

Kommunikációs hálózatok 2

IPTV rendszerek

Kidolgozta: Orosz Péter

Előadja: Németh Krisztián

BME TMIT

2020. április 7.



Digitális TV/rádió műsorszórás

□ DVB (Digital Video Broadcasting) rendszerek

- DVB-T – Terrestrial, azaz földfelszíni digitális sugárzás
- DVB-C – Cable, digitális kábeltelevízió
- DVB-S – Satellite, digitális műholdas műsorszórás

Egyéb digitális TV szabványok: ATSC (Észak Amerika), ISDB (Dél Amerika), DTMB (Ázsia)

□ IP alapú műsorszórás

- Internet Protocol Television (IPTV)
- Internet TV

VoD (Video on Demand)

OTT (Over the Top)

IPTV

Internet TV

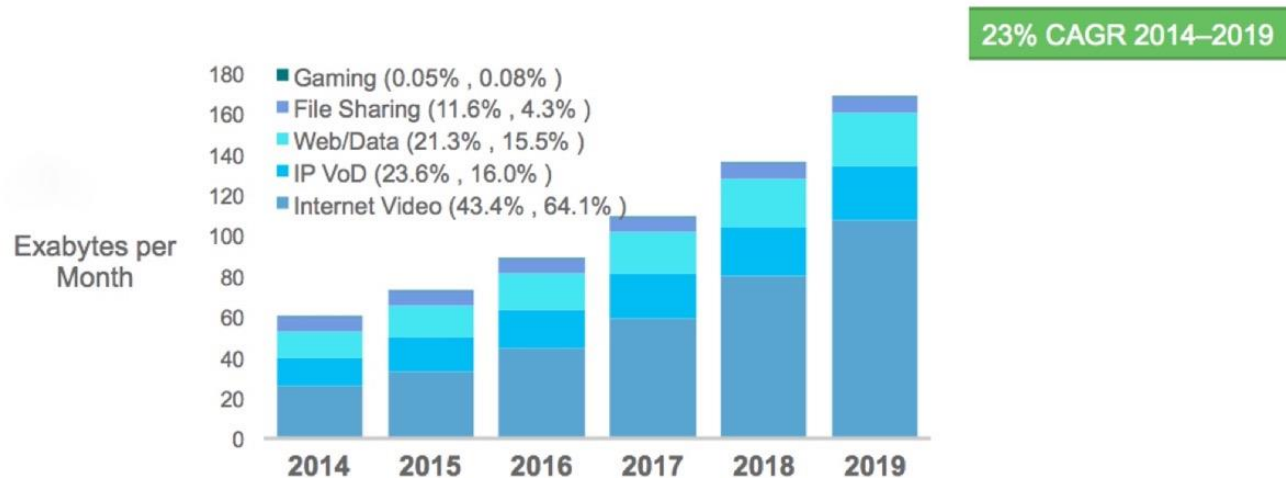
Video streaming

Videó adatforgalom alakulása

A konkrét forgalmi mennyiségeket nem kell megtanulni.

Global IP Video Traffic Growth

IP Video Will Account for 80% of Global IP Traffic by 2019

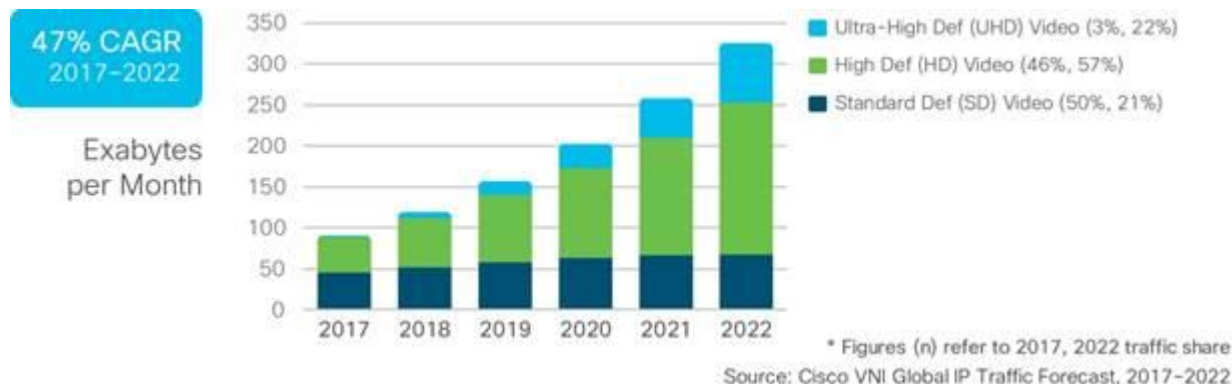


CISCO

* Figures (n) refer to 2014, 2019 traffic shares

Source: Cisco VNI Global IP Traffic Forecast, 2014–2019

© 2015 Cisco and/or its affiliates. All rights reserved. Cisco Public 4



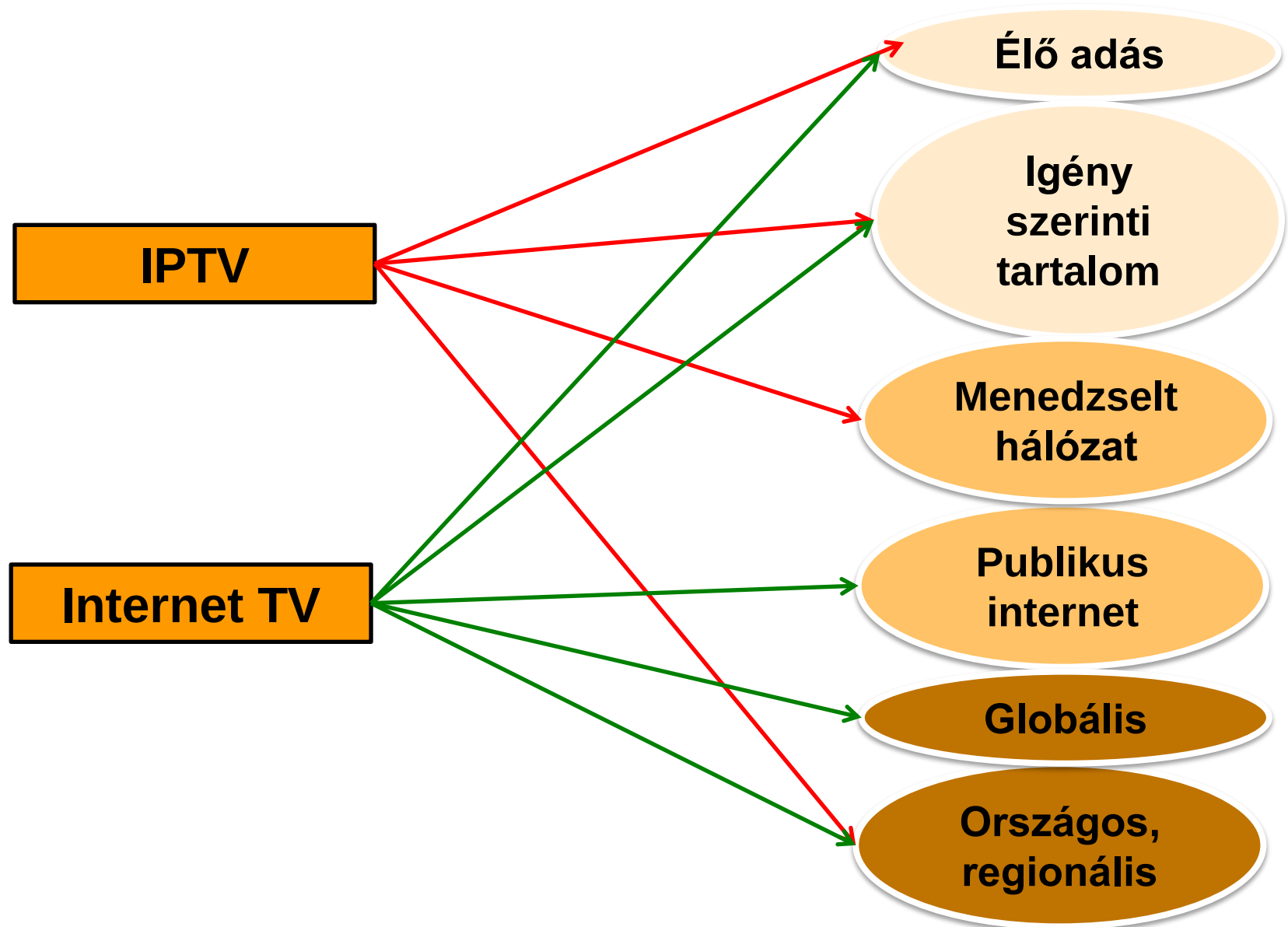
IPTV = Internet TV?

