

# Mérési segédlet

## Kommunikációs hálózatok 2: IPTV mérés

v1.0

BME TMIT 2021

### Tartalomjegyzék

1. Bevezető .....	2
2. IPTV alapok .....	3
3. IP Multicast .....	3
4. IPTV adatfolyam áttekintés .....	7
5. MPEG-2 Transport Stream.....	8
6. IPTV szolgáltatást érintő hálózati metrikák .....	12
7. Vételi oldali playout puffer .....	13
8. Csatornaváltás .....	13
9. Ellenőrző kérdések.....	14

A mérést összeállította:

Orosz Péter, BME TMIT

A távoktatási tapasztalatok alapján kicsit átdolgozta: Németh Krisztián, BME TMIT

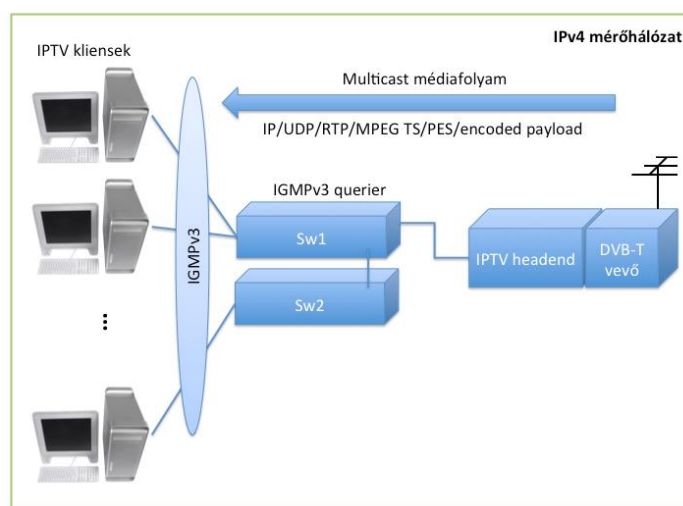
## 1. Bevezető

E mérés célja, hogy a hallgatók megismerkedjenek az Internet Protocol Television technológia (IPTV) hálózati vonatkozásaival, különös tekintettel a multicast alapú IP csomagtovábbításra és a szolgáltatásminőségi garanciák hálózati vonatkozásaira. A mérést elvégzők megismerkednek a multicast IP átvitel, az IPTV videofolyamok továbbítására alkalmazott módszerekkel és protollokkal, valamint méréseket végeznek a szolgáltatást jellemző főbb hálózati paraméterek és a szolgáltatásminőség meghatározásához.

E segédlet összefoglalja a szükséges elméleti hátteret, mely egyben kiegészítő anyag az előadásokhoz is. A mérés előtt kell elolvasni.

### Távolléti mérés

A mérés jelen változata a koronavírus-járvány miatti távoktatásra készült a korábbi, jelenléti mérés átdolgozásával. Az 1. ábrán látható a jelenléti oktatás esetében használt mérési elrendezés.<sup>1</sup>



1. ábra. A mérési elrendezés jelenléti mérésnél

Egy DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) vevőegység fogadja valós időben a földfelszíni digitális TV-adást, melyet egy Linux kiszolgáló (mint IPTV headend) dolgoz fel és készít valós idejű videofolyamot belőle, az IPTV szolgáltatás technológiai követelményeinek megfelelően. Ez az adatfolyam azután a multicast (IGMPv3) támogatással rendelkező Ethernet kapcsolókon keresztül a hallgatók által használt labor-PC-khez jut.

A távolléti mérésben mindezt úgy alakítottuk úgy, hogy egy hallgatói PC-hez eljutó hálózati forgalomnak egy rövid (kb. 100 másodperces) előre rögzített szelete alapján kell megválaszolni az ehhez adaptált kérdéseket. Persze mindez nem olyan, mint élőben nézni a tévét Wiresharkon át, cserébe lehet pizsamában is mérni...

<sup>1</sup> Csak hogy tudják, mit nem mérnek...

## 2. IPTV alapok

Az IPTV alapjainak megértéséhez érdemes átnézni az előadásdiákat is. (Amennyiben a mérés elvégzésekor a 2021-es IPTV előadás még nem hangzott el, akkor a tavalýit, amely a <http://w3.tmit.bme.hu/kh2/> oldalon található.)

Egy rövid összefoglaló az IPTV szolgáltatásokról:

- Live TV – élő TV- és rádióadás továbbítása IP hálózaton
- Video on Demand – videotéka (TV műsorok, filmek, sorozatok, stb.)
- Digital Rights Management (DRM) – tartalmak jogi és technikai védelme
- Electronic Program Guide (EPG) – elektronikus műsorújság
- Teletext
- Élő adás felvétele (kliens oldal)
- Kép a képen (PiP) - A nézett TV adás képernyőjén (jellemzően valamelyik sarokban) egy másik csatorna műsoráról kis méretű képet jelenít meg a rendszer
- Time shifting - időeltolós lejátszás (élő műsor rögzítése és késleltetett sugárzása/lejátszása)
- Egy időben több felvétel + élő adás (az internet szolgáltatás sávszélessége korlát lehet)
- Programozott felvétel műsorújság alapján
- Alkalmazások futtatása (hírek, időjárás, árfolyamok, üzenetküldés, stb.)

## 3. IP Multicast

A médiatartalmak IP hálózaton történő továbbítására kétféle terjesztési modell terjedt el széles körben. Az első modellben mindenki igénye alapján kezdeményezi a tartalomszolgáltatónál különböző tartalmak megtekintését. Ez a Video on Demand (VoD) rendszer. Ilyen szolgáltatást nyújt pl. a Youtube, Netflix, Hulu, TV.GO, IPTV szolgáltatók, légitárságok (fedélzeten), stb. Ebben az esetben a szolgáltatónak a felhasználóhoz egyedileg kell eljuttatnia adott időben adott tartalmat. Ennek megfelelően dedikált unicast médiafolyamokat kell továbbítani a kiszolgálótól minden egyes kliens csomópontig. Az unicast adattovábbítás erőforrásigénye közel lineárisan skálázódik, ezért az előfizetői/aktív nézői szám növekedését követnie kell a szerver- és hálózati oldalon rendelkezésre álló erőforrásoknak (CPU, memória, sávszélesség). Ebben a terjesztési modellben a legnagyobb kihívás az időszakos csúcsterhelések kezelése.

