



**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**DEPARTMENT OF INFORMATICS AND COMPUTER ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING**

Πτυχιακή Εργασία

Τεχνικές πτυχές των OTT υπηρεσιών ζωντανής ροής βίντεο

Bachelor Thesis

Technical aspects of OTT live video streaming services

Συγγραφέας: **Αλέξανδρος-Λεωνίδας Τοπτσής-Βογδάνου**

(AM: 121107)

Επιβλέπων: **Κωνσταντίνος Μαυρομμάτης**
(Λέκτορας Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής)

Αθήνα, Φεβρουάριος 2021

Εξεταστική Επιτροπή:

Κωνσταντίνος Μαυρομάτης: Λέκτορας Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

Παναγιώτης Καρκαζής: Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

Νικόλαος Μυριδάκης: Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

Δήλωση Συγγραφέα Πτυχιακής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Τοπτσής-Βογδάνου Αλέξανδρος-Λεωνίδας του Θεοδώρου, με αριθμό μητρώου 121107, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών,

Τοπτσής-Βογδάνου Αλέξανδρος-Λεωνίδας



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Μαυρομμάτη για τη δυνατότητα που μου έδωσε να υλοποιήσω την παρούσα εργασία και για την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, φίλους και συναδέλφους που με βοήθησαν για την περάτωση αυτής της εργασίας.

Τοπτσής-Βογδάνου Αλέξανδρος-Λεωνίδα,

Αθήνα, Φεβρουάριος 2021

Περίληψη

Η ανάπτυξη των σταθερών δικτύων και των δικτύων κινητής τηλεφωνίας τα τελευταία χρόνια έχει δώσει την δυνατότητα στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών να μπορεί να προσφέρει στον τελικό χρήστη την δυνατότητα να απολαμβάνει περισσότερες και ποιοτικότερες υπηρεσίες με όλο και μεγαλύτερη κάλυψη.

Οι περισσότερες παραδοσιακές υπηρεσίες επικοινωνιών (τηλεφωνία, ραδιόφωνο και τηλεόραση) αναδιαμορφώνονται χάρη στο Διαδίκτυο, δημιουργώντας νέες υπηρεσίες, όπως η τηλεφωνία μέσω Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (VoIP) και η τηλεόραση Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IPTV). Η διείσδυση του Διαδικτύου και η συνεχής αύξηση του εύρους ζώνης που παρέχεται στους χρήστες έχουν δημιουργήσει άριστες συνθήκες για Over-The-Top (OTT) υπηρεσίες. Οι OTT υπηρεσίες αφορούν την διανομή ήχου, βίντεο και άλλων δεδομένων μέσω του Διαδικτύου χωρίς τον έλεγχο των χειριστών του δικτύου.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να περιγράψει από τεχνική πλευρά την υλοποίηση μιας τηλεοπτικής πλατφόρμας OTT (OTT TV ή αλλιώς Internet TV), ξεκινώντας από το πώς το τηλεοπτικό σήμα αποκτάται και επεξεργάζεται από τη μεριά του παρόχου της υπηρεσίας και το πώς γίνεται η διανομή μέχρι τον τελικό χρήστη.

Εισαγωγικά στο 1^ο κεφάλαιο περιγράφεται τι σημαίνει το αρκτικόλεξο OTT, αναφέρεται συνοπτικά το θεωρητικό υπόβαθρο που είναι απαραίτητο για την περαιτέρω κατανόηση του αντικειμένου της εργασίας και παρουσιάζονται οι πιο δημοφιλείς τύποι τηλεοπτικών δικτύων που υπάρχουν σήμερα.

Στο 2^ο κεφάλαιο περιγράφονται οι υπηρεσίες που παρέχει η OTT TV, τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα της υπηρεσίας και παρουσιάζονται οι κύριες διαφορές της OTT TV με την IPTV.

Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφονται τα δομικά στοιχεία της πλατφόρμας OTT TV που είναι απαραίτητα για να παρέχεται η OTT TV σαν υπηρεσία.

Στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφονται οι τεχνολογίες και τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση περιεχομένου συνεχούς ροής.

Τέλος, στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά στις μελλοντικές τάσεις-εξελίξεις που αναμένεται να διαμορφώσουν το συγκεκριμένο πεδίο.

Λέξεις Κλειδιά: OTT, TV, Πολυμέσα, CDN, Ζωντανή ροή, Κωδικοποίηση

Abstract

The development of fixed and mobile networks in recent years has given the opportunity to the telecommunications industry to offer the end-user the opportunity to enjoy more and higher quality services with ever greater coverage.

Most traditional communications services (telephony, radio and television) are being remodeled thanks to the Internet, creating new services such as VoIP and Internet Protocol TV (IPTV). The penetration of the Internet and the continuous increase of bandwidth provided to users have created excellent conditions for Over-The-Top (OTT) services. OTT services concern the distribution of audio, video and other data over the Internet without the control of network operators.

The purpose of this thesis is to describe from a technical point of view the implementation of an OTT TV platform (OTT TV or Internet TV), starting from how the TV signal is acquired and processed by the service provider and how it is distributed to the end-user.

It introduces what OTT stands for and describes the capabilities of an OTT TV platform in general. It presents the advantages/disadvantages of OTT TV over other transmission techniques such as IPTV. Afterwards it describes the structural elements there are needed to provide the OTT platform as a service. It also describes the technologies and techniques used for the encoding and encryption of the service. Finally, a reference is made to trends-developments that are expected to be implemented on an OTT platform in the future.

Chapter 1 describes what the OTT acronym stands for, briefly describes the theoretical background necessary for further understanding of the thesis' object and presents the most popular types of television networks available today.

Chapter 2 describes the services provided by OTT TV, the advantages and disadvantages of the service, and presents the main differences between OTT TV and IPTV.

Chapter 3 describes the components of the OTT TV platform that are necessary to provide OTT TV as a service.

Chapter 4 describes the technologies and techniques used to stream content.

Finally, in Chapter 5 a brief reference is made to the future trends-developments that are expected to shape this field.

Keywords: OTT, TV, Multimedia, CDN, Live streaming, Encoding

Πίνακας Περιεχομένων

Δήλωση Συγγραφέα Πτυχιακής Εργασίας	3
Ευχαριστίες	4
Περίληψη	5
Abstract	6
Πίνακας Περιεχομένων	7
Αρκτικόλεξα - Λέξεις κλειδιά	11
Ευρετήριο Σχημάτων	13
Ευρετήριο Πινάκων	15
Ευρετήριο Λιστών	16
1. Εισαγωγή	17
1.1. Ορισμός ΟΤΤ	18
1.2. Θεωρητικό υπόβαθρο	19
1.2.1. Οικογένεια πρωτοκόλλων TCP/IP	19
1.2.1.1. Επίπεδο εφαρμογής (Application layer)	20
1.2.1.2. Επίπεδο μεταφοράς (Transport layer)	20
1.2.1.3. Επίπεδο δικτύου (Network layer)	20
1.2.1.4. Επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (Data link layer)	20
1.2.1.5. Φυσικό επίπεδο (Physical layer)	21
1.2.2. Πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς (TCP και UDP)	21
1.2.2.1. Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης (TCP)	21
1.2.2.2. Πρωτόκολλο Αυτοδύναμων Πακέτων Χρήστη (UDP)	21
1.2.2.3. Σύγκριση TCP με UDP	22
1.2.3. Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP)	22
1.2.4. Μέθοδοι μετάδοσης δεδομένων	23
1.2.4.1. Ευρυεκπομπή (Broadcast)	23
1.2.4.2. Πολυεκπομπή (Multicast)	24
1.2.4.3. Μονοεκπομπή (Unicast)	25
1.2.5. Ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service)	26
1.3. Τύποι τηλεοπτικών δικτύων	27
1.3.1. Τηλεόραση Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IPTV)	27
1.3.1.1. Γενική αρχιτεκτονική IPTV	28
1.3.1.1.1. Headend	28
1.3.1.1.2. Δίκτυο κορμού (Core network)	28
1.3.1.1.3. Δίκτυο διανομής (Metro Backbone)	28
1.3.1.1.4. Δίκτυο πρόσβασης (Access network)	29
1.3.1.1.5. Οικιακό δίκτυο (Home network)	29
1.3.1.1.6. Αποκωδικοποιητής (Set-Top Box)	29
1.3.2. Δορυφορική τηλεόραση (Satellite TV)	29
1.3.3. Καλωδιακή τηλεόραση (Cable TV)	30
1.3.4. Επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (Digital Terrestrial TV)	30
2. Γενική περιγραφή ΟΤΤ TV	32
2.1. Υπηρεσίες	32
2.1.1. Γραμμική τηλεόραση (Linear TV)	32
2.1.2. Βίντεο κατ' απαίτηση (Video on Demand)	32
2.1.3. Replay TV	32

2.1.4. Θέαση με χρονική ολίσθηση (Time Shifted TV)	32
2.1.5. Catch-up TV	33
2.1.6. Ηλεκτρονικός Οδηγός Προγράμματος (EPG)	33
2.2. Πλεονεκτήματα OTT TV.....	33
2.2.1. Πρόσβαση ανεξαρτήτως δικτύου/παρόχου	33
2.2.2. Ευρύτερο κοινό και μεγαλύτερη εμβέλεια	34
2.2.3. Πολλαπλές συσκευές (Multiscreen).....	34
2.2.4. Χαμηλό κόστος	34
2.3. Μειονεκτήματα OTT TV/Θέματα προς επίλυση	35
2.3.1. Μη εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας (QoS).....	35
2.3.2. Καθυστέρηση (Latency).....	35
2.4. Σύγκριση OTT TV με IPTV	38
2.5. Υπηρεσίες OTT TV στην Ελλάδα.....	39
2.5.1. Υπηρεσίες της Cosmote.....	39
2.5.1.1. COSMOTE TV OTT	39
2.5.2. Υπηρεσίες της Nova.....	40
2.5.2.1. Nova GO	40
2.5.2.2. Novaflix	40
2.5.3. Υπηρεσίες της Vodafone	41
2.5.3.1. Vodafone TV.....	41
2.5.4. Υπηρεσίες της Wind	42
2.5.4.1. WIND VISION.....	42
2.5.5. Λοιπές υπηρεσίες	42
2.5.5.1. ERTflix.....	42
3. Πλατφόρμα OTT TV.....	44
3.1. Headend	45
3.1.1. Γενικό πλαίσιο	45
3.1.2. Λήψη σήματος (Receiving).....	45
3.1.3. Κωδικοποίηση σήματος (Encoding/Transcoding).....	46
3.1.4. Κωδικοποίηση VoD περιεχομένου.....	46
3.1.5. Κωδικοποίηση live καναλιών OTT.....	47
3.2. Σύστημα Προστασίας Περιεχομένου (CAS/DRM).....	48
3.3. Δίκτυο Διανομής Περιεχομένου (CDN).....	49
3.3.1. Πλαίσιο CDN	50
3.3.2. Περιγραφή CDN.....	50
3.3.3. Συστατικά στοιχεία CDN στην OTT TV.....	53
3.4. Σύστημα Διαχείρισης Περιεχομένου (CMS).....	54
3.5. Ενδιάμεσο λογισμικό (Middleware)	54
3.5.1. Σύντομη περιγραφή	54
3.5.2. Δομή middleware	54
3.5.2.1. Διακομιστής ενδιάμεσου λογισμικού (Middleware server).....	55
3.5.2.2. Πελάτες ενδιάμεσου λογισμικού (Middleware clients).....	55
3.5.3. Λειτουργίες ενδιάμεσου λογισμικού	56
3.5.3.1. Διαχείριση διακομιστή διανομής	56
3.5.3.2. Αυθεντικοποίηση χρήστη (login).....	56
3.5.3.3. Πιστοποίηση πρόσβασης χρήστη	56
3.5.3.4. Αναζήτηση περιεχομένου	56

3.6. Παρακολούθηση και Διαχείριση (Monitoring & Management)	57
3.6.1. Simple Network Management Protocol (SNMP).....	57
3.6.2. Συστατικά στοιχεία υποσυστήματος Παρακολούθησης και Διαχείρισης	59
3.6.3. Σύστημα Διαχείρισης Δικτύου (NMS)	59
3.6.3.1. Λειτουργίες NMS	59
3.6.4. Εργαλεία παρακολούθησης (monitoring tools).....	60
3.6.4.1. Cacti.....	60
3.6.4.2. Zabbix.....	61
3.6.4.3. Nagios.....	62
3.7. Τερματικές συσκευές (Clients).....	63
3.7.1. Εφαρμογές.....	63
3.7.1.1. Ανατομία εφαρμογών.....	63
3.7.2. Συσκευές τελικού χρήστη	67
3.7.2.1. Προσωπικός Υπολογιστής (PC)	67
3.7.2.2. Κινητό και tablet	68
3.7.2.3. Συνδεδεμένες συσκευές (Connected Devices)	68
4. Μετάδοση περιεχομένου συνεχούς ροής	70
4.1. Ανατομία συνεχούς ροής	70
4.2. Πρωτόκολλα και τεχνικές μετάδοσης συνεχούς ροής.....	71
4.2.1. Παραδοσιακός τρόπος μετάδοσης περιεχομένου συνεχούς ροής (RTSP)	71
4.2.2. Προοδευτική λήψη (Progressive download).....	73
4.2.3. Προσαρμοστική ροή (Adaptive Streaming).....	74
4.2.3.1. Προσαρμοστική ροή μέσω HTTP (HTTP-based Adaptive Streaming)	75
4.2.3.1.1. HTTP Live Streaming (HLS)	76
4.2.3.1.2. Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (MPEG-DASH).....	80
4.2.3.1.2.1. Media Presentation Description (MPD)	82
4.2.3.2. Σύνοψη προσαρμοστικής ροής μέσω HTTP	83
4.3. Μορφότυπα δοχείων βίντεο (Video container formats).....	84
4.3.1. MPEG-TS	84
4.3.2. MP4.....	85
4.4. Κρυπτογράφηση και διαχείριση ψηφιακών δικαιωμάτων (DRM).....	86
4.5. Μορφότυπα κωδικοποίησης βίντεο (Video coding formats) - Συμπύεση	87
4.5.1. H.264 (AVC).....	87
4.5.2. H.265 (HEVC)	96
5. Μελλοντικές τάσεις - εξελίξεις	103
5.1. Εξέλιξη υπηρεσιών	103
5.1.1. Υπηρεσίες οπουδήποτε και οποτεδήποτε (TV Everywhere)	103
5.1.2. Ψηφιακή εγγραφή βίντεο στο νέφος (Cloud DVR)	104
5.2. Από Broadcast TV σε OTT TV.....	104
5.3. UHD ανάλυση.....	105
5.4. Νέο πρότυπο κωδικοποίησης βίντεο (H.266).....	106
5.5. Χαμηλή καθυστέρηση (Low latency)	107
5.5.1. Αιτίες καθυστέρησης.....	108
5.5.1.1. Buffering σε επίπεδο προγράμματος αναπαραγωγής.....	108
5.5.1.2. Μεγάλα τμήματα	108
5.5.2. Προσεγγίσεις επίλυσης	109
5.5.2.1. Αφελής προσέγγιση: Μικρά τμήματα	109

5.5.2.2. CMAF.....	110
5.5.3. Αποτελέσματα της διανομής χαμηλής καθυστέρησης.....	111
5.6. Ανάπτυξη υποδομών παρόχων.....	111
5.6.1. Μετάβαση υποδομής από SDI σε Ethernet/IP.....	112
5.6.2. Από hardware σε software - Εικονικοποίηση (Virtualization).....	113
6. Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις.....	115
Βιβλιογραφία - Πηγές.....	116

Αρκτικόλεξα - Λέξεις κλειδιά

ASI	Asynchronous Serial Interface
ARP	Address Resolution Protocol
AVC	Advanced Video Coding
CAS	Conditional Access System
CDN	Content Distribution Network
CMAF	Common Media Application Format
CMS	Content Management System
CTE	Chunked Transfer Encoding
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System
DoS	Denial of Service
DRM	Digital Rights Management
DTT	Digital Terrestrial Television
DVB-(S/S2)	Digital Video Broadcasting - Satellite
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial
DVR	Digital Video Recorder
EPG	Electronic Program Guide
fMP4	fragmented MP4
FTP	File Transfer Protocol
FTTx	Fiber to the x
HD	High-Definition
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
HDS	HTTP Dynamic Streaming
HDTV	High-Definition Television
HEVC	High Efficiency Video Coding
HLS	HTTP Live Streaming
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
IF	Intermediate Frequency
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
IRD	Integrated Receiver/Decoder
ISO	International Organization for Standardization
ISP	Internet Service Provider
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LAN	Local Area Network
MPD	Media Presentation Description

MPEG	Moving Picture Experts Group
MPEG-DASH	MPEG Dynamic Adaptive Streaming over HTTP
MPEG-TS	MPEG Transport Stream
NFV	Network Function Virtualization
NMS	Network Management System
NTP	Network Time Protocol
OTT	Over-The-Top
PC	Personal Computer
POP	Post Office Protocol
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RF	Radio Frequency
RTP	Real-Time Transport Protocol
RTSP	Real-Time Streaming Protocol
SD	Standard-Definition
SDI	Serial Digital Interface
SFTP	Secure File Transfer Protocol
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SNMP	Simple Network Management Protocol
SSH	Secure Shell
STB	Set-Top Box
TCP	Transmission Control Protocol
TS	Transport Stream
TSTV	Time Shifted TV
TV	Television
UDP	User Datagram Protocol
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice over Internet Protocol
VVC	Versatile Video Coding
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
xDSL	x Digital Subscriber Line
XML	Extensible Markup Language

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1-1: Εκτίμηση κίνησης δεδομένων για το διάστημα 2017-2022	17
Σχήμα 1-2: Εκτίμηση κίνησης βίντεο για το διάστημα 2017-2022	17
Σχήμα 1-3: Τα δύο μοντέλα TCP/IP.....	19
Σχήμα 1-4: Διαφορές κεφαλίδων IPv4 και IPv6.....	23
Σχήμα 1-5: Μετάδοση broadcast.....	23
Σχήμα 1-6: Μετάδοση multicast.....	24
Σχήμα 1-7: Μετάδοση unicast	25
Σχήμα 1-8: Παράδειγμα QoS κατηγοριοποίησης κυκλοφορίας (DiffServ)	27
Σχήμα 1-9: Συνοπτική αρχιτεκτονική δικτύου διανομής IPTV	28
Σχήμα 1-10: Συνοπτικό διάγραμμα μετάδοσης δορυφορικής τηλεόρασης	30
Σχήμα 1-11: Συνοπτικό διάγραμμα μετάδοσης επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης	31
Σχήμα 2-1: Απεικόνιση καθυστέρησης.....	35
Σχήμα 2-2: Συστατικά στοιχεία που συμβάλλουν στην καθυστέρηση	36
Σχήμα 2-3: Λογότυπο Android εφαρμογής COSMOTE TV OTT	39
Σχήμα 2-4: Λογότυπο Android εφαρμογής Nova GO	40
Σχήμα 2-5: Λογότυπο Android εφαρμογής Novaflx	40
Σχήμα 2-6: Λογότυπο Android εφαρμογής Vodafone TV.....	41
Σχήμα 2-7: Λογότυπο Android εφαρμογής WIND VISION.....	42
Σχήμα 2-8: Λογότυπο Android εφαρμογής EPTflix.....	42
Σχήμα 3-1: Επισκόπηση πλατφόρμας OTT TV	44
Σχήμα 3-2: Διαδικασία λήψης σήματος μέσω IRD.....	45
Σχήμα 3-3: Διαδικασία κωδικοποίησης VoD περιεχομένου	47
Σχήμα 3-4: Διαδικασία κωδικοποίησης live περιεχομένου	48
Σχήμα 3-5: Αρχιτεκτονική δικτύου χωρίς χρήση CDN και με χρήση CDN	49
Σχήμα 3-6: Βασική έννοια CDN.....	51
Σχήμα 3-7: Διανομή βίντεο χωρίς τη χρήση CDN	52
Σχήμα 3-8: Διανομή βίντεο με τη χρήση CDN	53
Σχήμα 3-9: Αρχιτεκτονική SNMP.....	58
Σχήμα 3-10: Γράφημα παρακολούθησης επιδόσεων δικτύου Cacti	61
Σχήμα 3-11: Πίνακας ελέγχου Zabbix (Έκδοση 5.2).....	62
Σχήμα 3-12: Πίνακας ελέγχου Nagios.....	62
Σχήμα 3-13: Αρχική οθόνη εφαρμογής	64
Σχήμα 3-14: Οθόνη login.....	64
Σχήμα 3-15: Κύρια οθόνη	65
Σχήμα 3-16: Οθόνη λεπτομερειών προγράμματος	65
Σχήμα 3-17: Οθόνη EPG	66
Σχήμα 3-18: Οθόνη αναπαραγωγής βίντεο.....	66
Σχήμα 3-19: Πληθώρα συσκευών τελικού χρήστη	67
Σχήμα 4-1: Στρώματα ροής βίντεο	71
Σχήμα 4-2: Παραδοσιακή ροή με τη χρήση του RTSP	72
Σχήμα 4-3: Αρχιτεκτονική προοδευτικής λήψης	73
Σχήμα 4-4: Παράδειγμα λειτουργίας προοδευτικής λήψης	73
Σχήμα 4-5: Αλλαγή προφίλ με βάση το εύρος ζώνης.....	74
Σχήμα 4-6: Προσαρμοστική ροή μέσω HTTP.....	75
Σχήμα 4-7: Αρχιτεκτονική HLS	77

Σχήμα 4-8: Σχέση μεταξύ λιστών αναπαραγωγής και τεμαχίων πολυμέσων.....	79
Σχήμα 4-9: Τυπική αρχιτεκτονική ροής μέσω HTTP	80
Σχήμα 4-10: Πεδίο εφαρμογής του προτύπου MPEG-DASH.....	81
Σχήμα 4-11: Ιεραρχικό μοντέλο δεδομένων του MPD	82
Σχήμα 4-12: Πολυπλεξία ενός προγράμματος	84
Σχήμα 4-13: Πολυπλεξία πολλών προγραμμάτων	85
Σχήμα 4-14: Λογότυπο του H.264.....	87
Σχήμα 4-15: Σύγκριση προτύπων H.264, H.263 και Motion JPEG.....	90
Σχήμα 4-16: Ενδεικτική ακολουθία καρτέ I, P και B	92
Σχήμα 4-17: Κωδικοποίηση ακολουθίας καρτέ με Motion JPEG.....	93
Σχήμα 4-18: Κωδικοποίηση ακολουθίας καρτέ με H.264.....	93
Σχήμα 4-19: Απεικόνιση της διαφοράς μεταξύ 2 καρτέ	94
Σχήμα 4-20: Αντιστάθμιση κίνησης	95
Σχήμα 4-21: Επίδραση του φίλτρου αποτμημάτωσης στην αποκωδικοποίηση	96
Σχήμα 4-22: Λογότυπό του H.265.....	96
Σχήμα 4-23: Διαφορές μπλοκ δέντρου κωδικοποίησης H.264 και H.265.....	98
Σχήμα 4-24: Σύγκριση απόδοσης H.265 με H.264, H.263 και H.262.....	98
Σχήμα 4-25: Εξέλιξη συσκευών συμβατών με H.265	99
Σχήμα 4-26: Δομή CTU-CU	100
Σχήμα 4-27: Παραδείγματα υποδιαίρεσεων μιας CU	100
Σχήμα 4-28: Παράλληλη επεξεργασία των CTUs	101
Σχήμα 4-29: Διάρθρωση σε πλακίδια για παράλληλη επεξεργασία.....	102
Σχήμα 4-30: Σύγκριση ρυθμού μετάδοσης και υπολογιστικής ισχύος του H.265 με προγενέστερα πρότυπα.....	102
Σχήμα 5-1: Μερικό χρόνο αναπαραγωγής βίντεο σε κινητά και tablets	103
Σχήμα 5-2: Σύγκριση και πρόβλεψη αριθμού συνδρομητών που υιοθετούν παραδοσιακό DVR (πράσινο) έναντι αυτών που υιοθετούν Cloud DVR (γαλάζιο) ..	104
Σχήμα 5-3: Αναλογίες και απαιτήσεις ρυθμού μετάδοσης εικόνας	106
Σχήμα 5-4: Λογότυπό του H.266.....	106
Σχήμα 5-5: Φάσμα καθυστέρησης σε ροή βίντεο	107
Σχήμα 5-6: Χρονοδιάγραμμα ζωντανής ροής.....	108
Σχήμα 5-7: Ολόκληρα τμήματα 6 δευτερολέπτων στη ροή εργασίας	109
Σχήμα 5-8: Τμήμα fMP4 6 δευτερολέπτων σε σύγκριση με το τεμαχισμένο τμήμα CMAF.....	110
Σχήμα 5-9: Τεμαχισμένο τμήμα CMAF στο αποθηκευτικό μέσο	111
Σχήμα 5-10: Εξέλιξη υλοποίησης υποδομών από hardware σε software	114

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2-1: Διαφορές IPTV με OTT TV	38
Πίνακας 5-1: Σύγκριση μορφότυπων εικόνας	105

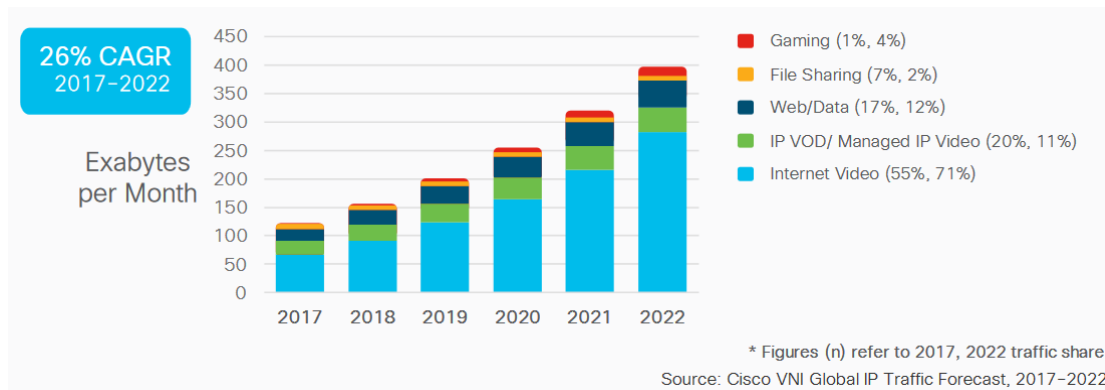
Ευρετήριο Λιστών

Λίστα 4-1: Δείγμα λίστας αναπαραγωγής M3U8	78
Λίστα 4-2: Δείγμα κομματιών .ts λίστας αναπαραγωγής M3U8	78

1. Εισαγωγή

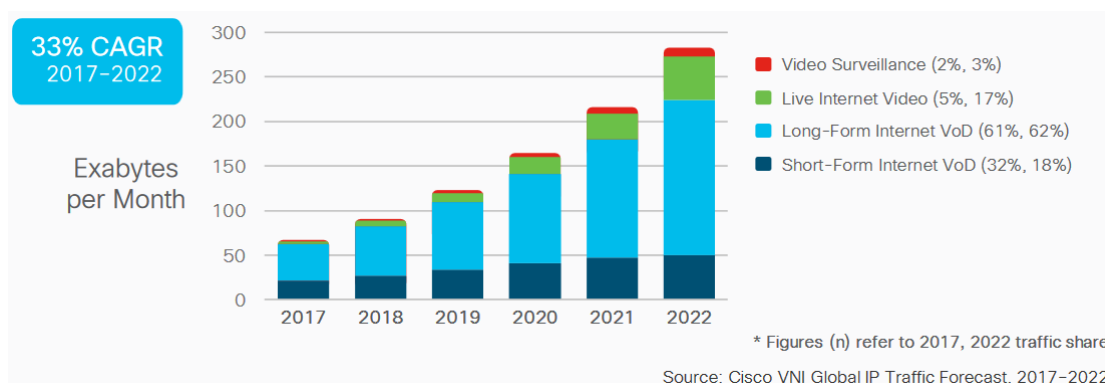
Ένας Πάροχος Υπηρεσιών Διαδικτύου (Internet Service Provider - ISP) είναι ένας οργανισμός που παρέχει ολοκληρωμένες υπηρεσίες πρόσβασης στο Διαδίκτυο. Ορισμένες από τις πιο γνωστές υπηρεσίες που παρέχονται είναι η πρόσβαση στο Διαδίκτυο (Internet), η τηλεφωνία μέσω Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Voice over Internet Protocol - VoIP) και η τηλεόραση Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Internet Protocol Television - IPTV).

Σήμερα, ο περισσότερος κόσμος έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο με όλο και υψηλότερες ταχύτητες. Κατά συνέπεια, η κίνηση δεδομένων στο Διαδίκτυο έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Η αύξηση της κίνησης των δεδομένων που σχετίζεται με τις υπηρεσίες βίντεο είναι δραματική. Για παράδειγμα, ο λεγόμενος Visual Networking Index (VNI) δείκτης της Cisco¹ υποδεικνύει ότι η κυκλοφορία βίντεο το 2017 ανερχόταν στο 75% της παγκόσμιας κίνησης στο Διαδίκτυο και εκτιμά ότι θα φτάσει στο 82% το 2022 (Σχήμα 1-1).



Σχήμα 1-1: Εκτίμηση κίνησης δεδομένων για το διάστημα 2017-2022

Όσον αφορά το μερίδιο κίνησης βίντεο, εκτιμά ότι το live βίντεο θα αυξηθεί από 5% που ήταν το 2017 στο 17% το 2022 (Σχήμα 1-2).