- Tartalom kötöttsége
 - Élő (lineáris) adás – specifikus sugárzási időpont
 - Igény szerinti tartalom (Video on Demand) – tetszőleges időpont

- Terjesztési modell
 - Menedzselt hálózaton, átviteli garanciák mellett, multicast kommunikáció (többesküldés)
 - Publikus hálózaton, garanciák nélkül, unicast kommunikáció (egyesküldés)

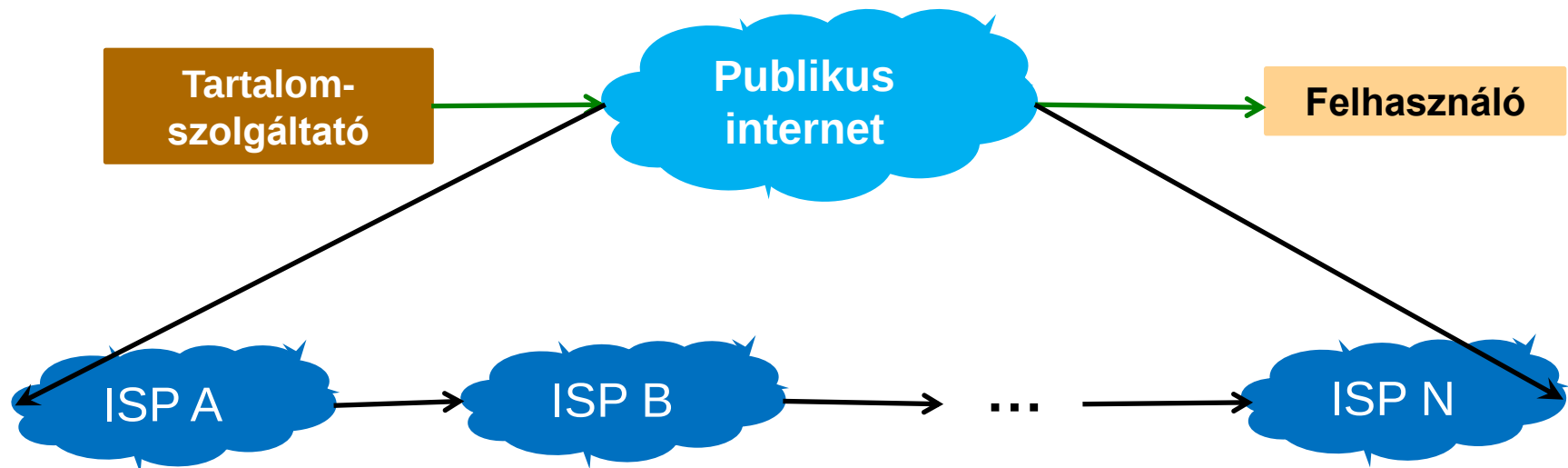
- Szolgáltatás kiterjedése
 - Országos, regionális, városi
 - Globális

IPTV $\neq$ Internet TV



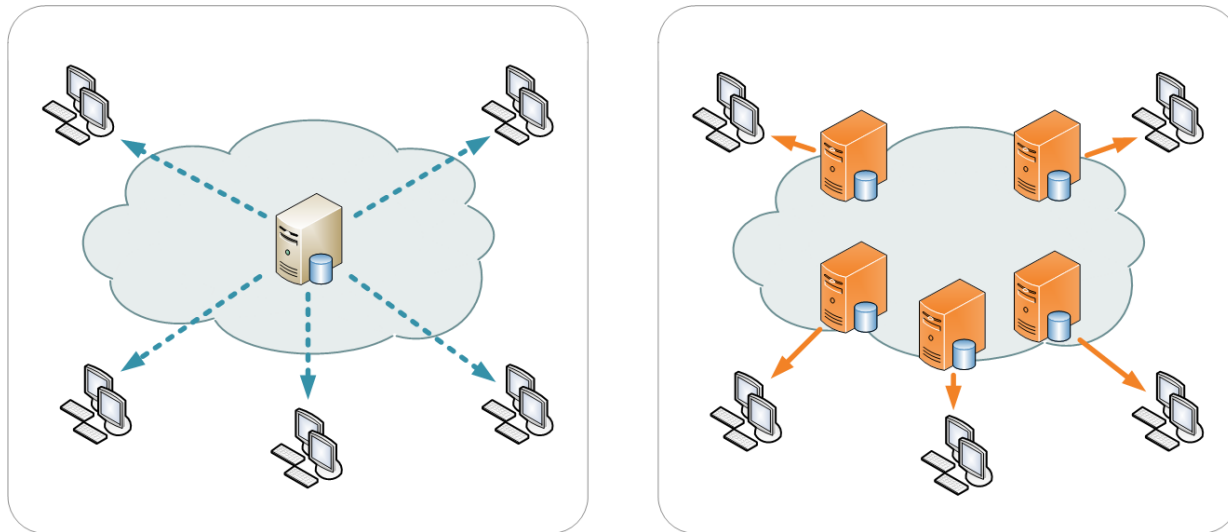
Internet TV

Over-the-top (OTT) terjesztési modell



- VoD/live video szolgáltatók: Youtube, Netflix, Hulu, TV.Go, stb.
- Valós idejű forgalmat best effort (BE) hálózaton kell továbbítani (nincs garancia az átvitel minőségére)
- Unicast kliens-szerver modell: nagy erőforrásigény (rossz skálázhatóság) – megoldás: Content Delivery Network (CDN)

Illusztráció: Content Delivery Network (CDN)



Valósídejűség best effort hálózaton

Az IP protokoll best effort jellegű átvitelt valósít meg, mely során nem garantált, hogy ...

- az űzenet minden darabja megérkezik a címzetthez,
- sorrendhelyesen valósul meg az átvitel,
- alacsony mértékű és alacsony ingadozású az átvitel késleltetése a teljes útvonalon (end-to-end).

Valósídejűség - kihívások

- Az IP hálózatokban megjelent valósídejű szolgáltatások jelentős része korábban dedikált fizikai infrastruktúrán működött (pl. telefonhálózat, kábel tv hálózat, videókonferencia rendszer, stb.).
- A dedikált hálózatok műszaki paramétereit a szolgáltatás jellegéhez igazodtak, magas rendelkezésre állást biztosítottak.
- A kedvező kiépítési és üzemeltetési költségek, valamint a rugalmas konfigurálhatóság hatására a legtöbb interaktív szolgáltatás ma már jellemzően IP feletti szolgáltatásként érhető el.

Valósídejűség - megoldás

Műszakilag fenntartható megoldást kell adni az új alkalmazások átviteli követelményeire.