A második modellre jó példa az az eset, amikor egy TV csatorna lineáris műsorát kell eljuttatni az előfizetőkhez IP alapon. Ebben az esetben lehetőségünk nyílik arra, hogy az adott TV csatorna aktív nézőit logikai csoportokba szervezve egyetlen adatfolyamot továbbítsunk a csoport számára, függetlenül a tagok számától. Ez a modell rendkívül jó skálázhatóságot biztosít, hiszen a hálózat feladata, hogy minden csoporttaghoz eljuttassa a médiafolyamot, viszont speciális, multicast IP útválasztást igényel. Itt fontos megemlíteni, hogy multicast IP útválasztást (amely teljesen független az unicast útválasztástól) egyes szolgáltatók egyénileg építenek ki saját hálózataikban, az előfizetők hatékonyabb kiszolgálása érdekében. Jó példa erre jelen mérés tárgya, az IPTV szolgáltatás.

Megjegyzés: Egy harmadik modell szerint a tartalomszolgáltató peer-to-peer (P2P) hálózaton juttatja el a műsort a nézőkhöz. Korábban pl. a Spotify is alkalmazta a P2P technológiát a zenei tartalmak kiszolgálásához, valamint a Netflix mérnökeit is foglalkoztatta egy P2P támogatott streaming szolgáltatás kialakítása.

## Multicast IP címek

Multicast üzenettovábbításra IPv4 protokoll esetén a 224.0.0.0/4 címtartományt használjuk. Ezt D osztályú címtartománynak is nevezik, és a benne lévő címek: 224.0.0.0 – 239.255.255.255. Más szóval: a 32 bites IP cím első négy bitje rendre 1110 értékű. Ebben a címtartományban a megszokottól eltérően egy cím csomópontok (pontosabban hálózati interfészek) egy csoportját azonosítja, ez a multicast csoport azonosítója. A csoport tagjainak nem szükséges azonos IP hálózaton lenniük. A címtartomány felosztása a következők szerint történik:

Osztályon belüli tartományok	Elnevezés	Célja
224.0.0.0-224.0.0.255	Local subnetwork	Egy lokális hálózaton belül érvényes, jellemzően protokollspecifikus címek. A tartományt az IANA kezeli.
224.0.1.0-224.0.1.255	Internetwork control block	Publikus interneten továbbítható protokollspecifikus forgalom. A tartományt az IANA kezeli.
224.0.2.0-224.0.255.255	AD-HOC block	A fenti két kategóriába nem illeszkedő alkalmazások számára fenntartott, IANA által kezelt tartomány.
224.0.2.0-224.0.255.255 224.3.0.0-224.4.255.255 233.252.0.0-233.255.255.255	AD-HOC block	A fenti két kategóriába nem illeszkedő alkalmazások számára fenntartott, IANA által kezelt tartomány.
232.0.0.0/8	Source-specific multicast	Forrás-specifikus multicast útválasztáshoz felhasznált tartomány
233.0.0.0/8	GLOP addressing	Tartalom- és internet szolgáltatók számára kísérleti célokra fenntartott publikus tartomány.
234.0.0.0/8	Unicast prefix based multicast addresses	A legalább /24 méretű unicast tartománnyal rendelkező szervezetek számára kiosztott multicast címek.
239.0.0.0/8	Administratively scoped multicast addresses	Szervezetben belüli privát használatra fenntartott tartomány. (Privát multicast IP címek)

Jelen mérés során egy multicast cím egy TV csatornát azonosít, vagyis a csatorna műsorából előállított médiafolyamot a megadott D osztályú IP címmel rendelkező multicast csoport tagjainak továbbítja a hálózat.

## Internet Group Management Protocol (IGMP)

Az IGMP kommunikációs protokoll alkalmazásával az IP végpontok és útválaszók a multicast csoporttagságokat menedzselhetik. Az IGMP üzenetváltás a végpont és egy szomszédos multicast útválasztó között zajlik. Az üzenetek közvetlenül IPv4 csomagokba ágyazódnak be. Rétegbesorolást tekintve az IGMP – az ICMP-hez hasonlóan – az IP protokollkészlet része, a hálózati rétegben működik.

A v2-es protokollváltozat legfontosabb újdonsága volt, hogy bevezette a csoportelhagyás explicit jelzését (Leave Group üzenet). Az aktuális v3-as verzióban ezen felül bekerült a forrás-specifikus (source-specific) multicast támogatása. Erről bővebben a PIM protokoll leírásánál olvashat. IPTV rendszerekben jellemzően az IGMPv2 vagy IGMPv3-as verziókat alkalmazzák. Az IGMPv2 előnye, hogy a Leave Group üzenet lehetővé teszi, hogy a multicast router alacsony késleltetéssel le tudja állítani az adott csoport címére küldött forgalmat, amennyiben nem maradt aktív tagja egy adott hálózatban.

## IGMPv2/v3 üzenettípusok

- Membership Query - A csomópontok multicast csoporttagságát kérdezi le a hálózathoz kapcsolódó multicast útválasztó (IGMP querier). Három altípusa van: általános, csoport-, valamint csoport- és forrásspecifikus lekérdezés.

- Membership Report / Join – Tagság(-ok) jelentése a multicast útválasztó (IGMP querier) felé. A csomópont ugyanezzel az üzenettel tud feliratkozni egy multicast csoportba.
- Leave Group – csoport elhagyásának explicit jelzése

## IGMPv3 forrásszűrés

Forrás-specifikus multicast támogatásához megadhatunk a forráscsomópont címére vonatkozó megkötéseket (szűréseket).

- Include mode: A csoporthoz való csatlakozáskor megadhatjuk azoknak a forráscsomópontoknak a címét, melyektől elfogadjuk az adott multicast csoportba továbbított forgalmat.
- Exclude mode: A csoporthoz való csatlakozáskor megadhatjuk azoknak a forráscsomópontoknak a címét, melyektől nem fogadjuk el adott multicast csoportba továbbított forgalmat.

