

Kommunikációs hálózatok

# IPTV mérés

## Segédlet

Készítette: Orosz Péter  
Átdolgozta: Németh Krisztián

BME TMIT

2024. 03. 03.  
v1.3



*Kezdje e mérést a „Bevezető a méréshez” c. dokumentum áttanulmányozásával!*

## Tartalom

1. Bevezető .....	3
A mérési elrendezés.....	3
2. IPTV szolgáltatások .....	4
3. IP Multicast .....	4
Multicast IP címek.....	4
Internet Group Management Protocol (IGMP) .....	5
IGMPv2/v3 üzenettípusok .....	5
Megjelenítési szűrő a Wiresharkban .....	6
IGMP Snooping .....	7
Multicast útválasztás - Protocol Independent Multicast (PIM) .....	7
4. IPTV adatfolyam áttekintése .....	8
SD és HD videofolyamok főbb tulajdonságai .....	8
Protokollstack és médiakódolók .....	8
5. MPEG-2 Transport Stream.....	9
A TS csomag .....	10
MPEG-2 TS információs táblák.....	11
MPEG-2 TS és Wireshark.....	12
6. IPTV szolgáltatást érintő hálózati metrikák .....	14
7. Vételi oldali lejátszási puffer .....	14
8. Csatornaváltás .....	14
9. Ellenőrző kérdések.....	16

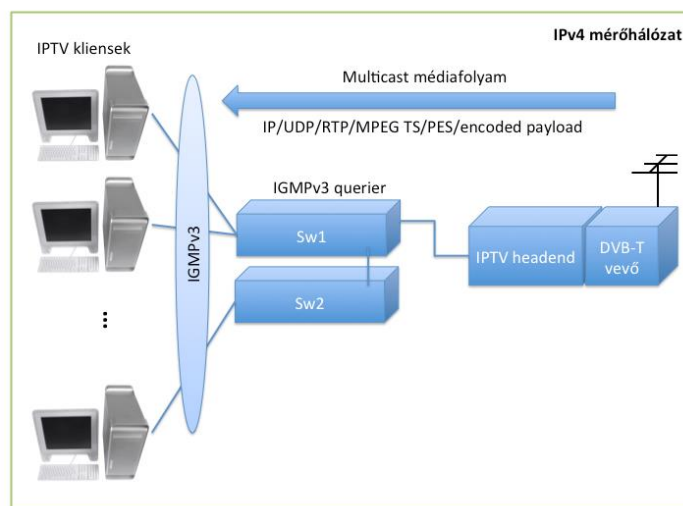
## 1. Bevezető

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 vonatkozásaival. 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 segédletet mérés előtt kell elolvasni. Az IPTV alapjainak megértéséhez érdemes átnézni az előadási diákat is, amennyiben a mérés elvégzésekor azok már elhangzottak.

### A mérési elrendezés

Az 1. ábrán látható a laborban használt mérési elrendezés.



1. ábra. Laborban lévő mérési elrendezés

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.

Jelen, otthonról is elvégezhető mérésben mindezt úgy alakítottuk át, hogy egy labor-PC-hez eljutó hálózati forgalomnak egy rövid (kb. 10 percnyi) előre rögzített szelete alapján kell megválaszolni a kérdéseket.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Persze mindez nem olyan, mint előben nézni a tévét Wiresharkon át, cserébe lehet pizsamában is mérni...

## 2. IPTV szolgáltatások

Egy rövid összefoglaló a lehetséges 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 – lapozható elektronikus újság, melynek adatait a TV-adással együtt továbbítják
- 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 – időeltolódásos lejátszás: élő műsor rögzítése és késleltetett továbbítása, lejátszása
- Egy időben több felvétel + élő adás. Az internetelés sávszélessége korlát lehet.
- Programozott felvétel műsorújság alapján
- Alkalmazások futtatása – hírek, időjárás, árfolyamok megtekintése, üzenetküldés, stb.