- Az IP útválasztók eredendően demokratikus (FIFO jellegű) csomagtovábbítási mechanizmusát új mechanizmusok váltották fel: **kűlőnbőzű forgalomtűpusok igényeinek dinamikus kiszolgalása**
- A szolgáltatás minőségének megfelelő szinten tartásához a hálózat forgalmát osztályozni kell és az erőforrásokat az osztályok között fel kell osztani: **Quality of Service (QoS)**
- Cél: átviteli garanciák végponttól végpontig

Forgalmi mintázat

On-demand tartalom

- Jellemző a hosszabb, de nem túl hosszú időszegmensek (5-15 s) előtöltése (prefetch).
- A médiatartalom nagyobb darabokban (chunk-okban) érkezik a végponthoz
- Tipikusan TCP szállítási protokoll

Élő tartalom

- Rövidebb előtöltés (100-500 ms)
- Folyamatos forgalmazás (nem chunk-os, közel fix csomagráta)
- TCP vagy UDP/RTP szállítási protokollok

Szállítási protokoll (RTP vs TCP)

Élő médiatartalom átviteléhez

Szükség van:

- ❑ Sorrendtartásra (szekvenciaszám)
- ❑ Időzítésre (időbélyeg)
- ❑ Alacsony késleltetésre

Nincs szükség (azaz inkább lehetőség):

- ❑ Újraküldésre
- ❑ Torlódásszabályozásra

Az IPTV szolgáltatás elterjedése

- Jellemzően távközlési szolgáltatók saját hálózatukban, saját előfizetőik számára nyújták
- A hagyományos távbeszélő szolgáltatásokból egyre kevesebb bevétel származik, ezért új szolgáltatásokkal kell az ügyfeleket fogyasztásra ösztönözni
- Ehhez a meglévő infrastruktúrán is működnie kell a szolgáltatásnak (Triple Play)
 - Triple Play: TV, Internet, Telefon egy szolgáltatótól

IPTV szolgáltatások

- ❑ Élő TV és rádió adás továbbítása IP hálózaton
- ❑ Digital Rights Management (DRM)
- ❑ Electronic Program Guide (EPG) – műsorújság
- ❑ Teletext
- ❑ Élő adás felvétele: kliens-oldalon (set-top-box) vagy szerver-oldalon (Catch up TV)
- ❑ Kép a képben (PiP, Picture in Picture)
- ❑ Time shifting
- ❑ Egyidőben több felvétel + élő adás (az internet szolgáltatás sávszélessége korlát lehet)
- ❑ Programozott felvétel műsorújság alapján
- ❑ Video on Demand – videótéka (TV műsorok, filmek, sorozatok, stb.)
- ❑ Alkalmazások futtatása (hírek, időjárás, árfolyamok, messaging, stb.)

Terjesztés menedzselt hálózaton



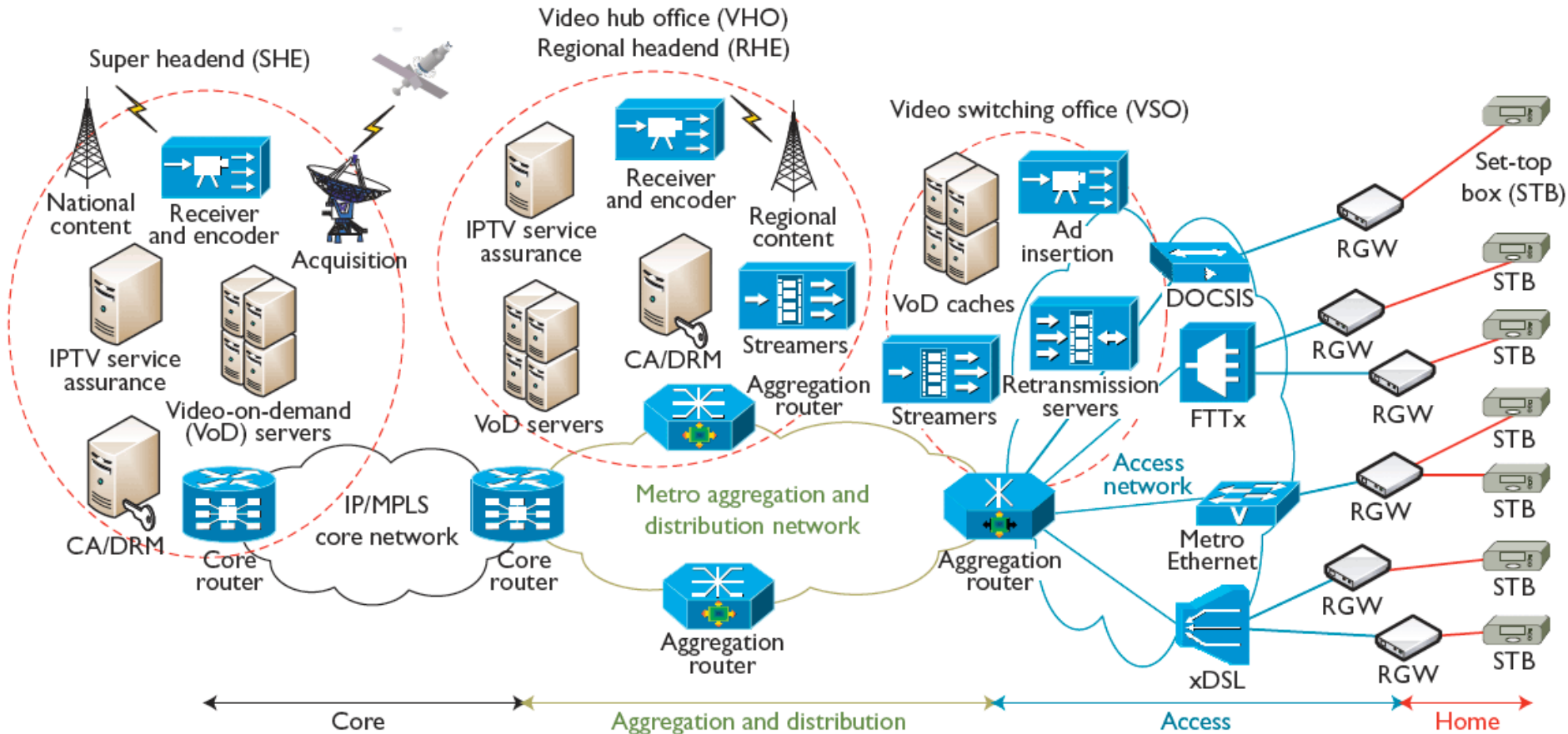
A rendszer elemei:

- TV fejállomás
- VoD kiszolgáló
- Transzport hálózat
- Home gateway
- Set-top-box