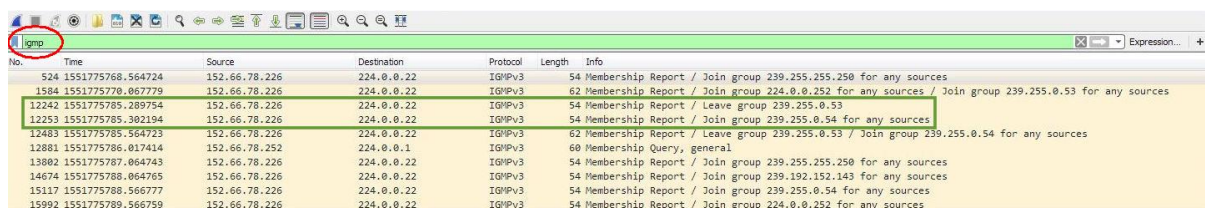
A médialejátszóban kezdeményezett csatornaváltáskor a zölddel keretezett IGMP leave és join üzeneteket küldi ki végpontunk a helyi IGMP querier útválasztónak. Ennek hatására kerül át a végpontunk a 239.255.0.53 multicast csoportból a 239.255.0.54 azonosítójú csoportba.

*Tipp:* Az IGMP forgalom elemzésekor figyelembe kell venni, hogy gépünkön a VLC-n kívül egyéb programok és Windows szolgáltatások is generálhatnak IGMP üzeneteket, ezért kiemelt figyelmet kell fordítani a csatornaváltáshoz kapcsolódó IGMP leave és join üzenetek azonosítására. Az Ethernet interfészen látható IGMP forgalom elemzésekor feltűnhet továbbá, hogy a hálózati útválasztó meghatározott időnként (a laborhálózaton ez 20 másodperces periódus) lekérdezi a csomópontok multicast csoporttagságait: Membership Query üzenet érkezik a routertől, melyre Membership Report üzenettel (üzenetekkel) válaszol a végpont. Fontos, hogy ezeket a válaszokat ne keverjük össze a csatornaváltáskor generált join üzenetekkel.

- A multicast útválasztó a 224.0.0.1 célcímre küldi a General Membership Query üzeneteket. Erre a címre minden multicast csomópontnak hallgatnia kell.
- A végpont a 224.0.0.22 címre küldi a Membership Report válaszüzeneteket, illetve a Join/Leave üzeneteket.

## Megjelenítési szűrő a Wiresharkban

Az IGMP üzenetekre Wiresharkban display filterrel rá lehet szűrni: **igmp** (2.ábra)



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
524	1551775768.564724	152.66.78.226	224.0.0.22	IGMPv3	54	Membership Report / Join group 239.255.255.250 for any sources
1584	1551775770.867779	152.66.78.226	224.0.0.22	IGMPv3	62	Membership Report / Join group 224.0.0.252 for any sources / Join group 239.255.0.53 for any sources
12242	1551775785.289754	152.66.78.226	224.0.0.22	IGMPv3	54	Membership Report / Leave group 239.255.0.53
12253	1551775785.302194	152.66.78.226	224.0.0.22	IGMPv3	54	Membership Report / Join group 239.255.0.54 for any sources
12483	1551775785.564723	152.66.78.226	224.0.0.22	IGMPv3	62	Membership Report / Leave group 239.255.0.53 / Join group 239.255.0.54 for any sources
12881	1551775786.817414	152.66.78.252	224.0.0.1	IGMPv3	60	Membership Query, general
13802	1551775787.064743	152.66.78.226	224.0.0.22	IGMPv3	54	Membership Report / Join group 239.255.255.250 for any sources
14674	1551775788.064765	152.66.78.226	224.0.0.22	IGMPv3	54	Membership Report / Join group 239.192.152.143 for any sources
15117	1551775788.566777	152.66.78.226	224.0.0.22	IGMPv3	54	Membership Report / Join group 239.255.0.54 for any sources
15992	1551775789.566759	152.66.78.226	224.0.0.22	IGMPv3	54	Membership Report / Join group 224.0.0.252 for any sources

2. ábra. Csomagszűrés Wiresharkban

A display filter szűrés csak a megjelenítést befolyásolja, az elmentett fájl tartalmát nem. Ha illeszkedik rá a kifejezés, akkor megjelenik, egyébként nem. Kicsit bővebben a megjelenítési szűrőkről:

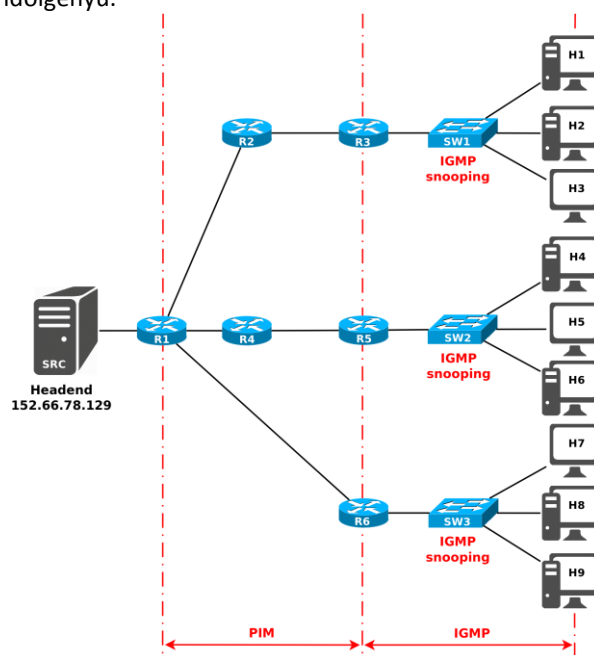
- logikai kifejezések: protokoll mezők illesztése operátorokkal, pl. ip.src, tcp.window\_size
- operátorok: ==, eq, !=, contains, matches, !, pl. ip.src==192.168.0.0/16, tcp.port eq 25
- kifejezések sorozata logikai kapcsolókkal elválasztva: &&, ||, and, or, pl. http.request.uri matches "gl=se\$"

Még bővebben: Id. Wireshark display filter reference: <https://wiki.wireshark.org/DisplayFilters>

## IGMP Snooping

Alapesetben az Ethernet kapcsolók minden portjukra továbbítják a multicast címre küldött kereteket, a broadcast forgalomhoz hasonlóan (ld. a 3. ábrát). Ez a működés felesleges sávszélesség-használatot eredményez azokon a portokon, melyekre nem kapcsolódik aktív tagja az adott multicast csoportnak. Az IGMP layer 2-es optimalizációjaként fogható fel a kapcsolók IGMP Snooping funkciója, melynek hatására a kapcsoló figyel (monitorozza) a rajta keresztülhaladó IGMP üzeneteket (Query, Membership report/Join, Leave). Az így kinyert információk alapján fenntart és karbantart egy belső IGMP táblát, melyben nyilvántartja, hogy melyik multicast csoport forgalmát melyik portra, portokra kell továbbítani.