Σχήμα 1-2: Εκτίμηση κίνησης βίντεο για το διάστημα 2017-2022

¹ Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017-2022 White Paper, <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>

Τα δίκτυα που χρησιμοποιούνται για την παράδοση του Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IP) μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες: διαχειριζόμενα/κλειστά και μη διαχειριζόμενα/ανοικτά, ανάλογα με το αν ο ISP ελέγχει την κίνηση ή όχι.

Σε ένα διαχειριζόμενο δίκτυο, ο ISP εγγυάται πολύ υψηλή ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service - QoS) που παρέχει στους συνδρομητές. Αυτός ο τύπος υπηρεσίας χρησιμοποιείται στην IPTV. Η IPTV αναφέρεται στην παροχή ψηφιακής τηλεόρασης και άλλων υπηρεσιών ήχου και βίντεο μέσω ευρυζωνικών δικτύων χρησιμοποιώντας τα ίδια βασικά πρωτόκολλα που υποστηρίζουν το Διαδίκτυο.

Από την άλλη πλευρά, σε ένα μη διαχειριζόμενο δίκτυο, ο ISP δεν εγγυάται QoS. Η κίνηση των δεδομένων γίνεται μέσω της μεθόδου καλύτερης προσπάθειας (best-effort), δηλαδή όλα τα πακέτα δεδομένων έχουν την ίδια μεταχείριση. Εξαιτίας αυτού, η κατανάλωση των υπηρεσιών βίντεο μέσω της μεθόδου best-effort στο Internet δημιουργεί πολλαπλά προβλήματα, όπως η ποιότητα εμπειρίας (Quality of Experience - QoE).

Όταν αναφέρουμε QoE μιας υπηρεσίας εννοούμε τις προσδοκίες των χρηστών για την υπηρεσία. Προκειμένου να παρέχεται η καλύτερη δυνατή εμπειρία σε ένα δεδομένο χρονικό σημείο, οι υπηρεσίες πολυμέσων πρέπει να είναι πραγματικές ή σχεδόν πραγματικές, γι' αυτό και η παράδοση βίντεο δεν θα πρέπει να παγώσει ή να έχει χαμηλό buffer. Επίσης σε live γεγονότα απαιτείται χαμηλή καθυστέρηση (latency) από άκρο σε άκρο (end-to-end).

Τα δεδομένα στο Διαδίκτυο λοιπόν ενδέχεται να είναι βίντεο ή μπορεί να είναι κάτι άλλο, όπως η περιήγηση στο Διαδίκτυο ή το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο. Η παρούσα εργασία θα επικεντρωθεί στο βίντεο. Θα χρησιμοποιείται ο όρος «Over-The-Top TV (OTT TV)» για αναφορά σε τηλεοπτικό περιεχόμενο που διανέμεται μέσω του Διαδικτύου.

1.1. Ορισμός OTT

Το αρκτικόλεξο OTT σημαίνει Over-The-Top. Στα ελληνικά έχει γίνει η απόδοση «επιφυής», που σημαίνει στην κυριολεξία αυτός που φυτρώνει (φύεται) μετά ή πάνω στην επιφάνεια κάποιου άλλου. Στην περίπτωσή μας γίνεται λόγος για μια υπηρεσία που διανέμεται στον τελικό χρήστη μέσω του δημόσιου Διαδικτύου (public Internet). Στην παρούσα εργασία όταν θα γίνεται αναφορά για «OTT υπηρεσία» θα εννοείται μια υπηρεσία που η διανομή της «βασίζεται πάνω στο Διαδίκτυο».

Ο Φορέας Ευρωπαϊκών Ρυθμιστικών Αρχών για τις Ηλεκτρονικές Επικοινωνίες (BEREC) έχει προσεγγίσει τον όρο OTT σε σχετική αναφορά του.² Εμμένει κυρίως στην μέθοδο με την οποία η υπηρεσία παρέχεται στον τελικό χρήστη και όχι στην υπηρεσία καθαυτή. Έτσι ως επιφυής υπηρεσία ορίζεται «περιεχόμενο, υπηρεσία ή εφαρμογή η οποία προσφέρεται στον τελικό χρήστη μέσω του δημοσίου

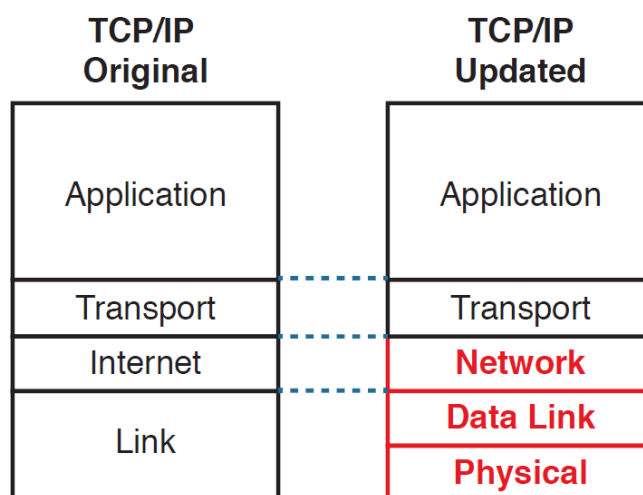
² BEREC Report on OTT services, 2016.

Διαδικτύου».³ Επομένως γίνεται λόγος για μέθοδο παροχής της υπηρεσίας. Συγκεκριμένα μια υπηρεσία θεωρείται πως είναι επιφυής όταν αυτή προσφέρεται μέσω του δημοσίου Διαδικτύου, δίχως να υφίσταται άμεση χρήση των υποδομών των ISPs από τους παρόχους που προσφέρουν περιεχόμενο, εφαρμογές και υπηρεσίες.

1.2. Θεωρητικό υπόβαθρο

1.2.1. Οικογένεια πρωτοκόλλων TCP/IP

Το TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol - Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης/Πρωτόκολλο Διαδικτύου) είναι μια οικογένεια πρωτοκόλλων (μια ομάδα πρωτοκόλλων οργανωμένων σε διαφορετικά επίπεδα) η οποία χρησιμοποιείται σήμερα στο Διαδίκτυο. Είναι ένα ιεραρχικό πρωτόκολλο που αποτελείται από αλληλεπιδραστικές λειτουργικές μονάδες, η κάθε μία από τις οποίες παρέχει μια ειδική λειτουργία. Ο όρος ιεραρχικό σημαίνει ότι κάθε πρωτόκολλο ανώτερου επιπέδου υποστηρίζεται από τις υπηρεσίες που παρέχονται από ένα ή περισσότερα πρωτόκολλα χαμηλότερου επιπέδου. Η αρχική οικογένεια πρωτοκόλλων TCP/IP ορίστηκε ως τέσσερα επίπεδα λογισμικού κατασκευασμένα με βάση το υλικό (hardware). Σήμερα το TCP/IP θεωρείται ένα μοντέλο πέντε επιπέδων. Τα δύο αυτά μοντέλα παρουσιάζονται στο Σχήμα 1-3.



Σχήμα 1-3: Τα δύο μοντέλα TCP/IP

Τα δύο πρώτα επίπεδα εστιάζουν περισσότερο στις εφαρμογές που στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένα. Το κατώτερο επίπεδο επικεντρώνεται στον τρόπο μετάδοσης bits σε κάθε μεμονωμένη διασύνδεση, με το επίπεδο του Διαδικτύου να επικεντρώνεται στην παράδοση δεδομένων σε ολόκληρη τη διαδρομή από τον αποστολέα μέχρι τον τελικό παραλήπτη.

Το μοντέλο TCP/IP στα δεξιά του Σχήμα 1-3 εμφανίζει τους πιο συνηθισμένους όρους και επίπεδα που χρησιμοποιούνται όταν μιλάει κάποιος σήμερα για το TCP/IP.

³ BEREC Report on OTT services, 2016, σελ. 14.

Επεκτείνει το επίπεδο διασύνδεσης του αρχικού μοντέλου σε δύο ξεχωριστά επίπεδα: το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων και το φυσικό επίπεδο. Επίσης, πολλοί χρησιμοποιούν συχνά τη λέξη «Δίκτυο» αντί για «Διαδίκτυο» για ένα επίπεδο.

1.2.1.1. Επίπεδο εφαρμογής (Application layer)

Τα πρωτόκολλα του επιπέδου εφαρμογής στο TCP/IP παρέχουν υπηρεσίες στο λογισμικό των εφαρμογών που εκτελούνται σε έναν υπολογιστή. Το επίπεδο εφαρμογής δεν ορίζει την ίδια την εφαρμογή, αλλά ορίζει τις υπηρεσίες που χρειάζονται οι εφαρμογές. Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο εφαρμογής HTTP ορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι περιηγητές ιστού (web browsers) μπορούν να ανακτήσουν τα περιεχόμενα μιας ιστοσελίδας από ένα διακομιστή ιστού (web server). Εν ολίγοις, το επίπεδο εφαρμογής παρέχει διασύνδεση μεταξύ του λογισμικού που εκτελείται σε έναν υπολογιστή και του ίδιου του δικτύου. Τα πιο γνωστά πρωτόκολλα του επιπέδου εφαρμογής είναι τα DHCP, DNS, FTP, HTTP, HTTPS, NTP, POP, SMTP, SNMP, SSH και Telnet.

1.2.1.2. Επίπεδο μεταφοράς (Transport layer)

Αν και υπάρχουν πολλά πρωτόκολλα επιπέδου εφαρμογής στο TCP/IP, το επίπεδο μεταφοράς περιλαμβάνει μικρότερο αριθμό πρωτοκόλλων. Τα δύο πιο συχνά χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς είναι το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης (Transmission Control Protocol - TCP) και το Πρωτόκολλο Δεδομένων Χρήστη (User Datagram Protocol - UDP).

Τα πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς παρέχουν υπηρεσίες στα πρωτόκολλα επιπέδου εφαρμογής που βρίσκονται ένα επίπεδο πιο πάνω στο μοντέλο TCP/IP. Για παράδειγμα το πρωτόκολλο TCP παρέχει την υπηρεσία αποκατάστασης σφαλμάτων.

1.2.1.3. Επίπεδο δικτύου (Network layer)

Το επίπεδο δικτύου στο TCP/IP διαχειρίζεται την διευθυνσιοδότηση (addressing) των συσκευών, καταγράφει τη θέση των συσκευών στο δίκτυο και προσδιορίζει τον καλύτερο τρόπο μετακίνησης δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι εναπόκειται στο επίπεδο δικτύου να μεταφέρει την κυκλοφορία μεταξύ των συσκευών που δεν είναι συνδεδεμένες τοπικά. Οι δρομολογητές, οι οποίοι είναι συσκευές επιπέδου δικτύου, καθορίζονται σε αυτό το επίπεδο και παρέχουν τις υπηρεσίες δρομολόγησης εντός ενός δικτύου.

Το επίπεδο δικτύου περιλαμβάνει μικρό αριθμό πρωτοκόλλων, αλλά περιλαμβάνει ένα βασικό πρωτόκολλο: το Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol - IP).

1.2.1.4. Επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (Data link layer)

Το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (ή αλλιώς επίπεδο ζεύξης δεδομένων) παρέχει τη φυσική μετάδοση δεδομένων και χειρίζεται την ειδοποίηση σφαλμάτων, την

τοπολογία δικτύου και τον έλεγχο ροής. Αυτό σημαίνει ότι το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων θα διασφαλίσει ότι τα μηνύματα θα παραδίδονται στην κατάλληλη συσκευή σε ένα τοπικό δίκτυο (LAN) χρησιμοποιώντας διευθύνσεις υλικού (MAC) και θα μεταφράζει τα μηνύματα από το επίπεδο δικτύου σε bits για τη μετάδοσή τους από το φυσικό επίπεδο.

1.2.1.5. Φυσικό επίπεδο (Physical layer)

Το φυσικό επίπεδο ορίζει τα ηλεκτρικά και φυσικά χαρακτηριστικά της επικοινωνίας. Το επίπεδο αυτό στην ουσία μετατρέπει την πληροφορία σε ηλεκτρικά σήματα, τα οποία μεταδίδονται μέσω του φυσικού μέσου διασύνδεσης. Το φυσικό μέσο διασύνδεσης μπορεί να είναι καλώδια χαλκού, οπτικές ίνες, ραδιοσήματα που μεταδίδονται ασύρματα, ή οποιοδήποτε άλλο μέσο το οποίο μπορεί να μεταφέρει σήματα. Αυτό το επίπεδο παρέχει επίσης στην συσκευή λήψης μια μέθοδο επαλήθευσης δεδομένων, δηλαδή με απλά λόγια ότι τα δεδομένα θα αλλοιωθούν κατά την μετάδοση. Τα δεδομένα σε αυτό το επίπεδο κωδικοποιούνται σε 0 και 1 με βάση το δυαδικό σύστημα.

1.2.2. Πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς (TCP και UDP)

Κάθε εφαρμογή TCP/IP συνήθως επιλέγει να χρησιμοποιεί στο επίπεδο μεταφοράς είτε το TCP είτε το UDP με βάση τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Για παράδειγμα, το TCP παρέχει ανάκτηση σφαλμάτων, αλλά για να γίνει αυτό, καταναλώνει περισσότερο εύρος ζώνης και χρησιμοποιεί περισσότερους κύκλους επεξεργασίας. Το UDP δεν παρέχει ανάκτηση σφαλμάτων, αλλά καταναλώνει λιγότερο εύρος ζώνης και χρησιμοποιεί λιγότερους κύκλους επεξεργασίας.

1.2.2.1. Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης (TCP)

Το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης (Transmission Control Protocol - TCP) είναι ένα αξιόπιστο πρωτόκολλο προσανατολισμού σύνδεσης. Το πρωτόκολλο TCP ορίζει ρητά τις φάσεις αποκατάστασης της σύνδεσης, μεταφοράς δεδομένων και διακοπής της σύνδεσης για την παροχή υπηρεσιών προσανατολισμού σύνδεσης. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού, το πρωτόκολλο TCP χρησιμοποιεί το άθροισμα ελέγχου (για εντοπισμό σφαλμάτων), την αναμετάδοση χαμένων ή αλλοιωμένων πακέτων, τις αθροιστικές και επιλεκτικές επιβεβαιώσεις και τα χρονόμετρα.

1.2.2.2. Πρωτόκολλο Αυτοδύναμων Πακέτων Χρήστη (UDP)

Το Πρωτόκολλο Αυτοδύναμων Πακέτων Χρήστη (User Datagram Protocol - UDP) είναι ένα αναξιόπιστο πρωτόκολλο μεταφοράς χωρίς σύνδεση. Δεν προσθέτει τίποτα στις υπηρεσίες του πρωτοκόλλου IP, εκτός από την παροχή επικοινωνίας από διεργασία σε διεργασία, αντί της επικοινωνίας από υπολογιστή σε υπολογιστή.

Το UDP εκτός των προαναφερθέντων μειονεκτημάτων, διαθέτει επίσης και πλεονεκτήματα. Το UDP είναι ένα πολύ απλό πρωτόκολλο το οποίο χρησιμοποιεί

ελάχιστη επιβάρυνση (overhead). Αν η διεργασία θέλει να στείλει ένα μικρό μήνυμα και δεν την ενδιαφέρει η αξιοπιστία, μπορεί να χρησιμοποιήσει το UDP. Η αποστολή ενός μικρού μηνύματος με χρήση του πρωτοκόλλου UDP απαιτεί πολύ μικρότερη αλληλεπίδραση μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη, σε σχέση με τη χρήση του TCP.

1.2.2.3. Σύγκριση TCP με UDP

Η μεταφορά δεδομένων UDP διαφέρει από τη μεταφορά δεδομένων TCP, καθώς δεν έχει επιτευχθεί αναδιάταξη ή ανάκτηση. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν UDP είναι ανεκτικές στο να χάνουν δεδομένα ή έχουν κάποιο μηχανισμό για την ανάκτηση των χαμένων δεδομένων. Για παράδειγμα, το VoIP χρησιμοποιεί το UDP επειδή αν χαθεί ένα πακέτο φωνής, μέχρι να παρατηρηθεί η απώλεια και το πακέτο να μεταδοθεί εκ νέου, θα υπήρχε μεγάλη καθυστέρηση και η φωνή θα ήταν μη κατανοητή.

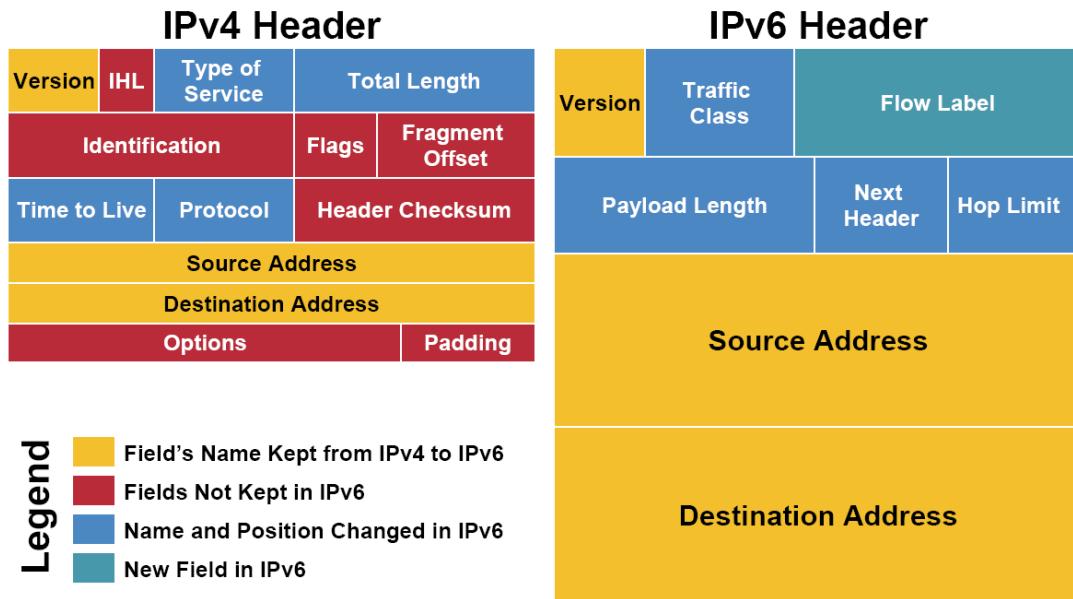
1.2.3. Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP)

Το TCP/IP ορίζει δύο εκδόσεις του IP: την έκδοση 4 (IPv4) και την έκδοση 6 (IPv6). Ο κόσμος σήμερα εξακολουθεί να χρησιμοποιεί κυρίως το IPv4.

Το IPv4 υπήρξε ένα ισχυρό και εξαιρετικά χρήσιμο μέρος της ανάπτυξης του TCP/IP και του Διαδικτύου. Για το μεγαλύτερο μέρος της μακράς ιστορίας του Διαδικτύου, και για τα περισσότερα εταιρικά δίκτυα που χρησιμοποιούν TCP/IP, το IPv4 είναι το βασικό πρωτόκολλο που καθορίζει τη διεθυνσιοδότηση (addressing) και τη δρομολόγηση (routing). Ωστόσο, αν και το IPv4 έχει πολλά σημαντικά προσόντα, έχει κάποιες ελλείψεις, δημιουργώντας την ανάγκη για ένα πρωτόκολλο αντικατάστασης: το IPv6.

Το IPv6 ορίζει τις ίδιες γενικές λειτουργίες με το IPv4, αλλά με διαφορετικές μεθόδους εφαρμογής αυτών των λειτουργιών. Για παράδειγμα, τόσο το IPv4 όσο και το IPv6 ορίζουν την διεθυνσιοδότηση, τις έννοιες της υποδικτύωσης (subnetting) μεγαλύτερων ομάδων διεθύνσεων σε μικρότερες ομάδες, τις κεφαλίδες (headers) που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός πακέτου IPv4 ή IPv6 και τους κανόνες δρομολόγησης αυτών των πακέτων. Ταυτόχρονα, το IPv6 χειρίζεται τις λεπτομέρειες διαφορετικά. Για παράδειγμα, το IPv6 χρησιμοποιεί μια διεύθυνση των 128 bits αντί για 32 bits που χρησιμοποιεί το IPv4.

Στο Σχήμα 1-4 απεικονίζονται οι διαφορές μεταξύ των κεφαλίδων IPv4 και IPv6.

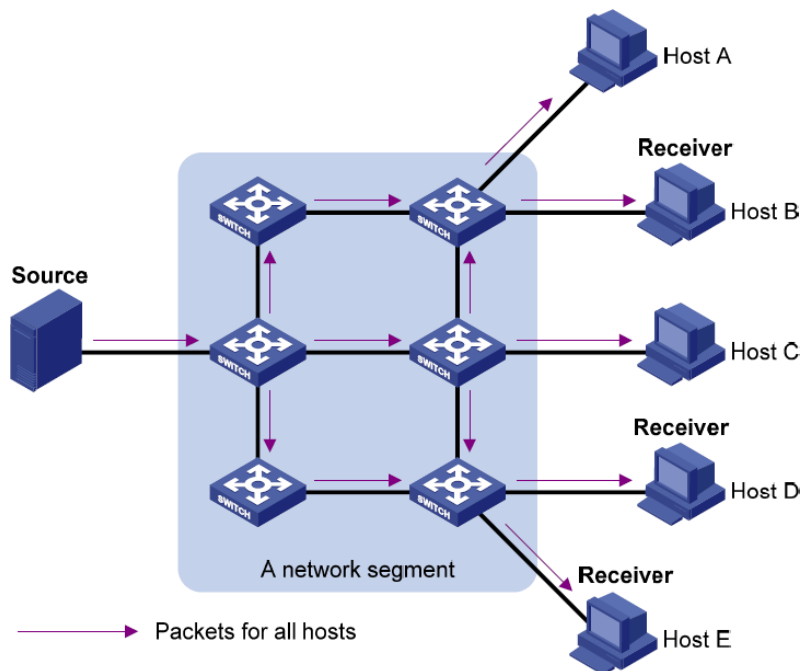


Σχήμα 1-4: Διαφορές κεφαλίδων IPv4 και IPv6

1.2.4. Μέθοδοι μετάδοσης δεδομένων

Υπάρχουν 3 βασικές μέθοδοι μετάδοσης δεδομένων, η ευρυεκπομπή (broadcast), η μονοεκπομπή (unicast) και η πολυεκπομπή (multicast), οι οποίες περιγράφονται παρακάτω.

1.2.4.1. Ευρυεκπομπή (Broadcast)



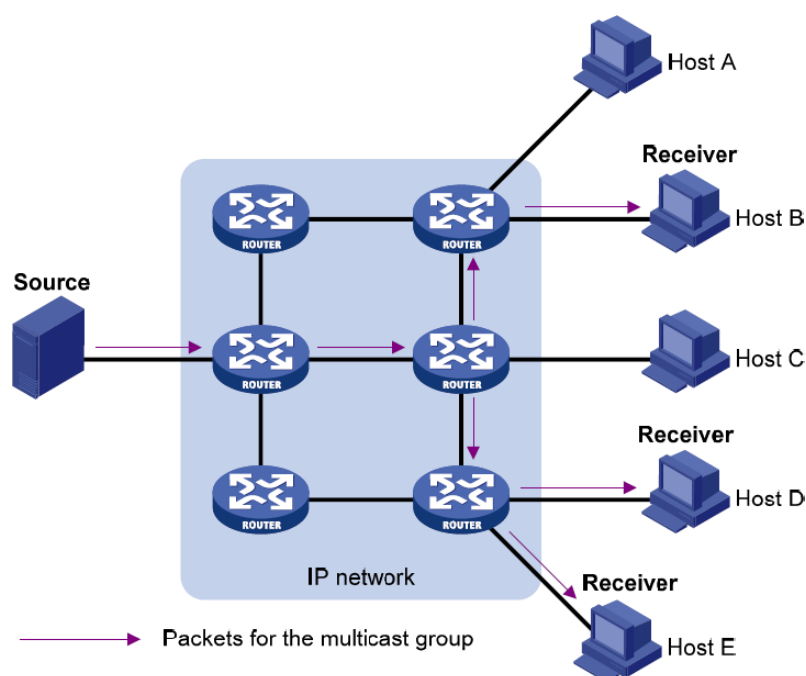
Σχήμα 1-5: Μετάδοση broadcast

Στην μετάδοση broadcast, η πηγή πληροφοριών (Source στο σχήμα) αποστέλλει πληροφορίες σε όλους τους hosts του υποδικτύου, ακόμη και αν ορισμένοι hosts δεν χρειάζονται τις πληροφορίες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1-5.

Ας υποθέσουμε ότι στο Σχήμα 1-5 μόνο οι hosts B, D και E επιθυμούν να λάβουν τις πληροφορίες. Εάν οι πληροφορίες μεταδίδονται με τη μέθοδο broadcast στο υποδίκτυο, οι hosts A και C επίσης τις λαμβάνουν. Εκτός από τα θέματα ασφάλειας των πληροφοριών, αυτό προκαλεί επίσης κυκλοφοριακή συμφόρηση στο ίδιο υποδίκτυο.

Επομένως, η μετάδοση broadcast είναι ασύμφορη για τη διαβίβαση δεδομένων σε συγκεκριμένους hosts· επιπλέον, η μετάδοση broadcast αποτελεί σημαντική σπατάλη πόρων δικτύου.

1.2.4.2. Πολυεκπομπή (Multicast)



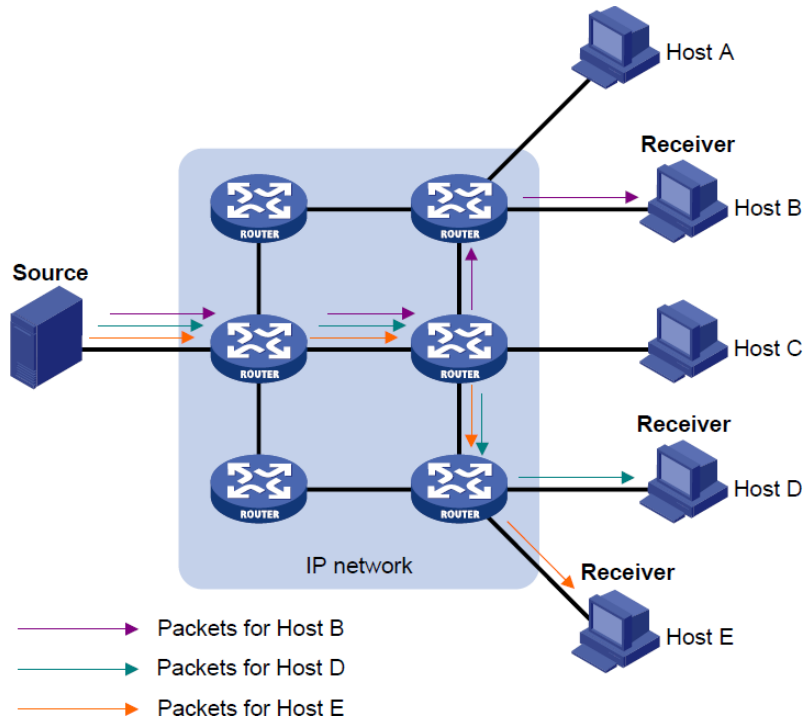
Σχήμα 1-6: Μετάδοση multicast

Στη μετάδοση multicast όταν ορισμένοι hosts στο δίκτυο χρειάζονται πληροφορίες multicast, η πηγή πληροφοριών (ή αλλιώς πηγή multicast) αποστέλλει μόνο ένα αντίγραφο των πληροφοριών. Τα δέντρα διανομής multicast δημιουργούνται μέσω πρωτοκόλλων δρομολόγησης multicast και τα πακέτα αναπαράγονται μόνο σε κόμβους όπου τα δέντρα διακλαδώνουν. Το Σχήμα 1-6 δείχνει την διανομή μιας ροής δεδομένων σε hosts μέσω multicast.

Στο Σχήμα 1-6 η πηγή πληροφοριών (Source στο σχήμα) αποστέλλει μόνο ένα αντίγραφο των πληροφοριών σε μια ομάδα multicast (multicast group). Οι hosts B, D και E, οι οποίοι είναι αποδέκτες των πληροφοριών, πρέπει να συμμετάσχουν στην ομάδα multicast. Οι δρομολογητές στο δίκτυο αναπαράγουν και διαβιβάζουν τις

πληροφορίες με βάση τη διανομή των μελών της ομάδας. Τέλος, οι πληροφορίες παραδίδονται σωστά στους hosts B, D και E.

1.2.4.3. Μονοεκπομπή (Unicast)



Σχήμα 1-7: Μετάδοση unicast

Στη μετάδοση unicast, η πηγή πληροφοριών (Source στο σχήμα) χρειάζεται να αποστείλει ξεχωριστό αντίγραφο πληροφοριών σε κάθε host (Receiver στο σχήμα) που επιθυμεί τις πληροφορίες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1-7.

Ας υποθέσουμε ότι στο Σχήμα 1-7 οι hosts B, D και E επιθυμούν να λάβουν τις πληροφορίες. Πρέπει να δημιουργηθεί διαφορετικός δίαυλος μετάδοσης από την πηγή πληροφοριών για κάθε host.

Στη μετάδοση unicast, η κυκλοφορία που μεταδίδεται μέσω του δικτύου είναι ανάλογη με τον αριθμό των hosts που επιθυμούν να λάβουν τις πληροφορίες. Εάν ένας μεγάλος αριθμός χρηστών επιθυμεί να λάβει τις πληροφορίες, η πηγή των πληροφοριών πρέπει να αποστείλει αντίγραφο των ίδιων πληροφοριών σε κάθε έναν από αυτούς τους χρήστες. Αυτό ασκεί τεράστια πίεση στην πηγή πληροφοριών και στο εύρος ζώνης του δικτύου.