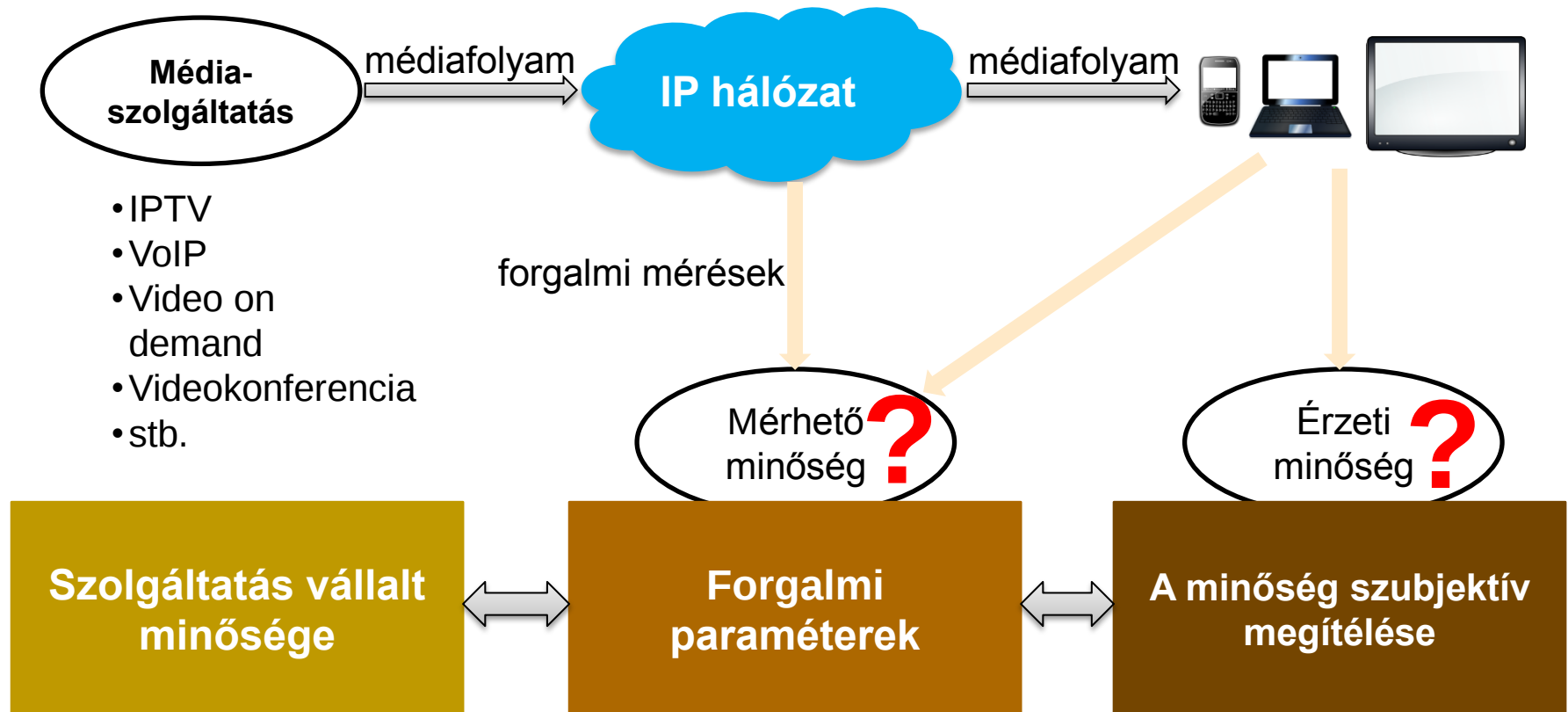
- A szolgáltató saját hálózatában szolgáltatásminőségi (QoS) garanciákat biztosít a médiafolyam továbbításához
- Skálázhatóság: multicast továbbítási modell

IPTV menedzselt hálózaton

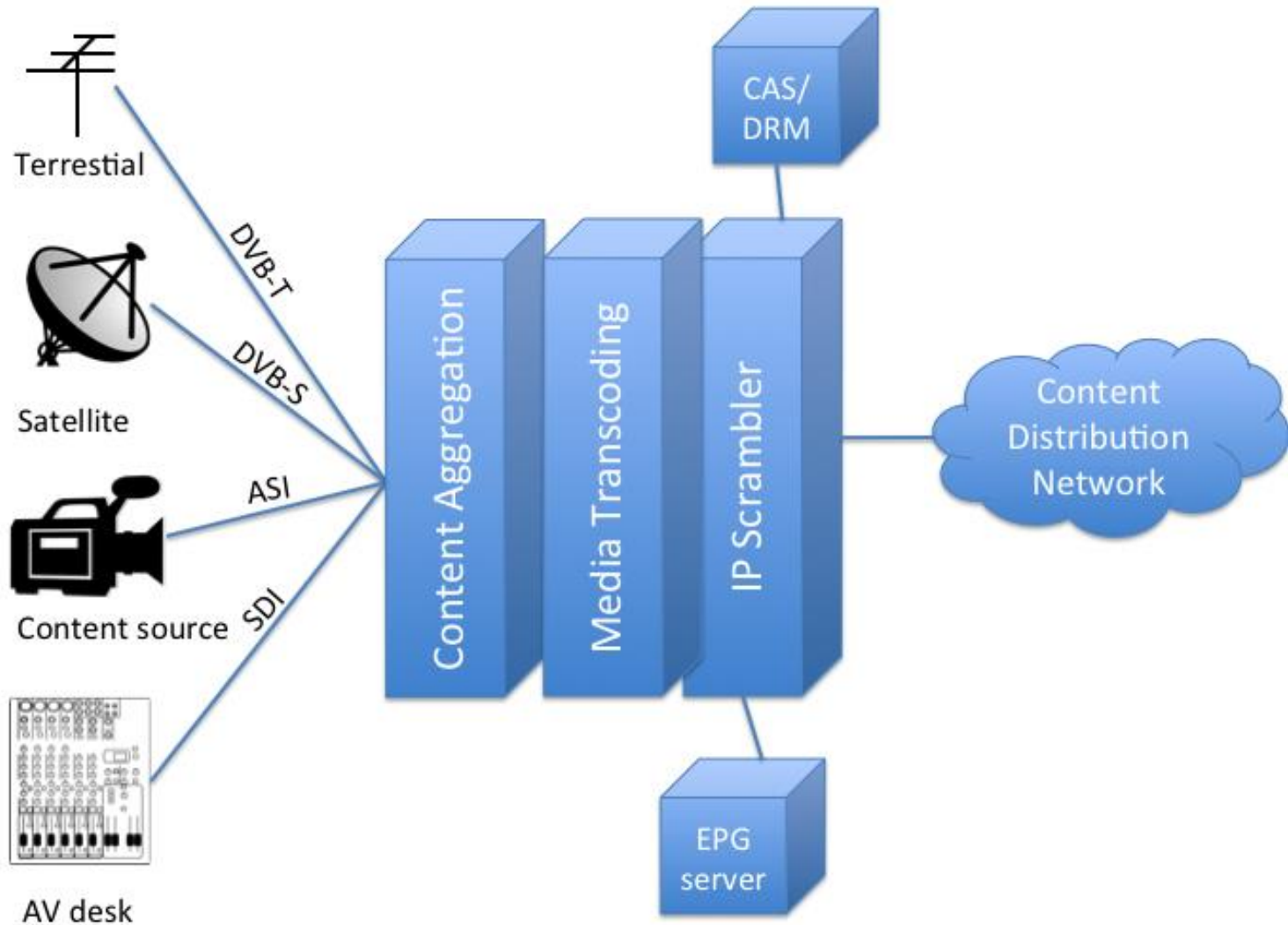
AC. Begen et al.,
Reducing Channel-ChallengeTimes with the Real-Time Transport Protocol



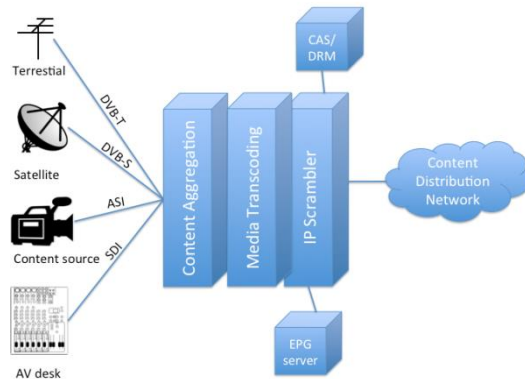
Szolgáltatás minősége



IPTV fejlesztés vázlatos felépítése



Fejállomás: dia magyarázata



- Content aggregation: műsorfolyamok összegyűjtése különböző forrásokból. A tartalom szolgáltatója (jellemzően a TV társaság) többféle technológiával is eljuttathatja a műsort az IPTV szolgáltatónak: DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial - földfelszíni digitális TV), DVB-S (Digital Video Broadcasting - Satellite, műholdas digitális TV), SDI (Serial Digital Interface), ASI (Asynchronous Serial Interface)
- Media transcoding: a médiafolyam (kép és hang) újrakódolása az IPTV rendszer követelményeinek megfelelően: sávszélesség-igény, kulcs videókeretek gyakorisága, felbontás, stb.
- IP Scrambler: Az újrakódolt médiafolyamból IP hálózaton továbbítható adatcsomagok készítése: IP/UDP/RTP/MPEG-2 TS/ES beágyazás
- CAS/DRM (Conditional Access System/Digital Rights Management): hozzáférés-szabályozást (adott előfizető melyik csatornához, illetve on-demand tartalomhoz férhet hozzá), valamint a digitális tartalmak jogi és technikai védelmét megvalósító alrendszerek