**Fontos:** A laborhálózati Ethernet kapcsolók IGMP leave üzenet hatására nem távolítják el azonnal az adott multicast csoport/port hozzárendelést a helyi IGMP táblából. Ennek megfelelően csatornaváltáskor az új csatorna multicast forgalma mellett adott ideig a korábbi csatorna multicast forgalma is meg fog érkezni a hálózati interfészünkre. Wiresharkban érdemes megvizsgálni, hogy mennyi ideig van jelen mindkét csoport forgalma az interfészünkön. Ezt az információt a csatornaváltási idő vizsgálatokor érdemes szem előtt tartani, hiszen ha olyan csatornára váltunk, melyet 60 másodpercen belül már néztünk, akkor a csatornaváltás második fázisa (lásd 4. fejezet) nulla időigényű.



3. ábra Multicast példahálózat

## Multicast útválasztás - Protocol Independent Multicast (PIM)

A PIM nem egyetlen protokoll, hanem egy multicast útválasztási protokollcsalád. Három változata terjedt el.

- PIM-SM (PIM Sparse Mode) - A multicast fát, melynek gyökere az ún. Rendezvous-point (RP) útválasztó, explicit IGMP kérések alapján építi fel a protokoll. A működési modell jó illeszkedik a WAN hálózati környezetben, fizikailag elszórt multicast vevők kiszolgálásához.
- PIM-DM (PIM Dense Mode) - Első lépésben a multicast forgalmat elárasztással továbbítja a teljes hálózaton, később pedig IGMP üzenetek alapján felfüggeszti a továbbítást azokba a hálózati szegmensekbe, amelyekben nincs aktív vevő. Ezzel a módszerrel implicit építi fel a multicast fát a protokoll. A működés első fázisában megvalósított elárasztásos továbbítás intenzív sávszélesség-igénye miatt a protokoll nagy kiterjedésű hálózatokra rosszul skálázható.
- PIM-SSM (PIM Source-specific Multicast) - A multicast fa gyökere egy előre definiált forrás csomópont (pl. egy IPTV headend). A multicast csoport megadása a forrás-/csoportazonosító párossal történik: (S,G), ahol S a forrás unicast IP címe, G pedig a csoportot azonosító multicast IP cím. A forrás címének

explicit megadásával megelőzhetőek a csoporton belüli, jogosulatlan forrástól származó Denial-of-Service támadások.

A fentiek közül a PIM-SM és PIM-SSM változatokat alkalmazzák IPTV rendszerekben.

## 4. IPTV adatfolyam áttekintés

### SD és HD videofolyamok

Tulajdonságok	SD	HD
Sávszélesség-igény	1,8 - 2,5 Mbit/s	7 - 9 Mbit/s
Képfelbontás	720 x 576 px	1920 (1440) x 1080 px
Videókódoló	H.264/MPEG4 AVC	
Hangkódoló	AAC, AC3	
Médiakonténer	MPEG2-TS (ISO/IEC 13818-1)	
Szállítási protokoll	Real-time Transport Protocol (RTP)	
Továbbítási modell	IP multicast	

### Protokollstack és médiakódolók

- IPv4/IPv6
- IGMPv3/MLDv2/PIM
- UDP
- RTP/RTCP
- MPEG-2 Transport Stream
- H.264/H.265 (videókódoló)
- AAC/AC3 (hangkódoló)

**Constant bitrate (CBR)** üzemmódú hang- és videókódolás: a médiakódoló a kimenetén konstans bitrátaival állítja elő a tömörített médiafolyamot. Ebben az üzemmódban a médiatartalom pillanatnyi komplexitásától független az aktuális tömörítési ráta. A módszer előnye, hogy a tömörített médiafolyam sávszélesség-igénye állandó, ezért korlátozott sávszélességű átviteli csatornán történő továbbításakor jó hatékonysággal alkalmazható. Hátránya, hogy a komplex hang-, illetve képszegmensek tömörítése rosszabb érzeti minőséget eredményezhet. Utóbbi esetben a minőségromlást úgy lehet ellensúlyozni, hogy magasabb rátát állítunk be kódolásnál, amennyiben az átviteli csatorna rendelkezésre álló sávszélessége ezt lehetővé teszi.

**Variable bitrate (VBR)** üzemmódú hang- és videókódolás: a médiakódoló a kimenetén a médiatartalom pillanatnyi komplexitásának megfelelő, változó rátával állítja elő a tömörített médiafolyamot. A CBR üzemmóddal szemben a változó bitrátájú tömörítés előnye, hogy a kódolónak lehetősége a bitrátát a hang-, illetve képszegmens komplexitásához igazítani. (Egy összetett szegmens tömörítéséhez magasabb rátát alkalmaz a kódoló.) Megjegyzés: VBR üzemmódban kódolt médiatartalomra meghatározható a maximális bitráta, valamint értelmezhető (számolható) időegységre vetített átlagos bitráta is.

A **H.264** (más néven MPEG-4 AVC) videókódoló legfontosabb előnye a H.262 (MPEG-2) kódolóval szemben, hogy azonos érzeti minőség eléréséhez elegendő nagyjából fele akkora sávszélesség. Ez HD adások továbbításánál különösen fontos tényező, hiszen 15-20 Mbit/s helyett elegendő 7-9 Mbit/s sávszélesség a kívánt minőségű kódolás eléréséhez.

IPTV szolgáltatás esetén az elemi videofolyam (elementary stream) H.264 kódolással kerül továbbításra MPEG-2 Transport Stream (MPEG-2 TS)-be ágyazva. Fontos hangsúlyozni, hogy az MPEG-2 TS nem tömörítési

eljárás, pusztán egy konténer formátum, így a videokódolás minőségére és az eredő sávszélesség-igényre nincs hatása.

## 5. MPEG-2 Transport Stream

E fejezetben megkíséreljük röviden, de mégis érthetően bemutatni az MPEG-2 TS formátumot. Fontos ezt megérteni, a mérés során ugyanis egy ilyen formában rögzített adást kell majd elemezni.

Az MPEG-2 szabvány „Systems” rétege<sup>2</sup> kétféle tárolási/továbbítási formátumot definiál. A Program Stream (PS) tároláshoz van kitalálva, amikor is kicsi az adatvesztés valószínűsége, ezért nagy csomagokat használ. Ezt alkalmazzák például a DVD lemezek. A Transport Stream (TS) viszont hálózati továbbításra készült, ahol nagyobb a hiba valószínűsége, ezért kisebbek a csomagok. (Ugyanakkor a Blu-ray lemezek is ez utóbbit használják.) A továbbiakban csak ez utóbbival, a Transport Stream-mel, vagyis az MPEG-2 TS-sel foglalkozunk.