1.2.5. Ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service)

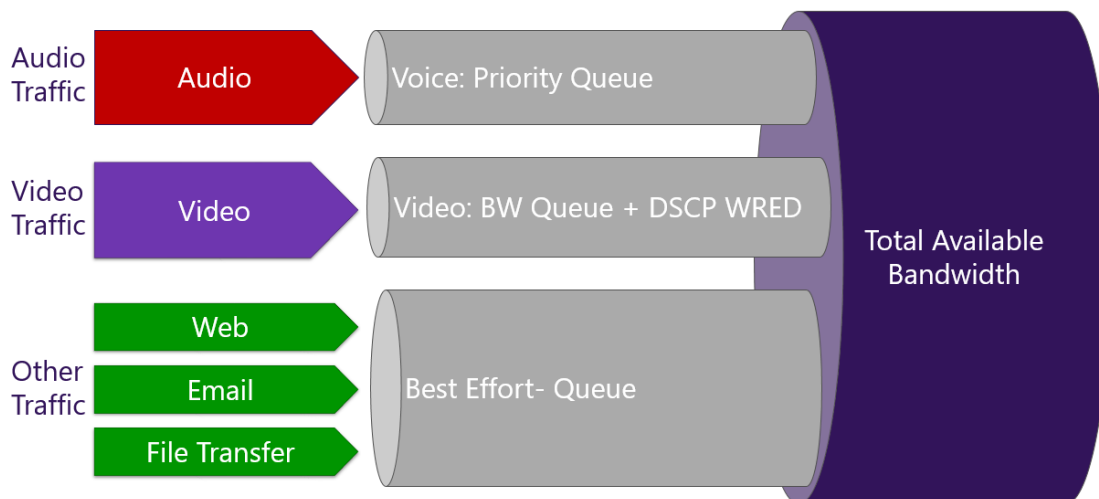
Η ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) είναι ένα σύνολο μεθόδων που εγγυώνται μια σχέση εύρους ζώνης μεταξύ μεμονωμένων εφαρμογών ή πρωτοκόλλων. Ο κύριος στόχος μιας QoS είναι να ιεραρχήσει την κυκλοφορία των δεδομένων και να βελτιώσει ορισμένες πτυχές της επικοινωνίας. Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι η ιεράρχηση της παράδοσης μιας ή περισσότερων υπηρεσιών δεν οδηγεί στην αποτυχία άλλων.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες παράμετροι-κλειδιά της QoS:

- **Καθυστέρηση (latency):** είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη στιγμή που ένας κόμβος στέλνει ένα σήμα μέχρι τη στιγμή που ο άλλος κόμβος το λαμβάνει. Περιλαμβάνει την καθυστέρηση σε ένα μονοπάτι μεταφοράς ή σε μια συσκευή εντός ενός μονοπατιού μεταφοράς. Σε ένα δρομολογητή, καθυστέρηση είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή λήψης του πακέτου μέχρι τη στιγμή που αναμεταδίδεται.
- **Παραμόρφωση χρονισμού (jitter):** είναι μια ανωμαλία που παρουσιάζεται όταν κατά μήκος ενός δικτύου μεταδίδεται βίντεο ή ήχος και τα πακέτα δε φτάνουν στον προορισμό τους με συνεχόμενη σειρά ή σε μια χρονική βάση, δηλαδή έχουν διαφορετική καθυστέρηση.
- **Διαθέσιμο εύρος ζώνης (bandwidth):** είναι μέτρο της χωρητικότητας μετάδοσης των δεδομένων, που συνήθως εκφράζεται σε Kbits/Mbits ανά δευτερόλεπτο. Δηλώνει τη θεωρητική μέγιστη χωρητικότητα μιας σύνδεσης. Αν το εύρος ζώνης αυξηθεί, μπορούν να μεταφερθούν περισσότερα δεδομένα. Το δικτυακό εύρος ζώνης μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας σωλήνας που μεταφέρει δεδομένα. Έτσι, όσο μεγαλύτερος είναι ο σωλήνας, τόσο περισσότερα δεδομένα μπορούν να σταλούν μέσα από αυτόν.
- **Απώλεια πακέτων (packet loss):** η ουρά μπορεί να έχει τόσα πολλά πακέτα και όταν είναι γεμάτη και περισσότερα πακέτα φτάνουν στο άκρο της ουράς πριν αδειάσει η ουρά (λόγω συμφόρησης συνδέσμου κ.λπ.), τα πακέτα θα χαθούν. Αυτή η συμπεριφορά ονομάζεται πτώση ουράς (tail drop). Εάν η ουρά πέσει σε ευαίσθητα δεδομένα όπως η φωνή και το βίντεο, τα αποτελέσματα γίνονται αμέσως αισθητά στον χρήστη.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι QoS:

- **Δέσμευση πόρων (Ενοποιημένες Υπηρεσίες - Integrated Services - IntServ):** οι πόροι του δικτύου διαμερίζονται σύμφωνα με την απαίτηση μιας εφαρμογής για εύρος ζώνης. Εδώ η εφαρμογή προχωράει μόνο αν το δίκτυο υποδείξει ότι μπορεί να μεταφέρει το επιπλέον φορτίο στο επίπεδο που του ζητείται. Η δέσμευση παραμένει εν ενεργεία, μέχρι η εφαρμογή να απαιτήσει τον τερματισμό της ή μέχρι το δίκτυο να υποδείξει ότι δεν μπορεί να συνεχίσει τη δέσμευση.
- **Παραχώρηση προτεραιότητας (Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες - Differentiated Services - DiffServ):** η δικτυακή κυκλοφορία κατηγοριοποιείται και οι δικτυακοί πόροι κατανέμονται σύμφωνα με τα κριτήρια της πολιτικής διαχείρισης εύρους ζώνης. Για να καταστεί δυνατή η παροχή QoS, τα δικτυακά στοιχεία δίνουν προτεραιότητα στις κατηγορίες που έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις (Σχήμα 1-8).



Σχήμα 1-8: Παράδειγμα QoS κατηγοριοποίησης κυκλοφορίας (DiffServ)

Όπως είπαμε και στην εισαγωγή οι ISPs χρησιμοποιούν τεχνικές QoS για να προτεραιοποιήσουν τις υπηρεσίες τους ανάλογα με την κρισιμότητα της κάθε υπηρεσίας σε σχέση και με το διαθέσιμο εύρος ζώνης (bandwidth). Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 1-8 η VoIP τηλεφωνία έχει την υψηλότερη προτεραιότητα, η IPTV έχει ενδιάμεση προτεραιότητα, ενώ οι υπόλοιπες υπηρεσίες (Web, email, μεταφορά αρχείων) έχουν την χαμηλότερη προτεραιότητα (best-effort).

1.3. Τύποι τηλεοπτικών δικτύων

Στην παρούσα ενότητα γίνεται σύντομη περιγραφή τύπων τηλεοπτικών δικτύων που υλοποιούνται σήμερα, όπως η IPTV, η δορυφορική τηλεόραση, η καλωδιακή τηλεόραση και η επίγεια τηλεόραση. Θα επικεντρωθούμε κυρίως στην IPTV καθώς υπάρχουν αρκετές ομοιότητες με την OTT TV, λόγω της διανομής μέσω της χρήσης του πρωτοκόλλου IP, σε σύγκριση με περισσότερο παραδοσιακές μεθόδους διανομής όπως η δορυφορική, η καλωδιακή και η επίγεια λήψη.

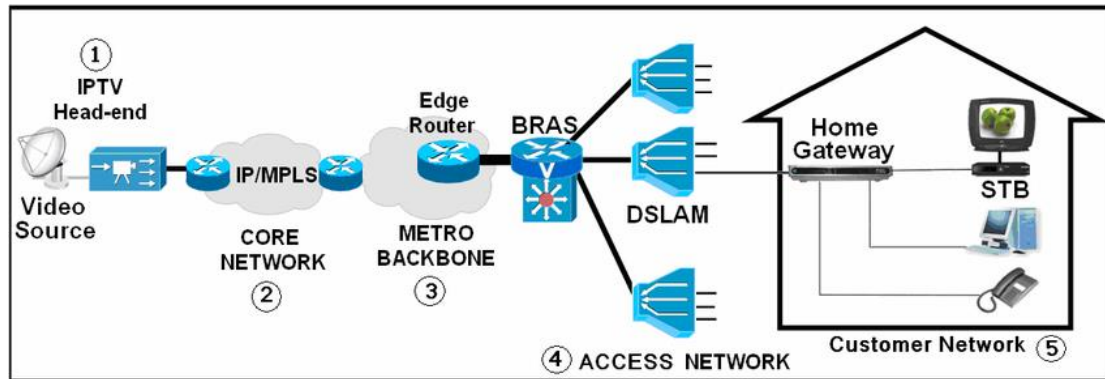
1.3.1. Τηλεόραση Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IPTV)

Η Τηλεόραση Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Internet Protocol Television - IPTV) είναι η μετάδοση τηλεοπτικού σήματος μέσω ευρυζωνικής σύνδεσης που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας IP. Χρησιμοποιεί ένα «κλειστό» δίκτυο και όχι το δημόσιο Διαδίκτυο (Internet).

Η IPTV εμπεριέχει μια διαδικασία προετοιμασίας και διανομής περιεχομένου μέσω του δικτύου του παρόχου. Το περιεχόμενο αφού αποκτηθεί από διάφορες πηγές αποκωδικοποιείται, αποκρυπτογραφείται εάν είναι απαραίτητο και κωδικοποιείται ψηφιακά για τη μεταφορά του, μέσω IP συνήθως, με νέα μορφή συμπίεσης και κρυπτογράφησης. Οι ροές IPTV διανέμονται μέσω του IP δικτύου και προβάλλονται μέσω συσκευών που έχουν την δυνατότητα λήψης και προβολής αυτών.

1.3.1.1. Γενική αρχιτεκτονική IPTV

Στο Σχήμα 1-9 παρουσιάζεται μια συνοπτική αρχιτεκτονική ενός δικτύου διανομής IPTV και παρακάτω περιγράφονται τα συστατικά στοιχεία αυτού του δικτύου.



Σχήμα 1-9: Συνοπτική αρχιτεκτονική δικτύου διανομής IPTV

1.3.1.1.1. Headend

Το headend είναι ένα κέντρο που λαμβάνει περιεχόμενο από διάφορες πηγές, όπως η τοπική τηλεόραση, διάφορους παραγωγούς, καλωδιακά, επίγεια και δορυφορικά κανάλια. Με την λήψη του περιεχομένου βίντεο, μέρος του υλικού (hardware), όπως κωδικοποιητές, διακομιστές περιεχομένου βίντεο, δρομολογητές IP, και αποκλειστικό hardware σε θέματα ασφαλείας αναλαμβάνουν να προετοιμάσουν το περιεχόμενο βίντεο για διανομή σε ένα δίκτυο διανομής IPTV.

1.3.1.1.2. Δίκτυο κορμού (Core network)

Το δίκτυο κορμού είναι το κεντρικό τμήμα δικτύου ενός συστήματος επικοινωνίας. Το δίκτυο κορμού παρέχει κυρίως διασύνδεση και μεταφορά μεταξύ των δικτύων διανομής. Τα δίκτυα κορμού για συστήματα IPTV μπορούν να είναι δακτύλιοι οπτικών ινών (fiber optic rings) που μπορούν να διανέμουν ταυτόχρονα ζωντανά τηλεοπτικά σήματα (live κανάλια) σε μεγάλη γεωγραφική περιοχή και να παρέχουν συνδέσεις με άλλες πηγές πολυμέσων (π.χ. απευθείας σύνδεση σε τηλεοπτικό στούντιο). Το δίκτυο κορμού μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παροχή Video on Demand περιεχομένου στους χρήστες.

1.3.1.1.3. Δίκτυο διανομής (Metro Backbone)

Το δίκτυο διανομής εξυπηρετεί συνήθως μια περιοχή ή μια μητροπολιτική περιοχή. Εισάγει τοπικό περιεχόμενο, όπως τοπικά τηλεοπτικά κανάλια στις ροές IPTV και παρέχει Video on Demand υπηρεσίες στους χρήστες που βρίσκονται στην περιοχή τους. Ο τυπικός εξοπλισμός σε αυτό το σημείο αποτελείται από κωδικοποιητές για τοπικά τηλεοπτικά κανάλια και διακομιστές βίντεο για Video on Demand περιεχόμενο.

1.3.1.1.4. Δίκτυο πρόσβασης (Access network)

Το δίκτυο πρόσβασης αποτελεί ουσιώδες μέρος της δομής της IPTV και λειτουργεί ως σύνορο μεταξύ του τηλεπικοινωνιακού παρόχου και του τελικού χρήστη. Παρέχει πρόσβαση στον τοπικό βρόχο (last mile) για τους χρήστες IPTV και μπορεί να βασίζεται σε ενσύρματες τεχνολογίες (π.χ. xDSL, FTTx) ή σε ασύρματες τεχνολογίες (π.χ. WiMAX).

1.3.1.1.5. Οικιακό δίκτυο (Home network)

Το οικιακό δίκτυο παρέχει πρόσβαση σε υπηρεσίες όπως τηλεφωνία, τηλεόραση, και πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Συνδέει διάφορες ψηφιακές συσκευές στο σπίτι, όπως υπολογιστές, smartphones, tablets τον αποκωδικοποιητή της IPTV και τη συσκευή τηλεφώνου IP σε μια ευρυζωνική σύνδεση που παρέχεται από το δίκτυο πρόσβασης μέσω μιας πύλης εισόδου (home gateway).

1.3.1.1.6. Αποκωδικοποιητής (Set-Top Box)

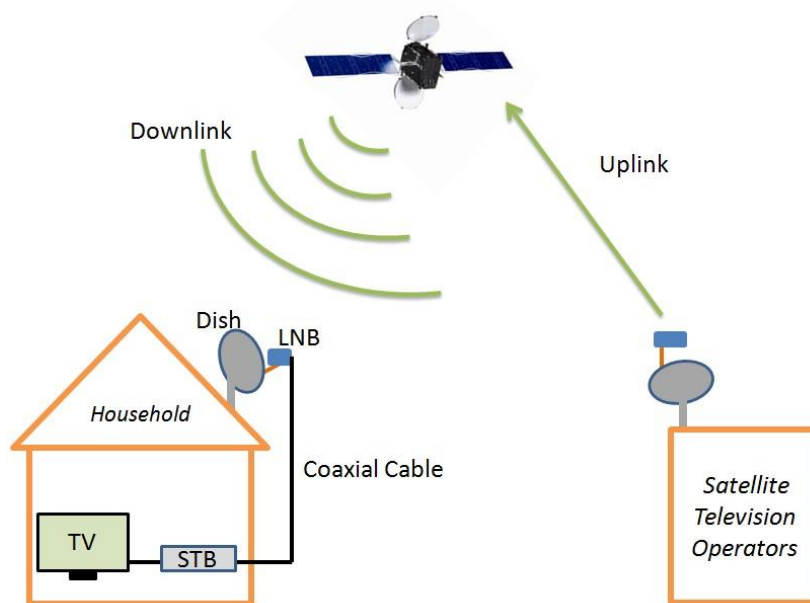
Η τερματική συσκευή της IPTV, ο αποκωδικοποιητής ή αλλιώς Set-Top Box (STB) είναι η συσκευή που χρησιμοποιούν οι τελικοί χρήστες για να έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες της IPTV. Ένα STB συνδέει τον τελικό χρήστη στο δίκτυο και είναι υπεύθυνο για την αποκωδικοποίηση του περιεχομένου βίντεο και για την επεξεργασία της ροής των δεδομένων βίντεο που φθάνουν σε αυτό. Τα STBs υποστηρίζουν τεχνολογίες που ελαχιστοποιούν ή εξαλείφουν τις επιδράσεις που έχουν τα διάφορα προβλήματα του δικτύου στο περιεχόμενο της υπηρεσίας.

1.3.2. Δορυφορική τηλεόραση (Satellite TV)

Στη δορυφορική τηλεόραση, όπως και στην IPTV, το τηλεοπτικό σήμα επεξεργάζεται στο headend. Από εκεί και πέρα το σήμα αποστέλλεται σε δορυφορικά πιάτα, τα οποία με τη σειρά τους αποστέλλουν το σήμα στο διάστημα σε έναν δορυφόρο που βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τη Γη (uplink). Ο δορυφόρος αυτός αναμεταδίδει το σήμα πίσω στη Γη (downlink) και ο τελικός χρήστης το λαμβάνει μέσω ενός δορυφορικού πιάτου που έχει εγκατεστημένο στην τοποθεσία του. Από αυτό το πιάτο το σήμα μεταφέρεται απευθείας σε ένα Set Top Box που υποστηρίζει το πρότυπο DVB-S/DVB-S2, το οποίο με τη σειρά του αποκωδικοποιεί και εμφανίζει το περιεχόμενο.

Όπως και στην IPTV, έτσι και στη δορυφορική τηλεόραση υπάρχουν κανάλια τα οποία είναι κρυπτογραφημένα έτσι ώστε να αποτρέπεται η ανεξέλεγκτη πρόσβαση. Η αποκρυπτογράφηση του δορυφορικού σήματος γίνεται μέσω μιας κάρτας (smart card) που τοποθετείται στο Set Top Box.

Η διαδικασία μετάδοσης δορυφορικής τηλεόρασης απεικονίζεται συνοπτικά στο Σχήμα 1-10.



Σχήμα 1-10: Συνοπτικό διάγραμμα μετάδοσης δορυφορικής τηλεόρασης

1.3.3. Καλωδιακή τηλεόραση (Cable TV)

Στην καλωδιακή τηλεόραση το τηλεοπτικό σήμα μεταδίδεται μέσω ομοαξονικών καλωδίων ή στα πιο πρόσφατα συστήματα μέσω οπτικών ινών. Σε πολλές περιπτώσεις τα ομοαξονικά καλώδια και οι οπτικές ίνες συνδυάζονται.

Για την λήψη καλωδιακής τηλεόρασης σε συγκεκριμένη τοποθεσία, οι γραμμές διανομής καλωδιακής τηλεόρασης πρέπει να είναι διαθέσιμες στις τοπικές κολόνες ηλεκτρισμού ή μέσω υπόγειας καλωδίωσης. Το ομοαξονικό καλώδιο μεταφέρει το σήμα στην τοποθεσία του τελικού χρήστη μέσω ενός service drop το οποίο είναι ένα εναέριο ή υπόγειο καλώδιο.

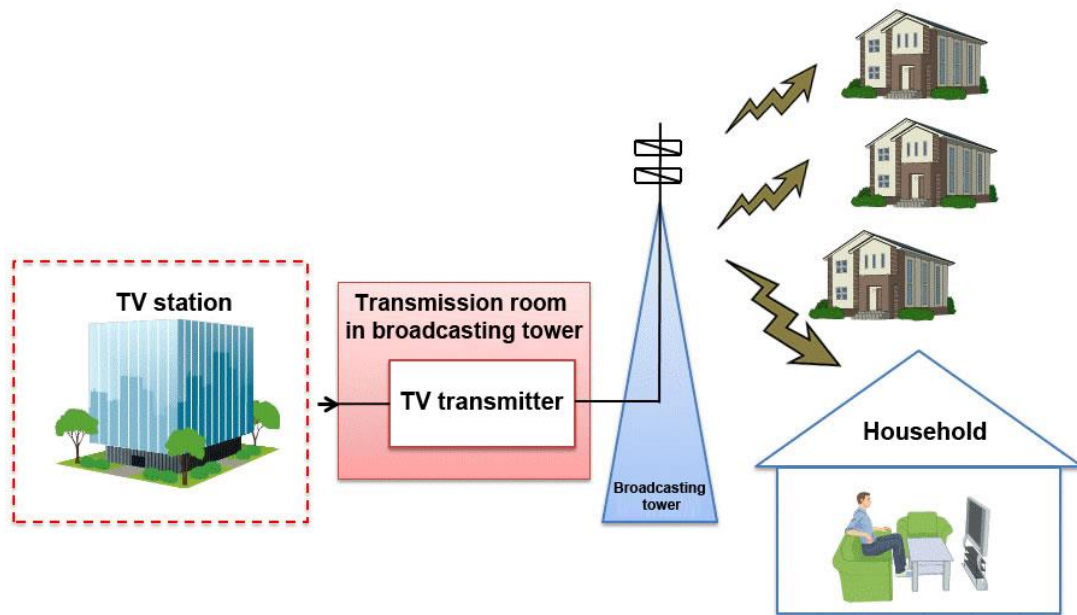
1.3.4. Επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (Digital Terrestrial TV)

Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (Digital Terrestrial TV - DTT) είναι μια υλοποίηση που παρέχει τηλεοπτικό σήμα στον τελικό χρήστη μέσω μιας κεραίας UHF ή VHF και θεωρείται σήμερα ο πιο διαδεδομένος τρόπος μετάδοσης τηλεοπτικού σήματος.

Αρχικά, ένας τηλεοπτικός σταθμός στέλνει το τηλεοπτικό σήμα σε ένα κέντρο εκπομπής που είναι εγκατεστημένο σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Το κέντρο εκπομπής με τη σειρά του στέλνει το σήμα σε έναν πομπό και ο πομπός το εκπέμπει σε μία ζώνη συχνοτήτων UHF ή VHF.

Η λήψη της επίγεια ψηφιακής τηλεόρασης γίνεται μέσω ενός δέκτη που υποστηρίζει το πρότυπο DVB-T. Αυτός μπορεί να είναι ένα Set Top Box ή να είναι ενσωματωμένος στην τηλεόραση. Ο ψηφιακός δέκτης αποκωδικοποιεί το σήμα που λαμβάνεται μέσω μιας συμβατικής κεραίας.

Η διαδικασία μετάδοσης επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης απεικονίζεται συνοπτικά στο Σχήμα 1-11.



Σχήμα 1-11: Συνοπτικό διάγραμμα μετάδοσης επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης

Στην Ευρώπη και την Αυστραλία χρησιμοποιείται το πρότυπο DVB-T, ενώ στην Αμερική το πρότυπο ATSC. Και τα δυο πρότυπα χρησιμοποιούν τα πρότυπα μετάδοσης MPEG-2 και MPEG-4, ενώ διαφέρουν σημαντικά στο πώς κωδικοποιούνται σχετικές υπηρεσίες (όπως ο πολυκάναλος ήχος, οι υπότιτλοι, και ο ηλεκτρονικός οδηγός προγράμματος EPG).

2. Γενική περιγραφή ΟΤΤ TV

2.1. Υπηρεσίες

2.1.1. Γραμμική τηλεόραση (Linear TV)

Ως βασική υπηρεσία, οι τηλεοπτικές πλατφόρμες παρέχουν πρόσβαση σε live τηλεοπτικά κανάλια. Αυτή η υπηρεσία ονομάζεται γραμμική τηλεόραση (linear TV) ή αλλιώς ζωντανή τηλεόραση (live TV). Αυτή είναι η παραδοσιακή και πιο κοινή μορφή παρακολούθησης τηλεοπτικού περιεχομένου, στην οποία υπάρχει άμεση πρόσβαση στο περιεχόμενο που μεταδίδεται εκείνη τη στιγμή. Επομένως, δεν υπάρχει δυνατότητα ελέγχου του χρονοδιαγράμματος από τον τελικό χρήστη.

2.1.2. Βίντεο κατ' απαίτηση (Video on Demand)

Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές υπηρεσίες της τηλεόρασης, όπου τα προγράμματα εκπέμπονται σύμφωνα με ένα ημερήσιο ή εβδομαδιαίο πρόγραμμα, στην ΟΤΤ TV προσφέρεται και η δυνατότητα του βίντεο κατ' απαίτηση (Video on Demand - VoD). Ο τελικός χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει και να προβάλει το περιεχόμενο της αρεσκείας του, όποια στιγμή εκείνος επιθυμεί. Κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του περιεχομένου ο τελικός χρήστης μπορεί να κάνει παύση (pause) ή να μεταφερθεί σε προηγούμενο ή επόμενο σημείο του περιεχομένου.

2.1.3. Replay TV

Η υπηρεσία Replay TV είναι μία επέκταση της υπηρεσίας VoD. Με αυτή την υπηρεσία, οι τηλεοπτικοί φορείς προσφέρουν εγγεγραμμένο περιεχόμενο των προηγούμενων ημερών. Το χρονικό περιθώριο των εγγραφών κυμαίνεται από μερικές ώρες μέχρι ακόμα και 30 ημέρες ανάλογα με τους τεχνικούς και νομικούς περιορισμούς του κάθε τηλεοπτικού φορέα. Χρησιμοποιώντας αυτήν την υπηρεσία, ο τελικός χρήστης μπορεί πραγματικά και πολύ εύκολα να προλάβει τα τηλεοπτικά προγράμματα που έχει χάσει ή που αποφάσισε ρητά να παρακολουθήσει αργότερα, π.χ. βλέποντας τις ειδήσεις μετά το δείπνο.

2.1.4. Θέαση με χρονική ολίσθηση (Time Shifted TV)

Η υπηρεσία θέασης με χρονική ολίσθηση (Time Shifted TV - TSTV) αποτελεί έναν συνδυασμό των Live TV και VoD υπηρεσιών. Στην ουσία ο τελικός χρήστης μπορεί να παρακολουθήσει το τηλεοπτικό πρόγραμμα που επιθυμεί όποια στιγμή είναι βολική για αυτόν.

Με αυτό τον τρόπο, ο τελικός χρήστης μπορεί να κάνει παύση και να επιστρέψει εγκαίρως στην απεικόνιση ενός συγκεκριμένου προγράμματος. Είναι πολύ χρήσιμο εάν ο τελικός χρήστης χρειάζεται να διακόψει την αναπαραγωγή ενός προγράμματος επειδή πρέπει να κάνει κάτι άλλο, π.χ. να απαντήσει σε μια τηλεφωνική κλήση και να

συνεχίσει να παρακολουθεί το πρόγραμμα από το ίδιο σημείο όπου έκανε παύση μετά την ολοκλήρωση της κλήσης. Παρομοίως, μπορεί να γυρίσει το πρόγραμμα πίσω και να επαναλάβει μια σκηνή ή ένα μέρος της εκπομπής που έχασε.

2.1.5. Catch-up TV

Η υπηρεσία Catch-up TV είναι μία επέκταση της υπηρεσίας TSTV. Δίνει την δυνατότητα για αποθήκευση του προγράμματος ενός ζωντανού καναλιού και την παρακολούθησή του από τον τελικό χρήστη σε μεταγενέστερη στιγμή όταν αυτός επιλέξει μέσα σε συγκεκριμένα χρονικά περιθώρια. Ένα ζωντανό κανάλι δηλαδή, γίνεται διαθέσιμο στον χρήστη σαν ένα στοιχείο VoD.

2.1.6. Ηλεκτρονικός Οδηγός Προγράμματος (EPG)

Μια άλλη βασική υπηρεσία που προσφέρεται σε οποιαδήποτε πλατφόρμα ψηφιακής τηλεόρασης είναι ο ηλεκτρονικός οδηγός προγράμματος (Electronic Program Guide - EPG). Ο EPG αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της υπηρεσίας IPTV και χρησιμοποιείται για την περιήγηση σε ένα μεγάλο αριθμό από κανάλια και πηγές περιεχομένου βίντεο, από τους χρήστες.

Ο EPG είναι ένα μενού περιήγησης που εμφανίζει τα κανάλια σε μια λίστα και επιτρέπει στο χρήστη να εξερευνήσει το πρόγραμμα ενός καναλιού, να έχει πρόσβαση σε πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με αυτό, όπως σύνοψη, συγκεκριμένη ώρα έναρξης και λήξης, κ.λπ. Επιπλέον, συμπεριλαμβάνονται πρόσθετες υπηρεσίες, όπως «εγγραφή προγράμματος» ή «παρακολούθηση προγράμματος από την αρχή».

Συνοπτικά οι βασικές λειτουργίες ενός EPG είναι οι εξής:

- Παρουσίαση των εβδομαδιαίων προγραμμάτων των καναλιών.
- Δυνατότητα αναζήτησης προγραμμάτων με βάση όνομα, είδος ή ώρα έναρξης.
- Προγραμματισμένη εγγραφή συγκεκριμένου προγράμματος.
- Υπενθύμιση προβολής επιλεγμένου προγράμματος, όταν αυτό πρόκειται να ξεκινήσει.
- Γονικός έλεγχος για απαγόρευση πρόσβασης σε κανάλια που κρίνονται ακατάλληλα.

2.2. Πλεονεκτήματα OTT TV

2.2.1. Πρόσβαση ανεξαρτήτως δικτύου/παρόχου

Υπάρχουν περιπτώσεις που ένας ISP είναι πάροχος μια υπηρεσίας OTT TV. Λόγω της διανομής του περιεχομένου μέσω του Διαδικτύου, χρήστες που ανήκουν σε άλλον ISP μπορούν να κάνουν χρήση της υπηρεσίας. Αφενός από τη μεριά του χρήστη δεν είναι απαραίτητο το δίκτυο πρόσβασης (access network) που γίνεται χρήση της υπηρεσίας να ανήκει στον ISP που παρέχει την υπηρεσία, αφετέρου από τη μεριά του

ISP η υποδομή του δικτύου που γίνεται η διανομή του περιεχομένου δεν είναι απαραίτητο να ανήκει στον ISP, όπως γίνεται στην IPTV.