IPTV médiafolyam

Tulajdonságok	Standard Definition	High Definition
Sávszélesség-igény	1,6 - 2,2 Mbit/s	7 - 9 Mbit/s
Képfelbontás	720 x 576 px	1920 (1440) x 1080 px
Videókódoló	ITU-T H.264 / ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4 Part 10, AVC)	
Hangkódoló	MPEG AAC/AC3	
Médiakonténer	ITU-T H.222.0 / ISO/IEC 13818-1 (MPEG-2 Transport Stream)	
Szállítási protokoll	IETF RFC 3550 Real-time Transport Protocol (RTP)	
Továbbítási modell	IP multicast	

IPTV protokoll készlet

- IPv4/IPv6
- IGMPv3/MLDv2/PIM
- UDP
- RTP/RTCP
- MPEG-2 Transport Stream
- PES (Packetized Elementary Stream)

Médiakódolás:

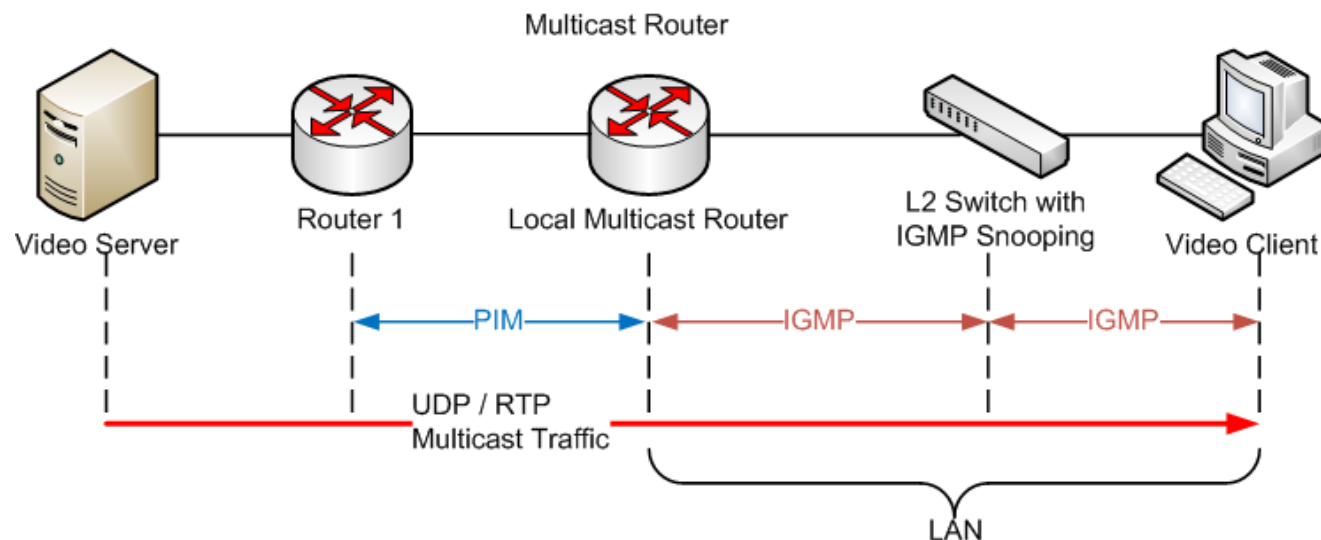
- H.264/H.265 (videókódoló)
- MPEG AAC (hangkódoló)

Multicast IP címek

- ❑ Multicast üzenettovábbításra: 224.0.0.0/4 (D osztályú) címtartomány (1. octet: 1110xxxx.)
- ❑ Egy multicast cím csomópontok egy jól definiált csoportját azonosítja: multicast csoport
- ❑ A csoporttagság dinamikus
- ❑ IPTV rendszerekben egy multicast IP cím egy adott TV csatorna aktív nézőit azonosítja a hálózaton
- ❑ A TV-műsor médiafolyamát a hozzá rendelt D osztályú IP címmel rendelkező csoport tagjainak továbbítja a hálózat

IGMP - Internet Group Management Protocol

- ❑ Multicast csoporttagságok menedzsmentje hálózaton belül
- ❑ IGMP üzenetváltás: IP végpontok és a helyi útválasztó között
- ❑ OSI besorolás: az IP protokollkészlet része, a hálózati réteghez tartozik
- ❑ Szereplők: IGMP host – IGMP querier



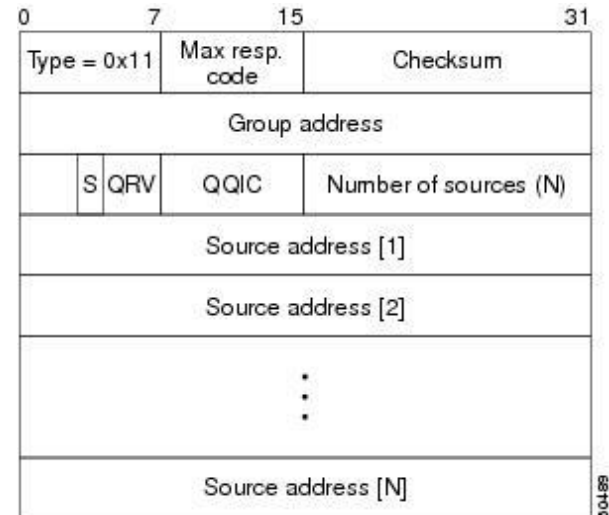
IGMP: Query/Report

A teljes IGMP
fejlécszerkezet nem
vizsgaanyag..

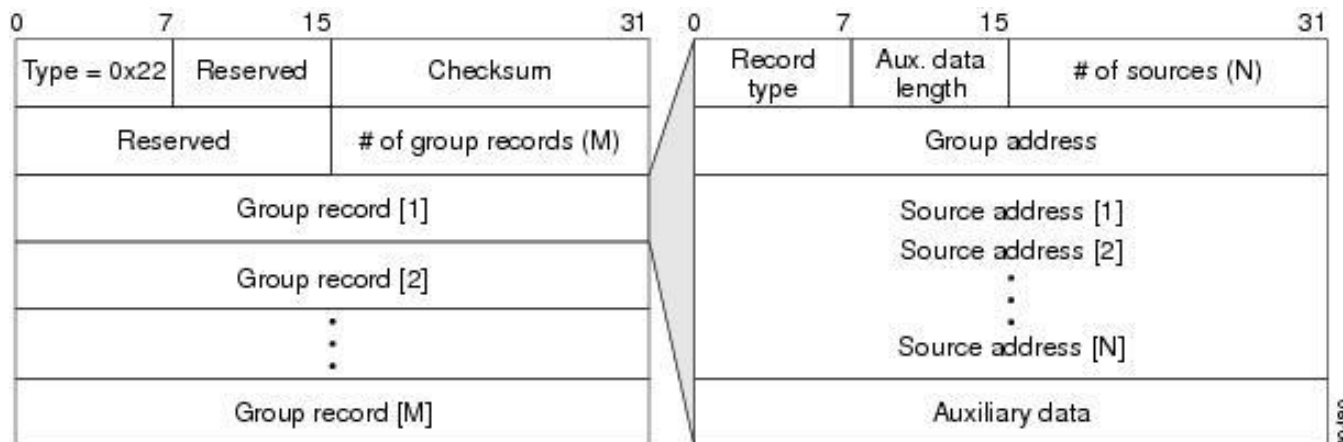
- ❑ **Membership Query** - Csomópontok multicast csoportagságát kérdezi le a hálózathoz kapcsolódó útválasztó (IGMP querier).