Az MPEG-2 TS tehát egy szabványos konténer formátum mozgókép, hang és program-, illetve szolgáltatás-információs üzenetek (műsorújság, teletext, feliratok, stb.) multiplexelt (összenyalábolt) továbbítására. Elterjedten alkalmazzák DVB<sup>3</sup> és IPTV rendszerekben a TV-csatornák továbbítására. A multiplexelt átvitel lehetőséget teremt az elemi kép- és hangfolyamok időbeni szinkronizálására.

A hálózati erőforrások hatékony lefoglalásához (QoS biztosításához) a szolgáltatók tipikusan konstans bitsebességgel (CBR) továbbítják az MPEG transport streameket. Szemben a DVB rendszerekkel, IPTV esetén minden TV csatorna egy saját MPEG-2 Transport Stream-et kap, amelyben egy médiafolyamként kerül továbbításra a TV csatornához tartozó videofolyam, egy vagy több hangfolyam, illetve felirat és teletext információ. Ez azt is jelenti, hogy az egyes TV csatornák külön multicast IP címet használnak.<sup>4</sup>

Nem árt előre tisztázni, hogy a továbbiak egy része az valóban az MPEG-2 TS szabvány része, más dolgok azonban (pl. a műsorújság) már nem az MPEG-2 TS, hanem a DVB szabványból származnak. Ez érthető, hiszen pl. egy Blu-ray lemezen nincsen műsorújság. Például ezért van, hogy a későbbiekben bemutatott Wireshark szűrők egy része **mpeg\_**, míg másik része **dvb\_** előtaggal kezdődik.

Az első bemutatandó fogalom legyen a **program**. Pontosabban az MPEG2 szabvány szerint „Program”, a DVB szerint „Service”, magyarul pedig ez egyszerűen egy TV csatorna. Egyetlen MPEG-2 TS folyamban egy vagy akár több program is továbbítható.

Egy programhoz több **elemi adatfolyam** (Elementary Stream, ES) is tartozik. Az egyik ilyen folyam a video egy alkalmas videokódolással. Ehhez tartozik egy vagy több audiofolyam (hogy lehessen váltogatni a nyelvek között), továbbá jöhetnek még pl. különböző nyelvű feliratok szintén külön folyamatokban. Lehet elemi folyamban teletext adat is, ami ugyan már elég elavult, de azért még használják.

Az elemi folyamatokat csomagokra bontják, így készül a (sose találnák ki) **csomagokra bontott elemi folyam** (Packetized Elementary Stream, PES). Egy PES csomag<sup>5</sup> hossza változó, szintén változó hosszú fejléccel.

Elemi folyamatok, és ezért PES-ek is, nem csak programokhoz tartoznak, hanem van néhány, ami a teljes MPEG-2 TS adatfolyamhoz tartozik. Ilyen például a folyamatban lévő programokat felsoroló Program Association Table (PAT).

Érthető? Valószínűleg nem nagyon. Egy ábra mindig segít, rajzoltam is egyet gyorsan. Lásd tehát a 4. ábrát!

---

<sup>2</sup> Aki tényleg nem talál jobb olvasnivalót: ISO/IEC 13818-1 a szabvány neve, és bizony nem olcsó:

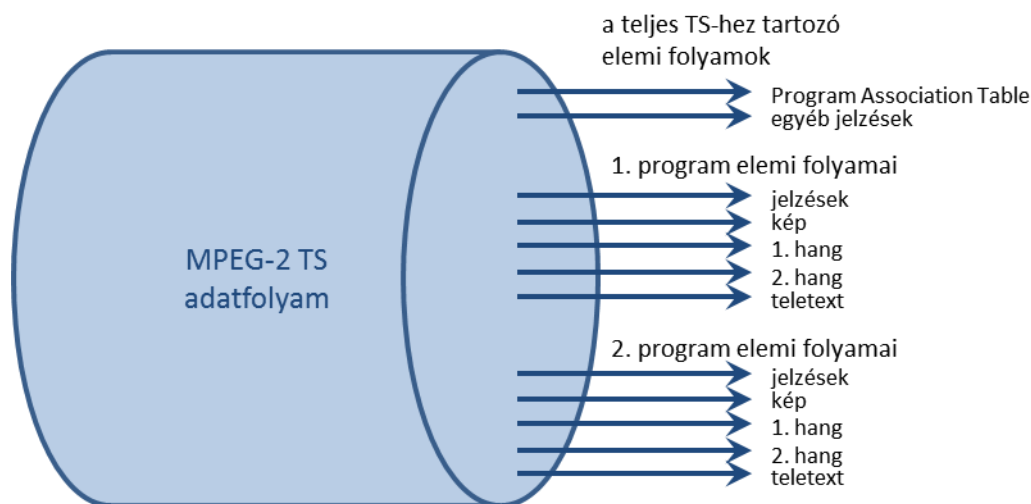
<https://www.iso.org/standard/75928.html>

<sup>3</sup> Digital Video Broadcast, digitális TV-műsorszórás

<sup>4</sup> Nem azért mondom, de ez tényleg fontos a méréshez.

<sup>5</sup> A PES csomagról bővebben pl. itt: [https://en.wikipedia.org/wiki/Packetized\\_elementary\\_stream](https://en.wikipedia.org/wiki/Packetized_elementary_stream). Igazából nem fontos a méréshez.





4. ábra. Az MPEG-2 TS szerkezete. A nyílak elemi adatfolyamokat jeleznek

## A TS csomag

Az elemi folyamatokat (pl. egy konstans adatsebességű audiofolyamot), ahogy fent írtuk, nagyobb PES csomagokra bontják. Egy audio PES csomag pl. kb. 3,5 kilobájt a méréshez tartozó lementett adatfájlban, ugyanitt egy video PES csomag kb. 7,5 KB. Ezeket a PES csomagokat még kisebb egységekre, a TS (transport stream) csomagokra bontják.

Ezek a TS csomagok mindössze 188 bájt hosszúak és hosszúságuk fix. Ebből a 188-ból 4 bájt a fejléc, 184 az adat. Pontosabban lehetőség van egy ún. „adaptation field” (adaptációs mező) használatára, amely tulajdonképpen egyfajta bővített fejléc, és amely a hasznos teher 184 bájtjából vesz el további bájtokat.

