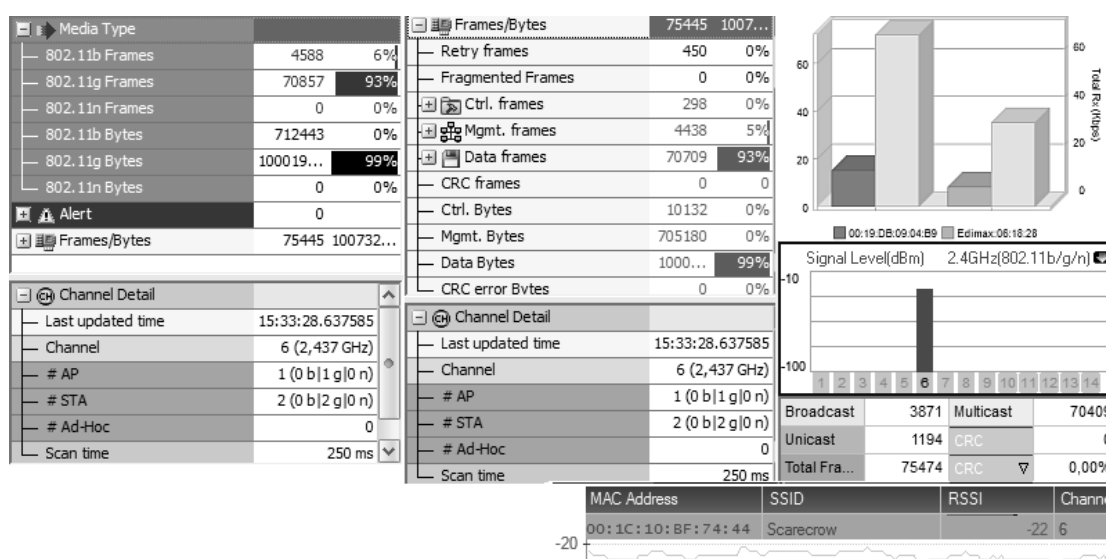
Ezen opciókról további információk és részletek a routeren használt Tomato Firmware hivatalos honlapján olvashatóak. [1]

2.1. Validálás a monitorozó egységen

Az adatfolyamot és a hálózati paramétereket több programmal monitoroztuk párhuzamosan: Wireshark programmal vizsgáltuk a stream csomagok struktúráját, valamint folyamatos „capture” módban rögzítettük a beérkező csomagokat. A monitorozó gépen és a tesztvégpontokon ClearSight Analyzer, Airmagnet valamint InSSIDer programokkal figyeltük a stream minőséget, valamint a permanensen változó hálózati paramétereket.

Mivel a vezeték nélküli jel erősségét mérő programok mind a laborkörülmények közötti, mind a későbbi távolsági-terepi vezeték nélküli méréseink fontos alapját adták, így ezek működését korábban a monitorozó egységen validálnunk kellett. Itt mindenképpen megjegyzendő, hogy a monitorozó egység az adótól mindössze 1 méter távolságban volt.

Elsőként az Airmagnet programot üzemeltük be, melynek az a különlegessége, hogy nem csatlakozik fel a monitorozandó hálózatra, mint külső „szemlélő” analizálja azt. Így külső mérési pontként sikerült monitoroznunk a komplett kapcsolatot, és annak jellemzőit. A program indításakor kiválasztható, hogy melyik frekvencián, és melyik csatornát szeretnénk monitorozni, mely esetünkben a 2.4 GHz 6-os csatornája volt „only G” módban. A csatorna megfelelő megválasztására azért is célszerű odafigyelni, mivel a mérési helyszín környezetében hasonló csatornán üzemelő vezeték-nélküli hozzáférési pontok interferenciát okozhatnak, ami jelentősen befolyásolhatja a mérés pontosságát. A 2. ábrán láthatóak a validálás során mért csatorna kihasználtsági adatok, kereteloszlások, valamint a vezeték nélküli vételi jelerősség (RSSI) dBm-ben kifejezve [2]. Az Airmagnet skálája körülbelül -20 dBm-et mutat, – mely a vezeték nélküli hálózatoknál jellemzően a „kiváló” tartományban van – azonban az InSSIDer nevű program (2. ábra) a gyakorlati tapasztalatok alapján, a jelerősség mérése tekintetében érzékenyebbnek bizonyult, így annak dokumentálására a továbbiakban azt alkalmaztuk. A 2. ábrán a vett keretek száma és típusa is látható, továbbá megfigyelhető, hogy e keretek 99%-a multicast. A broadcast és unicast keretek az adóra rácsatlakozni próbáló külső eszközöktől és a menedzsment keretekből adódnak.



2. ábra
Csatorna-kihasználtsági adatok

2.2. Media Delivery Index

Az MDI (Media Delivery Index) a QoE-re (Quality of Experience) próbál mérőszámot adni, a hálózat paramétereire alapozva. Az index általában két, kettősponttal elválasztott értékből, a késleltetési faktorból (DF – Delay Factor), illetve a médiavesztési rátából (MLR - Media Loss Rate) áll (DF:MLR).

A késleltetési faktorthoz elengedhetetlen a jitter fogalmának tisztázása, mely a késleltetés időbeli ingadozását jelenti. A jitter optimális szinten tartásának bevált módja a pufferek alkalmazása, melyek mérete azonban pontos megválasztást igényel. A túlzottan kisméretű puffer túlsordulhat, a túl nagy pedig többek között túl nagy késleltetést okoz, azáltal, hogy lassan telik meg az ebből dolgozó dekódoló vagy továbbító egység számára. Belátható, hogy mindkét jelenség a QoE csökkenéséhez vezet. A DF értéke [3] azt mondja meg, hogy hány másodpercenyi adatot kell, hogy tartalmazzon a puffer a jitter kiküszöbölésére. Fontos mérőszám a megérkezett-elvesztett csomagok száma (δ), valamint a késleltetési faktor.

$$DF = \frac{(\max(\delta) - \min(\delta))}{\text{média_ráta}} \quad (1. \text{ egyenlet})$$

Ennek elfogadható értéke függ az adott eszköztől, például attól, hogy az adott set-top-box mennyire tolerálja a jittert. Kijelenthető azonban, hogy 50 ms alatt kell, hogy legyen, és sok esetben a 9 ms-ot sem haladja meg.