## 3. IP Multicast

A médiatartalmak IP hálózaton történő továbbítására kétféle terjesztési modell terjedt el széles körben. Az első modellben mindenki saját igénye alapján kezdeményezi a tartalomszolgáltatónál különböző tartalmak megtekintését. Ez az ún. Video on Demand (VoD) rendszer. Ilyen szolgáltatást nyújt például a Youtube, Netflix, Hulu, TV.GO, IPTV szolgáltatók, légitárságok a fedélzeten. 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<sup>2</sup>, ezért az előfizetői, illetve 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. Cserébe mindez speciális, multicast IP útválasztást igényel. 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.

Megjegyezzük, hogy egy harmadik modell is létezik. Ebben 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 a 224.0.0.0 – 239.255.255.255 tartományba esnek. Más

---

<sup>2</sup> azaz kétszerannyi megtekintéshez kétszerannyi erőforrás kell

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.

Érdekesképp leírjuk – ezt nem kell tudni –, hogy címtartomány felosztása hogyan történik:

Címtartományok	Elnevezés	Célja
224.0.0.0-224.0.0.255	Local subnetwork	Egy lokális hálózaton belül érvényes, jellemzően protokollspecifikus címek. A tartományt az IANA <sup>3</sup> 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	Szervezeten 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 Internet Group Management Protocol (IGMP) alkalmazásával az IP végpontok és útválasztók a multicast csoporttagságokat menedzselhetik. Az *IGMP üzenetváltás a végpont és a legközelebbi 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 forrásspecifikus (source-specific) multicast támogatása. Erről bővebben a PIM protokoll leírásánál olvashat. IPTV rendszerekben jellemzően az IGMPv2 vagy IGMPv3-as verziókat alkalmazzák. Az IGMPv2/v3 előnye a korábbi változathoz képest, 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.

<sup>3</sup> Internet Assigned Numbers Authority, <https://www.iana.org/>

- 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

Forrásspecifikus 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.  
*Figyelem! A források listájának üresre állításával jelezzük, hogy elhagyjuk a csoportot.* (Senki üzeneteire nem vagyunk kíváncsiak.)
- Exclude mode: A csoporthoz való csatlakozáskor megadhatjuk azoknak a forráscsomópontoknak a címét, melyektől nem fogadjuk el adott multicast csoportba továbbított forgalmat.  
*Figyelem! A források listájának üresre állításával jelezzük, hogy belépünk a csoportba és mindenki üzeneteire kíváncsiak vagyunk.*

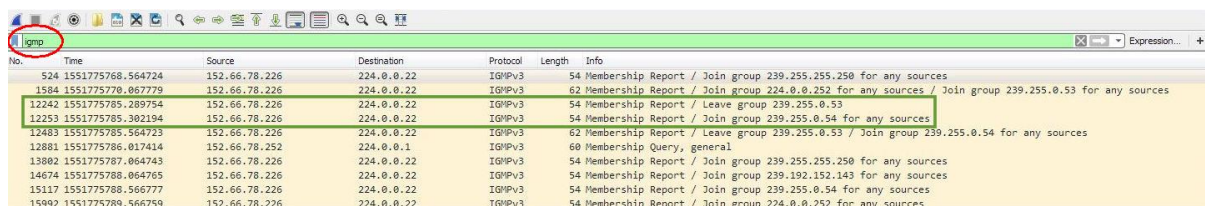
Végpontunk a médialejátszóban kezdeményezett *csatornaváltáskor* a 2. ábrán zölddel keretezett IGMP Leave és Join üzeneteket küldi ki a helyi IGMP querier útválasztónak. Ennek hatására kerül át a végpontunk az egyik multicast csoportból a másik csoportba.