2.2.2. Ευρύτερο κοινό και μεγαλύτερη εμβέλεια

Το κοινό βρίσκεται ήδη στο Διαδίκτυο. Τα προγράμματα αναπαραγωγής πολυμέσων είναι όλα συνδεδεμένα στο Διαδίκτυο μέσω των σταθερών ή κινητών δικτύων, και οι χρήστες αναζητούν περιεχόμενο στο Διαδίκτυο, το οποίο θα παρακολουθήσουν στις συσκευές τους που είναι επίσης συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο. Επιπλέον, πρόσβαση στο Διαδίκτυο μπορεί έχει κάποιος ακόμη και σε περιοχές που δεν μπορούν να φτάσουν οι ραδιοτηλεοπτικοί φορείς. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα εάν συγκρίνουμε την εμβέλεια της δορυφορικής ή της επίγειας τηλεόρασης με την εμβέλεια της κινητής τηλεφωνίας για πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Έτσι είναι εφικτή η δημιουργία τηλεοπτικών υπηρεσιών που θα έχουν πρόσβαση άνθρωποι απ' όλο τον κόσμο, σε σχέση με μια δεδομένη περιοχή κάλυψης τηλεοπτικών εκπομπών όπως τοπικά κανάλια.

2.2.3. Πολλαπλές συσκευές (Multiscreen)

Μια άλλη υπηρεσία που μπορεί να ικανοποιήσει την αυξανόμενη ζήτηση για παρακολούθηση τηλεόρασης οπουδήποτε, είναι η υπηρεσία Multiscreen, με την οποία ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε όλες τις τηλεοπτικές υπηρεσίες μέσω του κινητού τηλεφώνου, του tablet, του υπολογιστή, της Smart TV κ.λπ. Εν ολίγοις, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί τηλεόραση από οποιαδήποτε συσκευή που είναι συνδεδεμένη στο Διαδίκτυο, εφόσον υποστηρίζεται από την πλατφόρμα.

2.2.4. Χαμηλό κόστος

Η αρχιτεκτονική της OTT TV είναι μια αρχιτεκτονική που βασίζεται σε μετάδοση unicast, όπου το τηλεοπτικό περιεχόμενο διανέμεται απευθείας από τον πάροχο στον τελικό χρήστη. Η διανομή του περιεχομένου πραγματοποιείται χωρίς να μεσολαβεί κάποιος μηχανισμός που φροντίζει τον έλεγχό της.

Σε σύγκριση με την IPTV, όπου υπάρχει μηχανισμός QoS, η OTT TV μεταδίδει ροές χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο HTTP και συνεπώς λειτουργεί υπό συνθήκες best-effort δικτύου, όπου δεν παρέχονται εγγυήσεις QoS. Το εύρος ζώνης του τελικού χρήστη δεν μπορεί να ελεγχθεί. Η χρήση της streaming τεχνολογίας σε συνδυασμό με ένα CDN δημιουργούν το οικοδόμημα που απαιτείται για OTT streaming. Αυτό σημαίνει ότι πρόκειται για υπηρεσία χαμηλού κόστους, με ρίσκο όμως χαμηλότερη ποιότητα υπηρεσιών.

2.3. Μειονεκτήματα OTT TV/Θέματα προς επίλυση

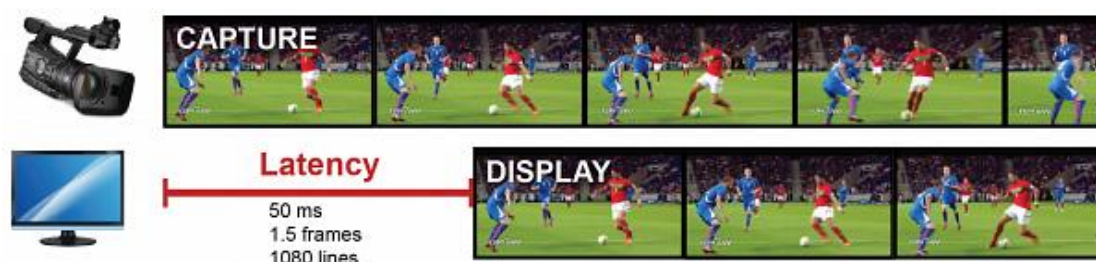
2.3.1. Μη εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας (QoS)

Όπως είπαμε και στην εισαγωγή, σε ένα μη διαχειριζόμενο δίκτυο ο πάροχος δεν εγγυάται QoS και η κίνηση των δεδομένων γίνεται μέσω της μεθόδου best-effort, όπου όλα τα πακέτα που εισέρχονται στο δίκτυο τυγχάνουν ισοδύναμης μεταχείρισης, δεν γίνεται δηλαδή κανένας διαχωρισμός και όλα καθυστερούν ή απορρίπτονται με την ίδια προτεραιότητα. Όταν εισέρχεται ένα πακέτο σε κάποιον κόμβο, αφού αποφασιστεί ποιος είναι ο προορισμός του, το πακέτο εισέρχεται στην ανάλογη ουρά αναμονής, έως ότου ελευθερωθεί ο δίαυλος που αντιστοιχεί σ' αυτήν. Αφού ελευθερωθεί το πακέτο προωθείται στον επόμενο κόμβο. Εάν κατά τη στιγμή της εισόδου του πακέτου η ουρά αναμονής είναι πλήρης τότε το πακέτο απορρίπτεται.

Το μοντέλο best-effort, αν και έχει αποδειχθεί πολύ ικανοποιητικό π.χ. για την περιήγηση στο Διαδίκτυο, για τη μεταφορά αρχείων, για την αποστολή email κλπ., δεν είναι ικανοποιητικό για εφαρμογές streaming. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν ένα σταθερό ή ένα ελάχιστο εύρος ζώνης, και μια καθορισμένη μέγιστη καθυστέρηση, κάτι το οποίο δεν εξασφαλίζεται στα best-effort δίκτυα.

2.3.2. Καθυστέρηση (Latency)

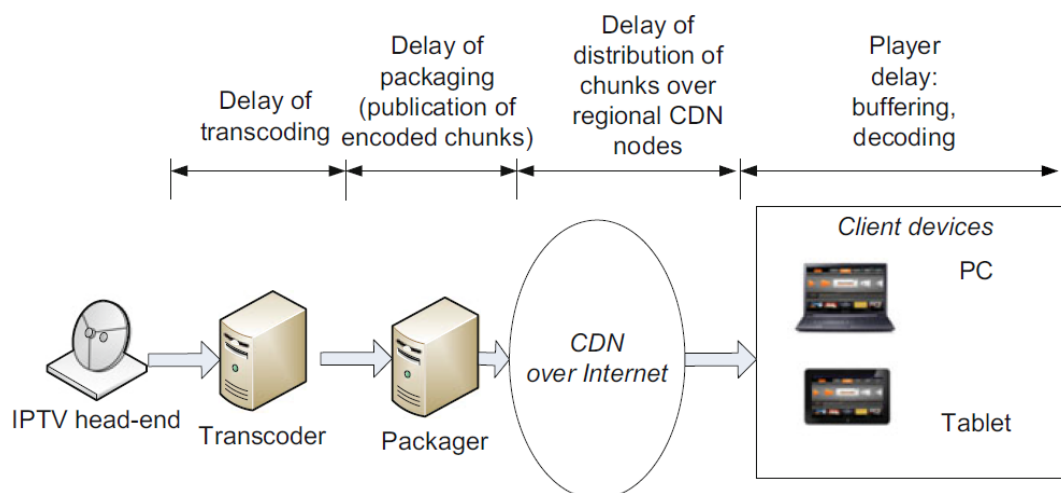
Καθυστέρηση (latency) είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη στιγμή που ένας κόμβος στέλνει ένα μήνυμα μέχρι τη στιγμή που ο άλλος κόμβος το λαμβάνει. Σε ένα streaming περιβάλλον, το πιο εύκολο είναι να μετρήσουμε την ώρα που καταγράφεται ένα live γεγονός και την ώρα που αυτό εμφανίζεται στην οθόνη. Για παράδειγμα σε έναν αγώνα ποδοσφαίρου από τη στιγμή που η κάμερα κάνει λήψη του αγώνα μέχρι τη στιγμή που αυτός εμφανίζεται σε ένα κανάλι, υπάρχει μια καθυστέρηση, δεν εμφανίζεται δηλαδή στην κυριολεξία live το γεγονός στον τελικό χρήστη (Σχήμα 2-1).



Σχήμα 2-1: Απεικόνιση καθυστέρησης

Έχοντας υψηλή καθυστέρηση στις ροές και ιδιαίτερα στα live γεγονότα μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην εμπειρία του τελικού χρήστη. Π.χ. σε ένα κανάλι OTT TV υπάρχει μια καθυστέρηση περίπου 20-60 δευτερόλεπτα σε σχέση με το αντίστοιχο κανάλι της IPTV.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα ενοποίησης περιεχομένου (end-to-end) είναι περίπλοκο καθώς αποτελείται από μια σειρά από συστατικά, το καθένα από τα οποία συμβάλλει στην αύξηση της καθυστέρησης. Ανάλογα με τον τρόπο διαμόρφωσης του συστήματος και τα συστατικά που αυτό περιέχει, η καθυστέρηση μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά. Επειδή τα δεδομένα ήχου και βίντεο πρέπει να περάσουν μέσα από αυτό το σύστημα, είναι επιρρεπή στο να συσσωρεύουν καθυστέρηση κατά τη διέλευση τους από τα συστατικά του συστήματος. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-2 και περιγράφεται παρακάτω, υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτή την καθυστέρηση.



Σχήμα 2-2: Συστατικά στοιχεία που συμβάλλουν στην καθυστέρηση

Λήψη σήματος

Είτε χρησιμοποιείται μία μόνο κάμερα είτε ένα εξελιγμένο σύστημα μίξης βίντεο, η λήψη μιας ζωντανής εικόνας και η μετατροπή της σε ψηφιακό σήμα απαιτεί κάποιο χρόνο. Τουλάχιστον, θα χρειαστεί τουλάχιστον η διάρκεια ενός μεμονωμένου καρέ βίντεο που καταγράφεται ($1/30$ του δευτερολέπτου για ρυθμό καρέ 30 FPS).

Πιο προηγμένα συστήματα, όπως οι μίκτες βίντεο, θα εισαγάγουν πρόσθετο χρόνο καθυστέρησης για την αποκωδικοποίηση, την επεξεργασία, την επανακωδικοποίηση και την αναμετάδοση.

Το πηγαίο σήμα βίντεο θα πρέπει να καταλήξει στο headend έτσι ώστε να υποστεί επεξεργασία για να παραδοθεί στους τελικούς χρήστες, που σημαίνει ότι θα προστεθεί επιπλέον καθυστέρηση. Για παράδειγμα, η καθυστέρηση θα είναι σημαντικά μεγαλύτερη γίνει μέσω ασύρματης σύνδεσης, σε σύγκριση με μια καλωδιακή εγκατάσταση που προέρχεται από ένα στούντιο.

Κωδικοποίηση (Encoding/Transcoding)

Κατά τη διαδικασία της κωδικοποίησης απαιτείται χρόνος για τη μετατροπή του ασυμπίεστου σήματος βίντεο σε συμπιεσμένη μορφή, κατάλληλη για μετάδοση μέσω

του Διαδικτύου (H.264, H.265). Αυτή η καθυστέρηση μπορεί να κυμαίνεται από εξαιρετικά χαμηλές τιμές (χιλιοστά του δευτερολέπτου) έως τιμές πλησιέστερες στη διάρκεια ενός καρέ βίντεο.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την καθυστέρηση στη διαδικασία κωδικοποίησης περιλαμβάνουν: αποτελεσματικότητα υλοποίησης κωδικοποιητή, απόδοση του hardware στο οποίο εκτελείται ο κωδικοποιητής, ανεξάρτητα από το εάν ο κωδικοποιητής βασίζεται σε λογισμικό ή hardware, πολυάριθμες παράμετροι που μπορούν να οριστούν στον κωδικοποιητή και ενδέχεται να αλλάξουν την απόδοσή του.

Packaging

Η διαδικασία του packaging περιλαμβάνει την διαδικασία μετατροπής του βίντεο σε μορφή κατάλληλη για διανομή και γίνεται μέσω ενός packager. Ο packager διαιρεί μια συνεχή ροή σε τεμάχια σταθερού μεγέθους (chunks), προετοιμάζει το αρχείο διακήρυξης (manifest) και δημοσιεύει τα αρχεία στο διακομιστή HTTP.

Η καθυστέρηση εδώ εξαρτάται από το μέγεθος των τεμαχίων που διασπάται το βίντεο και από το πρωτόκολλο προσαρμοστικής ροής που χρησιμοποιείται (HLS, MPEG-DASH).

Διάδοση στο CDN

Για να παραδοθεί το περιεχόμενο σε μεγάλη κλίμακα, αξιοποιείται το δίκτυο διανομής περιεχομένου (Content Distribution Network - CDN). Ως αποτέλεσμα, καθώς το περιεχόμενο μεταδίδεται μεταξύ διαφορετικών τοποθεσιών, προσθέτει επιπλέον καθυστέρηση.

Last mile διανομή

Η σύνδεση δικτύου ενός χρήστη μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην καθυστέρηση. Ο χρήστης μπορεί να συνδέεται είτε μέσω μιας ευρυζωνικής γραμμής (καλωδιακά ή ασύρματα), είτε να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα κινητής τηλεφωνίας για να αποκτήσει πρόσβαση στο περιεχόμενο. Επίσης, ανάλογα με τη γεωγραφική θέση του χρήστη και τη θέση του πλησιέστερου κόμβου του CDN, μπορεί να προστεθεί επιπλέον καθυστέρηση.

Media player

Η εφαρμογή αναπαραγωγής πολυμέσων (media player) πρέπει να αποθηκεύει προσωρινά το περιεχόμενο έτσι ώστε να εξασφαλίσει ομαλή αναπαραγωγή χωρίς κολλήματα. Συχνά τα μεγέθη των buffer καθορίζονται στις προδιαγραφές των μέσων αναπαραγωγής, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχει κάποια ευελιξία σε αυτόν τον τομέα.

2.4. Σύγκριση OTT TV με IPTV

Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ IPTV και OTT TV, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, είναι συνεπώς ότι η IPTV παραδίδεται μέσω ενός διαχειριζόμενου «κλειστού» δικτύου ενώ η OTT TV παραδίδεται μέσω ενός μη διαχειριζόμενου «ανοιχτού» δικτύου, του Διαδικτύου (Internet) δηλαδή.

Η IPTV έχει το πλεονέκτημα της ποιότητας υπηρεσίας (QoS) δεδομένου ότι η διανομή του περιεχομένου γίνεται σε ένα διαχειριζόμενο δίκτυο. Το κύριο πλεονέκτημα της OTT TV έναντι της IPTV είναι ότι σχεδιάστηκε για να φτάσει σε οποιαδήποτε συνδεδεμένη συσκευή, σε αντίθεση με την IPTV που παραδίδεται σε μια οθόνη μέσω ενός STB.

Συνοπτικά οι διαφορές μεταξύ αυτών των δύο τεχνολογιών περιγράφονται στον Πίνακα 2-1: Διαφορές IPTV με OTT TV.

	IPTV	OTT TV
Δίκτυο διανομής περιεχομένου	Διαχειριζόμενο (κλειστό δίκτυο)	Μη διαχειριζόμενο (Διαδίκτυο)
Ποιότητα υπηρεσίας (QoS)	Εγγυημένη	Μη εγγυημένη. Λειτουργεί υπό συνθήκες «best-effort»
Πρωτόκολλα	Χρησιμοποιεί την τεχνολογία ρευμάτων μεταφοράς (TS). Χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο RTP (πρωτόκολλο πραγματικού χρόνου) μέσω UDP	Διανέμεται μέσω HTTP/TCP. Χρησιμοποιεί τεχνολογίες προσαρμοστικής ροής όπως HLS, MPEG-DASH
Τοπολογία δρομολόγησης	Multicast	Unicast

Πίνακας 2-1: Διαφορές IPTV με OTT TV

2.5. Υπηρεσίες OTT TV στην Ελλάδα

2.5.1. Υπηρεσίες της Cosmote

2.5.1.1. COSMOTE TV OTT



Σχήμα 2-3: Λογότυπο Android εφαρμογής COSMOTE TV OTT

Η υπηρεσία COSMOTE TV OTT έγινε διαθέσιμη το Δεκέμβριο του 2019⁴ και παρέχεται ως αυτόνομη (stand-alone) υπηρεσία. Δεν είναι δηλαδή απαραίτητο να είναι κάποιος ήδη συνδρομητής σε κάποια από τις υπηρεσίες που παρέχει η Cosmote (IPTV και δορυφορική τηλεόραση). Η υπηρεσία είναι διαθέσιμη μέσω Android TV Box, για κινητά και tablets μέσω Android και iOS όπου εγκαθίσταται η εφαρμογή, για υπολογιστές μέσω ενός περιηγητή ιστού και για Smart TVs. Μπορεί κάποιος να έχει πρόσβαση στην υπηρεσία από οποιοδήποτε δίκτυο σταθερής ή κινητής τηλεφωνίας.

Ως προπομπός αυτής της υπηρεσίας ήταν η υπηρεσία COSMOTE TV GO που αρχικά κυκλοφόρησε πιλοτικά τον Απρίλιο του 2015⁵ και σταδιακά έγινε διαθέσιμη σε όλους τους συνδρομητές. Η υπηρεσία ήταν διαθέσιμη για κινητά και tablets μέσω Android και iOS. Στους υπολογιστές ήταν διαθέσιμη μέσω Windows και macOS όπου το περιεχόμενο αναπαραγόταν μέσω ενός περιηγητή ιστού σε συνδυασμό με έναν media player που εγκαθιστούσε ο χρήστης. Η υπηρεσία αυτή παρεχόταν συμπληρωματικά σε συνδρομητές δορυφορικής τηλεόρασης και IPTV της Cosmote TV και λειτουργούσε παράλληλα με την COSMOTE TV OTT μέχρι τις 9 Νοεμβρίου 2020 έως ότου και καταργήθηκε.

Στην υπηρεσία COSMOTE TV OTT απαιτείται ελάχιστη ταχύτητα 3 Mbps για θέαση σε SD ανάλυση ενώ απαιτείται περίπου 7 Mbps για HD ανάλυση. Για θέαση 4K περιεχομένου απαιτείται ταχύτητα 15-16 Mbps. Η εφαρμογή «διαβάζει» την ταχύτητα της σύνδεσης και προσαρμόζει την απεικόνιση στην καλύτερη δυνατή ανάλυση (adaptive bitrate), έτσι ώστε να μην υπάρχουν «σπασίματα» στη ροή του προγράμματος.

Οι χρήστες της υπηρεσίας μπορούν να δημιουργήσουν έως και 5 ξεχωριστά προφίλ, ενώ υπάρχει και ειδικό παιδικό μενού. Όσον αφορά την ταυτόχρονη θέαση, η υπηρεσία είναι διαθέσιμη σε δύο οθόνες για όλο το περιεχόμενο πλην του αθλητικού, που είναι διαθέσιμο μόνο σε μία οθόνη. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα

⁴ <https://technode.gr/2019/12/13/cosmote-tv-cosmote-over-the-top>

⁵ <https://www.techgear.gr/ote-tv-go-9145>

για λήψη και αναπαραγωγή χωρίς σύνδεση (offline play), ώστε ο χρήστης να μπορεί πχ. να παρακολουθεί μία ταινία ή σειρά χωρίς να είναι συνδεδεμένος στο Διαδίκτυο.

Όσον αφορά την καθυστέρηση, η υπηρεσία COSMOTE TV OTT παρέχει μόνο 7-8 δευτερόλεπτα διαφορά σε σχέση με τη μετάδοση μέσω δορυφόρου. Πρόκειται για μία από τις μικρότερες διαφορές σε παρόμοιες λύσεις, παγκοσμίως.

2.5.2. Υπηρεσίες της Nova

2.5.2.1. Nova GO



Σχήμα 2-4: Λογότυπο Android εφαρμογής Nova GO

Η υπηρεσία Nova GO παρέχεται σε συνδρομητές Nova ως συμπληρωματική υπηρεσία της υπηρεσίας SAT. Κυκλοφόρησε πιλοτικά τον Ιούνιο του 2013⁶ αρχικά μόνο για υπολογιστές και από το Φεβρουάριο του 2014 έγινε ευρύτερα διαθέσιμη⁷. Μέσω αυτής της υπηρεσίας ο συνδρομητής έχει τη δυνατότητα να παρακολουθήσει το περιεχόμενο της Nova στο κινητό, στο tablet, στον υπολογιστή, από οποιαδήποτε δίκτυο σταθερής ή κινητής στην Ελλάδα αλλά και εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η υπηρεσία είναι διαθέσιμη για κινητά και tablets μέσω Android και iOS όπου εγκαθίσταται η εφαρμογή. Στους υπολογιστές είναι διαθέσιμη μέσω Windows και macOS όπου εγκαθίσταται ένας media player που αναπαράγει το περιεχόμενο που επιλέγεται μέσω ενός περιηγητή ιστού.

Για το VoD περιεχόμενο υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης σε κάποια συσκευή για μελλοντική θέαση χωρίς ο χρήστης να είναι συνδεδεμένος στο Διαδίκτυο.

2.5.2.2. Novaflix



Σχήμα 2-5: Λογότυπο Android εφαρμογής Novaflix

⁶ <https://digitaltvinfo.gr/news/news/item/39>

⁷ <https://digitaltvinfo.gr/news/news/item/9267>

Η υπηρεσία Novaflix έγινε διαθέσιμη τον Απρίλιο του 2019⁸ και παρέχεται ως αυτόνομη (stand-alone) υπηρεσία. Η υπηρεσία είναι διαθέσιμη για κινητά και tablets μέσω Android και iOS όπου εγκαθίσταται η εφαρμογή και για υπολογιστές είναι διαθέσιμη μέσω Windows και macOS όπου εγκαθίσταται ένας media player που αναπαράγει το περιεχόμενο που επιλέγεται μέσω ενός περιηγητή ιστού.

Η υπηρεσία περιέχει μόνο τα κινηματογραφικά κανάλια της Nona και από VoD περιεχόμενο περιλαμβάνει ταινίες και σειρές. Για το VoD περιεχόμενο υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης σε κάποια συσκευή για μελλοντική θέαση χωρίς ο χρήστης να είναι συνδεδεμένος στο Διαδίκτυο.

2.5.3. Υπηρεσίες της Vodafone

2.5.3.1. Vodafone TV



Σχήμα 2-6: Λογότυπο Android εφαρμογής Vodafone TV

Η συγκεκριμένη υπηρεσία έγινε αρχικά διαθέσιμη τον Μάρτιο του 2009 ως HOL TV⁹ και στην συνέχεια μετονομάστηκε σε Vodafone TV¹⁰. Αρχικά έγινε διαθέσιμη ως IPTV, ενώ από το Σεπτέμβριο του 2018 υπάρχει διαθέσιμη ως OTT¹¹. Από τον Αύγουστο του 2020 είναι διαθέσιμη και ως stand-alone υπηρεσία χωρίς να χρειάζεται αγορά αποκωδικοποιητή, μόνο όμως για το Family Pack¹².

Ο χρήστης από την εφαρμογή πέρα από τα live κανάλια που είναι διαθέσιμα μπορεί να παρακολουθήσει ταινίες και σειρές και να τα αποθηκεύσει στη συσκευή του σε περίπτωση που επιθυμεί να τις παρακολουθήσει χωρίς σύνδεση στο Διαδίκτυο.

Μέχρι στιγμής η εφαρμογή είναι διαθέσιμη μόνο για κινητά μέσω Android και iOS.

⁸ <https://digitaltvinfo.gr/news/pay-tv-news/item/26366-einai-gegonos-to-novaflix-i-nea-ypiresia-tis-nova-erxetai-apokleistika-meso-streaming>

⁹ <https://techblog.gr/internet/hol-tv>

¹⁰ <https://techblog.gr/internet/vodafone-home-hellas-online-2673>

¹¹ <https://tecky.eu/i-prosvasi-stin-ypiresia-vodafone-tv-einai-pleon-efikti-apo-opoidipote-diktyo>

¹² <https://digitaltvinfo.gr/news/news/item/32143-to-vodafone-tv-to-spiti-tis-hbo-diathesimo-pano-apo-ola-ta-diktya-xoris-apokodikopoiiti-xoris-desmeyseis-kai-me-ton-pto-mina-dorean-me-molis-6-90-evro-to-mina>

2.5.4. Υπηρεσίες της Wind

2.5.4.1. WIND VISION



Σχήμα 2-7: Λογότυπο Android εφαρμογής WIND VISION

Η συγκεκριμένη υπηρεσία έγινε διαθέσιμη τον Απρίλιο του 2018¹³. Είναι διαθέσιμη ως IPTV, ενώ είναι διαθέσιμη ως OTT υπηρεσία για υπολογιστές μέσω ενός περιηγητή ιστού και για κινητά και tablets μέσω Android και iOS. Η OTT υπηρεσία είναι διαθέσιμη μέχρι στιγμής ως συμπληρωματική της IPTV υπηρεσίας και παρέχεται χωρίς επιπλέον χρέωση.

Ο χρήστης μπορεί να έχει την εφαρμογή συνολικά σε 4 συσκευές και να παρακολουθεί ταυτόχρονα περιεχόμενο στις 2 από αυτές. Άμα θέλει να παρακολουθήσει αθλητικό περιεχόμενο μπορεί να το παρακολουθήσει μόνο σε 1 συσκευή.

2.5.5. Λοιπές υπηρεσίες

2.5.5.1. ERTflix



Σχήμα 2-8: Λογότυπο Android εφαρμογής EPTflix

Η ERTflix είναι μια ελεύθερη πλατφόρμα της EPT που έγινε διαθέσιμη το Δεκέμβριο του 2017 αρχικά ως EPT Hybrid¹⁴ και τον Απρίλιο του 2020 μετονομάστηκε σε ERTflix¹⁵. Αρχικά ήταν μόνο διαθέσιμη για Smart TVs ως υπηρεσία Υβριδικής Ευρυζωνικής Τηλεόρασης (HbbTV - Hybrid Broadcast Broadband TV), ενώ σήμερα

¹³ <https://www.insomnia.gr/review/gadgetsvarious/services/wind-vision-review-r973>

¹⁴ <https://digitaltvinfo.gr/magazine-archive/year-2017/item/21226-hbbtv>

¹⁵ <https://digitaltvinfo.gr/news/watch-on-tv/item/30690-i-ert-egine-ertflix-apo-simera-24-tainies-entelos-dorean-kathe-stigmi>

είναι διαθέσιμη επιπλέον σε συσκευές Android, iOS και σε υπολογιστές μέσω ενός περιηγητή ιστού.

Ο χρήστης μπορεί να παρακολουθήσει τα υπάρχοντα επίγεια κανάλια της ΕΡΤ από τον υπολογιστή του, το κινητό του και το tablet, ενώ το κανάλι ERT SPORTS, κανάλι με αποκλειστικά αθλητικό περιεχόμενο, παρέχεται μόνο μέσω διαδικτύου σε όλες τις συσκευές. Πέρα από τα live κανάλια ο χρήστης μπορεί να παρακολουθήσει VoD ταινίες, σειρές και δελτία ειδήσεων των καναλιών της ΕΡΤ.

3. Πλατφόρμα OTT TV

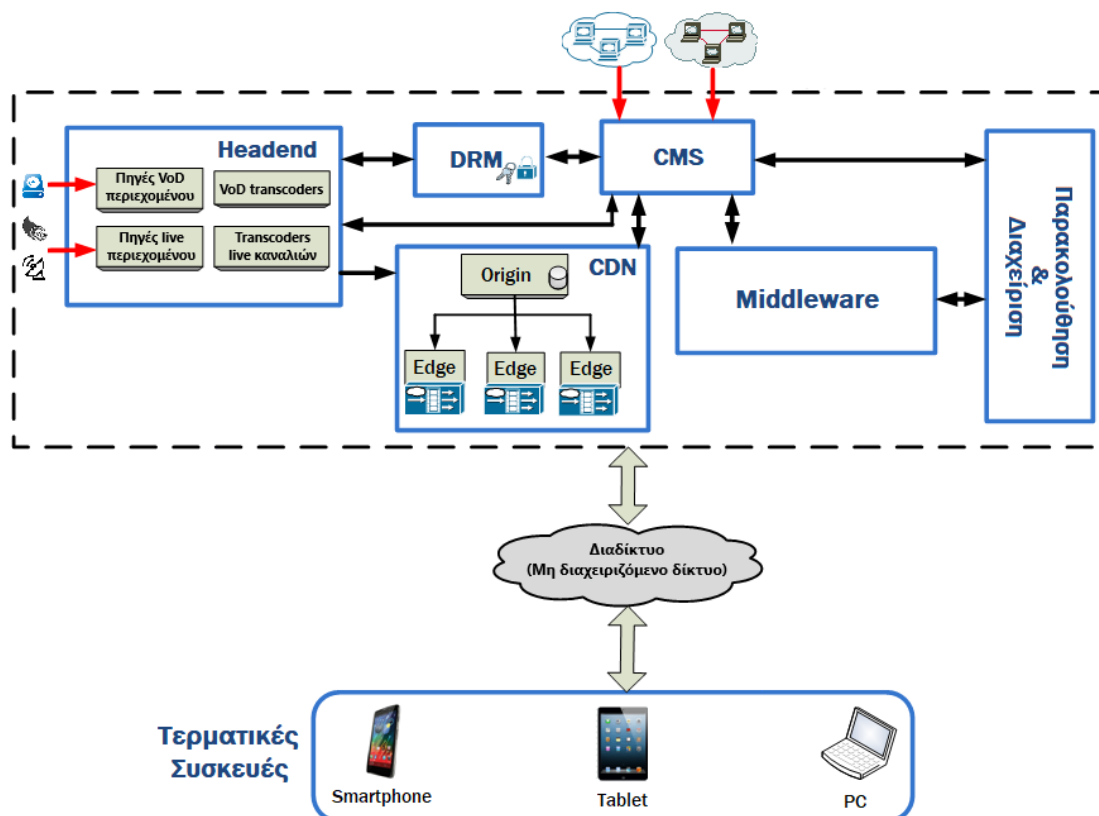
Για την παροχή των υπηρεσιών που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2.1 απαιτείται η ύπαρξη μιας πλατφόρμας OTT TV. Η πλατφόρμα είναι ένα σύστημα που αποτελείται από μια ομάδα υποσυστημάτων και συστατικών στοιχείων που εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες. Τα στοιχεία αυτά απεικονίζονται συνοπτικά στο Σχήμα 3-1 και περιγράφονται στο τρέχον κεφάλαιο.