A médiavesztési ráta ezzel szemben az elveszett vagy sorrendhibásan érkezett csomagok másodpercenkénti számát jelöli (ez utóbbi, azaz a sorrendhibás érkezés is fontos érték, mivel az esetünkben alkalmazott

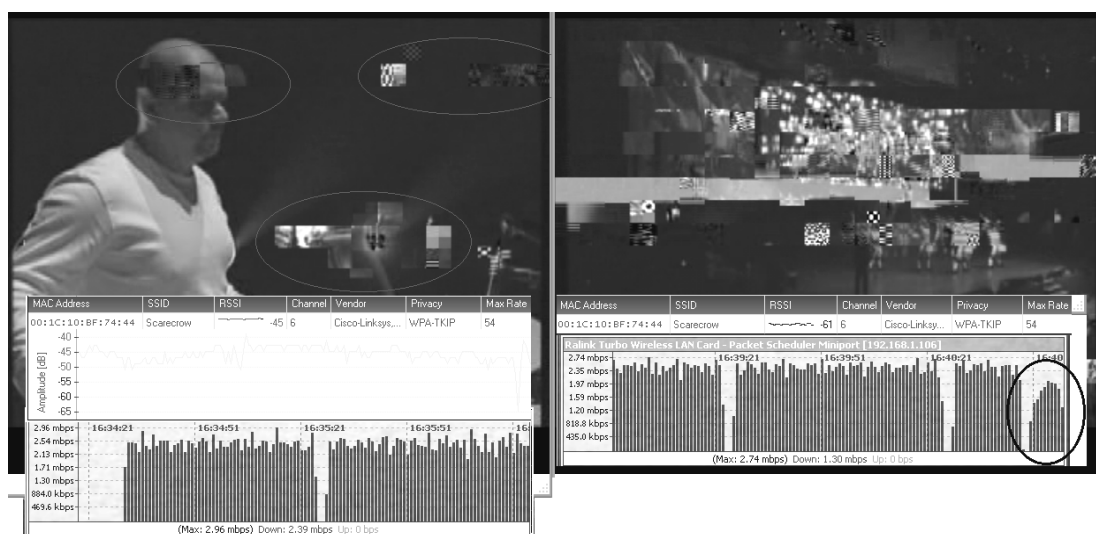
UDP protokoll nem alkalmaz sorrend helyreállítást). Ennek egy még elfogadható értéke SD adás esetén körülbelül 0.004 lehet.

A fentiek alapján egy tipikus MDI érték lehet például 4:0.004, mely 4-es DF értéket, és 0.004 MLR értéket jelent.

Korábbi kísérletek azt mutatták (és a mi méréseink is ezt igazolták), hogy már kisszámú csomag elvesztése is okozhat észlelhető hibát, illetve, hogy a felhasználók inkább tolerálják az időszakos, de nagyobb hibákat (és az ennek megfelelő MDI értéket), mint a gyakori kisebbeket.

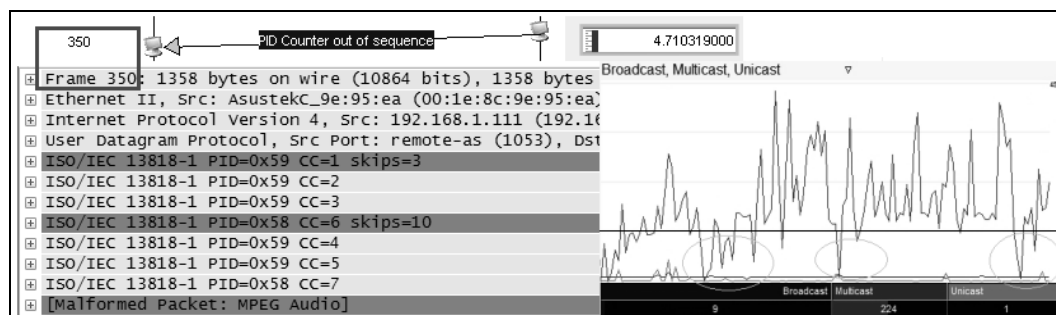
2.3. Egyes számú tesztpont

Az egyes számú tesztpont az adótól 12 méter távolságban helyezkedett el egy másik helyiségben, nem tiszta rálátással, viszont egy külső antennával volt ellátva. Megjegyzendő, hogy 1 fa- és 2 üvegajtó is elválasztotta az adótól ezt a végpontot. Ezek elsőként nyitva voltak, majd csukva, ezzel is jelentős pluszcsepplést okozva. A 3. ábra bal oldalán látható, hogy az RSSI (Received Signal Strength Indication - Vételi térfőrség indikátor) értéke nyitott ajtóknál -40 dB és -50 dB tartományon mozog. Ekkor az adás relatíve stabilnak mondható, elsőtőrtan észlelhető némi blokkosodás, illetve minimális hangakadás.



3. ábra
1. Tesztpont RSSI

Műsorszórás közben egy hálózatsebesség mérőt is futtattunk, mely valós időben mutatta az adatsebesség ingadozását. Így látható az összefüggés az adatkapcsolat romlása és a képminőség romlása között. Ezt követően tesztelésekppen az eddig nyitott ajtókat becsuktuk, ekkor a jelszint leromlott -60 és -70 dB közötti tartományra, és az adás nézhetetlenné vált (3. ábra jobb oldala). A következő, 4. ábrán grafikonos formában is megfigyelhető az adatkapcsolat minőségének ingadozása becsukott ajtók esetében. A fentiekből kifolyólag sikerült bemérni a 350. keretnél egy megnövekedett „delta time” követési időt a ClearSight Analyzerrel. Párhuzamosan Wireshark-kal mérve az is látható, hogy ez a megnövekedett követési idő milyen *continuity counter* [4] hibákat okoz ugyanezen keretben. Ezt az adatfolyamot minőségi paraméterek alapján a Clear Sight Analyzer az első táblázatban látható eredménnyel értékelte.