*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 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	1551775778.067779	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	1551775786.017414	152.66.78.252	224.0.0.1	IGMPv3	60	Membership Query, general
13902	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 elementett 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,

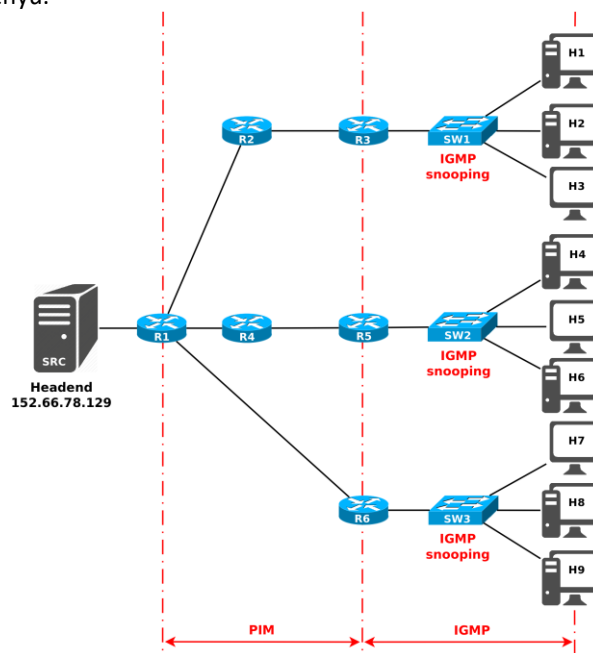
- pl. http.request.uri matches "gl=se\$"

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 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 ennyi időn 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. Amíg tehát az IGMP a végpont és az első router közötti kommunikációra való, addig a PIM egy routing protokoll, és így a routerek közötti kommunikációra szolgál. Három változata terjedt el.

- PIM-SM (PIM Sparse Mode, ritka üzemmód) – A multicast fát, melynek gyökere az ún. Rendezvous-point (RP, randevúpont) útválasztó, explicit IGMP kérések alapján építi fel a protokoll. A működési modell jó illeszkedik a WAN (nagy kiterjedésű) hálózati környezetben fizikailag elszórt multicast vevők kiszolgálásához.
- PIM-DM (PIM Dense Mode, sűrű üzemmód) – 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, és kis így hálózatokban ajánlott a használata.

- PIM-SSM (PIM Source-specific Multicast, forrásspecifikus multicast) – A multicast fa gyökere egy előre definiált forráscsomópont, például egy IPTV fejállomás. A multicast csoport megadása a forrásazonosító/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 áttekintése

### SD és HD videofolyamok főbb tulajdonságai

Az IPTV-n továbbított egyes videofolyamok tulajdonságai egymástól eltérhetnek, ezzel együtt az alábbi táblázatban összefoglaltunk pár jellemző értéket.

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

### Protokollstack és médiakódolók

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

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

**Variable bitrate (VBR)** üzemmódú hang- és videokódolás: a médiakódoló a kimenetén a médiatartalom pillanatnyi komplexitásának megfelelő, változó sebességgel állítja elő a tömörített médiafolyamot. A CBR üzemmóddal szemben a változó bitsebességű tömörítés előnye, hogy a kódolónak lehetősége van a pillanatnyi adatsebességet a hang-, illetve képrészlet komplexitásához igazítani. Értelmeszerűen egy összetettebb



szegmens tömörítéséhez magasabb adatsebességet alkalmaz a kódoló. A VBR üzemmódban kódolt médiatartalomra meghatározható a maximális bitsebesség, valamint értelmezhető (számolható) időegységre vetített átlagos bitsebesség is.

A **H.264** (más néven MPEG-4 AVC) videokódoló legfontosabb előnye a H.262 (MPEG-2) kódolóval szemben, hogy azonos érzeti minőség eléréséhez elegendő nagyjából fele akkora adatsebesség. Ez HD adások továbbításánál különösen fontos tényező, hiszen így 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 formátumba ágyazva.