Forrás:

https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions_docs/ip_multicast/White_papers/mcst_ovr.html



- ❑ **Membership Report** – Tagság(-ok) jelentése a multicast útválasztó (IGMP querier) felé. A csomópont ugyanezzel az üzenettel tud feliratkozni egy multicast csoportba.



v2 változat: explicit csoportelhagyás (leave group)

- így ha nincs már több tag, gyorsan leállítható a multicast címre küldött forgalom az adott hálózati szegmensben

v3 változat: forrás-specifikus multicast csoportok

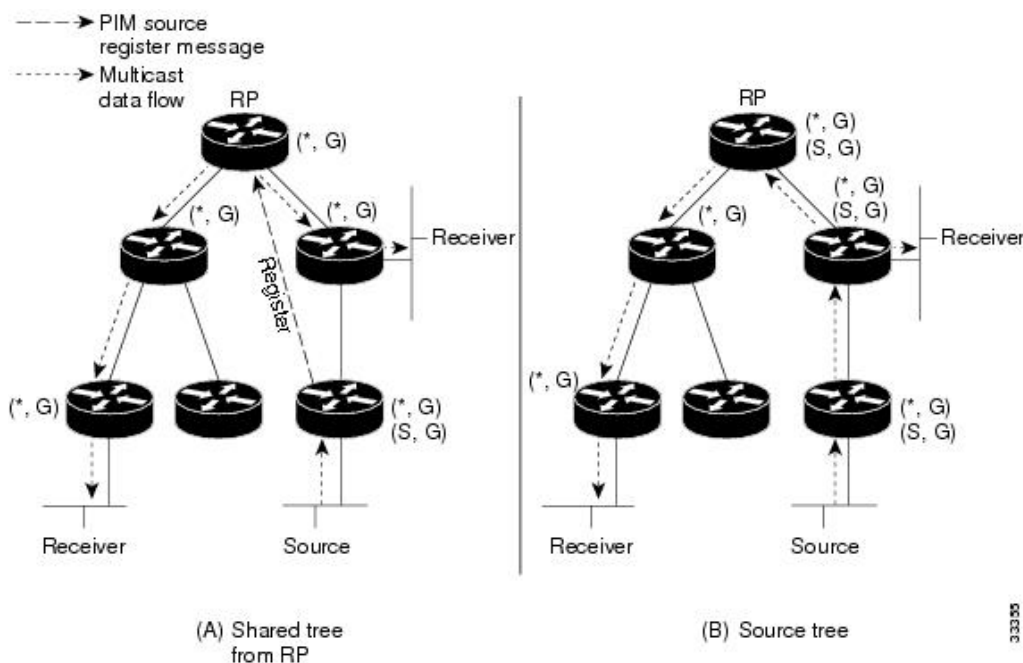
- Megadhatunk a forráscsomópont címére vonatkozó megkötéseket (szűréseket):
 - Include mode
 - Exclude mode
- A forrás megkötésével megelőzhetőek a jogosulatlan forrásból származó Denial-of-Service támadások.

Multicast IP útválasztás

□ Protocol Independent Multicast (PIM)

- PIM Sparse mode (SM)
- PIM Dense mode (DM)
- PIM Source-specific multicast (SSM)

IPTV rendszerben: SM és SSM



33333

Forrás:

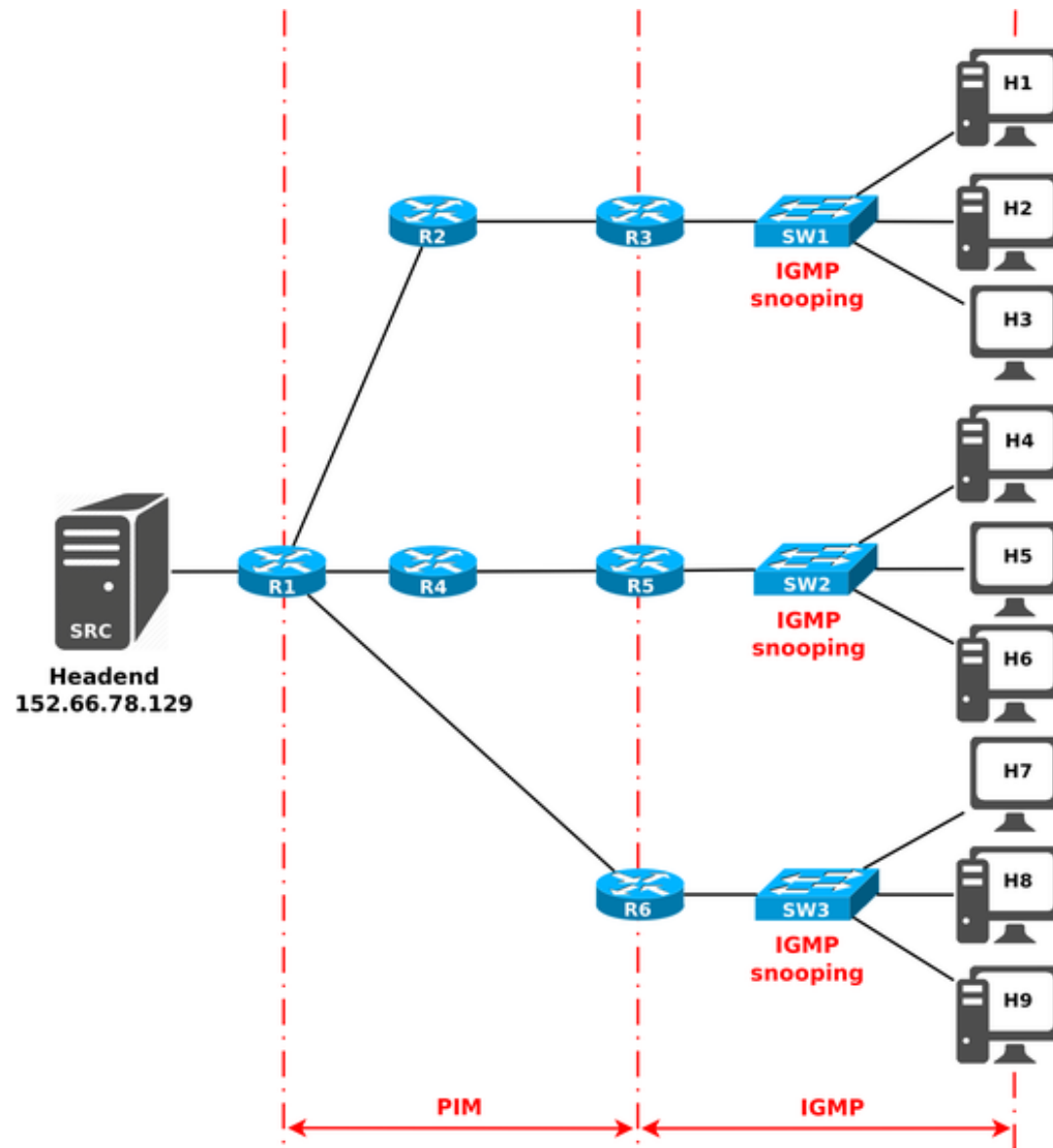
https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions_docs/ip_multicast/White_papers/mcst_ovr.html

Sparse mode: A multicast fát, melynek gyökere az ú.n. Rendezvous-point (RP) útválasztó, explicit IGMP kérések alapján építi fel a protokoll (pull modell).