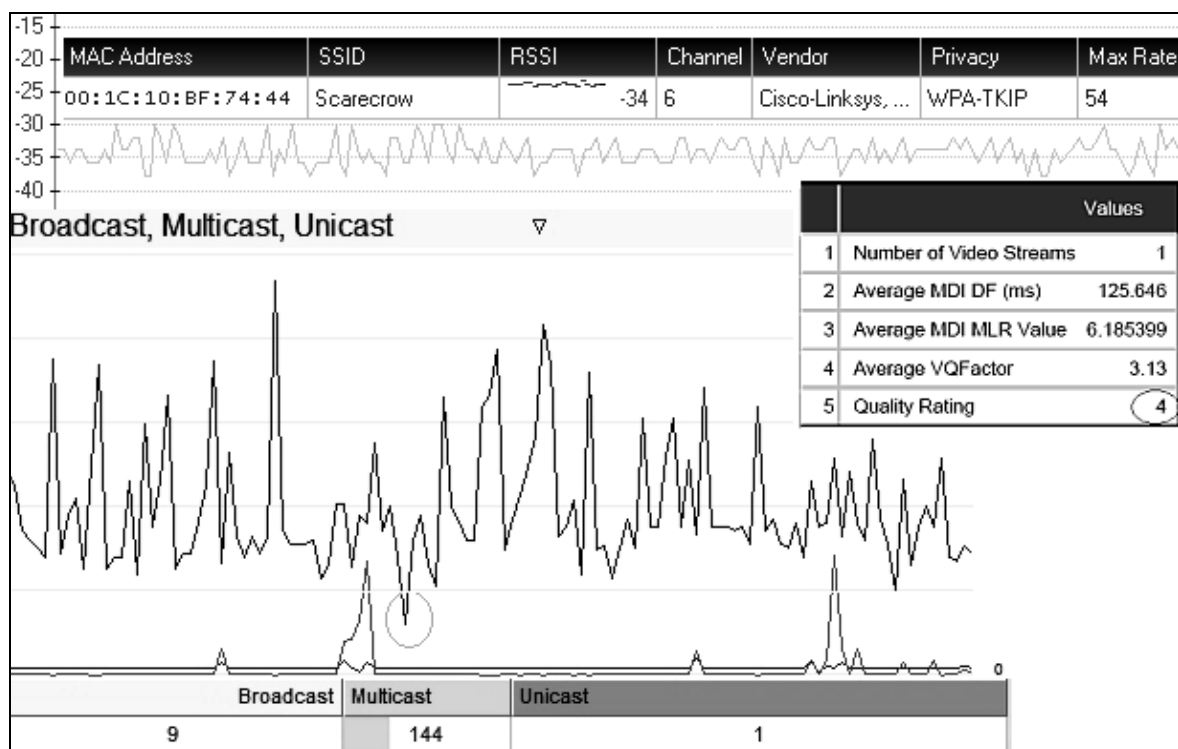
4. ábra
Continuity Counter (CC) hiba

33 (MP2T) Video Quality Overview

	Values
1	Number of Video Streams 1
2	Average MDI DF (ms) 96.991
3	Average MDI MLR Value 9.917308
4	Average VQFactor 2.92
5	Quality Rating 3

2.4. Kettes számú tesztvégpont

A kettes számú végpont az adótól 2 méter távolságban helyezkedett el tiszta rálátással, és az alábbi jel-szintet mértük rajta (5. ábra):