Η πλατφόρμα από την πλευρά του παρόχου αποτελείται από 6 υποσυστήματα τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους και είναι τα:

- Headend
- Σύστημα προστασίας περιεχομένου (CAS/DRM)
- Δίκτυο Διανομής Περιεχομένου (CDN)
- Σύστημα Διαχείρισης Περιεχομένου (CMS)
- Ενδιάμεσο λογισμικό (Middleware)
- Παρακολούθηση και Διαχείριση (Monitoring & Management)

Η πλατφόρμα από την πλευρά του χρήστη αποτελείται από την τερματική συσκευή του χρήστη (client).

Οι διακομιστές που ανήκουν σε αυτά τα υποσυστήματα αναλαμβάνουν να διαμορφώσουν κατάλληλα το περιεχόμενο της υπηρεσίας ώστε να είναι κατάλληλο για την τερματική συσκευή του τελικού χρήστη.



Σχήμα 3-1: Επισκόπηση πλατφόρμας OTT TV

3.1. Headend

3.1.1. Γενικό πλαίσιο

Όπως αναφέραμε συνοπτικά και στην Ενότητα 1.3.1.1.1 το headend είναι το κέντρο όπου λαμβάνει περιεχόμενο από διάφορες πηγές. Αρχικά γίνεται η λήψη του σήματος (receiving), στη συνέχεια η κωδικοποίησή του (encoding) και τελικά η μετάδοσή του στο δίκτυο (transmission).

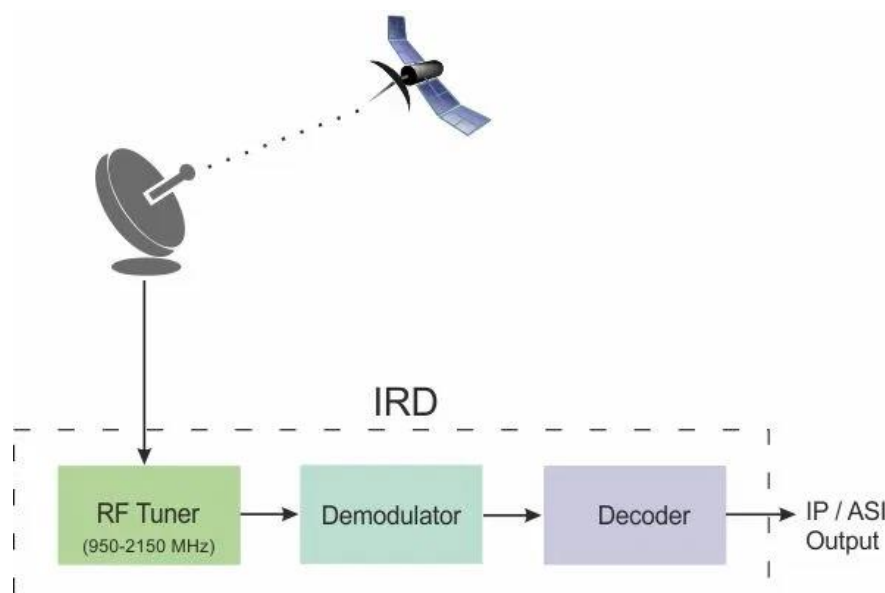
Το περιεχόμενο μπορεί να λαμβάνεται μέσω δορυφορικών πιάτων, μέσω οπτικών ινών, αλλά και μέσω του IP δικτύου.

Το headend λαμβάνει ροές δεδομένων (data streams) και τις κωδικοποιεί σε ψηφιακή μορφή βίντεο. Μετά την κωδικοποίηση, τα δεδομένα της ροής ενθυλακώνονται μέσα σε μια IP ροή δεδομένων (IP data stream) η οποία μεταδίδεται σε μια συγκεκριμένη IP διεύθυνση προορισμού (IP destination address), ως ανταπόκριση στην αίτηση ενός χρήστη για ένα συγκεκριμένο κανάλι.

Συνολικά το headend αποτελείται από τα παρακάτω συστήματα:

- Δορυφορικά πιάτα/οπτικές ίνες
- Ενσωματωμένοι δέκτες/αποκωδικοποιητές (IRDs)
- Κωδικοποιητές (Encoders/Transcoders)
- Μεταγωγείς βίντεο (Video Switches)

3.1.2. Λήψη σήματος (Receiving)



Σχήμα 3-2: Διαδικασία λήψης σήματος μέσω IRD

Ένα σήμα λαμβάνεται μέσω ενός ενσωματωμένου δέκτη/αποκωδικοποιητή (Integrated Receiver/Decoder - IRD). Ο IRD είναι μια συσκευή που λαμβάνει σήματα ραδιοσυχνότητας (RF) και τα μετατρέπει σε σήματα ενδιάμεσων συχνοτήτων (IF) έτσι

ώστε να μπορέσει να τα αποδιαμορφώσει (demodulate), να τα αποκρυπτογραφήσει (αν τα σήματα είναι κρυπτογραφημένα) και εν τέλει να τα αποκωδικοποιήσει (decode). Η διαδικασία αυτή απεικονίζεται συνοπτικά στο Σχήμα 3-2.

Το εξερχόμενο σήμα από τον IRD μπορεί να είναι σε μορφή:

- Σύνθετο βίντεο (Composite video)
- ASI (Asynchronous Serial Interface - ασύγχρονη σειριακή διεπαφή)
- SDI (Serial Digital Interface - σειριακή ψηφιακή διεπαφή)
- HDMI (High-Definition Multimedia Interface)
- IP (Internet Protocol)

Στον IRD ρυθμίζονται παράμετροι όπως η δορυφορική συχνότητα (frequency) και τη ζώνη συχνοτήτων (band) των σημάτων που πρόκειται να ληφθούν.

3.1.3. Κωδικοποίηση σήματος (Encoding/Transcoding)

Η διαδικασία της κωδικοποίησης (encoding) περιλαμβάνει τη λήψη ακατέργαστου, πρωτότυπου και ασυμπίεστου σήματος και τη μετατροπή του σε συμπιεσμένη ψηφιακή μορφή. Η κωδικοποίηση γίνεται μέσω ενός κωδικοποιητή (encoder) όπου δέχεται ως είσοδο μια πηγή βίντεο σε αναλογική μορφή και τη μετατρέπει σε ψηφιακή μορφή, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία της.

Η διαδικασία του transcoding περιλαμβάνει τη μετατροπή ενός ψηφιακού σήματος βίντεο από μια μορφή συμπίεσης σε μια άλλη και γίνεται μέσω ενός transcoder. Η είσοδος στον transcoder μπορεί να είναι σε οποιαδήποτε ψηφιακή μορφή, συμπιεσμένη ή μη, MPEG-2, MPEG-4 ή άλλη και σε συγκεκριμένο bitrate που έχει επιλεγεί.

3.1.4. Κωδικοποίηση VoD περιεχομένου

Το VoD περιεχόμενο πριν γίνει διαθέσιμο στον τελικό χρήστη πρέπει αρχικά να κωδικοποιηθεί, δηλαδή το ατόφιο-ασυμπίεστο περιεχόμενο να μετατραπεί σε μορφή κατάλληλη για αναπαραγωγή σε τερματικές συσκευές. Το VoD περιεχόμενο μπορεί να παραδοθεί στο στάδιο της κωδικοποίησης της πλατφόρμας με τους ακόλουθους τρόπους:

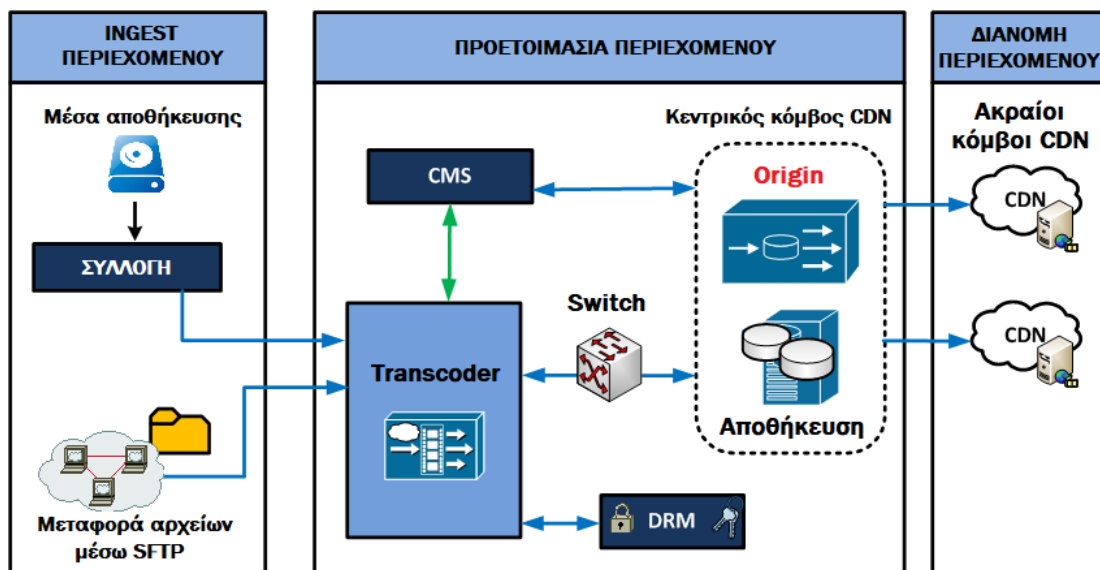
- Μεταφορά αρχείων σε IP μέσω σύνδεσης SFTP (Secure File Transfer Protocol) για VoD περιεχόμενο.
- Ingest περιεχομένου μέσω μέσων αποθήκευσης (π.χ. σκληρός δίσκος) για VoD περιεχόμενο.

Ο transcoder που επεξεργάζεται το VoD περιεχόμενο εκτελείται σε κάποιο διακομιστή και εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Μετατρέπει το αρχικό ασυμπίεστο αρχείο βίντεο σε συμπιεσμένο VoD περιεχόμενο πολλαπλών προφίλ (bitrates ή αναλύσεις) σε ποιότητα SD και HD.

- Τεμαχίζει το περιεχόμενο πολλαπλών προφίλ σε πακέτα περίπου των 10 δευτερολέπτων και πακετάρονται σε κατάλληλη μορφή ώστε να μπορεί να διανεμηθεί μέσω των πρωτοκόλλων HLS (HTTP Live Streaming) και MPEG-DASH.
- Διανέμει το περιεχόμενο στο CDN.
- Αλληλεπιδρά με τη ροή εργασίας (workflow) που διαχειρίζεται το CMS (Content Management System). Αυτή η ροή εργασίας περιλαμβάνει λειτουργίες που σχετίζονται με την προετοιμασία του περιεχομένου που επιτρέπει την απλούστευση και τη διαχείριση αυτών των εργασιών.
- Αλληλεπιδρά με το σύστημα DRM για την κρυπτογράφηση του περιεχομένου.

Ολόκληρη η διαδικασία κωδικοποίησης του VoD περιεχομένου απεικονίζεται στο Σχήμα 3-3.



Σχήμα 3-3: Διαδικασία κωδικοποίησης VoD περιεχομένου

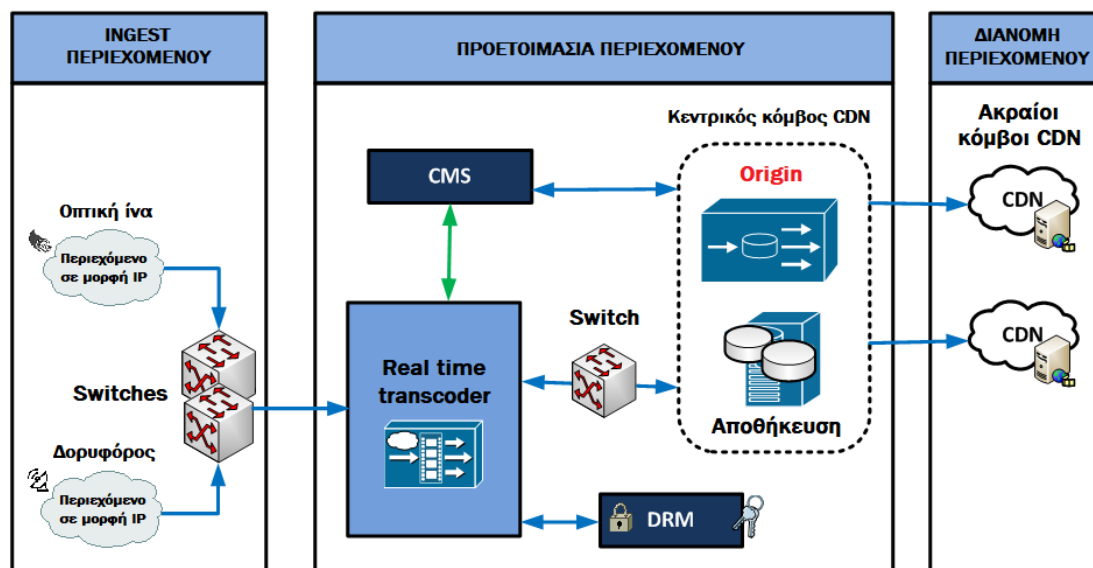
3.1.5. Κωδικοποίηση live καναλιών OTT

Η επεξεργασία ενός live καναλιού γίνεται σε πραγματικό χρόνο μέσω ενός live transcoder (real time transcoder) που εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Κωδικοποιεί (transcode) το συμπιεσμένο live περιεχόμενο που λαμβάνει από το στάδιο λήψης σήματος.
- Packaging: Δημιουργεί live περιεχόμενο πολλαπλών προφίλ, το συσκευάζει (package), το κατακερματίζει (segment) και το κρυπτογραφεί (encrypt). Η λειτουργία κατακερματισμού επιτρέπει τη δημιουργία ροών συμβατών με πρωτόκολλα όπως HLS (HTTP Live Streaming) και MPEG-DASH.

Ο live transcoder είναι ένας ανθεκτικός διακομιστής που λαμβάνει την IP του αρχικού περιεχομένου και έχει ως έξοδο την IP του περιεχομένου που έχει υποστεί επεξεργασία. Οι live transcoders ενσωματώνονται στο σύστημα DRM για την κρυπτογράφηση των live καναλιών.

Ολόκληρη η διαδικασία κωδικοποίησης του VoD περιεχομένου απεικονίζεται στο Σχήμα 3-4.



Σχήμα 3-4: Διαδικασία κωδικοποίησης live περιεχομένου

3.2. Σύστημα Προστασίας Περιεχομένου (CAS/DRM)

Η πλατφόρμα OTT TV έχει την δυνατότητα να διανέμει το περιεχόμενο της με ασφαλή τρόπο ώστε να μπορούν να το παρακολουθούν μόνο εξουσιοδοτημένοι χρήστες. Η διαδικασία πιστοποίησης των δικαιωμάτων χρήσης είναι αρκετά πολύπλοκη και για τον λόγο αυτό είναι αναγκαία η ύπαρξη εξειδικευμένου μηχανισμού ο οποίος θα διαχειρίζεται τα δικαιώματα χρήσης του ψηφιακού περιεχομένου.

Ο μηχανισμός αυτός χωρίζεται σε δύο μέρη, το σύστημα πρόσβασης υπό όρους (Conditional Access System - CAS) και το σύστημα διαχείρισης ψηφιακών δικαιωμάτων (Digital Rights Management - DRM) και είναι υπεύθυνος για τα ακόλουθα:

- Κρυπτογράφηση/αποκρυπτογράφηση του ψηφιακού περιεχομένου.
- Διαχείριση των κλειδιών που χρησιμοποιήθηκαν στην κρυπτογράφηση.
- Αποτροπή και πρόληψη της αντιγραφής του ψηφιακού περιεχομένου από τους χρήστες.
- Επιβολή πολιτικών χρήσης συγκεκριμένου περιεχομένου.

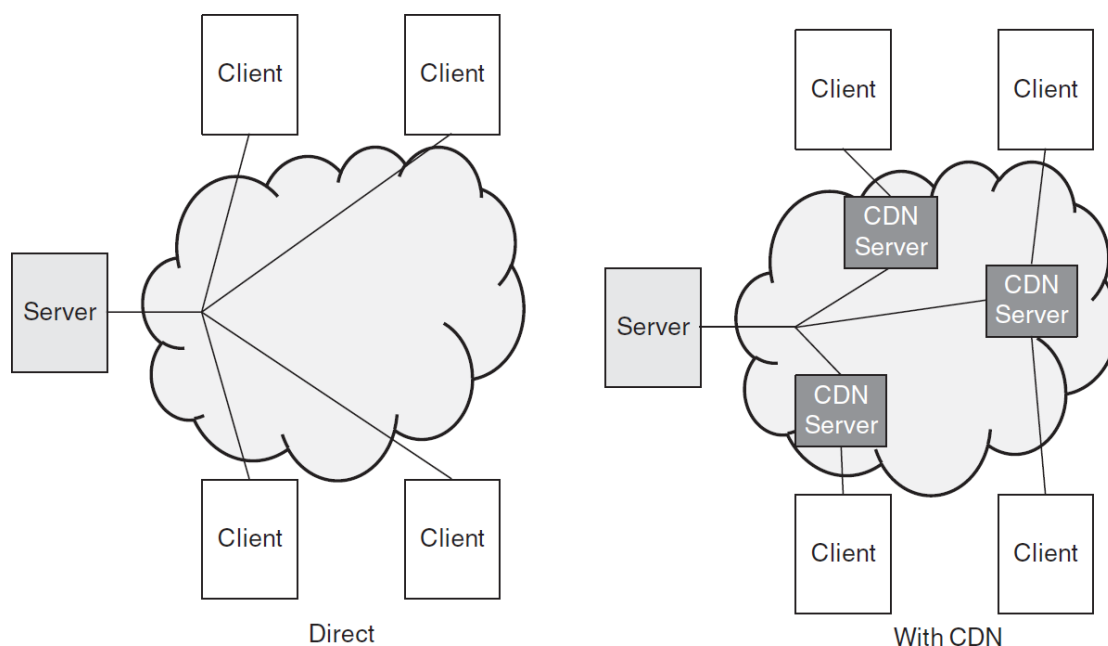
Ως σύστημα πρόσβασης υπό όρους (Conditional Access System - CAS) ορίζεται το σύνολο των μηχανισμών οι οποίοι ελέγχουν τη πρόσβαση των χρηστών στα τηλεοπτικά προγράμματα. Για παράδειγμα, σε ένα πρόγραμμα που περιέχει αθλητικά κανάλια μπορούν να έχουν πρόσβαση μόνο οι χρήστες που είναι εξουσιοδοτημένοι σε αυτά.

Τα δικαιώματα του χρήστη πάνω στο περιεχόμενο τα αναλαμβάνει το σύστημα διαχείρισης ψηφιακών δικαιωμάτων (Digital Rights Management - DRM). Το σύστημα

DRM χρησιμοποιείται για την προστασία των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας του κατόχου του περιεχομένου μετά τη διανομή του περιεχομένου. Αυτό το σύστημα παρέχει ορισμένες μορφές κρυπτογράφησης, επομένως το περιεχόμενο δεν θα είναι ορατό χωρίς το κλειδί που έχει διανεμηθεί στο χρήστη. Εκτός από την κρυπτογράφηση του περιεχομένου, το σύστημα DRM δεν επιτρέπει τη δημιουργία μη εξουσιοδοτημένων αντιγράφων του περιεχομένου, δηλαδή ο χρήστης δεν μπορεί να αντιγράψει το περιεχόμενο.

3.3. Δίκτυο Διανομής Περιεχομένου (CDN)

Ένα δίκτυο διανομής περιεχομένου (Content Distribution Network - CDN) είναι μια συλλογή από γεωγραφικά διασκορπισμένους διακομιστές (servers) που ενεργούν για την παροχή υψηλής απόδοσης και αξιόπιστης παράδοσης περιεχομένου στους τελικούς χρήστες σε διαφορετικές τοποθεσίες. Έτσι μια αίτηση για ανάκτηση περιεχομένου θα εξυπηρετείται πάντα από τον πιο «κοντινό» διακομιστή όπως βλέπουμε στο Σχήμα 3-5.



Σχήμα 3-5: Αρχιτεκτονική δικτύου χωρίς χρήση CDN και με χρήση CDN

Η ανάγκη επιλογής προώθησης του περιεχομένου διαμέσου του CDN είναι αναγκαία διότι όταν πολλοί χρήστες ζητήσουν να δουν ταυτόχρονα κάποιο live ή VoD περιεχόμενο, δημιουργείται υπερβολικός όγκος ροής δεδομένων στον κεντρικό διακομιστή και δεν μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της αυξανόμενης ζήτησης και να εξυπηρετηθούν όλοι οι χρήστες.

Το CDN εκτός του ότι έχει την δυνατότητα να αυξήσει το εύρος ζώνης, μπορεί να αποθηκεύσει προσωρινά (caching) το περιεχόμενο ή το κάνει την στιγμή της ζήτησης για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των χρηστών. Με τον όρο caching εννοούμε, ότι όταν πάει να δει κάποιος ένα βίντεο το οποίο έχει αποθηκευτεί στον κεντρικό διακομιστή, το βίντεο αποθηκεύεται στον τοπικό διακομιστή του CDN. Αν το βίντεο δεν υπάρχει στον τοπικό διακομιστή, ο μηχανισμός της πλατφόρμας πηγαίνει και το

αναζητεί στον κεντρικό διακομιστή και το αποθηκεύει στον τοπικό διακομιστή του CDN. Έτσι την επόμενη φορά που θα ξαναζητηθεί το ίδιο βίντεο, θα εμφανιστεί στους χρήστες που θα το ζητήσουν πολύ γρήγορα.

Η συνολική δομή μιας υλοποίησης CDN είναι σχετικά απλή και απεικονίζεται στο Σχήμα 3-5. Συνοπτικά η δομή αυτή εξυπηρετεί τους παρακάτω σκοπούς:

- Μειώνει το φορτίο στους διακομιστές προέλευσης του περιεχομένου.
- Μειώνει την υπερφόρτωση στη ραχοκοκαλιά (backbone) και τις διασυνδέσεις (interconnects) του Διαδικτύου.
- Με το διακομιστή παράδοσης πιο κοντά (σε όρους δικτύωσης), ο χρήστης έχει λιγότερη απώλεια πακέτων, λιγότερη καθυστέρηση και λιγότερο jitter.
- Με πολλαπλές πηγές δεδομένων, τόσο η αξιοπιστία όσο και η αντίσταση στις επιθέσεις άρνησης υπηρεσιών (Denial of Service - DoS) είναι υψηλότερες.
- Μειώνει τη συνολική χρήση εύρους ζώνης εντός του δικτύου.
- Η κατανομή πόρων για πολύ μεγάλο αριθμό χρηστών είναι πολύ πιο εύκολη.

3.3.1. Πλαίσιο CDN

Στο CDN υπάρχουν δύο ειδών διακομιστές (servers): ο origin και ο edge. Ο origin αποθηκεύει το “αυθεντικό” περιεχόμενο. Ένας edge διακομιστής κρατά ένα αντίγραφο του περιεχομένου και συμπεριφέρεται σαν πληρεξούσιος για τις απαντήσεις στα αιτήματα των clients του δικτύου. Ο origin επικοινωνεί με τους edge διακομιστές για να αναβαθμίζει το περιεχόμενο, που είναι αποθηκευμένο σε αυτούς.

Σε ένα CDN υπάρχουν διαφορετικές σχέσεις ανάμεσα σε διαφορετικά στοιχεία του δικτύου, όπως οι διακομιστές, οι πελάτες (clients) κ.α. Οι clients του δικτύου επικοινωνούν τόσο με τον origin όσο και με τους edge διακομιστές μέσω άλλων στοιχείων του δικτύου (π.χ. δρομολογητές). Η επικοινωνία ανάμεσα σε έναν edge διακομιστή και έναν client γίνεται με διαφανή τρόπο, όπου κάθε edge διακομιστής είτε εξυπηρετεί τις αιτήσεις των clients από την μνήμη cache του ή λειτουργεί ως “πύλη” προς έναν άλλο edge διακομιστή ή προς τον origin.

3.3.2. Περιγραφή CDN

Για να καταλάβουμε απλά πώς λειτουργεί ένα CDN, μπορούμε να πάρουμε το απλό παράδειγμα ενός περιηγητή ιστού (web browser) που αιτείται έναν πόρο. Το πρώτο βήμα που γίνεται είναι ένα αίτημα DNS. Ένα αίτημα DNS μοιάζει αρκετά με το να αναζητούμε έναν τηλεφωνικό αριθμό σε έναν τηλεφωνικό κατάλογο: ο περιηγητής δίνει το όνομα τομέα (domain name) και αναμένει να λάβει πίσω μια διεύθυνση IP. Με τη διεύθυνση IP, ο περιηγητής μπορεί στη συνέχεια να επικοινωνήσει απευθείας με τον διακομιστή ιστού (web server) για μεταγενέστερα αιτήματα. Για έναν απλό ιστότοπο, ένα domain name μπορεί να έχει μόνο μία διεύθυνση IP· για μεγάλες εφαρμογές ιστού, ένα domain name μπορεί να έχει πολλές διευθύνσεις IP.

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι η προσπάθεια πρόσβασης σε ένα διακομιστή που βρίσκεται στην Κίνα ή στις ΗΠΑ από έναν υπολογιστή στην Ελλάδα θα διαρκέσει

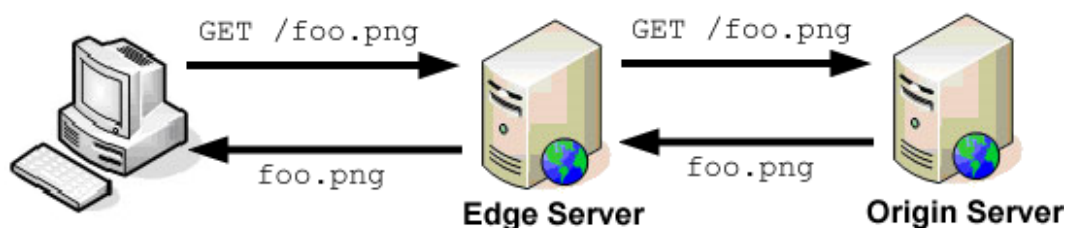
περισσότερο απ' ότι η προσπάθεια πρόσβασης σε έναν διακομιστή που βρίσκεται στην Ελλάδα. Για να βελτιωθεί η εμπειρία χρήσης (καθυστέρηση και ταχύτητα σύνδεσης), χαμηλότερο κόστος μετάδοσης και φορτίο διακομιστή, οι μεγάλες εταιρείες δημιουργούν διακομιστές με αντίγραφα δεδομένων σε στρατηγικά, γεωγραφικά ή πλησιέστερα προς τους χρήστες τους σημεία. Αυτό το δίκτυο ονομάζεται CDN, ο διακομιστής που είναι μέρος αυτού του δικτύου είναι συνήθως ονομάζεται edge ή surrogate διακομιστής.

Όταν ο περιηγητής κάνει ένα αίτημα DNS για ένα domain name που χειρίζεται από ένα CDN, υπάρχει μια ελαφρώς διαφορετική διαδικασία σε σχέση με τις ιστοσελίδες που βασίζονται σε έναν διακομιστή. Ο διακομιστής που χειρίζεται τις αιτήσεις DNS για το domain name εξετάζει την εισερχόμενη αίτηση για να προσδιορίσει το καλύτερο σύνολο διακομιστών για να το χειριστεί.

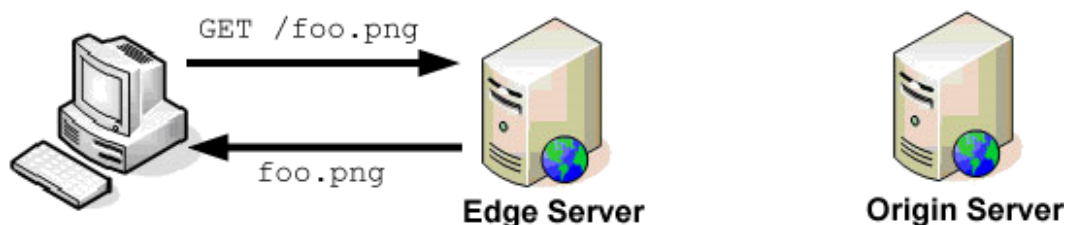
Ο διακομιστής DNS συντάσσει το αίτημα σύμφωνα με:

- Γεωγραφική αναζήτηση βάσει της διεύθυνσης IP του επιλυτή DNS (DNS resolver) και στη συνέχεια επιστρέφει μια διεύθυνση IP για έναν edge διακομιστή που είναι γεωγραφικά πλησιέστερος σε αυτήν την περιοχή.
- Αναζήτηση φορτίου διακομιστή, όπου η διεύθυνση IP επέστρεψε τις διαδρομές σε έναν λιγότερο φορτισμένο edge διακομιστή.