Mivel nem túl bonyolult a TS csomag 4 bájtos fejlécének formátuma és ismerete hasznos lesz a mérés során, ezért – kicsit azért félve a népharagtól – betesszük ide:

Mező	Hossz (bit)	Magyarázat
Sync byte	8	Szinkronizációs bájt. Tartalma mindig hexa 47, ami a G betű ASCII kódja.
Transport Error Indicator	1	1 az értéke, ha hibás a csomag
Payload unit start indicator	1	Új PES csomag kezdetén 1, amúgy 0. A mező neve tréfás: PUSI
Transport priority	1	1, ha a csomag kiemelt prioritással rendelkezik
<b>Packet Identifier</b>	13	<b>PID. Ez fontos!</b> Az azonos PID-del jelölt csomagok tartoznak egy PES-hez. A 4. ábrán tehát minden nyílhoz tartozik egy PID.
Transport scrambling control	2	Titkosítást jelez. 00 = nem titkosított.
Adaptation field control	2	Jelzi, hogy van-e kiegészítő fejléc (adaptációs mező, adaptation field). 01: nincs adaptációs mező, csak hasznos teher 10: csak adaptációs mező van, nincs hasznos teher 11: csak adaptációs is mező van, hasznos teher is van 00: ez jelenleg nem megengedett kombináció
Continuity counter	4	Ez a négybájtos számláló minden – adott PID-del rendelkező TS csomagnál – eggyel nő. Segít észrevenni, ha elveszett egy TS csomag.

1. táblázat. A TS csomag fejléce

Külön is kiemeljük a fenti táblázatból a csomagazonosítót: a transport stream-en belül minden elemi folyamat, illetve információs tábla egyedi azonosítóval rendelkezik, ez a PID. Az azonos PID-del rendelkező TS csomagok tartoznak egy PES-hez (vagy információs táblát leíró adatfolyamhoz).

Hol is tartunk? Vannak adatfolyamaink (pl. egy hangkódoló kimenete), ezeket PES csomagokra tördeljük (vannak ugyanitt jelzéseink is, pl. a Program Association Table), majd azokat tovább kicsi TS csomagokra. Ezeket valamilyen sorrendben egymás után téve ki is adódik az MPEG-2 TS adatfolyam.

E 188 bájtos TS csomagokat azonban továbbítani kell az IP hálózaton. Egy IP/UDP/RTP csomagba pazarló lenne csak egyetlen TS csomagot tenni (túl rossz lenne a hasznos teher/ fejléc arány), ezért több TS csomag kerül egy IP/UDP/RTP csomagba. Az sem jó, ha túl nagy az IP csomag (akkor nem fér bele egy Ethernet keretbe), így a mérés során azt fogjuk látni, hogy hét darab TS csomag lesz egy RTP csomagban.

## MPEG-2 TS információs táblák

Említettük, hogy az adatokon kívül jelzéseket is hordoz egy MPEG-2 TS adatfolyam. Mindegyik jelzésfajta külön szerepel a folyamatban, saját PID-del. Ezekből a fontosabbakat tekintjük most át röviden:

*Program Association Table (PAT):* Innen indul a dekódolás. A PID-je kerek érték: nulla. Ez a transport streamben továbbított csatornák (programok) azonosítóit tartalmazó tábla: a program számát (program number) tartalmazza és a program PMT-jének (ld. alább) PID-jét. (Az MPEG-2 szabvány része ez.)

*Program Map Table (PMT):* Minden programnak saját PMT-je van, amely az adott programhoz tartozó elemi folyamatok PID azonosítóit tartalmazó tábla. (Az MPEG-2 szabvány része ez.)

*Network Information Table (NIT):* A műsorszóró hálózatról ad információt. PID-je fix (decimális) 16. (A DVB szabvány része ez.) Nem kell a mostani méréshez.

*Service Description Table (SDT):* A programokról ad információt, például, hogy ki a program (TV csatorna) tulajdonosa és mi a program (TV csatorna) neve. PID-je fix (decimális) 17. (A DVB szabvány része ez.)

*Event Information Table (EIT):* Az EPG (Electronic Program Guide) alrendszer az EIT tábla információi alapján készíti el a műsorújságot. A tábla tartalmazza a műsorok neveit, kezdési időpontját, időtartamát és rövid leírását. PID-je fix (decimális) 18. (A DVB szabvány része ez.)

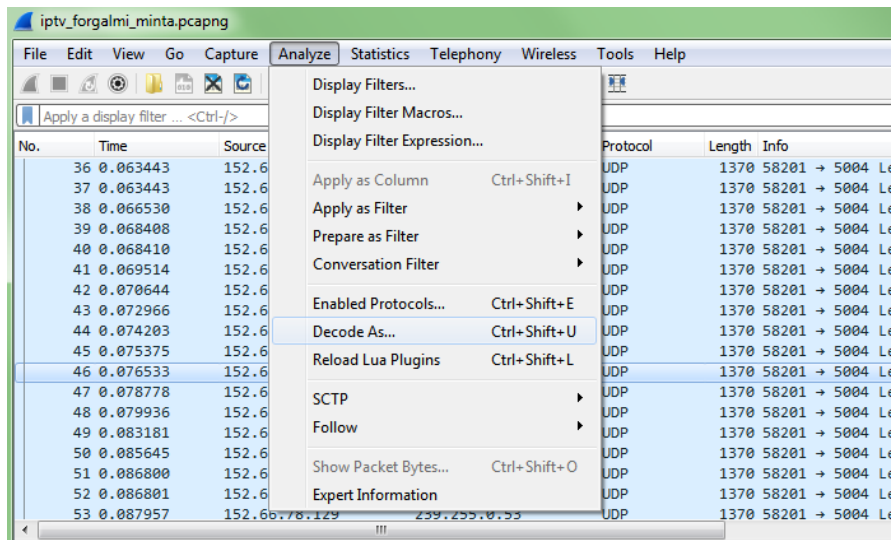
*Program Clock Reference (PCR):* Az elemi folyamatok szinkronizációjára használt referencia-óra. Egy programhoz tartozik, PID-jét a PMT tartalmazza. (Az MPEG-2 szabvány része ez.)