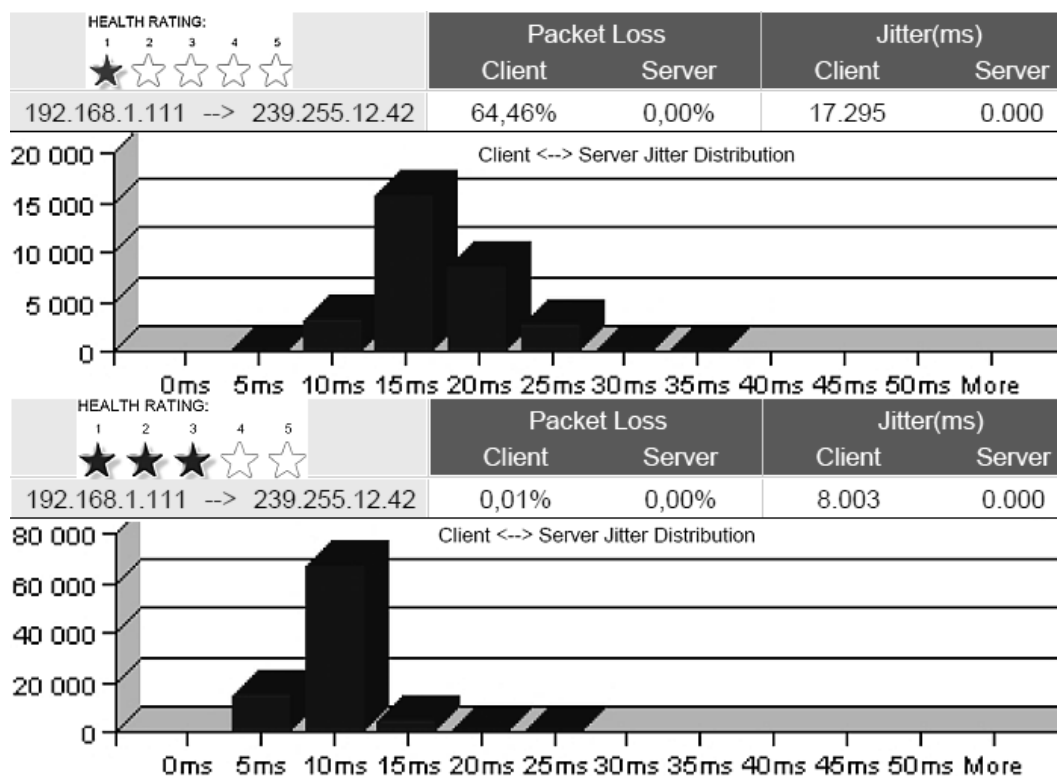


5. ábra
2. Tesztvégpont RSSI

Az ábrán látható, hogy a multicast csomagok – tehát az adatfolyam – vonatkozásában csak egyszer estünk a kritikus érték alá, amelyet a grafikon alsó harmadában lévő fehér vonal jelöl. Ez a kritikus érték egy szubjektív megállapítás, és saját megfigyelésen alapszik. Méréseink során azt tapasztaltuk, hogy amikor a multicast csomagok száma ezt a szubjektív alsó határt eléri vagy átlépi, akkor történik blokkosodás az adásban. Természetesen az adótávolság csökkenésével párhuzamosan az RSSI értéke jelentősen javult, és csak egyetlen esetben történt blokkosodás. Megállapítható, hogy mind a paraméterek tekintetében, mind pedig a *quality rating* tekintetében javulás figyelhető meg az előző méréshez képest.

2.5. QoS teszt

A Quality of Service opciók [5] ki- illetve bekapcsolásával is végeztünk különböző méréseket, így egyértelműen látható, hogy ezen beállítások mennyire fontosak a médiaátvitel számára. Ugyanazon jelerősség mellett a következőképpen alakulnak a minőségi paraméterek a QoS beállítások meglétének függvényében (6. ábra):

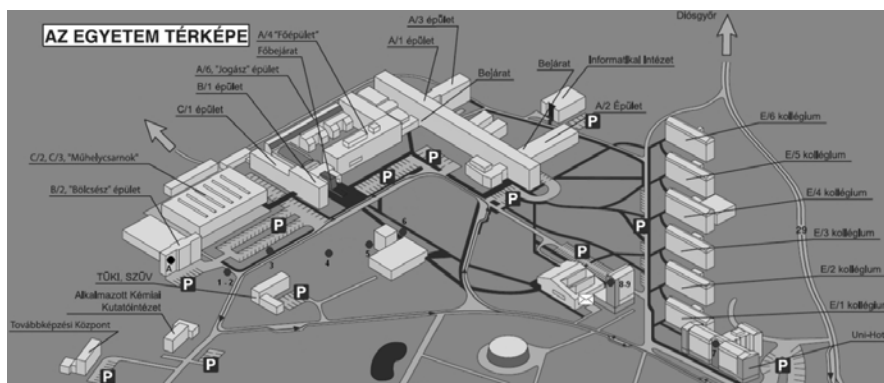


6. ábra
Médiaátvitel QoS nélkül és QoS-sel

3. VEZETÉK NÉLKÜLI IPTV MÉRÉSEK TEREPEN, FÉLPROFESSZIONÁLIS ESZKÖZÖKKEL

A Miskolci Egyetem Automatizálási és Kommunikáció-technológiai tanszékének tulajdonában lévő CableWorld digitális műsorszóró fejállomás és Ubiquiti félprofesszionális vezeték nélküli eszközök lehetőséget adtak egy, az előző méréshez hasonló, ám komolyabb terepi-távolsági méréssorozat lefolytatására.

A mérőprogramok validálása laborkörülmények között megtörtént, így a terepi méréseket már ezen információk birtokában kezdtük meg. Adóeszközeink használatakor azonban egy nem várt problémába ütköztünk, mivel a szóráshoz használt adóeszköz bizonyos firmware verziók esetében nem megfelelően támogatta a multicast-os adatfolyamot, ami a Wireshark programmal való folyamatos monitorozásunk során (illetve az adatsebességek nem várt változása kapcsán) vált egyértelművé. A csomagok a multicas-os 1.0.5e.x.x.x. MAC cím helyett, hibásan a céleszköz MAC címét tartalmazták. Ezen problémát azonban megfelelő firmware alkalmazásával, és mélyebb szintű egyedi eszközbeállításokkal sikerült orvosolnunk. Ezt követően körülbelül 10 ponton történt mérés. A mérési pontok helye a következő (7.) ábrán, az eredménye pedig az azt követő táblázatokban látható.



7. ábra
Egyetemi mérési pontok

A térképen az „A”-val jelölt pont a szerver és az adó helyét mutatja. Számozott pontokkal jelöltük továbbá a mérési helyeket. A mérési helyszínek egy részéről Wireshark-kal elfogott csomagok álltak rendelkezésre az analízishez. Az alábbi (2.) táblázat tartalmazza a csomagokból visszafejtett adatokat, illetve a valós idejű mérési adatokat:

A vett csomagokból visszafejtett adatok. 2. táblázat

	Laboron belüli (A)	(5)	(6)	(8)	(9)
Távolság az adótól (m)	15	250	320	700	750
Jelszint (dB)	-27	-60	-61	-63	-65
IP multicast frames	157914	157073	333821	28510	121636
Transaction Throughput (kbps)	14305.342	27495.434	27963.721	14453.061	15484.450
Avg Packet Size	1362	1362	1362	1362	1362
Codec	33 (MP2T)	33 (MP2T)	33 (MP2T)	33 (MP2T)	33 (MP2T)
Mpeg-2 I Frames	501	502	1052	89	354
Percentage	8.35	8.34	8.3	8.26	8.27
Mean size	62468	28012	31101	63134	60970
Mpeg-2 P Frames	1500	1506	3175	270	1070
Percentage	25.0	25.0	25.06	25.06	25.0
Mean size	29865	31963	31260	31075	33504
Mpeg-2 B Frames	3999	4008	8440	718	2855
Percentage	66.65	66.62	66.62	66.66	66.72
Mean size	24208	29150	29519	23911	27260
Continuity count error	228	238	75	143	139
Max interval (ms)	127.712	355.868	235.750	13.736	3532.730
Mean interval (ms)	0.610	7.489	0.443	0.790	0.702
Min interval (ms)	0.001	0.001	0.002	0.003	0.001
Max latency (ms)	126.942	355.463	12.792	12.993	12.900
Max VQFactor	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63
Mean VQFactor	4.55	41002	3.60	41008	4.00
Max jitter (ms)	9.333	23.808	0.920	1.037	9.423
Mean jitter (ms)	0.560	0.867	0.097	0.197	0.497
Max MDI DF(ms)	710.483	435.645	244.160	102.904	6724.464
Mean MDI DF(ms)	43.894	33.835	9.681	21.033	589.463
Min MDI DF(ms)	0.724	0.776	7.052	2.071	55.196
MDI MLR	13.768087	113.181568	201.895568	14.330504	24.768335

A további helyszíneken tesztelés céljára rögzített transport stream-ből dolgoztunk. Így kevesebb egzakt adat nyerhető vissza mint a csomagokból, ezért a 3. táblázatba a kinyert adatok mellett az általunk definiált szubjektív értékelést is felvittük.

Szubjektív értékelés. 3. táblázat

	Távolság az adótól (m)	Speciális körülmény	Jelszint (dB)	Szubjektív képminőség	Avg audio/video MOS	Avg video bandwidth (mbit/s)	Avg GOP length	Max PCR jitter
1.	50	~	-49	ritkán kockásodik	4,31	6,58	12	19,56
2.	50	fa mögül	-61	kockásodik, szaggat	3,08	4,95	10	170,44
3.	100	parkoló, autók között	-65	nézhető, hang akadozik	4,29	6,25	13	22,88
4.	180	fém emlékmű előtt	-53	nézhető	4,31	6,48	14	22,19
5.	250	kövek takarnak	-59	néha szaggat, nézhető	4,12	6,64	17	18,31
6.	320	fák takarnak	-67	kockásodik	3,89	6,28	14	92,31
7.	900	5 emelet magasan	-67	néha szaggat, nézhető	4,04	4,69	15	36,68

Konklúzióként megállapítható, hogy kisebb teljesítményű és átlag-felhasználói hálózati elemekből is kialakítható viszonylag stabilan működő multicast-alapú vezeték nélküli IPTV hálózat. Ez a hálózat azonban nagyon érzékeny a különböző árnyékoló akadályokra, távolságra és a hálózati eszközök minőségére, beállításaira. Különböző QoS beállítások viszont sokat javítanak a kapcsolat minőségén. Jellemzően, tiszta rálátással 1-2 MPEG-2 kódolású SD minőségű csatorna vihető át hibamentesen e körülmények között, amely szám félprofesszionális eszközök használatával (egy adóval) 5-6-ra nő (természetesen MPEG-4 kódolás esetén a csatornaszám mindkét maximális értéke sokkal nagyobb, akár kétszeres is lehet).

4. MÉRÉSEK A HFC RÁDIÓFREKVENCIÁS ÉS IP RÉTEGÉBEN

Munkánk során lehetőségünk nyílt egy meg nem nevezett magyarországi szolgáltató DOCSIS 3-as HFC hálózaton működtetett IP televíziós rendszerének megtekintésére. Ekkor felmerült, hogy a vezeték nélküli IPTV-s átvitel mellett célszerű lenne egy más jellegű, hibrid átviteli technológiát alkalmazó hálózaton is méréseket végezni fejállomás és végpont tekintetében is. Ennek kapcsán engedélyt kértünk egy regionális fejállomás megtekintésére, és ott néhány mérési feladat elvégzésére a rádiófrekvenciás és az IP rétegben egyaránt. E mérések eredményeit, és folyamatát ismertetjük cikkünk ezen részben. Kitérünk a HFC feletti IPTV továbbítás szempontjából kritikus spektrális és konstellációs jellemzők vizsgálatára, valamint szimuláljuk és teszteljük, hogy egyes RF és DOCSIS átviteli paraméterek romlása milyen hatással van az IPTV minőségére. Bemutatjuk a rendszer alapvető mérési módszereit, mérőeszközeit valamint a legfontosabb mérhető paramétereket.

4.1. A fejállomás rendszertechnikája

A mérések megértéséhez elengedhetetlen egy rövid bevezető a fejállomás és a HFC rendszertechnikájáról. A bejövő jel trónkhálózaton érkezik az optikai fogadókártyákkal ellátott Cisco 7604 receiver routerbe (OSR), majd szintén optikán megy tovább a Cisco uBR 10012 CMTS-ek (Cable Modem Termination System) felé, melyek a teljes EuroDocusis 3.0-as előre- és vissz irányú működését irányítják. Az RF átalakítást a Cisco RFGW-1 végzi, a Time Creator pedig az időresek szinkronban tartásáért felel. A *kipatchelt* koax kábelek a fejállomási rendezőkbe érkeznek, ahol szegmentálás és moduláció után ismét optikai jelként táplálják a 2-10 km távolságban lévő optikai vevőket (ONU). [6]

4.2. Mérések a bejövő (IP) vonalon

Elsőként az optikán bejövő adás minőségét vizsgáltuk. Ezt a mérést a 7604-es OSR-re helyezett iTVSense MiniProbe M-170 speciális IPTV monitorozó eszközzel végeztük. Az adás szinte tökéletes minőségűnek bizonyult. A vesztett és duplikált RTP csomagok száma végig konstans 0 volt, illetve egy CC hiba sem keletkezett, valamint a PCR (Program Clock Reference) jitter is tökéletes értéket mutatott (<40ms). A méréseket a délelőtti órában végeztük, de főműsoridőben nagyobb terheltség alatt sem észlelhető hiba, azonban a CMTS-en a megnövekvő terhelés hatására vesztett RTP csomagok és CC hibák jelentkeztek. Ezt a CMTS firmware-ének hibája okozza, mely nem optimálisan kezeli a terheléelosztást (Load Balancing), és ezáltal túlterhelik a processzort. Jelenleg is folynak a hiba kiküszöbölésére irányuló szegmentációs munkálatok.