First Request



Second Request



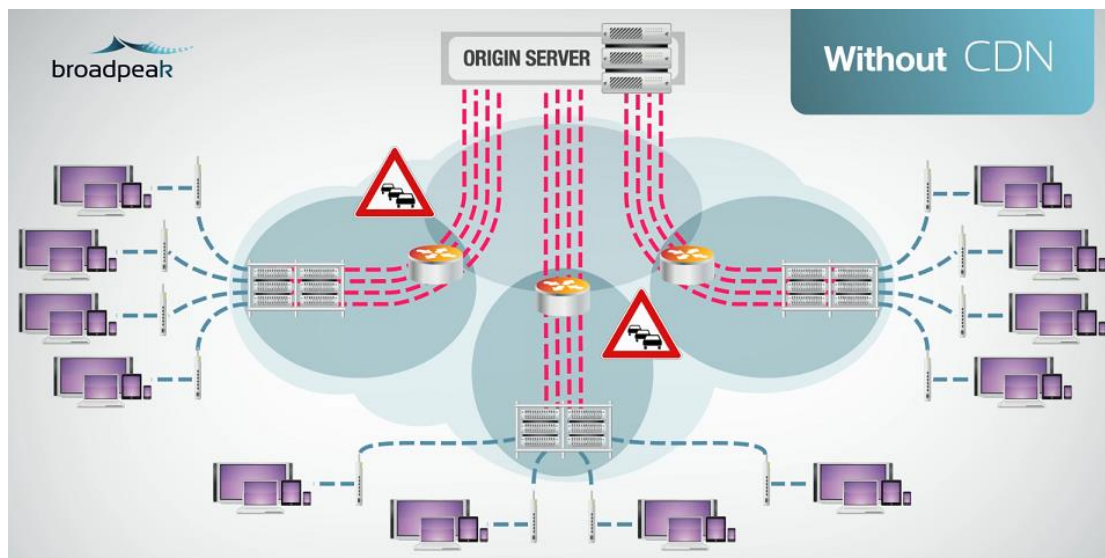
Σχήμα 3-6: Βασική έννοια CDN

Για να αποκτηθεί πρόσβαση στο περιεχόμενο, το αίτημα έρχεται σε έναν edge διακομιστή, πρώτα ελέγχει την προσωρινή μνήμη (cache) για να διαπιστώσει εάν υπάρχει το περιεχόμενο. Εάν το περιεχόμενο δεν βρίσκεται στη cache ή αν η εγγραφή cache έχει λήξει, τότε ο edge διακομιστής ζητά από τον origin να ανακτήσει τις πληροφορίες. Ο origin είναι πάντα η πηγή του περιεχομένου και είναι σε θέση να

εξυπηρετήσει όλο το περιεχόμενο που είναι διαθέσιμο στο CDN. Όταν ο edge διακομιστής λάβει την απάντηση από τον origin, αποθηκεύει το περιεχόμενο στην cache βάσει των κεφαλίδων HTTP της απάντησης (Σχήμα 3-6).

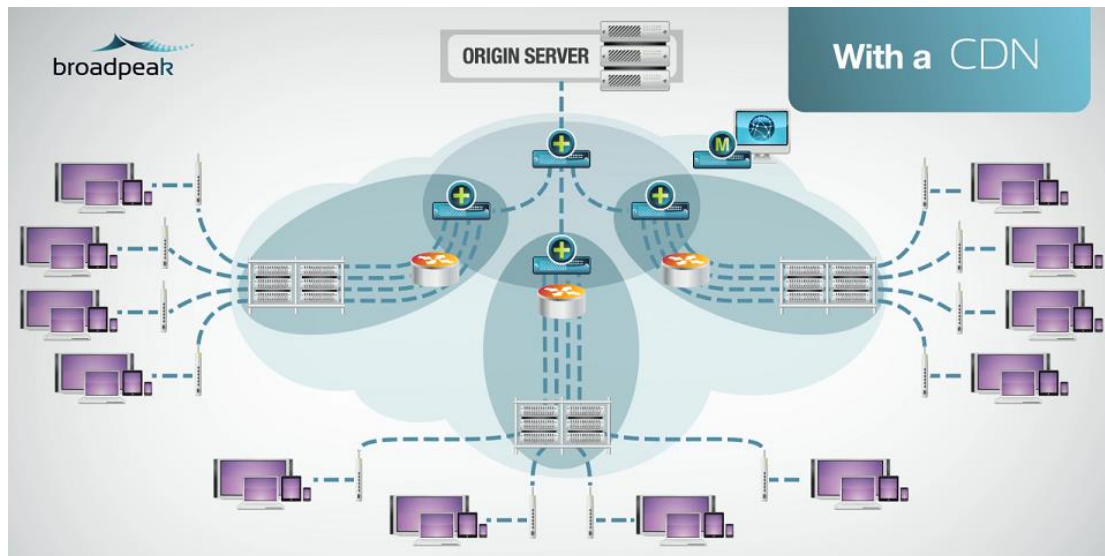
Όπως αναφέραμε πριν, το OTT περιεχόμενο διανέμεται επαναλαμβανόμενα σε HTTP unicast ροές. Κάθε χρήστη δημιουργεί μια νέα ροή και χιλιάδες χρήστες θα δημιουργούν χιλιάδες ροές και είναι πραγματικά δύσκολο να γίνει χειρισμός ενός τέτοιου ποσού εξερχόμενου εύρους ζώνης. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η αποθήκευση του περιεχομένου μας στην cache του διακομιστή που βρίσκεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον χρήστη.

Για να επιδείξουμε τη σημασία ενός CDN στη διανομή του OTT περιεχομένου μπορούμε να δούμε ότι χωρίς ένα CDN κάθε πελάτης ζητά μια ροή. Ωστόσο, οι OTT ροές είναι unicast που αυτό σημαίνει ότι το bitrate κάθε ροής θα προστεθεί στο κανάλι και το σύνολο του bitrate των ροών μπορεί να είναι υψηλότερο από το διαθέσιμο εύρος ζώνης στο δίκτυο. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα συμφόρησης δικτύου. Αυτά τα προβλήματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 3-7.



Σχήμα 3-7: Διανομή βίντεο χωρίς τη χρήση CDN

Με ένα CDN (Σχήμα 3-8) ελαττώνουμε το φορτίο στο δίκτυο κορμού και αποθηκεύουμε το περιεχόμενο που βρίσκεται πιο κοντά στον χρήστη.



Σχήμα 3-8: Διανομή βίντεο με τη χρήση CDN

Για να κατανοήσουμε καλύτερα την κυκλοφοριακή συμφόρηση που δημιουργείται από τη διανομή του OTT περιεχομένου, εάν έχουμε 1000 συνδέσεις και 100 ενεργά στοιχεία με μέσο bitrate 1,8 Mbps, θα χρειαζόταν περίπου 1,8 Gbps upload στο κέντρο δεδομένων.

Για να μειώσουμε την κυκλοφορία θα μπορούσαμε να πάρουμε τα πιο δημοφιλή περιεχόμενα. Συνήθως μόνο το 5% των ενεργών στοιχείων παράγουν το 60% της κυκλοφορίας. Χρησιμοποιώντας ένα CDN θα κάνουμε αναπαραγωγή του 5% του πιο προβλεπόμενου περιεχομένου του origin, μειώνοντας το 60% της κυκλοφορίας από το κέντρο δεδομένων. Από αυτό το σημείο το πιο προβλεπόμενο περιεχόμενο θα παραδοθεί απευθείας από τους edge διακομιστές.

Για παράδειγμα αν έχουμε 3 edge διακομιστές θα μπορούσαμε να κατανεύουμε το φορτίο ισότιμα μεταξύ τους ή ανάλογα με το φορτίο γεωγραφικών περιοχών.

3.3.3. Συστατικά στοιχεία CDN στην OTT TV

Το CDN για την OTT TV περιλαμβάνει τα παρακάτω είδη διακομιστών:

- **VoD διακομιστές:** αποθηκεύουν το VoD περιεχόμενο που είναι για διανομή.
- **Replay TV διακομιστές:** αποθηκεύουν το live περιεχόμενο που έχει ήδη παιχτεί από τα κανάλια.

Τα είδη κόμβων του CDN είναι οι εξής:

- **Κεντρικός κόμβος (Center node):** Είναι ο κεντρικός κόμβος που περιέχει τους origin VoD και Replay TV διακομιστές όπου βρίσκεται το γνήσιο περιεχόμενο.
- **Ακραίοι κόμβοι (Edge nodes):** Είναι οι κόμβοι όπου βρίσκονται οι edge διακομιστές που περιέχουν αντίγραφα από τον κεντρικό κόμβο και εξυπηρετούν τις αιτήσεις των χρηστών που βρίσκονται κοντά τους.

3.4. Σύστημα Διαχείρισης Περιεχομένου (CMS)

Το Σύστημα Διαχείρισης Περιεχομένου (Content Management System - CMS) είναι το σύστημα όπου γίνεται η διαχείριση της ροής εργασίας που σχετίζεται με το περιεχόμενο και τους παρόχους περιεχομένου της υπηρεσίας.

Στο CMS εκτελούνται οι ακόλουθες λειτουργίες:

- **Διαχείριση χαρακτηριστικών περιεχομένου (μεταδεδομένων):** Επιτρέπει την τροποποίηση πληροφοριών σχετικά με τίτλους, ηθοποιούς, σκηνοθέτες, ημερομηνία παραγωγής, σύνοψη κλπ. Ο χειριστής μπορεί να τροποποιήσει τις ιδιότητες περιεχομένου για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις των χρηστών.
- **Διαχείριση και συντήρηση περιεχομένου:**
 - Τροποποίηση, διαγραφή, ταξινόμηση και κατηγοριοποίηση του περιεχομένου (μια σχετική κατηγοριοποίηση είναι π.χ. όλες οι ταινίες ενός συγκεκριμένου ηθοποιού, ενός συγκεκριμένου σκηνοθέτη κλπ.).
 - Εφαρμογή συγκεκριμένων πολιτικών για το περιεχόμενο και την πρόσβαση των χρηστών σε αυτό (π.χ. προγραμματισμένη ημερομηνία λήξης, τις πολιτικές διατήρησης αρχείων, τις μεθόδους παράδοσης, κλπ.).
 - Εκχώρηση δικαιωμάτων στο περιεχόμενο (ποιος βλέπει και τι είδους περιεχόμενο).

3.5. Ενδιάμεσο λογισμικό (Middleware)

3.5.1. Σύντομη περιγραφή

Το ενδιάμεσο λογισμικό (middleware) είναι βασικό στοιχείο της πλατφόρμας OTT TV. Ελέγχει και ενοποιεί τα υποσυστήματα της πλατφόρμας και επίσης είναι υπεύθυνο για την παροχή των υπηρεσιών της πλατφόρμας στους χρήστες.

Το middleware είναι υπεύθυνο για τις ακόλουθες λειτουργίες:

- **Διαχείριση διακομιστή διανομής:** Ο διακομιστής διανομής, είναι υπεύθυνος ώστε να επιλέξει τον κατάλληλο edge διακομιστή που θα διανέμει το περιεχόμενο στον τελικό χρήστη.
- **Αυθεντικοποίηση χρήστη (login):** Ο χρήστης πριν χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες της πλατφόρμας πρέπει να κάνει login στην πλατφόρμα.
- **Πιστοποίηση πρόσβασης χρήστη:** Η πιστοποίηση πρόσβασης χρήστη αναφέρεται στη διαδικασία καθορισμού του εάν ο χρήστης είναι εξουσιοδοτημένος να παρακολουθήσει το περιεχόμενο της επιλογής του.
- **Αναζήτηση περιεχομένου:** Ο χρήστης μπορεί να εισαγάγει κριτήρια αναζήτησης στην σελίδα/οθόνη αναζήτησης της υπηρεσίας για αναζήτηση περιεχομένου.

3.5.2. Δομή middleware

Τα συστατικά στοιχεία του middleware είναι τα εξής:

- Διακομιστής ενδιάμεσου λογισμικού (Middleware server)
- Πελάτες ενδιάμεσου λογισμικού (Middleware clients)

- Βάση δεδομένων για την αποθήκευση των πληροφοριών

3.5.2.1. Διακομιστής ενδιάμεσου λογισμικού (Middleware server)

Ο διακομιστής middleware είναι ο μηχανισμός πιστοποίησης και εξουσιοδότησης των χρηστών στην πλατφόρμα OTT.

- Είναι σε θέση να χρησιμοποιεί τόσο τους εσωτερικούς του μηχανισμούς όσο και τις διεπαφές (interfaces) άλλων συστημάτων με τα οποία συνεργάζεται.
- Είναι υπεύθυνος για την πιστοποίηση των χρηστών και διατηρεί μέσω της βάσης δεδομένων τις πληροφορίες που σχετίζονται με τους πελάτες (όπως διεύθυνση MAC της τερματικής συσκευής, τον προσωπικό κωδικό αναγνώρισης - PIN κ.λπ.).
- Ο διακομιστής middleware είναι υπεύθυνος για όλες τις πληροφορίες που εμφανίζονται στον EPG που λειτουργεί στην πλευρά του χρήστη και για τις ενέργειες που μπορεί να πραγματοποιήσει.

Τέλος είναι σε θέση να χρησιμοποιεί το σύστημα προστασίας περιεχομένου (CAS/DRM) ώστε να παρέχει προστασία του περιεχομένου καθώς και να παρέχει την λειτουργία του γονικού ελέγχου (parental control) στους τελικούς χρήστες μέσω της καταλληλότητας (rating) του περιεχομένου των βίντεο και των τηλεοπτικών εκπομπών.

3.5.2.2. Πελάτες ενδιάμεσου λογισμικού (Middleware clients)

Οι πελάτες middleware (middleware clients) με τη σειρά τους, είναι οι εφαρμογές οι οποίες εκτελούνται στις τερματικές συσκευές των χρηστών και παρέχουν τις ακόλουθες δυνατότητες:

- Πρόσβαση σε πληροφορίες για το πρόγραμμα των καναλιών, το διαθέσιμο VoD περιεχόμενο για παρακολούθηση, τα προγράμματα Catch-up TV, τις επιλογές εγγραφής προγραμμάτων καθώς και τις υπάρχουσες και δυνατές ρυθμίσεις για γονικό έλεγχο μέσω του EPG.
- Πρόσβαση στα live κανάλια, προγράμματα VoD, Catch-up TV και τρέιλερ, εκτέλεση λειτουργιών όπως παύση, γρήγορη μετακίνηση προς τα εμπρός (fast-forward), μετακίνηση προς τα πίσω (rewind) και εγγραφή ή διαγραφή εγγραφής προγράμματος.
- Χρήση του μηχανισμού online προσωπικής εγγραφής βίντεο (network DVR). Με το μηχανισμό αυτό ο χρήστης μπορεί να εγγράφει-αποθηκεύει online τα προγράμματα που τον ενδιαφέρουν καθώς και να έχει λειτουργίες παρόμοιες με αυτές του βίντεο (παύση, επιστροφή προς τα πίσω, προώθηση κλπ.) σε live προγράμματα.
- Δυνατότητα αποθήκευσης αγαπημένων καναλιών και δημιουργίας σελιδοδεικτών για εκπομπές και VoD περιεχόμενο.
- Εμφάνιση μηνυμάτων για λειτουργίες που σχετίζονται με σελιδοδείκτες, αγαπημένα και υπενθυμίσεις και δυνατότητα καθορισμού των χαρακτηριστικών του προφίλ χρήστη, των κωδικών πρόσβασης και των επιπέδων γονικού ελέγχου.

3.5.3. Λειτουργίες ενδιάμεσου λογισμικού

3.5.3.1. Διαχείριση διακομιστή διανομής

Αφού η εφαρμογή στο τερματικό του χρήστη εκκινεί και αποστέλλει ένα αίτημα στο διακομιστή διανομής του middleware, ο διακομιστής διανομής αναθέτει το τερματικό σε έναν κατάλληλο διακομιστή περιεχομένου (edge διακομιστής). Αυτός ο edge διακομιστής ανταποκρίνεται στα επακόλουθα αιτήματα του χρήστη για υπηρεσίες όπως παρακολούθηση live καναλιών και VoD περιεχομένου.

3.5.3.2. Αυθεντικοποίηση χρήστη (login)

Ένας χρήστης πριν χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες της πλατφόρμας πρέπει να κάνει login στην πλατφόρμα. Αυτή η ενότητα περιγράφει τη διαδικασία αυθεντικοποίησης του χρήστη.

Ένας χρήστης αποκτά πρόσβαση στην πλατφόρμα χρησιμοποιώντας μια συσκευή (τερματικό). Το τερματικό στέλνει ένα αίτημα πρόσβασης στο middleware και το middleware ελέγχει τα στοιχεία που έχει εισαγάγει ο χρήστης (όνομα χρήστη και κωδικός πρόσβασης). Εάν τα στοιχεία που εισήγαγε ο χρήστης είναι ίδια με αυτά που υπάρχουν στη βάση δεδομένων, η αυθεντικοποίηση είναι επιτυχής και το middleware επιτρέπει στο χρήστη να έχει πρόσβαση στην πλατφόρμα. Εάν αποτύχει η αυθεντικοποίηση, το σύστημα στέλνει μήνυμα τερματισμού σύνδεσης στο τερματικό.

3.5.3.3. Πιστοποίηση πρόσβασης χρήστη

Ένας χρήστης αφού έχει αυθεντικοποιηθεί επιτυχώς μπορεί να παρακολουθήσει περιεχόμενο. Η πιστοποίηση πρόσβασης χρήστη αναφέρεται στη διαδικασία καθορισμού του εάν ένας χρήστης είναι εξουσιοδοτημένος να παρακολουθήσει το περιεχόμενο της επιλογής του.

Το σύστημα συγχρονίζει τις πληροφορίες σχέσης συνδρομής από το σύστημα πρόσβασης υπό όρους (CAS) στο middleware. Όταν ο χρήστης επιχειρεί να αναπαραγάγει κάποιο περιεχόμενο, το middleware ελέγχει εάν ο χρήστης έχει εγγραφεί στην υπηρεσία με βάση τις πληροφορίες σχέσης συνδρομής. Εάν η πιστοποίηση είναι επιτυχής, οι ροές πολυμέσων (streams) και το κλειδί πιστοποίησης αποστέλλονται στον χρήστη. Εάν αποτύχει η πιστοποίηση, εμφανίζεται στην οθόνη του χρήστη ένα μήνυμα, που ενημερώνει ότι ο χρήστης δεν είναι πιστοποιημένος να παρακολουθήσει το συγκεκριμένο περιεχόμενο.

3.5.3.4. Αναζήτηση περιεχομένου

Οι χρήστες μπορούν μέσω της σελίδας αναζήτησης της υπηρεσίας να αναζητήσουν περιεχόμενο με βάση συγκεκριμένα κριτήρια.

Ο διακομιστής αναζήτησης καταλογογραφεί μόνο το περιεχόμενο, εκτελεί την αναζήτηση και προωθεί τα αποτελέσματα αναζήτησης στο διακομιστή περιεχομένου για προβολή.

Ο διακομιστής αναζήτησης εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Αναζήτηση περιεχομένου βάσει τύπου, όπως live κανάλια, VoD, Catch-up TV ή πρόγραμμα.
- Αναζήτηση περιεχομένου με λέξεις-κλειδιά, όπως όνομα περιεχομένου, ηθοποιό ή σκηνοθέτη.
- Ταξινόμηση των αποτελεσμάτων αναζήτησης κατά όνομα, ώρα ή τύπο.

3.6. Παρακολούθηση και Διαχείριση (Monitoring & Management)

Η πολυπλοκότητα της πλατφόρμας OTT TV απαιτεί την χρήση ενός συστήματος καταγραφής των ενεργειών που πραγματοποιούνται από τα στοιχεία της πλατφόρμας καθώς και το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει. Υπάρχουν μηχανισμοί μέσω των οποίων είναι διαθέσιμες οι πληροφορίες που αφορούν την απόδοση της πλατφόρμας και την ποιότητα της υπηρεσίας. Παράλληλα για την ομαλή διεξαγωγή της υπηρεσίας υπάρχει οργανωμένο σύστημα αναφορών καθώς και διαχείριση συναγερμών συστήματος έτσι ώστε σε περίπτωση που προκύψει κάποιο σφάλμα στην πλατφόρμα να μπορεί εύκολα να διαγνωσθεί και να αντιμετωπισθεί.

Το σύστημα παρακολούθησης της υπηρεσίας περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία του δικτύου και της πλατφόρμας. Ο αποτελεσματικός έλεγχος γίνεται εφικτός ελέγχοντας σχεδόν κάθε στοιχείο του δικτύου και της πλατφόρμας. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται χωρίς διακοπή όλο το 24ωρο έτσι ώστε να υπάρχει συνολική εικόνα για την υπηρεσία και τα πιθανά προβλήματα. Όταν προκύψει κάποιο πρόβλημα ενημερώνεται το κεντρικό σύστημα και δημιουργείται ένας συναγερμός ο οποίος παραμένει μέχρι να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα.

3.6.1. Simple Network Management Protocol (SNMP)

Το SNMP (Simple Network Management Protocol) είναι ένα πρωτόκολλο το διευκολύνει την ανταλλαγή πληροφοριών διαχείρισης μεταξύ των συσκευών του δικτύου και επιτρέπει στους διαχειριστές να παρακολουθούν την απόδοσή του και να επιλύουν τα προβλήματα που εμφανίζονται.

Ένα δίκτυο το οποίο διαχειρίζεται με SNMP έχει τρία βασικά στοιχεία:

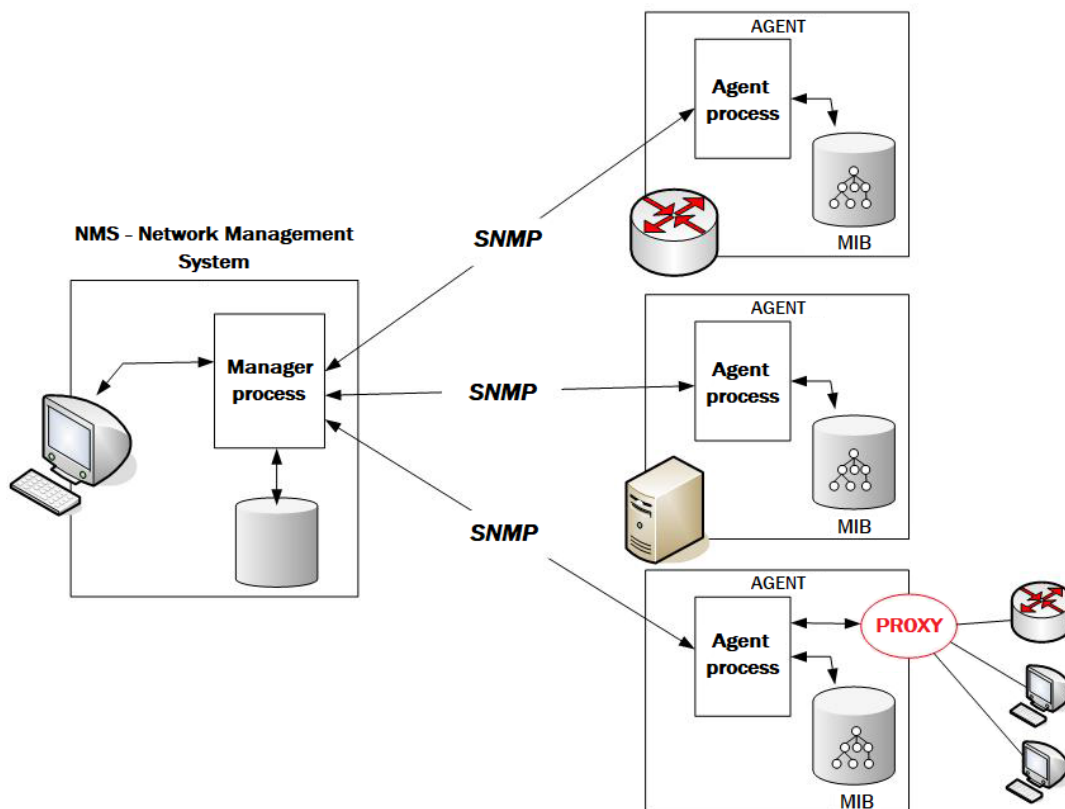
- Σύστημα Διαχείρισης Δικτύου (Network Management System - NMS)
- Διαχειριζόμενες συσκευές
- Πράκτορες (agents)
- Βάση δεδομένων διαχείρισης πληροφοριών (Management Information Base - MIB)

Μια διαχειριζόμενη συσκευή είναι μια συσκευή που ανήκει στο διαχειριζόμενο δίκτυο και περιέχει έναν πράκτορα SNMP. Οι διαχειριζόμενες συσκευές συλλέγουν και αποθηκεύουν πληροφορίες και τις διαθέτουν στο NMS μέσω του SNMP. Τέτοιες συσκευές είναι οι δρομολογητές (routers), οι μεταγωγείς (switches) και οι διακομιστές (servers).

Ένας πράκτορας έχει γνώση των τοπικών πληροφοριών διαχείρισης και τις μετατρέπει σε μορφή που είναι συμβατή με το SNMP. Στη συνέχεια το NMS εκτελεί εργαλεία τα οποία παρακολουθούν και ελέγχουν τις διαχειριζόμενες συσκευές.

Η MIB είναι ένα σύνολο ορισμών κάποιων προτυποποιημένων μεταβλητών για τον έλεγχο και την παρακολούθηση των συσκευών του δικτύου με SNMP. Η δομή της μοιάζει με δέντρο. Τα φύλλα του δέντρου αντιπροσωπεύουν τους ορισμούς των μεταβλητών και ονομάζονται αντικείμενα. Υπάρχουν πολλές ομάδες MIB μεταβλητών. Έτσι υπάρχουν μεταβλητές οι οποίες αντιστοιχούν σε πρωτόκολλα όπως το UDP, TCP, IP και ARP, όπως και μεταβλητές οι οποίες αναφέρονται στο μηχανικό μέρος του δικτύου.

Η αρχιτεκτονική του SNMP φαίνεται στο Σχήμα 3-9.



Σχήμα 3-9: Αρχιτεκτονική SNMP

3.6.2. Συστατικά στοιχεία υποσυστήματος Παρακολούθησης και Διαχείρισης

Το υποσύστημα Παρακολούθησης και Διαχείρισης (Monitoring & Management) αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Σύστημα Διαχείρισης Δικτύου (NMS)
- Εργαλεία παρακολούθησης (monitoring tools)

3.6.3. Σύστημα Διαχείρισης Δικτύου (NMS)

Το Σύστημα Διαχείρισης Δικτύου (Network Management System - NMS) παρακολουθεί κάθε στοιχείο της πλατφόρμας και συλλέγει πληροφορίες συναγερμού. Ως κέντρο παρακολούθησης και διαχείρισης δικτύου, το NMS υποστηρίζει τη συγκεντρωτική διαχείριση δικτύου και την αυτόματη ρύθμιση παραμέτρων εργασιών.

Συνοπτικά το NMS:

- Παρακολουθεί και διαχειρίζεται τα στοιχεία δικτύου, τους διακομιστές και τις συσκευές δικτύου σε μια τοπολογία. Οι συναγερμοί που παράγονται εμφανίζονται και παρακολουθούνται στο εργαλείο monitoring.
- Διαχειρίζεται και διατηρεί δεδομένα συσκευών και υπηρεσιών.
- Παρέχει λειτουργίες αρχείων ρυθμίσεων παραμέτρων και δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας (backup) και επαναφορά (restore).
- Παρέχει τη λειτουργία παρακολούθησης αρχείων καταγραφής (logs) για τη διευκόλυνση εντοπισμού σφαλμάτων.

Το NMS συλλέγει και διαχειρίζεται δεδομένα χρησιμοποιώντας SNMP agents σε συσκευές.

Συνοπτικά το NMS μέσω των SNMP agents:

- Συλλέγει δεδομένα απόδοσης των στοιχείων δικτύου και logs.
- Συλλέγει δεδομένα υπηρεσιών, συσκευών δικτύου και συναγερμών.

3.6.3.1. Λειτουργίες NMS

Το NMS παρέχει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- **Διαχείριση τοπολογίας:** Το NMS εμφανίζει τα διαχειριζόμενα στοιχεία δικτύου σε λειτουργία τοπολογίας. Οι πληροφορίες που εμφανίζονται περιλαμβάνουν την κατάσταση τοπολογίας των στοιχείων δικτύου, τη σοβαρότητα του συναγερμού και τους βασικούς δείκτες.
- **Διαχείριση παραμέτρων ρυθμίσεων:** Το NMS επιτρέπει στους παρόχους να ρυθμίσουν δεδομένα στοιχείου δικτύου και δεδομένα υπηρεσιών.
- **Διαχείριση απόδοσης:** Το NMS περιοδικά συλλέγει τα δεδομένα απόδοσης των στοιχείων του δικτύου και εμφανίζει τους δείκτες απόδοσης των στοιχείων στο παράθυρο παρακολούθησης και τους συναγερμούς στο παράθυρο συναγερμού,

επιτρέποντας έτσι να καθορίζεται η συνολική κατάσταση λειτουργίας του συστήματος.

- **Διαχείριση συναγερμών:** Το NMS παρέχει λειτουργίες όπως παρακολούθηση συναγερμών σε πραγματικό χρόνο, συλλογή στατιστικών στοιχείων συναγερμού, επαναπροσδιορισμός σοβαρότητας συναγερμού, φιλτράρισμα συναγερμών και συγχρονισμός πληροφοριών συναγερμού.
- **Δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας και επαναφορά (backup and restore):** Μπορούν να ρυθμιστούν αντίγραφα ασφαλείας και σημεία επαναφοράς ώστε να υπάρχει η δυνατότητα επαναφοράς του συστήματος όπως απαιτείται σε περίπτωση απώλειας.
- **Παρακολούθηση αρχείων καταγραφής (logs):** Παρέχει τη λειτουργία εντοπισμού logs για τη διευκόλυνση εντοπισμού σφαλμάτων.