A működési modell jó illeszkedik a WAN hálózati környezetben, fizikailag elszórt multicast vevők kiszolgálásához.

Source-specific: A multicast fa gyökere egy előre definiált forrás csomópont. A multicast csoport megadása a forrás-/csoportazonosító párossal történik: (S,G)

IGMP Snooping



Real-time Transport Protocol (RTP)

Dedikált transport protokoll valós idejű médiaátvitel támogatására: IETF RFC 3550

Alkalmazási területek:

- VoIP
- Videókonferencia
- IPTV
- Streaming audio és video

RTP szolgáltatások

- ❑ Kezeli a hálózati csomagátrendeződést,
- ❑ időzítést biztosít az üzenetdarabok megfelelő időben történő lejátszásához (jitter kompenzáció),
- ❑ hang és képi tartalmak továbbítására egyaránt alkalmas.
- ❑ IP multicast támogatása
- ❑ Alkalmazás-szintű keretezésen alapul (Application-level Framing, ALF)

RTP fejléc

Az RTP fejlécből csak a sorozatszám (sequence number) és időbélyeg (timestamp) mezőket kell vizsgára megtanulni.

RTP packet header

Bit offset ^[b]	0-1	2	3	4-7	8	9-15	16-31
0	Version	P	X	CC	M	PT	Sequence Number
32	Timestamp						
64	SSRC identifier						
96	CSRC identifiers ...						
96+32×CC	Profile-specific extension header ID					Extension header length	
128+32×CC	Extension header ...						

Forrás: wikipedia.org

MPEG-2 Transport Stream

Szabványos konténer formátum mozgókép, hang és program-, illetve szolgáltatás-információs üzenetek (műsorújság, teletext, feliratok, stb.) multiplexelt továbbítására.

- Szabvány hivatalos elnevezése: ISO/IEC 13818-1
- Felhasználási terület: DVB, IPTV
- Egy TS-ben több elemi médiafolyam
- Több hangsáv egyidejű továbbítása
- Szinkronizáció az elemi folyamatok között (pl. hang, kép, felirat)
- PID (packet identifier) – minden elemi folyamat egyedi azonosítóval rendelkezik

MPEG-2 Transport Stream

ES Level

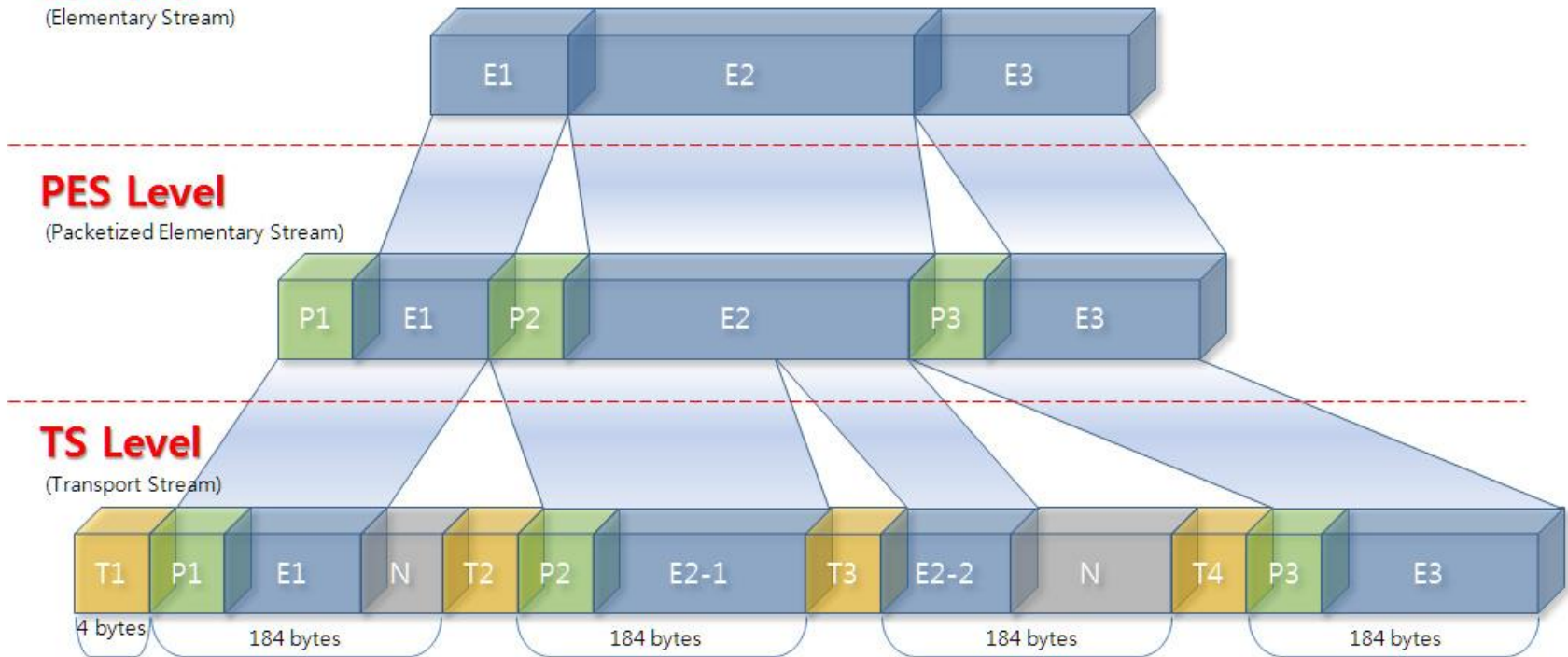
(Elementary Stream)

PES Level

(Packetized Elementary Stream)

TS Level

(Transport Stream)



TS header



PES header



ES



Null data

MPEG TS csomagok beágyazása

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=0x7d8 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					

MPEG-2 információs táblák

TV csatorna = Program

- ❑ Program Association Table (PAT): A transport streamben továbbított csatornák (programok) azonosítóit tartalmazó tábla.
- ❑ Program Map Table (PMT): Az egyes programokhoz tartozó elemi folyamatok PID azonosítóit tartalmazó tábla.
- ❑ Event Info Table (EIT): Az EPG alrendszer az EIT tábla információi alapján készíti el a műsorújságot.
- ❑ Program Clock Reference (PCR): Az elemi folyamatok szinkronizációjára használt referencia-óra.

Időszegmensek kódolása

■ Constant Bitrate (CBR) üzemmód

A médiakódoló a kimenetén konstans bitrátával állítja elő a tömörített médiafolyamot.

Ebben az üzemmódban a médiatartalom pillanatnyi komplexitásától független az aktuális tömörítési ráta.

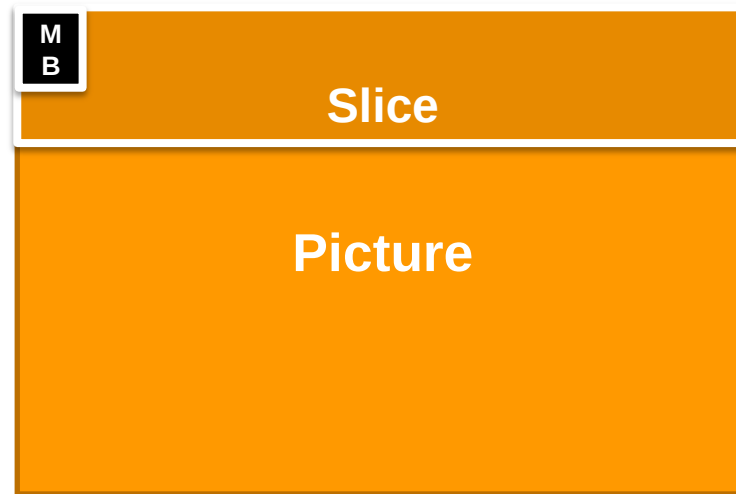
■ Variable Bitrate (VBR) üzemmód

A médiakódoló a kimenetén a médiatartalom komplexitásával arányos, változó rátával állítja elő a tömörített médiafolyamot.