4.3. Mérések az előreirányú (DS) és vissz irányú (US) RF síkon

Miután a bejövő adatfolyam minőségét ellenőriztük, a kimenő rádiófrekvenciás mérések következtek. Ezeket a méréseket a Sunrise Telecom AT1601M típusú monitoring egységeivel végeztük. Ezek már előre beszerelve és konfigurálva rendelkezésre álltak.

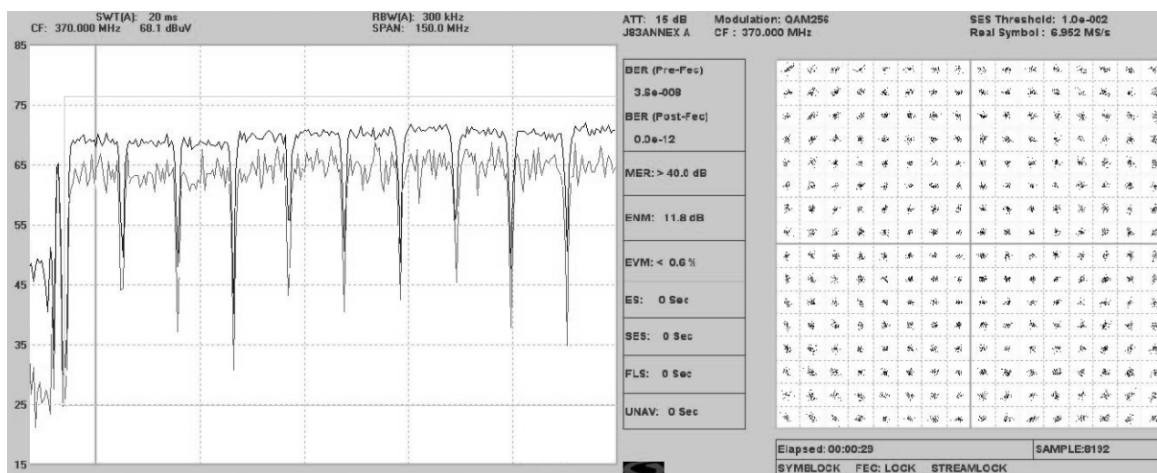
Az eszköz monitorozó felülete a WinRemote II licencelt programmal és web-böngészőből is elérhető. Ezekkel különböző előreirányú (DS) és vissz irányú (US) spektrális méréseket illetve konstellációs vizsgálatokat végeztünk több ONU-n (Optical Node Unit) is.

A 8. ábrán az ONU modemekkel való előreirányú kommunikációja látható 370MHz-en. Internetes kommunikációra a rendszer a 370, 378, 386, 394 MHz-es frekvenciákat használja, melyből a 370 MHz a vészfrekvencia.

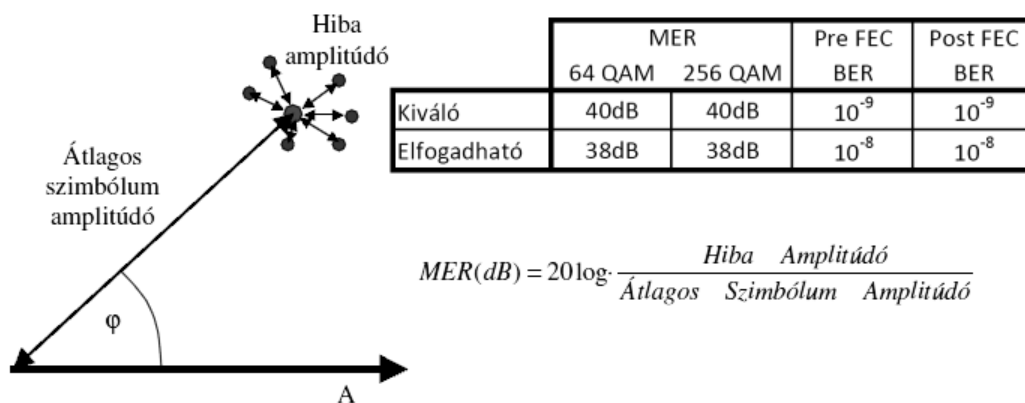
A frekvenciatartomány nem képes fázisinformációk visszaadására, ezért egy egyszerű spektrumképpel nem kapunk értékelhető információt a vivő amplitúdójáról és fázishelyzetéről. Ezt az információt az ún. „konstellációs” méréssel vizsgáltuk meg. Látható, hogy a vivőfrekvencia QAM256-tal van modulálva.

A digitális előreirány mélyrehatóbb vizsgálatára a MER (modulációs hibaarány) és BER (bit hibaarány) mutatókat használtuk [7]. A modulációs hibaarány az egyes szimbólumok (amplitúdó- és fázishelyzet) eltérését mutatja az ideális helyzettől (9. ábra). Minél nagyobb az eltérés, annál biztosabb, hogy hibásan detektálja a

vevő a digitális szimbólumot. A MER, vagy másként a „digitális jel-zaj viszony” sokkal informatívabb mutató a bithiba aránynál.