## 5. MPEG-2 Transport Stream

Az MPEG-2 TS nem tömörítési eljárás, pusztán egy keretformátum, így a videokódolás minőségére és az eredő sávszélességigényre nincs hatása. 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<sup>4</sup> „Systems” rétege 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 konténerformátum mozgókép, hang és programinformációk, illetve szolgáltatásinformációs üzenetek (műsorújság, teletext, feliratok, stb.) összenyalábolt továbbítására. Elterjedten alkalmazzák DVB<sup>5</sup> és IPTV rendszerekben a TV-csatornák továbbítására. A multiplexelt (nyalábolt) 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>6</sup>

Részletkérdésnek tűnhet, de jó tudni, hogy a továbbiak egy része az valóban az MPEG-2 TS szabványban van leírva, 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. Ezért is 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 folyamatban 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 folyamatban teletext adat is, ami ugyan már elég elavult, de azért még használják.

---

<sup>4</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>

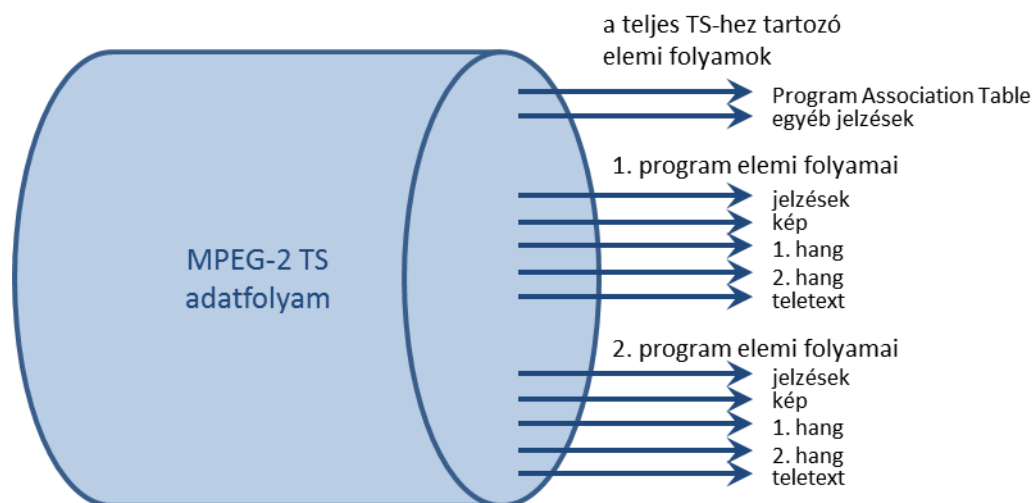
<sup>5</sup> Digital Video Broadcast, digitális TV-műsorszórás

<sup>6</sup> Nem azért mondom, de ez tényleg fontos a méréshez.

Az elemi folyamokat csomagokra bontják, így készül a – sose találják ki! – **csomagokra bontott elemi folyam** (Packetized Elementary Stream, PES). Egy PES csomag<sup>7</sup> hossza változó, szintén változó hosszú fejléccel.

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

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



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

## A TS csomag

Az elemi folyamokat (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 a hasznos 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:

<sup>7</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.

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
Packet Identifier	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: adaptációs is mező van, hasznos teher is van 00: ez jelenleg nem megengedett kombináció
Continuity counter	4	Ez a négybites 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 folyam, 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, 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 folyamban, saját PID-del. Ezekből a fontosabbakat tekintjük most át röviden:

*Program Association Table (PAT):* Innen indul a dekódolás. A PID-je kerek érték: 0. Ez a transport streamben továbbított TV-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 (TV-csatornának) 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 neve. PID-je fix (decimális) 17. (A DVB szabvány része ez.)

*Event Information Table (EIT):* Az EPG (Electronic Program Guide, elektronikus műsorújság) 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.)