H.264

- Veszteséges tömörítési eljárás
- Konstans vagy változó bitráta
- YCbCr színtér
- Profilok és szintek
- Képcsoportok (Group of Pictures)
- Mb (Macroblock) – Slice - Frame kapcsolat

H.264 építőkövek



- Egy képkocka több szeletre (slice) osztható
- A makroblokk (MB) diszkrét koszinusz transzformáción (DCT) alapuló képi feldolgozási egység
 - változó méretű blokkokból áll: 16x16, 16x8, 8x8, 8x4, 4x4.

H.264 kerettípusok

- I-frame (intra coded frame)

A képkocka előállításához nincs szükség további keretekre. A képcsoport kezdő kerete.

- P-frame (predictive coded picture)

Korábbi I vagy P keretet használ referenciaként, a változást mozgásvektorokkal írja le.

- B-frame (bi-predictive coded picture)

Korábbi és későbbi I vagy P kereteket is felhasznál referenciaként.

H.264 kódolású folyam makroszerkezete

- ❑ Meghatározható, hogy adott IP csomag milyen típusú videó-keretet tartalmaz.
- ❑ Egy H.264 kódolású adatfolyam Group Of Pictures (GOP) blokkokra osztható.
- ❑ Minden GOP I-frame-mel kezdődik, melyet előre definiált sorrendben P és B-frame-ek követnek.
- ❑ Új I-frame a következő GOP kezdetét jelzi.

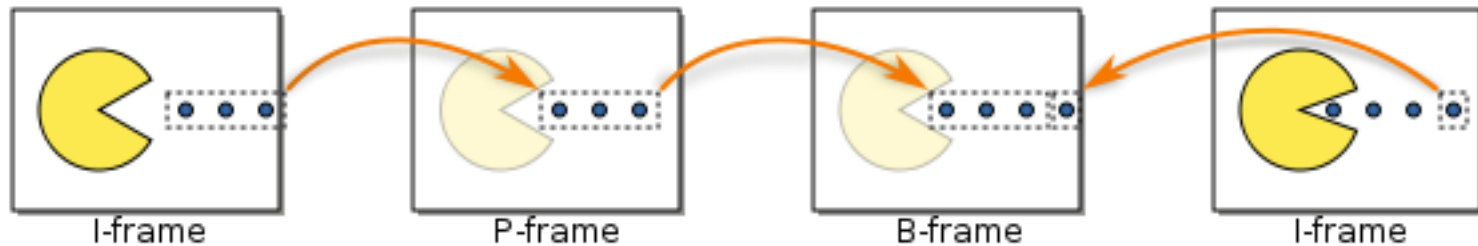
GOP-szerkezet



Lejátszási sorrend



Dekódolási sorrend

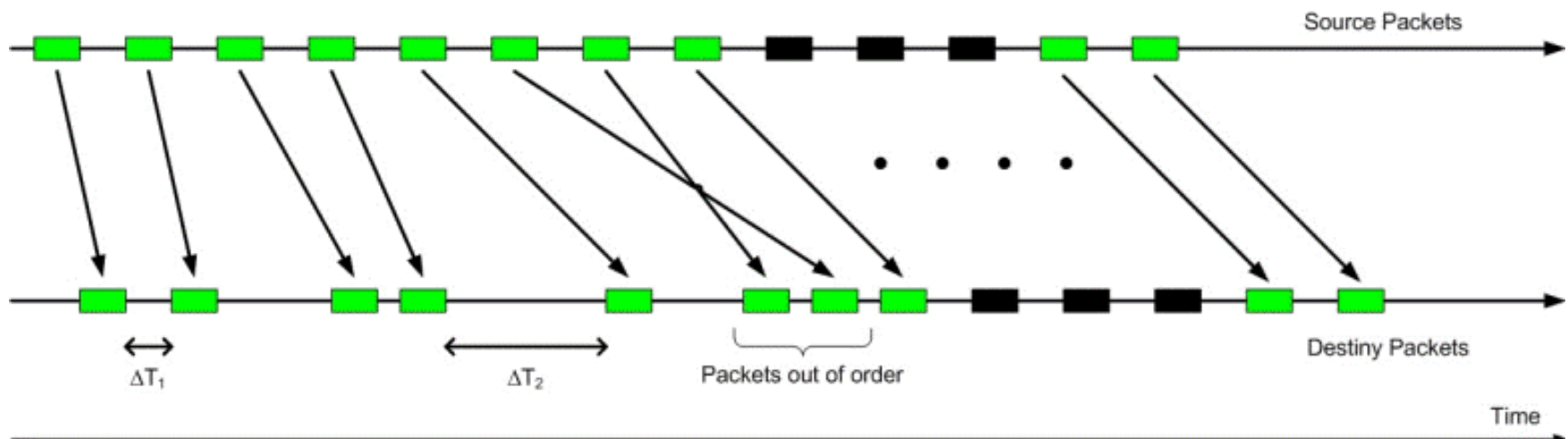


Szolgáltatásminőség mérése

- Az átvitt média érzeti minőségét befolyásoló IP-szintű elemi hálózati metrikák:
 - Késleltetés (delay, ms)
 - Késleltetés ingadozása (jitter, ms)
 - Csomagvesztés (packet loss, %)
 - Csomagsorrend átrendeződés (packet reordering, %)
 - Átviteli teljesítmény -- bitsebesség (throughput, bps)
- 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

Jitter és átrendeződés

A médiakódolók meghatározott rátával, adott sorrendben küldik a médiacsomagokat, ezzel szemben a videó- és hangfolyamok IP csomagjai a hálózat működéséből adódóan nem fix késleltetéssel és nem feltétlenül garantált sorrendben jutnak el a forrástól a címzettig.



Forrás: exfo.com

Kulcskeretetet érintő csomagvesztés

Két képcsoportot
(GOP) tartalmazó
videó minta

A második GOP
kulcs-keretének
eldobása

A második GOP-ban
megjelenő mozgás-
vektorok nem
releváns képi
elemeket mozgatnak



Forrás: The Internship (Regency Enterprises, Wild West Picture Show
Productions, 21 Laps Entertainment)

Kulcskeretetet érintő csomagvesztés

Két képcsoportot
(GOP) tartalmazó
videó minta

A második GOP
kulcs-keretének
eldobása

A második GOP-ban
megjelenő mozgás-
vektorok nem
releváns képi
elemeket mozgatnak



Forrás: The Internship (Regency Enterprises, Wild West Picture Show
Productions, 21 Laps Entertainment)

Kulcskeretetet érintő csomagvesztés

Két képcsoportot
(GOP) tartalmazó
videó minta

A második GOP
kulcs-keretének
eldobása

A második GOP-ban
megjelenő mozgás-
vektorok nem
releváns képi
elemeket mozgatnak



Forrás: The Internship (Regency Enterprises, Wild West Picture Show
Productions, 21 Laps Entertainment)

De-jitter puffer

- A pufferbe változó időközökkel érkező csomagok fix rátával kerülnek kiolvasásra onnan: késleltetési ingadozás kiegyenlítése
- Negatív hatása: 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.
- IPTV set-top-box jellemző puffermérete: 80-200 ms

Csatornaváltás (Zap Time)

A váltás idejét meghatározó faktorok:

- ❑ Csoportváltás (IGMP leave és join)
- ❑ Multicast disztribúciós fa bővítése (PIM routing)
- ❑ Végponti puffereelés (playout buffering)
- ❑ Következő kulcs videókeret (I frame) bevárása