8. ábra
DS 370MHz

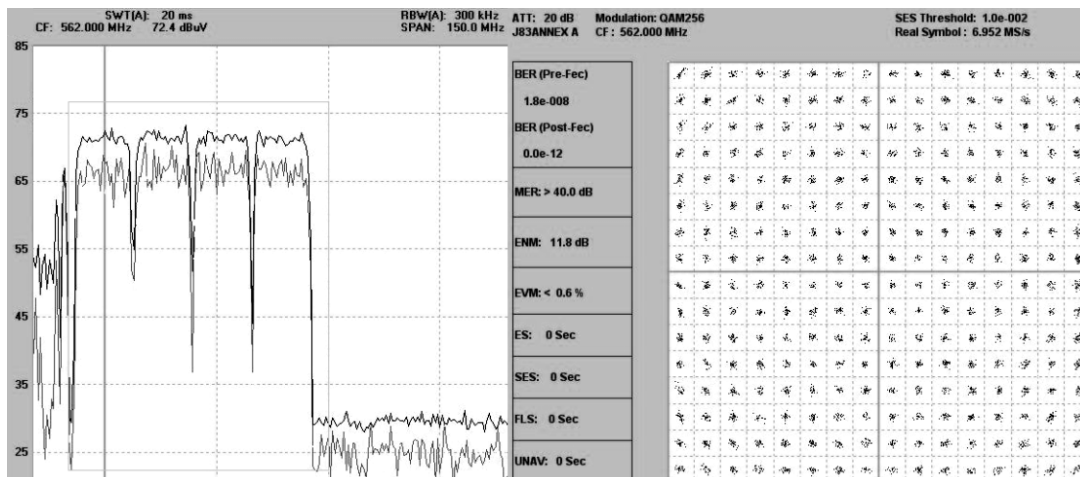


9. ábra
MER értelmezése

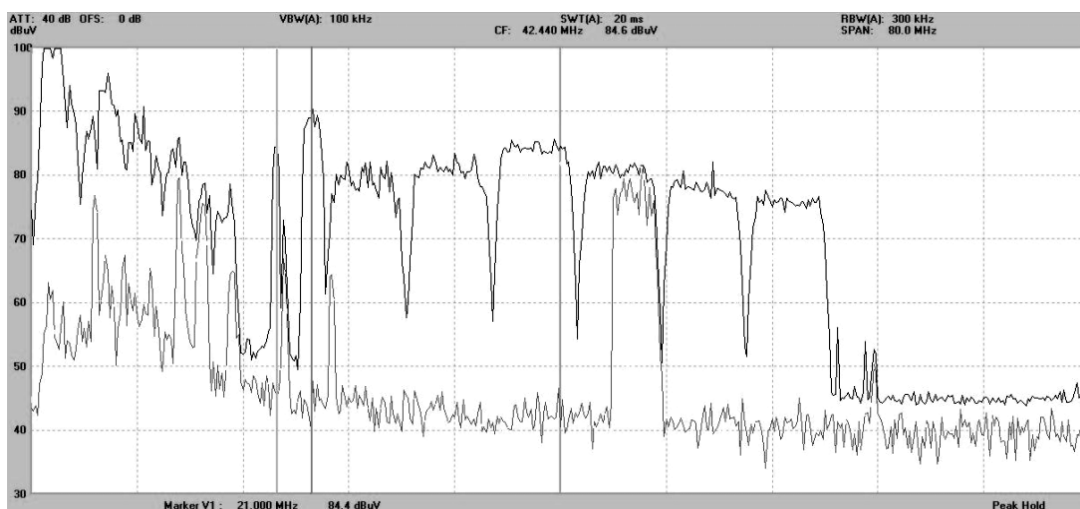
A BER a QAM szimbólumokból visszaállított és hibajavított bitsorozatban előforduló hibákat számolja. Értéke egyre romló jel-zaj viszonyok mellett is viszonylag stabilan jó, egészen addig, amíg a detektált szimbólumokból a megnövekvő zaj miatt már nem lehet helyreállítani a bitsorozatot és összeomlásszerűen bekövetkezik az átvitel megszakadása. A modulációs hibaarányon ezzel szemben folyamatosan tükröződnek a QAM jelben végbemenő torzulások. A digitális adatátvitel esetében (ONU-nál) az elfogadható határértékeket a 9. ábra táblázata mutatja. A mért adatok közül a MER értéke tökéletes, a BER értéke is a még elfogadható tartományba esik. A konstellációs diagramon sem láthatóak súlyos hibák.

A következő mérés az IPTV vezérfrekvenciájára irányult, amely DS 562MHz-en van. Az IPTV-s adatfolyam átvitelére a rendszer az 562, 570, 578, 586MHz-es frekvenciákat használja. Az alábbi (10. ábrán) a mért spektrumkép, a konstellációs diagram, és a hibaarányos jellemzők láthatóak.

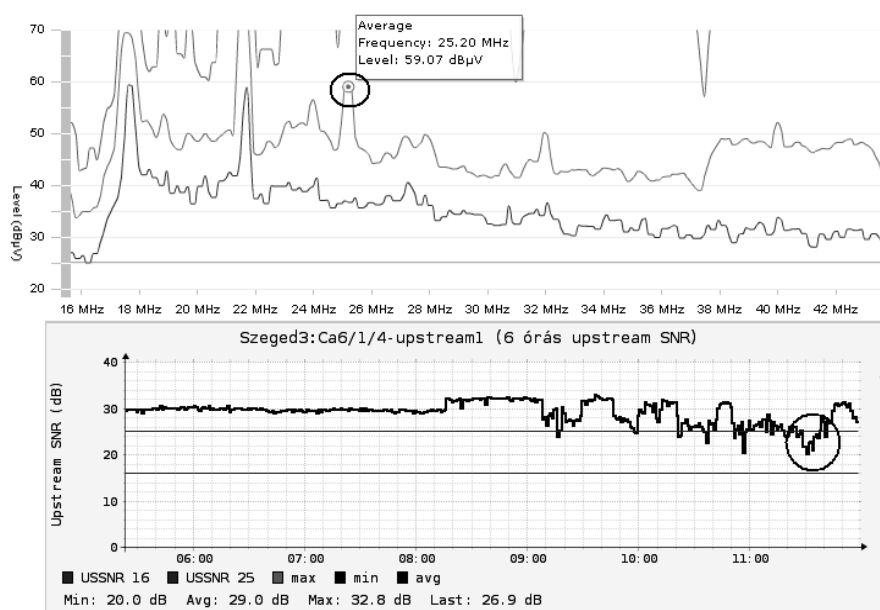
A hálózaton visszirányú méréseket is végeztünk. A spektrumanalizátor maximum tartás üzemmódjában megkereshetjük a zajbeszivárgásokat és meghatározhatjuk a visszirányú csatorna sáv szélességét is. A kábelmodemek adásának jelszintjét és jel-zaj viszonyát ún. zero-span üzemmódban lehet megmérni. Itt gyakorlatilag csak egy frekvencián, az idő függvényében mértünk. A 11. ábrán a modemek visszirányú kommunikációjának spektrális képe látható. A sáv alján egyrészt egy minimális ingress (bejövő) zaj látható, amely még normál tartományúnak mondható. Ilyen mértékű ingress zajt egy sérült árnyékolású kábel vagy egy korrodálódott csatlakozó is okozhat. A 21 és 25 MHz körüli „tűskék” azonban jelentős SNR romlást okoznak a visszirányú csomagokban, ezt a jelenséget sikerült méréssel is bizonyítani. Ezt a 12. ábra szemlélteti.