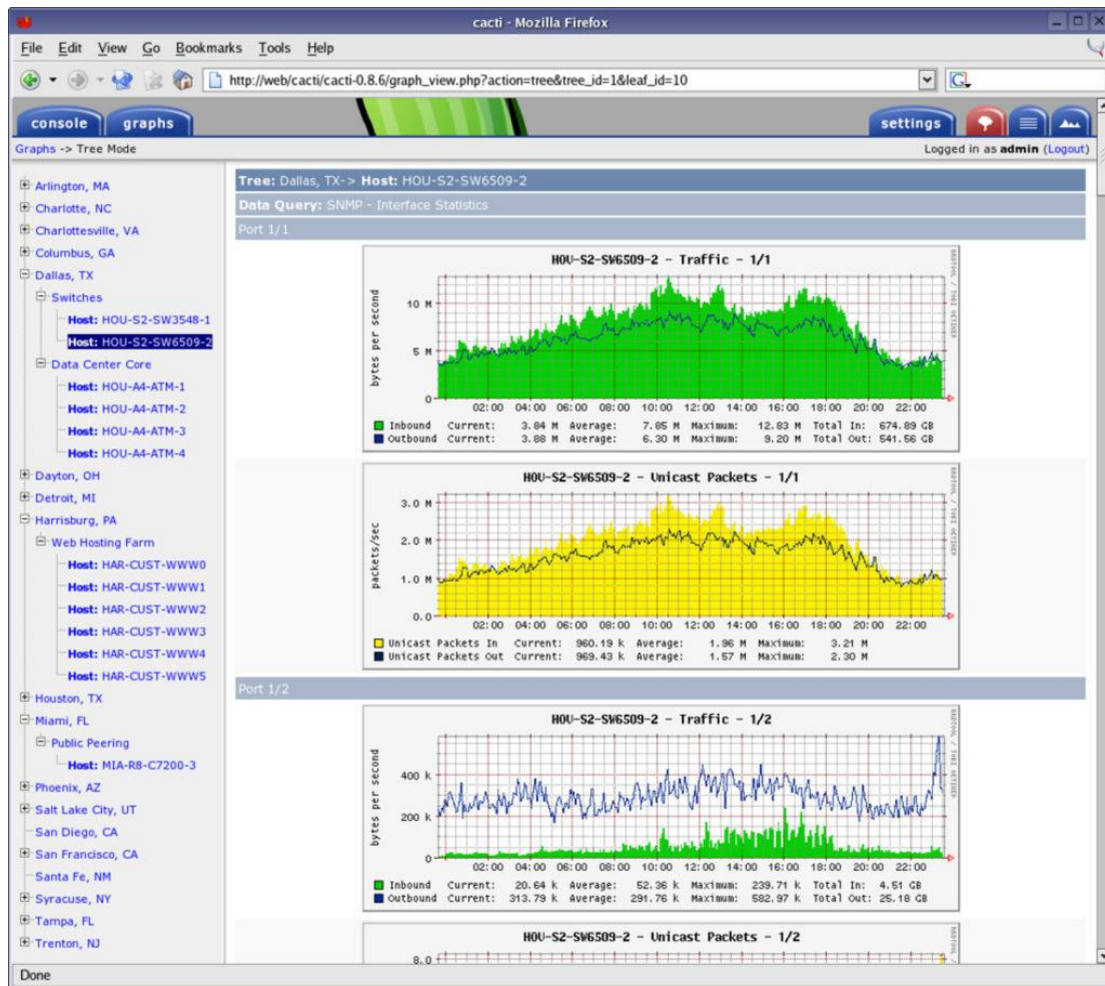
3.6.4. Εργαλεία παρακολούθησης (monitoring tools)

Τα εργαλεία παρακολούθησης (monitoring tools) παρακολουθούν τα στοιχεία δικτύου του συστήματος σε πραγματικό χρόνο και τα ελέγχουν περιοδικά. Σε περίπτωση που κάποιο στοιχείο δικτύου παρουσιάσει πρόβλημα τα εργαλεία παρακολούθησης παρέχουν προειδοποιήσεις σφάλματος. Ορισμένα τέτοια εργαλεία τα οποία είναι και ανοιχτού κώδικα (open-source) είναι το Cacti, το Zabbix και το Nagios.

3.6.4.1. Cacti

Το Cacti είναι ένα open-source εργαλείο γραμμένο στη γλώσσα PHP, λαμβάνει δεδομένα χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Simple Network Management Protocol (SNMP), χρησιμοποιεί τη MySQL για την αποθήκευση δεδομένων διαχείρισης και χρησιμοποιεί το RRDTool για να αναπαριστά σε γραφήματα τα δεδομένα παρακολούθησης.

Οι μετρητές επιδόσεων του δικτύου παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο και τα δεδομένα εμφανίζονται σε γραφήματα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-10.

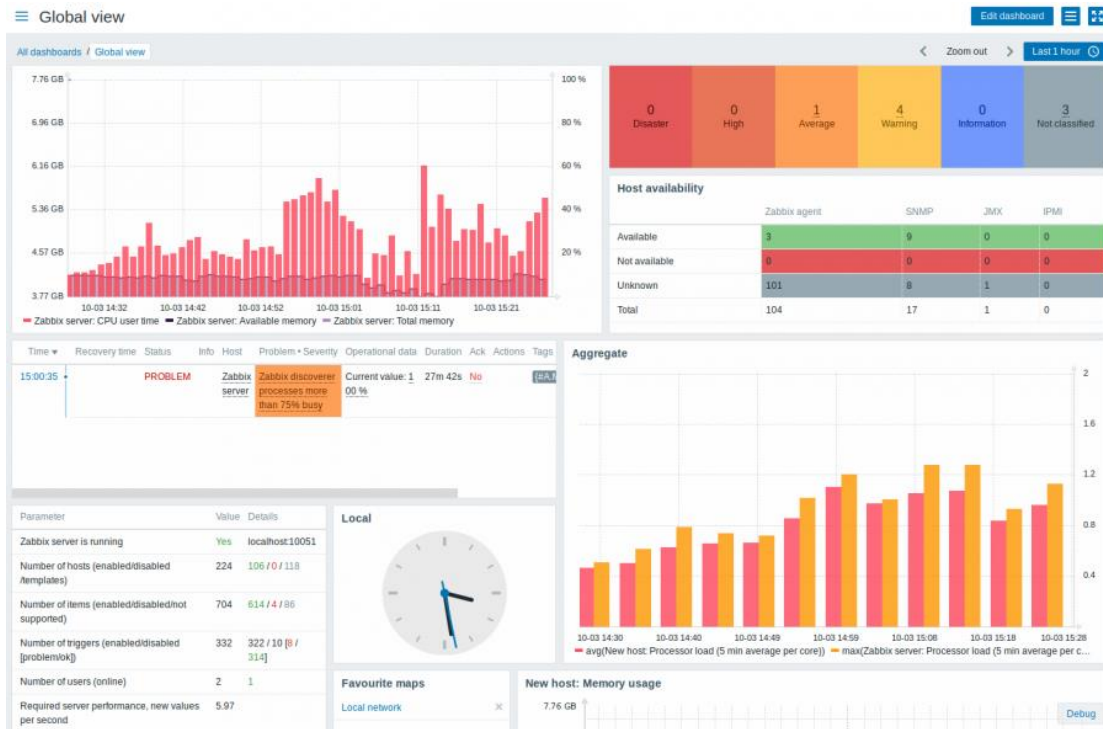


Σχήμα 3-10: Γράφημα παρακολούθησης επιδόσεων δικτύου Cacti

3.6.4.2. Zabbix

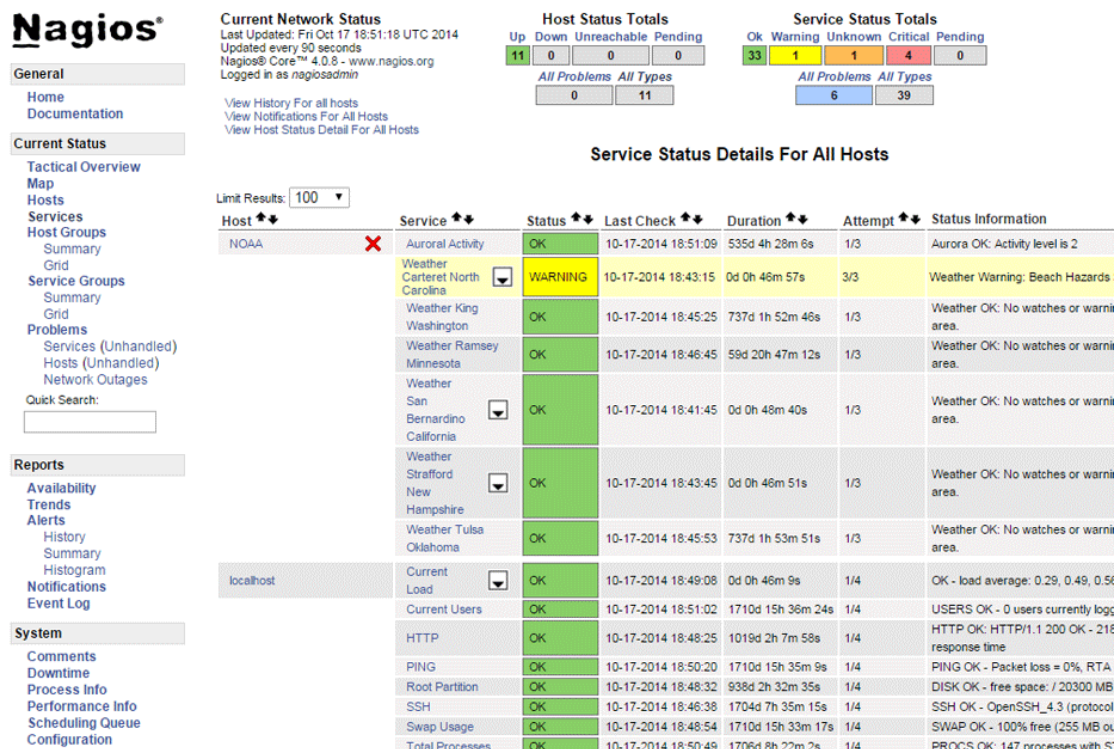
Το Zabbix είναι επίσης ένα open-source monitoring εργαλείο το οποίο είναι γραμμένο σε C (backend) και PHP (frontend). Μπορεί να χρησιμοποιήσει τις MySQL, MariaDB, PostgreSQL, SQLite για να αποθηκεύσει δεδομένα.

Οι επιδόσεις του συστήματος εμφανίζονται σε ένα πίνακα ελέγχου με widgets που περιγράφουν πληροφορίες συγκεκριμένου είδους και πηγές οι οποίες μπορεί να είναι μια περίληψη, ένας χάρτης, ένα γράφημα, το ρολόι κ.λπ., όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-11.



Σχήμα 3-11: Πίνακας ελέγχου Zabbix (Έκδοση 5.2)

3.6.4.3. Nagios



Σχήμα 3-12: Πίνακας ελέγχου Nagios

Το Nagios (Σχήμα 3-12) είναι ένα ακόμη open-source εργαλείο παρακολούθησης υποδομών. Προσφέρει υπηρεσίες παρακολούθησης και ειδοποίησης για διακομιστές, switches, εφαρμογές και υπηρεσίες. Ειδοποιεί τους χρήστες όταν

υπάρχει κάποιο πρόβλημα και ειδοποιεί για δεύτερη φορά όταν το πρόβλημα έχει επιλυθεί.

3.7. Τερματικές συσκευές (Clients)

3.7.1. Εφαρμογές

Όπως είδαμε, ολόκληρη η υποδομή της πλατφόρμας OTT TV προετοιμάζει το περιεχόμενο ώστε να παραδοθεί στον τελικό χρήστη μέσω κάποιας εφαρμογής. Η υπηρεσία θα πρέπει να είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε η αναπαράσταση του περιεχομένου να είναι ελκυστική στον τελικό χρήστη.

Στους υπολογιστές, η υπηρεσία εμφανίζεται σε έναν ιστότοπο στον οποίο ο τελικός χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση μέσω ενός προγράμματος περιήγησης Διαδικτύου (Chrome, Firefox, Edge, Safari, κλπ.) μαζί με το plug-in της πλατφόρμας.

Στις φορητές συσκευές (smartphones, tablets), η υπηρεσία απαιτεί την εγκατάσταση μιας εφαρμογής (OTT client) συμβατής με το λειτουργικό σύστημα της συσκευής (Android, iOS).

Πρώτα θα δούμε την ανατομία των εφαρμογών που εκτελούνται στις διάφορες συσκευές ώστε να μπορέσουμε να κατανοήσουμε τη λειτουργία της υπηρεσίας που χρησιμοποιεί ο τελικός χρήστης.

3.7.1.1. Ανατομία εφαρμογών

Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι αυτές οι εφαρμογές αποτελούνται από οθόνες και γραφικά στοιχεία, τα οποία μπορούμε να συνοψίσουμε ως εξής:

Αρχική οθόνη

Αυτή η οθόνη (Σχήμα 3-13) χαρακτηρίζεται από ένα στατικό λογότυπο της υπηρεσίας ή από μια μεγάλη εικόνα με ένα κουμπί που θα παροτρύνει να προβούμε στην εισαγωγή του ονόματος χρήστη και του κωδικού πρόσβασης.



Σχήμα 3-13: Αρχική οθόνη εφαρμογής

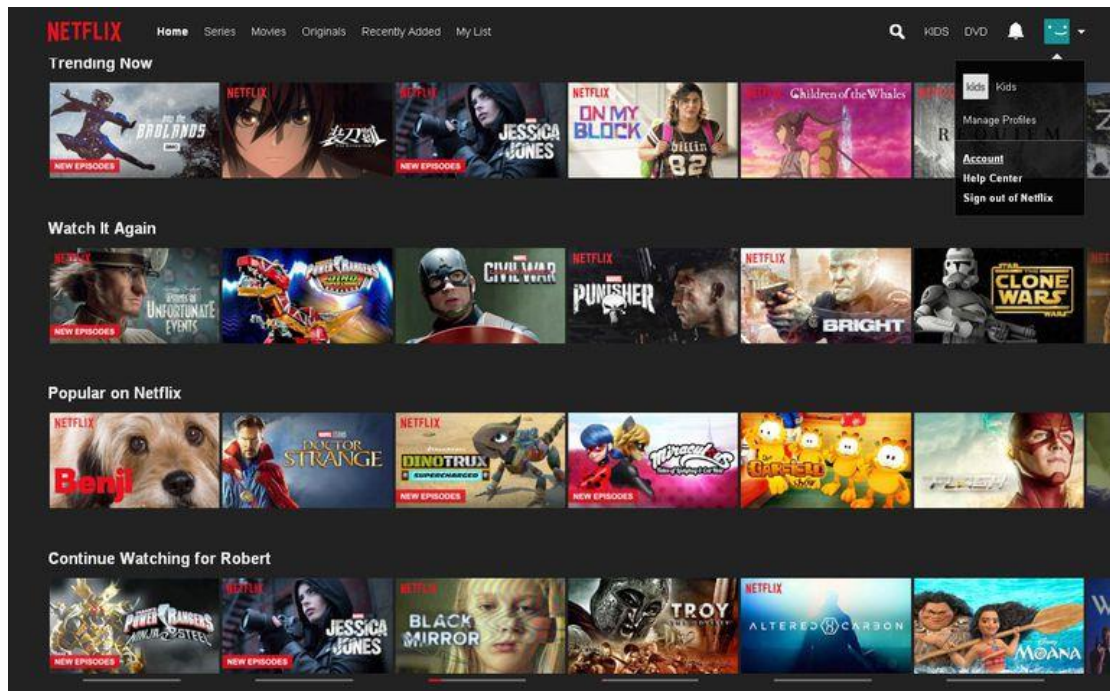
Οθόνη login/επιλογής προφίλ

Όταν απαιτείται όνομα χρήστη και κωδικός πρόσβασης, αυτή η οθόνη (Σχήμα 3-14) μας επιτρέπει να τα εισάγουμε. Αφού γίνει επιτυχής σύνδεση είναι πιθανό να υπάρχει και οθόνη επιλογής προφίλ για τους χρήστες που χρησιμοποιούν ένα λογαριασμό.

Σχήμα 3-14: Οθόνη login

Κύρια οθόνη

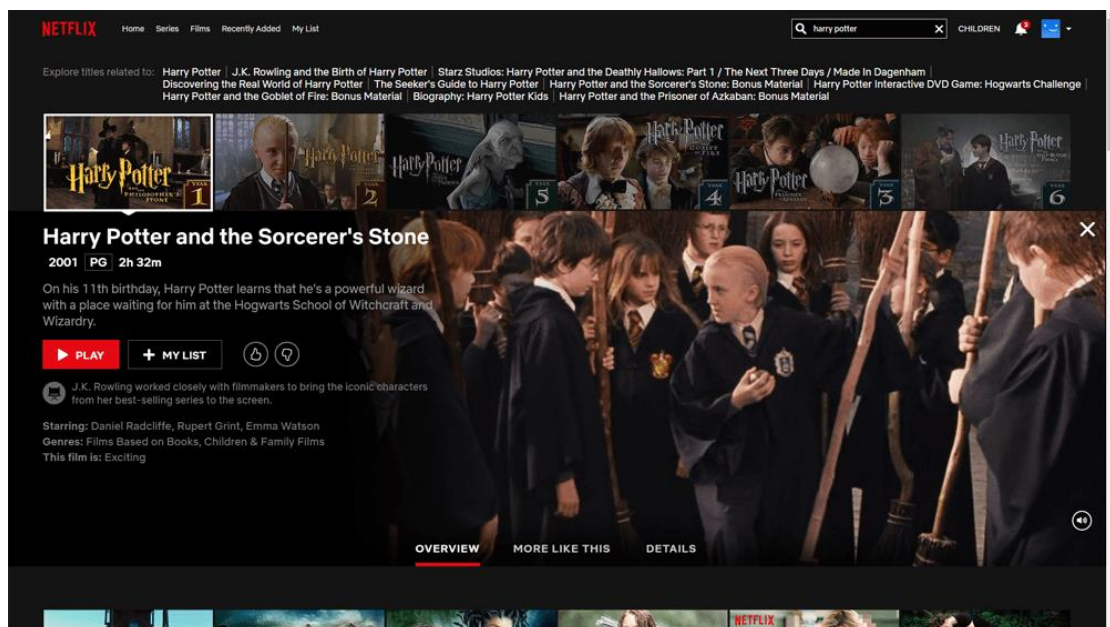
Η κύρια οθόνη (Σχήμα 3-15) συνήθως αποτελείται από ένα μενού που παρέχει πρόσβαση στα διάφορα τμήματα της υπηρεσίας όπως live και VoD περιεχόμενο.



Σχήμα 3-15: Κύρια οθόνη

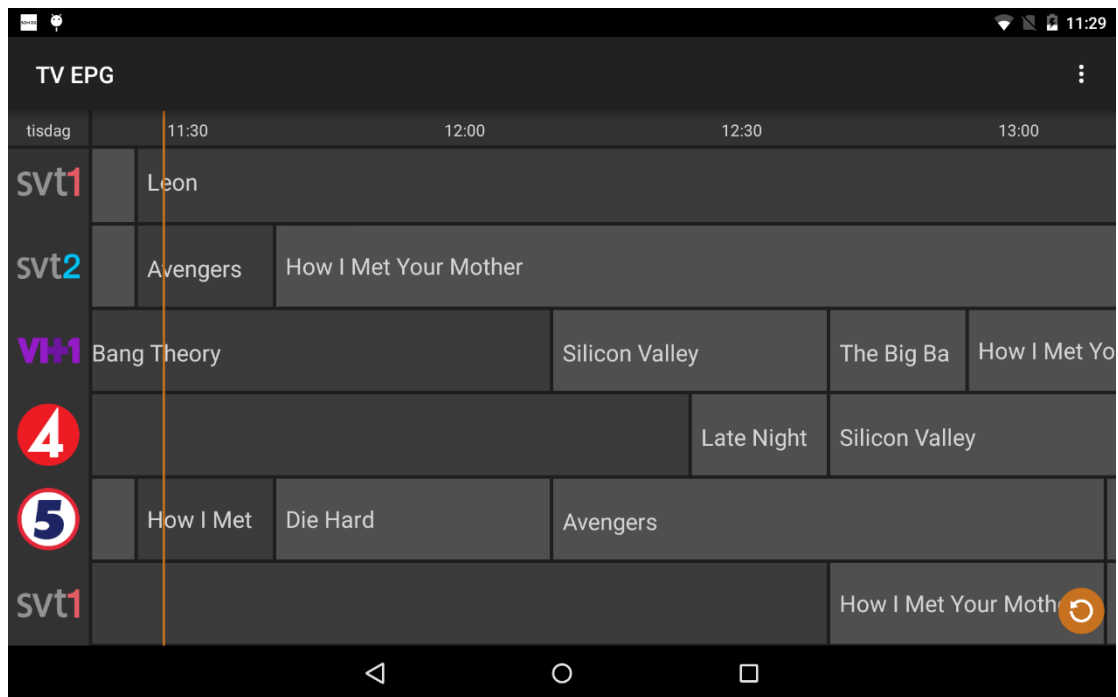
Οθόνη λεπτομεριών περιεχομένου

Μόλις επιλέξουμε το περιεχόμενο, η οθόνη λεπτομεριών (Σχήμα 3-16) μας παρέχει επιπλέον πληροφορίες σχετικά με αυτό, όπως σύνοψη, πληροφορίες για σκηνοθέτες και ηθοποιούς, διάρκεια ταινίας και επιλογές για αναπαραγωγή περιεχομένου.



Σχήμα 3-16: Οθόνη λεπτομεριών προγράμματος

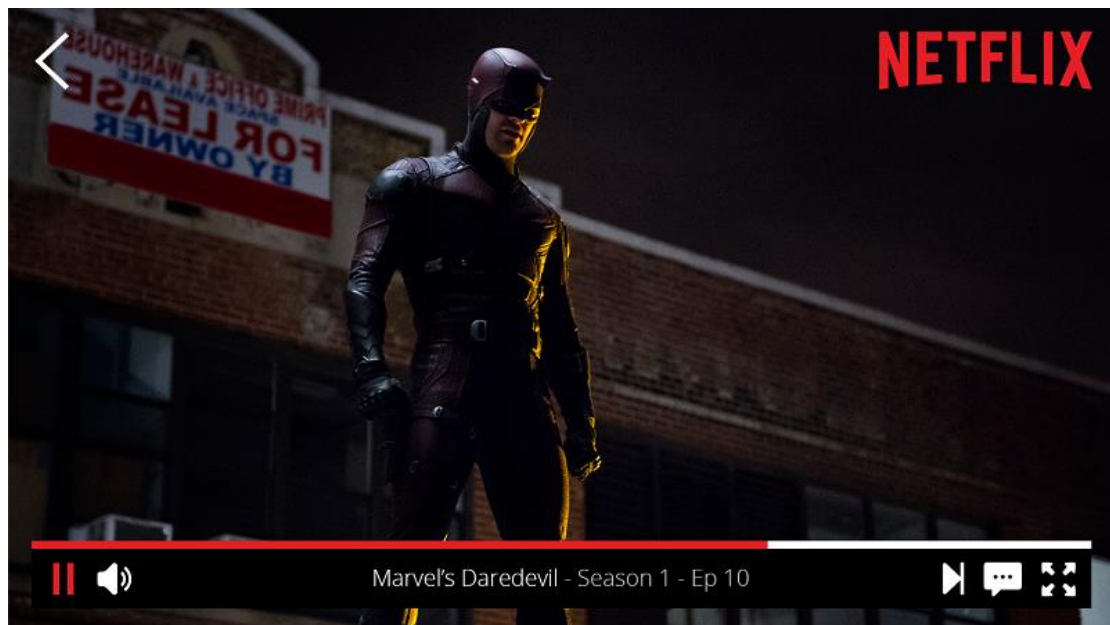
Οθόνη EPG



Σχήμα 3-17: Οθόνη EPG

Η οθόνη EPG (Σχήμα 3-17) δείχνει το πρόγραμμα των καναλιών και την ώρα εκπομπής του κάθε προγράμματος.

Οθόνη αναπαραγωγής βίντεο

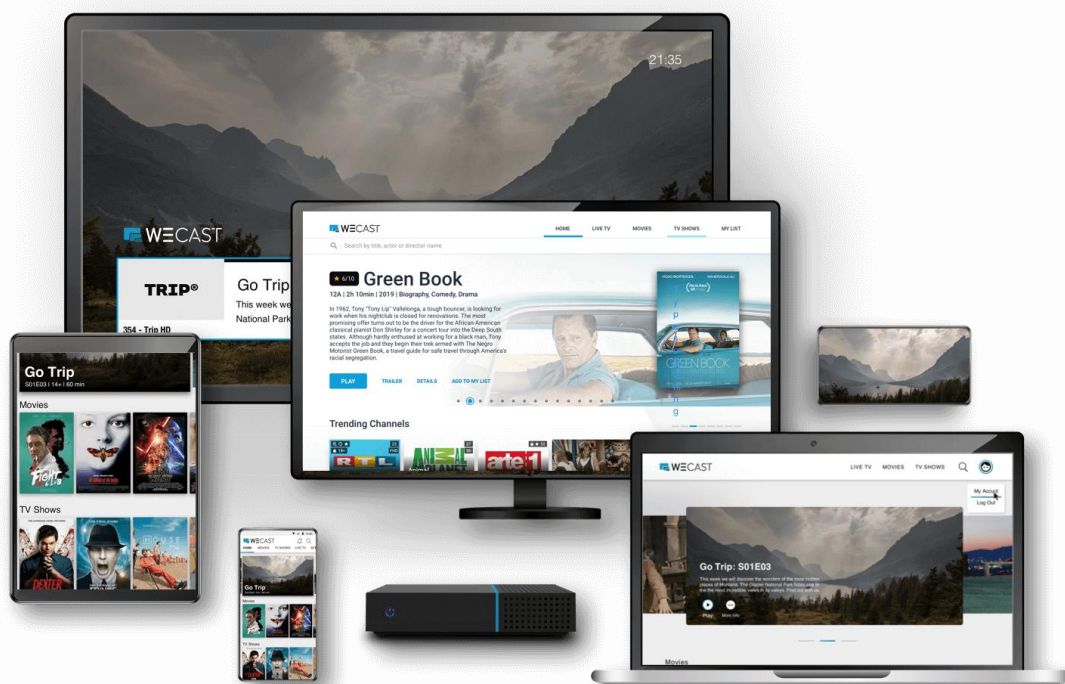


Σχήμα 3-18: Οθόνη αναπαραγωγής βίντεο

Η οθόνη αναπαραγωγής (Σχήμα 3-18) συνήθως αποτελείται από κουμπιά που μας επιτρέπουν να χειριστούμε τις λειτουργίες αναπαραγωγής περιεχομένου (παύση,

συνέχιση αναπαραγωγής, μετάβαση σε συγκεκριμένο χρονικό σημείο), αριθμητικές και οπτικές ενδείξεις της θέσης όπου βρισκόμαστε και της συνολικής διάρκειας του περιεχομένου, καθώς και επιπλέον κουμπιά για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση υποτίτλων, λειτουργίας πλήρους οθόνης κ.λπ.

3.7.2. Συσκευές τελικού χρήστη



Σχήμα 3-19: Πληθώρα συσκευών τελικού χρήστη

3.7.2.1. Προσωπικός Υπολογιστής (PC)

Το υπάρχον μερίδιο χρήσης προσωπικών υπολογιστών εξακολουθεί να είναι μεγάλο σε σύγκριση με άλλες συσκευές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση περιεχομένου βίντεο.

Τα τελευταία χρόνια σταδιακά μειώνεται η παρουσία του στο σπίτι. Παρ' όλα αυτά το ποσοστό χρήσης παραμένει πολύ μεγάλο και πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη δημιουργία των εφαρμογών.

Σε αυτό το πλαίσιο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σχεδόν όλες οι υλοποιήσεις VoD για υπολογιστές είναι δικτυακές εφαρμογές (web applications) ή τουλάχιστον βασίζονται σε αυτή την τεχνολογία.

Ο κατακερματισμός υπολογιστών προέρχεται από την ποικιλία μεταξύ συσκευών και εκδόσεων λειτουργικών συστημάτων, προγραμμάτων περιήγησης, που μπορεί να είναι η αιτία περιεχόμενο σε μη ενημερωμένες εκδόσεις να μην είναι δυνατό να προβληθούν, επειδή δεν μπορεί να υποστηρίξει την τρέχουσα κωδικοποίηση βίντεο.

3.7.2.2. Κινητό και tablet

Τα κινητά τηλέφωνα και τα tablets κατέχουν ένα μεγάλο μερίδιο στις συσκευές που μπορούν να καταναλώνουν απευθείας περιεχόμενο στο Διαδίκτυο.

Η εξέλιξη αυτών των συσκευών και ο προσανατολισμός στην ασύρματη συνδεσιμότητα τις έχει οδηγήσει σε ευρεία υιοθέτηση των εφαρμογών VoD.

Το κυρίαρχο λειτουργικό σύστημα σε αυτές τις συσκευές είναι το Android, με μεγάλη ποικιλία κινητών συσκευών και tablet και το iOS με τις εκδόσεις iPhone και iPad. Ο υφιστάμενος κατακερματισμός οφείλεται στην ευρεία ποικιλία υλικού στην αγορά, καθώς και στις διαφορετικές εκδόσεις των λειτουργικών συστημάτων.