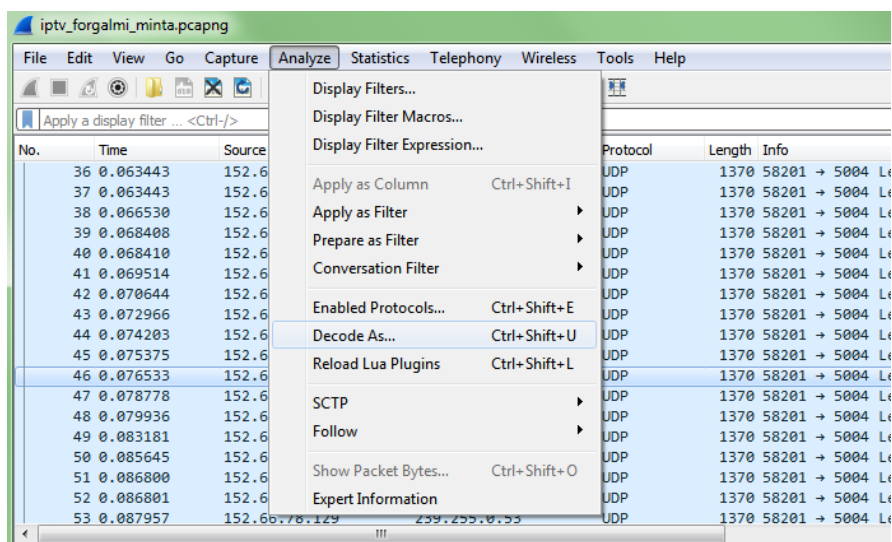
*Program Clock Reference (PCR):* Az elemi folyamatok szinkronizációjára használt referenciaóra. Egy programhoz tartozik, PID-jét a PMT tartalmazza. (Az MPEG-2 szabvány része ez.) Ez amúgy valójában nem is információs tábla, csak egy adaptációs mező, mely a TS csomagok egy kis részébe belekerül.

## MPEG-2 TS és Wireshark

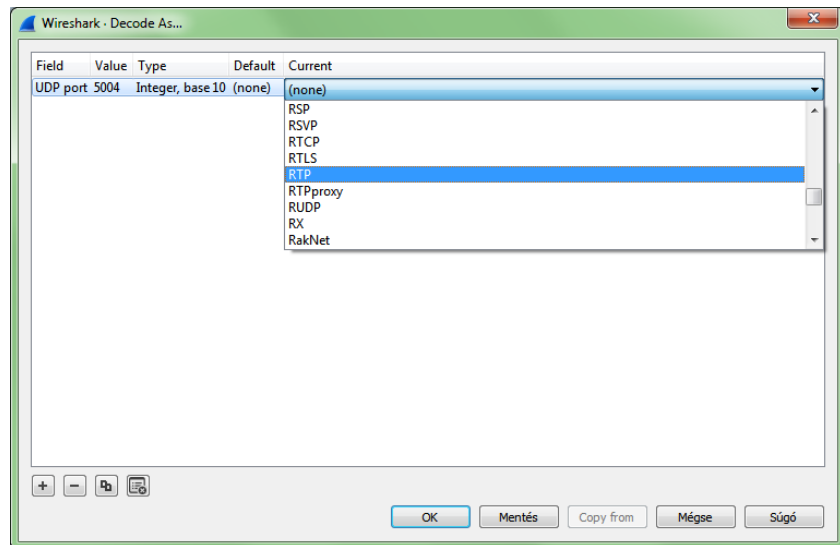
Néhány tipp a Wiresharkkal történő méréshez.