## MPEG-2 TS és Wireshark

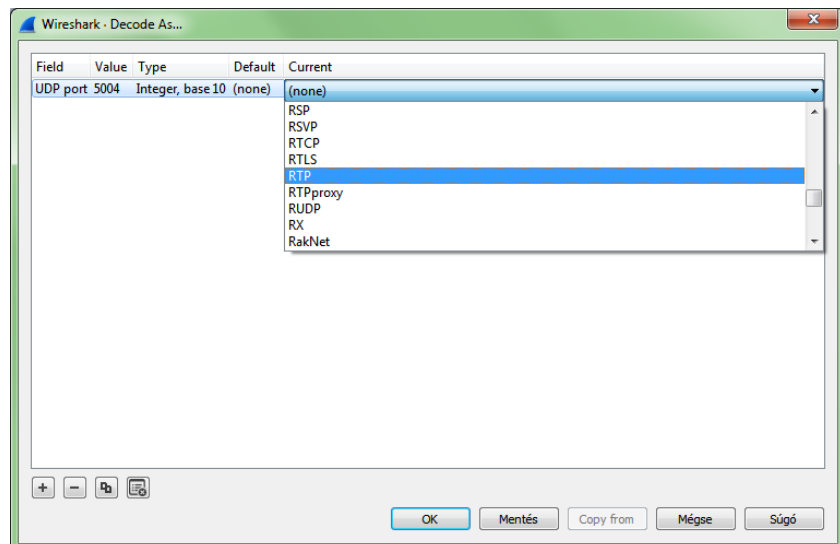
Néhány tipp a Wiresharkkal történő méréshez.

Amennyiben a Wireshark nem ismerte fel, hogy az elkapott forgalom (csomagsorozat) egy RTP médiafolyam, az „Analyze” menü „Decode As” pontjában beállíthatjuk, hogy adott UDP portazonosítók esetén az UDP payload-ot RTP csomagként dekódolja (5., 6. ábrák). Figyeljen, hogy az UDP port 5004 legyen, mert nem ez az alapértelmezés ennél a menüpontnál! Ezek után meg fog jelenni az RTP fejléc, illetve az RTP-be beágyazott MPEG-2 TS fejléc a protokollhierarchiában (7. ábra).

Wiresharkban az MPEG-2 TS csomagok a szabvány hivatalos azonosítójával vannak jelölve: ISO/IEC 13818-1.



5. ábra: RTP fejléc dekódolása Wireshark-ban



6. ábra: UDP/5004 portra érkező forgalom RTP üzenetként dekódolva

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.00000000	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20200, Time=1197973325
2	0.00111000	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20201, Time=1197973426
3	0.00277000	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20202, Time=1197973576
4	0.00459000	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20203, Time=1197973676
5	0.00625400	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20204, Time=1197973875
6	0.00744800	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20205, Time=1197973991
7	0.00855400	DTS 81267.739088888	PTS 81267.779088888	MPEG TS	1370	Program Map Table (PMT)
8	0.01125900	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20207, Time=1197974286
9	0.01627800	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20208, Time=1197974609
10	0.01628300	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20209, Time=1197974714
11	0.01628500	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20210, Time=1197974716
12	0.01875800	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20211, Time=1197974916
13	0.01996700	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20212, Time=1197975124
14	0.02108600	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20213, Time=1197975226
15	0.02130500	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20214, Time=1197975228
16	0.02444900	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20215, Time=1197975528
17	0.02609500	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20216, Time=1197975677
18	0.02720900	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20217, Time=1197975777
19	0.02741800	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20218, Time=1197975779
20	0.02838200	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20219, Time=1197975883
21	0.03061800	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20220, Time=1197976084
22	0.03184700	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20221, Time=1197976194
23	0.03298300	DTS 81267.779088888	PTS 81267.899088888	MPEG TS	1370	video-stream
24	0.03529400	152.66.78.129	PTS 81267.522622222	MPEG TS	1370	private-stream-1
25	0.03644200	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20224, Time=1197976605
26	0.03990000	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20225, Time=1197976917
27	0.03990300	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20226, Time=1197976920
28	0.04219000	DTS 81267.819088888	PTS 81267.859088888	MPEG TS	1370	video-stream
29	0.04536000	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20228, Time=1197977336
30	0.04536200	152.66.78.129	239.255.0.53	MPEG TS	1370	PT=MPEG-II transport streams, SSRC=0x0, Seq=20229, Time=1197977339
31	0.04692000	DTS 81267.859088888	PTS 81267.939088888	MPEG TS	1370	video-stream
32	0.04876000	152.66.78.129	PTS 81267.522622222	MPEG TS	1370	private-stream-1

Frame 8: 1370 bytes on wire (10960 bits), 1370 bytes captured (10960 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: IntelCor_09:24:87 (00:27:0e:09:24:87), Dst: IPv4mcast_7f:00:35 (01:00:5e:7f:00:35)
Internet Protocol Version 4, Src: 152.66.78.129 (152.66.78.129), Dst: 239.255.0.53 (239.255.0.53)
User Datagram Protocol, Src Port: 44254 (44254), Dst Port: 5004 (5004)
Real-Time Transport Protocol
ISO/IEC 13818-1 PID=0x08 CC=4 Reassembled in: 24
ISO/IEC 13818-1 PID=0x7d1 CC=10 Reassembled in: 23
ISO/IEC 13818-1 PID=0x7d1 CC=11 Reassembled in: 23
ISO/IEC 13818-1 PID=0x7d1 CC=12 Reassembled in: 23
ISO/IEC 13818-1 PID=0x7d1 CC=13 Reassembled in: 23
ISO/IEC 13818-1 PID=0x7d1 CC=14 Reassembled in: 23
ISO/IEC 13818-1 PID=0x7d4 CC=8

7. ábra: RTP csomag adatrészebe ágyazott MPEG-2 TS csomagok

Az egyes információs táblákra Wiresharkban *display filter*-rel rá lehet szűrni. A szűrés eredményeként kizárólag azok az RTP csomagok kerülnek megjelenítésre, amelyek tartalmazzák a megadott információs táblát.