10. ábra
DS 562MHz



11. ábra
US 42.440MHz tűskével



12. ábra
US-SNR romlás

KONKLÚZIÓ

A vezeték nélküli IPTV műsorszórás általunk összeállított lehetséges rendszerével kapcsolatban konklúzióként megállapítható, hogy kisebb teljesítményű és átlag-felhasználói hálózati elemekből is kialakítható viszonylag stabilan működő multicast-alapú vezeték nélküli IPTV hálózat. Ez a hálózat azonban vezeték nélküli voltából adódóan nagyon érzékeny a különböző árnyékoló akadályokra, távolságra és a hálózati eszközök minőségére, beállításaira. Különböző QoS beállítások viszont sokat javítanak a kapcsolat minőségén. További fejlesztési lehetőséget képvisel például a vezeték nélküli közegre optimalizált digitális televíziós adatfolyamok alkalmazása, mely a sáv szélességigényt csökkenti, ezt pedig fel lehet használni a kapcsolat megbízhatóságának további javítására is. Rendszerünkben jelenleg tiszta rálátással 1-2 MPEG-2 kódolású SD minőségű csatorna vihető át hibamentesen egy 20 megahertzes frekvenciatartományon, amely csatornaszám félprofesszionális eszközök használatával 5-6-ra nő, illetve szélesebb frekvenciatartomány (akár több adóeszköz általi) használata esetén ennek megfelelően nő a továbbítható csatornák száma. Ezen adatok MPEG-2 kódolás esetén értendők, MPEG-4 kódolás alkalmazása esetén a továbbítható csatornaszám emiatt is másfélszeresére nő.

A HFC hálózat feletti méréseink konklúziójaként kimondható, hogy hasonlóan a vezeték nélküli IPTV szórásnál tapasztaltakhoz, ez esetben is a hozzáférési közeg rádiófrekvenciás része a hálózat szempontjából leginkább kritikus szegmens. A rádiófrekvencia nagy „ellensége” a zaj és az interferencia. Méréseink során az adás egészen a felhasználó modeméig rádiófrekvencián továbbítódik codeword-ok formájában, így nagy hangsúlyt kell fektetni mind a szerver oldali, mind a kliens oldali zajosodás elkerülésére, és az elvesztett kód-szavak pótlására vagy esetleges javítására. A szolgáltató által IPTV továbbítására használt magas előreirányú frekvenciatartomány valamint a QAM 256 moduláció nagy hibatűréssel bírnak. Előremutató hibajavítással pedig 3bit hiba javítható egy 32 bites kódszóban. Az IP réteg belső hibák az RTP protokollnak köszönhetően viszonylag jól detektálhatók, továbbá a SetTopBox beépített logikájának és a hálózatban lévő cache szervereknek (Dserver) köszönhetően pótolhatóak. A mérés során feltárt terhelésselosztási hiba egy kritikus pontja volt a rendszernek, ám ezt kijavították, és a méréseink bizonyították, hogy a hiba teljes mértékben elhárult.

A HFC megoldás így messzemenően stabilabb adást és akár 100 SD minőségű valamint 50 HD minőségű csatorna továbbítását is lehetővé teszi, viszont egy nagy lefedettségű és stabil hálózat kiépítésének költsége milliárdos nagyságrendet is elérhet. Ezzel szemben a vezeték nélküli mód költségkímélőbb lehet olyan helyeken, ahol nincs kiépített hálózat (akár gerinchálózat kiépítése is elképzelhető vezeték nélküli átlövessel) illetve ahol a mobilitás az elsődleges szempont.

IRODALOM

- [1] Tomato firmware magyarul
http://hu.wikibooks.org/wiki/Tomato_firmware_magyarul#Wireless_3
- [2] WildPackets - Converting Signal Strength Percentage to dBm Values
http://www.wildpackets.com/elements/whitepapers/Converting_Signal_Strength.pdf
- [3] Agilent Technologies - "IPTV QoE: Understanding and interpreting MDI values", Whitepaper
<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-5088EN.pdf>
- [4] Walter Fischer, Digital Video and Audio Broadcasting Technology - A Practical Guide for Engineers, 2d ed. Berlin: Springer, 2010, pp. 80.
- [5] Dongyu Qiu, "On the QoS of IPTV and Its Effects on Home Networks"
International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, vol. 2010, Article ID 253495, May. 2010.
- [6] Magyar Telekom belső műszaki dokumentációk
- [7] Sunrise Telecom DOCSIS seminars
<http://docsis.beckittrue.com/seminars/>
- [8] Roland Kilik, Kane Amadou: Wireless IPTV in practice
ICCC Carpathian Control Conference (IEEE), Velke Karlovice, May 25-28., 2011.