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	0.00110000	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=0x7d6 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 adatairészébe ágyazott MPEG-2 TS csomagok

Az egyes információs táblákra Wiresharkban display filter-rel 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***
- PCR adaptációs mezőt tartalmazó TS csomagot tartalmazó RTP csomagok listázása: ***mp2t.af.pcr***
- 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 mérőszámok:

- 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)
  - médiaveszteségi ráta (media loss rate)

Egyéb szolgáltatási minőséget befolyásoló metrikák:

- Csatornaváltási idő (zap time)
- EPG betöltési idő

## 7. Vételi oldali lejátszási puffer

A vételi oldali médiadekódolók jellemzően fix adatsebességgel várják bemenetükre a médiacsomagok érkezését. Ugyanakkor 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 átviteli késleltetés ingadozását csomagkésleltetési ingadozásnak (Packet Delay Variation – PDV) nevezi a szakirodalom, de a jitter elnevezés is megszokott. Hálózati jitter hatására a forrásoldalon még korrekt időközökkel kiküldött csomagsorozat már változó érkezési időközökkel jelenik meg a vevőnél.

Ezen ingadozás hatását úgynevezett playout (lejátszási) vagy de-jitter puffer beiktatásával jelentősen lehet csökkenteni. E pufferbe változó érkezési időközökkel kerülnek be a csomagok, de fix sebességgel kerülnek kiolvasásra onnan. Ugyanakkor a puffer alkalmazásának negatív hatása, hogy megnöveli a késleltetést, melyet valós idejű alkalmazásoknál kívánatos alacsony szinten tartani. Fontos tervezési szempont tehát a pufferméret helyes megválasztása a hálózati jitter és az elvárt késleltetés ismeretében.

## 8. Csatornaváltás

Nézzük meg mi mindennek kell történnie, amíg a csatorna váltás kezdeményezésétől – amikor tehát egy másik TV-adásra kapcsolunk át – eljutunk odáig, hogy megjelenik a képernyőn az új program képe.

1. **IGMP csoportváltás.** 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*).

2. *Multicast disztribúciós fa bővítése.* 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 fölötte elhelyezkedő routertől, azaz a multicast fát ki kell bővíteni.
3. *Végponti pufferelés.* Amikor megérkezik a médiafolyam a klienshez, a lejátszó alkalmazásnak adott szintig meg kell töltenie a playout puffert a lejátszás megkezdése előtt.
4. *PMT információs tábla megérkezése.* A kliensnek 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.
5. *Video kulcskeret megérkezése.* Végül pedig a H.264 videofolyam dekódolásának megkezdésének feltétele, hogy érkezzen egy olyan referencia videokeret (I-frame) az elemi videofolyamban, melyre az utána következő differenciális videokeretek dekódolásakor lehet hivatkozni.

*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.

A csatornaváltás idejét tehát a fenti öt tényező befolyásolja, melyekből az első négyet kell elemezni és jegyzőkönyvbe venni a mérés során.

## 9. Ellenőrző kérdések

*Ha e kérdéseket megpróbálják megválaszolni, akkor 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 ekkor?
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 az IGMP Snooping funkció? Milyen hálózati eszközökön működik?
6. Az IPTV rendszerekben az IGMP protokoll mely verzióit alkalmazzák? Miért?
7. Miért használunk MPEG Transport Stream-et a médiatartalmak IPTV technológiával történő továbbításához?
8. Soroljon fel legalább három elemi folyamatípust, amelyek egy MPEG Transport Streamben megjelenhetnek!
9. Ismertesse az IPTV szolgáltatás minőségét meghatározó elemi hálózati QoS metrikákat!
10. IPTV és DVB rendszerekben jellemzően milyen hang- és videokódolót alkalmaznak a szolgáltatók?
11. Jellemzően mekkora az SD és HD adások sávszélességigénye IPTV szolgáltatás esetén?
12. Mi a vételi oldali lejátszási puffer? Mik a pozitív, illetve negatív hatásai?
13. IPTV esetén milyen tényezők befolyásolják a csatornaváltási időt?
14. Soroljon fel legalább két MPEG2 TS információs táblát és röviden ismertesse a tartalmukat!
15. Érdemes-e a VoD szolgáltatás által generált médiaforgalmat multicast módon eljuttatni az előfizetőhöz? Miért?