- PAT táblát tartalmazó RTP csomagok szűrése: ***mpeg\_pat***
- PMT táblát tartalmazó RTP csomagok szűrése: ***mpeg\_pmt***
- EIT táblát tartalmazó RTP csomagok listázása: ***dvb\_eit***
- SDT táblát tartalmazó RTP csomagok listázása: ***dvb\_sdt***
- Adott PID-vel rendelkező elemi folyamatot tartalmazó RTP csomagok listázása: ***mp2t.pid == érték***

## 6. IPTV szolgáltatást érintő hálózati metrikák

Az átvitt média érzeti minőségét befolyásoló IP-szintű elemi hálózati metrikák:

- Késleltetés (delay)
- Késleltetés ingadozása (jitter)
- Csomagvesztés (packet loss)
- Csomagsorrend átrendeződés (packet reordering)
- Átviteli teljesítmény (throughput)

Az átvitt média érzeti minőségét befolyásoló összetett hálózati metrikák:

- MDI (media delivery index) – kettős metrika
  - késleltetési tényező (delay factor)
  - média veszteségi ráta (media loss rate)

Egyéb szolgáltatási minőséget befolyásoló metrikák:

- Csatornaváltási idő (zap time)
- EPG betöltési idő

## 7. Vételi oldali playout puffer

A vételi oldali média-dekódolók jellemzően fix adatsebességgel várják bemenetükre a médiacsomagok érkezését, ezzel szemben a video- és hangfolyamok IP csomagjai a hálózat működéséből adódóan nem fix késleltetéssel jutnak el a forrástól a címzettig. Az IP alapú hálózatok nem nyújtanak garanciát a hálózati késleltetés szintjére és ingadozására vonatkozóan. Az áviteli késleltetés ingadozását csomagkésleltetési ingadozásnak (Packet Delay Variation – PDV) nevezi a szakirodalom, de a jitter elnevezés is releváns terminológia. Hálózati jitter hatására a forrás oldalon még korrekt időközrel kiküldött csomagsorozat már változó érkezési időközökkel jelenik meg a vevőnél. Az ingadozás hatását playout vagy de-jitter puffer beiktatásával jelentősen lehet csökkenteni, mivel a pufferben változó érkezési időközökkel megjelenő csomagok fix rátával kerülnek kiolvasásra onnan. A puffer negatív hatása, hogy megnöveli a késleltetést, melyet valós idejű alkalmazásoknál kívánatos alacsony szinten tartani. Fontos tervezési szempont a pufferméret helyes megválasztása a hálózati jitter és az elvárt késleltetés ismeretében.

## 8. Csatornaváltás

Csatorna váltásakor a hálózati rétegben a kliens kezdeményezi az adott programhoz tartozó multicast csoport elhagyását (IGMP *Leave Group* üzenet a routernek), majd pedig csatlakozik az új program multicast csoportjába (*Membership Report / Join*). Amennyiben a kliens hálózatában ő az első aktív tag a csoportban, úgy a multicast médiafolyamot a helyi routernek le kell kérnie a multicast disztribúciós fában fölülte elhelyezkedő routertől (a multicast fát ki kell bővíteni). Amikor megérkezik a médiafolyam a klienshez, a lejátszó alkalmazásnak egyrészt adott szintig meg kell töltenie a playout puffert a lejátszás megkezdése előtt, másrészt meg kell várnia a PMT tábla megérkezését, hogy a táblában lévő információk alapján szét tudja osztani a Transport Streamben továbbított elemi folyamatokat a megfelelő dekóderek számára. Végül pedig a dekódolás megkezdésének feltétele, hogy érkezzen egy olyan referencia videokeret az elemi videofolyamban, melyre az utána következő differenciális videokeretek dekódolásakor lehet hivatkozni. Ennek megfelelően a csatornaváltás idejét összesen öt tényező befolyásolja, melyekből az első négyet kell elemezni és jegyzőkönyvezni a mérés során.

1. IGMP csoportváltás (leave és join)
2. Multicast disztribúciós fa bővítése (PIM routing)
3. Végponti pufferek (playout buffering - prefetch)
4. PMT információs tábla megérkezése, feldolgozása
5. Video kulcskeret (I-frame) megérkezése a H.264 dekóderhez

*Megjegyzés az 5. tényezőhöz.* A kulcskeret dekódolásához nincs szükség más képkockákra, viszont a differenciális keretek dekódolásához mindenképpen szükség van legalább egy referenciára. Ezért a csatornaváltáskor mindenképpen be kell várni egy kulcskeretet a dekódolási folyamat elindításához. Ez a késleltetés nem konstans, de egy felső becslést lehet adni a legrosszabb esetre. IPTV rendszereknél jellemzően 1-2 másodperces periódusidővel kerül kulcs képkeret a folyamba, tehát maximum ekkora késleltetéssel számolhatunk az 5. pont esetében.

## 9. Ellenőrző kérdések

*A jelenléti mérések esetén ilyen jellegű beugró kérdéseket tettünk fel. Otthoni mérés esetén természetesen nincsen beugró, ezt a részt mégis meghagytuk: átolvasva maguk ellenőrizhetik, mennyire értették meg az e dokumentumban foglaltakat.*

1. Miben különbözik a multicast alapú IP kommunikáció az unicast alapútól?
2. Milyen szolgáltatások esetén érdemes multicast kommunikációt alkalmazni unicast helyett? Milyen előnyökkel számolhatunk?
3. Hogyan menedzseli az IP végpont a multicast csoporttagságait? Milyen IGMP üzenettípusokat használ ehhez?
4. IGMP üzenetváltás során kivel kommunikál az IP végpont?
5. Mi az IGMP Snooping funkció? Milyen hálózati eszközökön működik?
6. Az IPTV rendszerekben az IGMP protokoll mely verzióját (verzióit) alkalmazzák? Miért?
7. Miért használunk MPEG Transport Stream-et a médiatartalmak IPTV technológiával történő továbbításához?
8. Soroljon fel legalább három elemi folyamatípust, mely egy MPEG Transport Streamben megjelenhet!
9. Ismertesse az IPTV szolgáltatás minőségét meghatározó elemi hálózati QoS metrikákat!
10. Mutassa be egy IPTV headend alapvető elemeit és a rendszer főbb szolgáltatásait!
11. IPTV és DVB rendszerekben jellemzően milyen hang- és videokódolót alkalmaznak a szolgáltatók? Mely szempontok fontosak a választásnál?
12. Jellemzően mekkora az SD és HD adások sávszélességigénye IPTV szolgáltatás esetén?
13. Mi a vételi oldali playout puffer? Mi a hatása?
14. IPTV esetén milyen tényezők befolyásolják a csatornaváltási időt! Soroljon fel legalább hármat!
15. Soroljon fel legalább két MPEG2 TS információs táblát és röviden ismertesse a tartalmukat!
16. Érdemes-e a VoD szolgáltatás által generált médiaforgalmat multicast módon eljuttatni az előfizetőhöz? Indokolja!