3.7.2.3. Συνδεδεμένες συσκευές (Connected Devices)

Ως συνδεδεμένη συσκευή μπορούμε να χαρακτηρίσουμε οποιαδήποτε συσκευή έχει ως κύρια λειτουργία την παρακολούθηση περιεχομένου από το Διαδίκτυο, κάνοντας διάκριση μεταξύ των ακόλουθων υποκατηγοριών: STBs, Smart TV και συσκευές για streaming.

OTT Set Top Box

Τα Set Top Boxes (STBs) είναι συσκευές που συνδέονται σε τηλεοράσεις. Το όνομά τους το έχουν πάρει ιστορικά λόγω του ότι τοποθετούνταν στο πάνω μέρος των τηλεοράσεων όταν αυτές ήταν επίπεδες. Οι πρώτες συσκευές που σχετίζονταν με παρακολούθηση βίντεο ήταν οι συσκευές αναπαραγωγής βιντεοκασετών και, στη συνέχεια, αποκωδικοποιητές ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος μέσω επίγειας κεραίας, δορυφορικού πιάτου ή καλωδιακής.

Με την πάροδο του χρόνου, όλες αυτές οι συσκευές έχουν δώσει τη θέση τους σε νέους αποκωδικοποιητές που παρέχονται από τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους, καθώς και από παρόχους περιεχομένου, έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν να έχουν πρόσβαση στο περιεχόμενο, πρώτα μέσω ιδιωτικών δικτύων στο πλαίσιο της IPTV και στη συνέχεια μέσω του Διαδικτύου στο πλαίσιο υπηρεσιών OTT.

Υπάρχουν διάφορες εκδοχές STBs που προορίζονται για OTT TV (OTT STBs), όπως το Android TV Box, που βασίζεται στο λειτουργικό σύστημα Android, η Apple TV που βασίζεται στο λειτουργικό σύστημα tvOS και η Amazon Fire TV που βασίζεται στο Fire OS, ένα λειτουργικό σύστημα βασισμένο στο Android.

Smart TV

Οι Smart TVs είναι η εξέλιξη των παραδοσιακών τηλεοράσεων, των οποίων οι κατασκευαστές έχουν προσθέσει ως παράγοντα διαφοροποίησης τη δυνατότητα απευθείας εκτέλεσης εφαρμογών στην τηλεόραση. Αυτό τις κάνει πιο ελκυστικές στον τελικό χρήστη, καθώς δεν χρειάζεται να αγοράσουν άλλη συσκευή (STB) για να παρακολουθήσουν online περιεχόμενο.

Υπάρχουν πολλές πλατφόρμες, όπως το Tizen OS της Samsung και το WebOS της LG, που προσφέρουν τις ίδιες δυνατότητες, αλλά χωρίς κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο, καθιστώντας έτσι δύσκολη τη δημιουργία εφαρμογών για Smart TVs που υποστηρίζουν πολλαπλές συσκευές.

Συσκευές για streaming

Αυτή η κατηγορία αποτελείται από μια νέα οικογένεια συσκευών. Έχουν κάποια ομοιότητα με τα OTT STBs, καθώς χρησιμοποιούνται για την προβολή περιεχομένου OTT, αλλά αντίθετα με τα OTT STB, είναι συχνά πολύ μικρά, συνδέονται απευθείας σε μια θύρα HDMI στην τηλεόραση και ο χρήστης δεν αλληλεπιδρά μαζί τους, καθώς λαμβάνουν μόνο τις ροές για αναπαραγωγή.

Με αυτόν τον τρόπο οι συσκευές συμπεριφέρονται ως βοηθητικοί clients εφαρμογών για κινητά, tablets ή υπολογιστές μέσω των οποίων ο χρήστης επιλέγει και αποστέλλει το περιεχόμενο.

Υπάρχουν αρκετές πλατφόρμες που περιλαμβάνουν αυτή τη λειτουργικότητα, όπως το Google Chromecast, το Amazon Fire Stick και το Roku Stick.

4. Μετάδοση περιεχομένου συνεχούς ροής

Η συνεχής ροή (streaming) είναι η διαδικασία μεταφοράς δεδομένων μέσω ενός δικτύου με συνεχή τρόπο. Η συνεχής ροή διαφέρει από την παλαιότερη μορφή μεταφοράς αρχείου, τη λήψη αρχείου (download). Η διαφορά είναι ότι, στη συνεχή ροή, το περιεχόμενο μπορεί να αρχίσει να αναπαράγεται πριν μεταδοθεί ολόκληρο το αρχείο, σε αντίθεση με τη λήψη αρχείου, όπου ολόκληρο το περιεχόμενο πρέπει να μεταφερθεί πριν από την αναπαραγωγή του.

Συνήθως, οι υπηρεσίες συνεχούς ροής περιεχομένου βίντεο χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους πρωτοκόλλων πολυμεσικής ροής. Αν και διαφέρουν σε λεπτομέρειες εφαρμογής, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες: πρωτόκολλα βασισμένα σε Push και σε Pull.

Στα πρωτόκολλα ροής με βάση το Push, μετά την δημιουργία της σύνδεσης πελάτη-διακομιστή (client-server), ο διακομιστής μεταφέρει πακέτα στον πελάτη μέχρι ο πελάτης να σταματήσει ή να διακόψει τη συνεδρία. Το πιο συνηθισμένο πρωτόκολλο ελέγχου συνόδου (session control protocol) που χρησιμοποιείται για την διανομή περιεχομένου με βάση το Push είναι το Πρωτόκολλο Ροής Πραγματικού Χρόνου (Real-Time Streaming Protocol - RTSP).

Από την άλλη, στα πρωτόκολλα ροής με βάση το Pull, ο πελάτης είναι η ενεργή οντότητα που ζητά περιεχόμενο από το διακομιστή πολυμέσων. Κατά συνέπεια, ο διακομιστής παραμένει αδρανής ή μπλοκαρισμένος, περιμένοντας τα αιτήματα πελατών. Ένα κοινό πρωτόκολλο για την διανομή περιεχομένου με βάση το Pull είναι το Πρωτόκολλο Μεταφοράς Υπερκειμένου (HyperText Transfer Protocol - HTTP).

Στις παρακάτω υποενότητες θα παρουσιαστούν τα πιο σημαντικά πρωτόκολλα συνεχούς ροής, ξεκινώντας με το παραδοσιακό streaming (Push-based) το οποίο ήταν το πρώτο πρωτόκολλο που εφαρμόστηκε, συνεχίζοντας με το Progressive download που είναι ένας από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους τρόπους Pull-based διανομής περιεχομένου και τελειώνοντας με μια ανάλυση προσαρμοστικών πρωτοκόλλων ροής (επίσης Pull-based), δηλαδή η κατακερματισμένη διανομή με βάση το HTTP, δεδομένης της αυξανόμενης δημοτικότητας και των δυνατοτήτων αυτού του τρόπου διανομής.

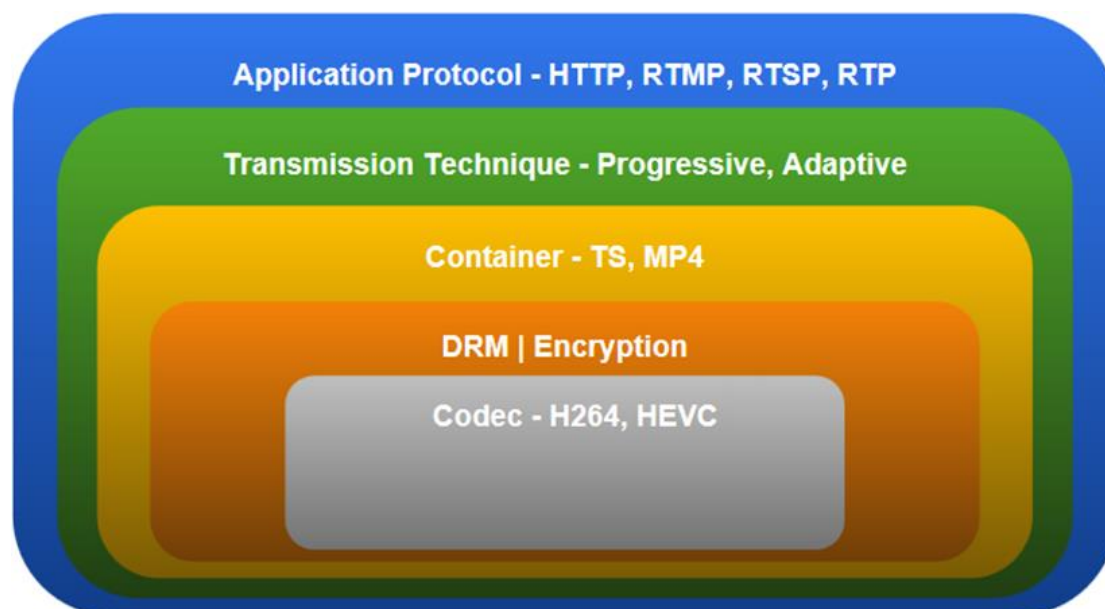
4.1. Ανατομία συνεχούς ροής

Όταν μιλάμε για streaming, αναφερόμαστε στη διαδικασία μεταφοράς βίντεο, σε οποιαδήποτε μορφή, μέσω του Διαδικτύου από ένα διακομιστή στον τελικό χρήστη.

Είναι σημαντικό να προσδιορίσουμε τα στοιχεία που περιλαμβάνει μια ροή βίντεο, καθώς κάθε στρώμα μπορεί να ποικίλει σημαντικά ανάλογα με τις ανάγκες κάθε τελικού χρήστη.

Οι διαφορετικές τελικές ροές ποικίλλουν αρκετά ώστε σε πολλές περιπτώσεις μια ροή να είναι συμβατή μόνο για ορισμένες συσκευές, έτσι ώστε να υπάρχει κατακερματισμός τους ανάλογα με τις δυνατότητες αναπαραγωγής που έχουν.

Στο Σχήμα 4-1 μπορούμε να δούμε ενθυλακωμένα τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν μια ροή βίντεο, τα οποία περιγράφονται στις παρακάτω ενότητες αυτού του κεφαλαίου.



Σχήμα 4-1: Στρώματα ροής βίντεο

4.2. Πρωτόκολλα και τεχνικές μετάδοσης συνεχούς ροής

4.2.1. Παραδοσιακός τρόπος μετάδοσης περιεχομένου συνεχούς ροής (RTSP)

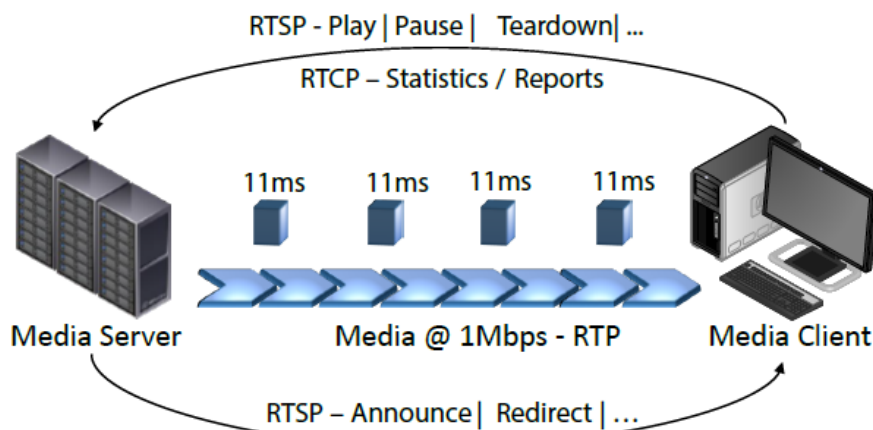
Η συνεχής ροή πολυμέσων μέσω του Διαδικτύου αυξήθηκε σε δημοτικότητα με την άνοδο του Πρωτοκόλλου Ροής Πραγματικού Χρόνου (Real-Time Streaming Protocol - RTSP), που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το Πρωτόκολλο Μεταφοράς Πραγματικού Χρόνου (Real-Time Transport Protocol - RTP) και το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μεταφοράς σε Πραγματικό Χρόνο (Real-Time Control Protocol - RTCP). Το RTSP σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει και να ελέγχει την παράδοση δεδομένων για ψυχαγωγία και συστήματα επικοινωνιών με ιδιότητες πραγματικού χρόνου και υποστηρίζει λειτουργίες όπως «αναπαραγωγή» και «παύση».

Το RTSP μπορεί να οριστεί ως ένα καταστασιακό (stateful) πρωτόκολλο, το οποίο σημαίνει ότι μετά την καθιέρωση μιας συνόδου πελάτη-διακομιστή (client-server session), ο διακομιστής παρακολουθεί την κατάσταση της συνόδου του πελάτη. Ο πελάτης μπορεί να γνωστοποιήσει την κατάσταση του στο διακομιστή χρησιμοποιώντας εντολές όπως Play (για να ξεκινήσει η ροή), Pause (για παύση της συνεχούς ροής) ή Teardown (για αποσύνδεση από το διακομιστή και κλείσιμο της συνόδου της συνεχούς ροής).

Μετά την εγκαθίδρυση μιας συνόδου μεταξύ του πελάτη και του διακομιστή, ο διακομιστής ξεκινά την αποστολή του μέσου χρησιμοποιώντας το κανάλι δεδομένων RTP είτε μέσω του User Datagram Protocol (UDP) είτε του Πρωτοκόλλου Ελέγχου Μεταφοράς (Transmission Control Protocol - TCP) ως σταθερή ροή μικρών πακέτων.

Για να διατηρηθεί μια σταθερή σύνοδος, το RTSP χρησιμοποιεί το RTCP για να συλλέγει δεδομένα QoS όπως bytes που έχουν σταλεί, jitter, απώλειες πακέτων και χρόνο μετάδοσης μετ' επιστροφής (Round Trip Time - RTT), δηλαδή η σύνδεση συνεχούς ροής είναι αμφίδρομη και απαιτεί αλληλεπίδραση πελάτη-διακομιστή, και μερικές βασικές μορφές προσαρμογής.

Το Σχήμα 4-2 απεικονίζει ένα παράδειγμα ροής RTSP χρησιμοποιώντας ένα τυπικό μέγεθος πακέτου RTP 1 Mbps, μαζί με μερικές πιθανές εντολές που στέλνονται από τον πελάτη στο διακομιστή και αντίστροφα.



Σχήμα 4-2: Παραδοσιακή ροή με τη χρήση του RTSP

Τα δεδομένα αποστέλλονται με ρυθμό και ανεξάρτητα μέσω πακέτων RTP, πράγμα που σημαίνει ότι κάθε πακέτο περιέχει πληροφορίες περίπου 11ms βίντεο. Η άμεση (just-in-time) παράδοση του RTP ελαχιστοποιεί την κατανάλωση εύρους ζώνης, αλλά μειώνει το περιθώριο για ανάκτηση σε περίπτωση απώλειας πακέτων (μια πραγματική πιθανότητα λόγω χρήσης UDP). Για να αντισταθμιστεί αυτό το γεγονός, το RTP αγνοεί τα χαμένα πακέτα και υποστηρίζει τη χαριστική υποβάθμιση (graceful degradation) της ποιότητας αναπαραγωγής, αποφεύγοντας τις διακοπές αναπαραγωγής στην περίπτωση ασήμαντων απωλειών πακέτων.

Το RTSP, λόγω της αλληλεπίδρασης πελάτη-διακομιστή, θέτει (τουλάχιστον) τρεις προκλήσεις:

- Επεκτασιμότητα: η υποστήριξη εκατομμυρίων συσκευών (για μια υπηρεσία με την κλίμακα όπως το YouTube, π.χ.) απαιτεί τη διαχείριση εκατομμυρίων συνόδων και δεν είναι εφικτή στην πράξη ακόμα και αν χρησιμοποιούνται διακομιστές μεσολάβησης RTSP (RTSP proxies).
- Θέματα διαχείρισης πολλαπλών θυρών (ports) και της φύσης του πρωτοκόλλου RTSP: προστιθέμενη πολυπλοκότητα εγκατάστασης σύνδεσης και διαχείρισης QoS.

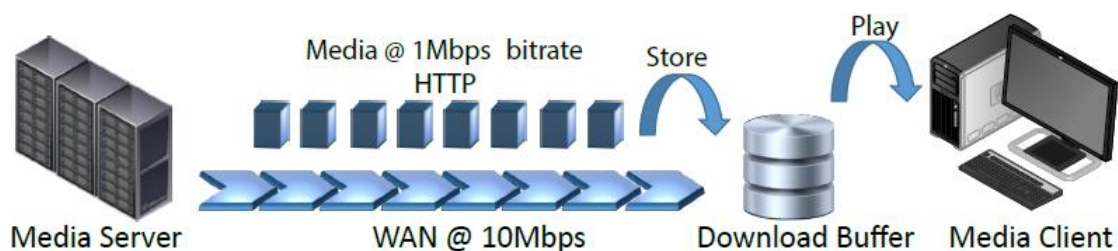
- Τείχη προστασίας (firewalls) και διακομιστές μεσολάβησης (proxy servers), ειδικά εάν το UDP χρησιμοποιείται ως πρωτόκολλο μεταφοράς: δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι θα υπάρξει «ανοικτό μονοπάτι» στον πελάτη, ιδιαίτερα όταν εμπλέκονται οι οικιακές συσκευές (home gateways).

Αυτές οι δυσκολίες, παράλληλα με την πρόοδο της διαθέσιμης χωρητικότητας δικτύου και των ευρυζωνικών συνδέσεων, περιορίζουν τη χρήση του RTSP στις σύγχρονες υπηρεσίες, παρόλο που εξακολουθούν να υφίστανται περιπτώσεις χρήσεις.

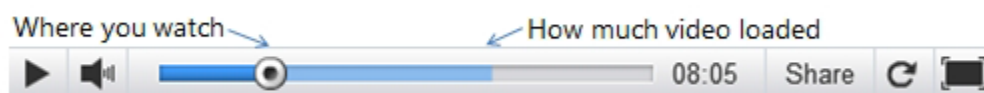
4.2.2. Προοδευτική λήψη (Progressive download)

Η προοδευτική λήψη (progressive download) είναι μια μέθοδος αναπαραγωγής βίντεο που χρησιμοποιείται σήμερα, επειδή είναι υψηλά επεκτάσιμη. Αυτή η προσέγγιση είναι μια απλή λήψη αρχείου από ένα διακομιστή Web HTTP. Ο όρος «προοδευτική» προκύπτει από το γεγονός ότι μόλις το πρόγραμμα αναπαραγωγής πολυμέσων (media player) λάβει κάποια δεδομένα, η αναπαραγωγή μπορεί να ξεκινήσει, ενώ η λήψη είναι ακόμα σε εξέλιξη. Ως εκ τούτου, η προοδευτική λήψη θεωρείται “ψευδο-streaming” λόγω αυτών των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών.

Η αρχιτεκτονική της προοδευτικής λήψης απεικονίζεται στο Σχήμα 4-3 και ένα παράδειγμα, το οποίο βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της προοδευτικής λήψης, φαίνεται στο Σχήμα 4-4. Σε αυτό το παράδειγμα, η πρώτη σκούρα μπλε γραμμή δείχνει πόσο μακριά έχει παρακολουθηθεί το βίντεο και η ανοιχτή μπλε μπάρα δείχνει πόσο βίντεο έχει φορτωθεί στο πρόγραμμα αναπαραγωγής πολυμέσων (το οποίο ονομάζεται buffer/cache). Έτσι, μόλις συμπληρωθεί το buffer με μερικά δευτερόλεπτα βίντεο, το βίντεο θα αρχίσει να αναπαράγεται σαν να είναι σε πραγματικό χρόνο.



Σχήμα 4-3: Αρχιτεκτονική προοδευτικής λήψης



Σχήμα 4-4: Παράδειγμα λειτουργίας προοδευτικής λήψης

Η αύξηση της δημοτικότητας αυτής της μεθόδου συνεχούς ροής οφείλεται κυρίως σε δύο χαρακτηριστικά: εύκολη διάσχιση του τείχους προστασίας (firewall), καθώς το HTTP κατά κανόνα επιτρέπεται σε κάθε τείχος προστασίας και παρέχει υψηλή επεκτασιμότητα. Επειδή η λήψη αρχείων μέσω HTTP είναι stateless (αν ένας πελάτης HTTP ζητήσει κάποια δεδομένα, ο διακομιστής αποκρίνεται στέλνοντας τα δεδομένα,

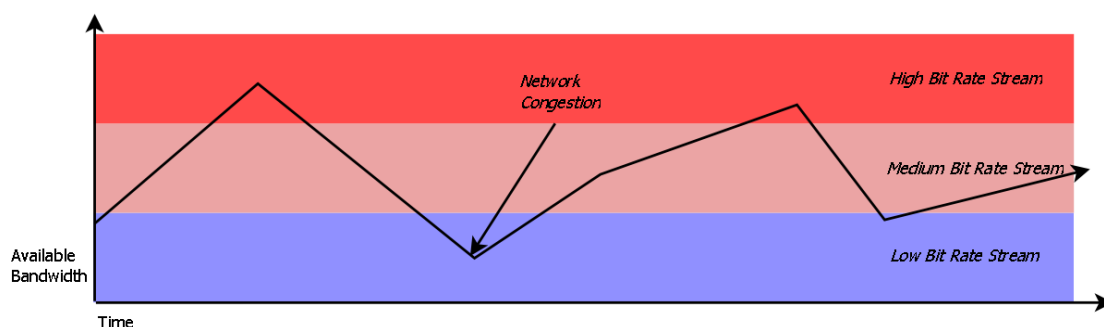
χωρίς να φροντίζει να θυμάται τον πελάτη ή την κατάστασή του), μπορεί εύκολα να χρησιμοποιήσει διακομιστές μεσολάβησης (proxy servers) και κατανεμημένες κρυφές μνήμες (distributed caches) ή CDN. Αυτό είναι απαραίτητο όταν το VoD περιεχόμενο παραδίδεται σε εκατομμύρια χρήστες, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της κίνησης είναι unicast.

Η συνέπεια που σχετίζεται με αυτήν την επεκτασιμότητα είναι η απώλεια πολλών χαρακτηριστικών του RTSP, όπως η μη υποστήριξη για ζωντανή ροή (live streaming), η μη δυνατότητα ρύθμισης ροής με βάση μετρήσεις QoS. Ωστόσο, η προοδευτική λήψη χρησιμοποιείται ευρέως και υποστηρίζεται από τους περισσότερους media players και πλατφόρμες, συμπεριλαμβανομένων των Silverlight και Windows Media Player.

4.2.3. Προσαρμοστική ροή (Adaptive Streaming)

Η προσαρμοστική ροή προκύπτει ως ένας τρόπος αξιοποίησης των κυριότερων πλεονεκτημάτων κάθε τεχνολογίας που αναλύθηκε προηγουμένως. Εάν από τη μία πλευρά το RTSP προβλέπει κάποια προσαρμογή μέσω των μετρήσεων QoS που αποστέλλονται μέσω του RTCP, από την άλλη παρουσιάζει προβλήματα επεκτασιμότητας, σε αντίθεση με την προοδευτική λήψη, η οποία έχει υψηλή επεκτασιμότητα, αλλά δεν υποστηρίζει τη ζωντανή ροή (live streaming), ούτε τη δυνατότητα ρύθμισης ροής με βάση μετρήσεις QoS.

Σε ένα σενάριο με αναξιόπιστες ή ποικίλες συνθήκες δικτύου, όπως συμβαίνει με το σημερινό Διαδίκτυο, η προσαρμοστικότητα αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό κάθε τεχνολογίας συνεχούς ροής. Η έννοια της προσαρμοστικής ροής βίντεο βασίζεται στην ιδέα της προσαρμογής του εύρους ζώνης που απαιτείται από την ροή βίντεο στη διαθεσιμότητα που υπάρχει στο δίκτυο (Σχήμα 4-5). Η προσαρμοστικότητα πραγματοποιείται μεταβάλλοντας την ποιότητα του βίντεο και συνεπώς το ρυθμό μετάδοσης bit (bitrate), ο οποίος είναι ο αριθμός των bits που απαιτούνται για την κωδικοποίηση ενός δευτερολέπτου της αναπαραγωγής.



Σχήμα 4-5: Αλλαγή προφίλ με βάση το εύρος ζώνης

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι παροχής προσαρμοστικότητας. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος είναι μέσω του πρωτοκόλλου HTTP και περιγράφεται παρακάτω.

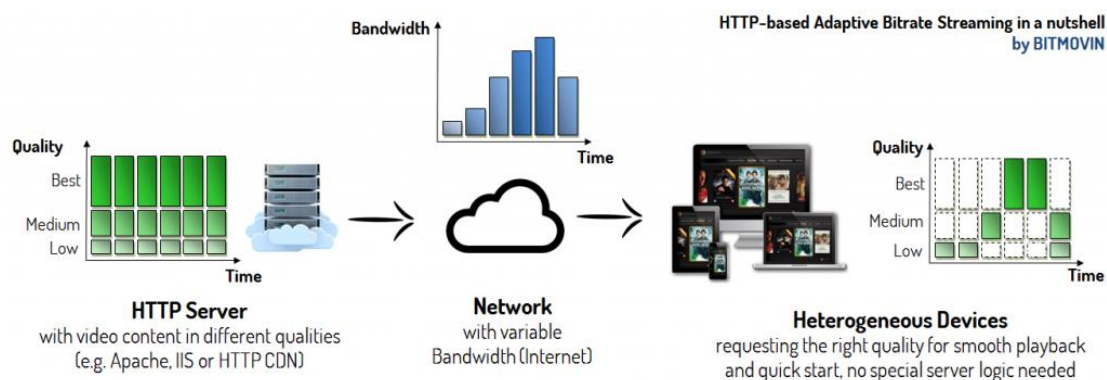
4.2.3.1. Προσαρμοστική ροή μέσω HTTP (HTTP-based Adaptive Streaming)

Η προσαρμοστική ροή μέσω HTTP είναι η φυσική εξέλιξη της προοδευτικής λήψης: παρέχει τα ίδια πλεονεκτήματα της προοδευτικής λήψης χωρίς τα μειονεκτήματα της μη υποστήριξης της προσαρμοστικότητας ή της ζωντανής ροής προσθέτοντας μερικά νέα χαρακτηριστικά της.

Η ιδέα πίσω από αυτή τη μέθοδο είναι να κωδικοποιηθεί το αρχικό βίντεο σε πολλαπλές ροές διαφορετικών ποιοτήτων-αναλύσεων (προφίλ) και στη συνέχεια καθένα διαφορετική ροή να κατακερματιστεί σε τεμάχια συνήθως μήκους 2 έως 10 δευτερολέπτων το καθένα.

Με τη χρήση αυτής της προσέγγισης, η νοημοσύνη προσαρμοστικότητας παραχωρείται στη συσκευή πελάτη (client), η οποία πρέπει να παρακολουθεί την ποιότητα σύνδεσης και να αποφασίζει ποιο τεμάχιο και ροή θα χρησιμοποιεί σε δεδομένο χρονικό σημείο. Αυτό είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα, καθώς γενικά υπάρχουν πολλά ζητήματα στα δίκτυα πρόσβασης και ο client είναι σε θέση να αξιολογήσει την ποιότητα του δικτύου.

Επιπλέον, αυτή η προσέγγιση αναστροφής ελέγχου επιτρέπει στον client να λαμβάνει αποφάσεις όχι μόνο με βάση την ποιότητα του δικτύου αλλά και με βάση τους δικούς του υπολογιστικούς πόρους, οι οποίοι μπορεί να είναι περιορισμένοι, για παράδειγμα στην περίπτωση κινητών, παλαιών ή χαμηλής ισχύος συσκευών. Αυτή η προσέγγιση απεικονίζεται στο Σχήμα 4-6.



Σχήμα 4-6: Προσαρμοστική ροή μέσω HTTP

Η δημοτικότητα αυτής της προσέγγισης διανομής αυξήθηκε καθώς πολλοί προμηθευτές εφάρμοσαν τη δική τους έκδοση των τεχνολογιών διανομής βασισμένων στην προσαρμοστική ροή μέσω HTTP με ελαφρώς διαφορετικά χαρακτηριστικά αλλά τελικά πολύ παρόμοιες μεταξύ τους:

- Η Apple το HTTP Live Streaming (HLS).
- Η ομάδα εργασίας MPEG τυποποίησε το MPEG-DASH τον Απρίλιο του 2012.

Συνοπτικά, τα κύρια χαρακτηριστικά των μεθόδων προσαρμοστικής ροής είναι:

- Δημιουργούνται κωδικοποιημένα αποσπάσματα βίντεο, συνήθως 2 έως 10 δευτερολέπτων το καθένα, που ονομάζονται τεμάχια.
- Υποστηρίζονται ταυτόχρονα πολλαπλές αναλύσεις.
- Προσαρμόζεται δυναμικά στις συνθήκες δικτύου.
- Αποφεύγεται το «buffering» στην αναπαραγωγή.
- Υποστηρίζεται η κωδικοποίηση βίντεο H.264/H.265 με κωδικοποίηση ήχου AAC.

Στις παρακάτω ενότητες περιγράφονται οι λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά των επικρατέστερων πρωτοκόλλων προσαρμοστικής ροής μέσω HTTP, που είναι το HLS και το MPEG-DASH.

Το HDS είναι όλο και λιγότερο διαδεδομένο λόγω της μείωσης της χρήσης των συσκευών Flash, ενώ το Smooth Streaming της Microsoft δεν υποστηρίζεται πλέον, οπότε για τους συγκεκριμένους λόγους επιλέχτηκαν να μην συμπεριληφθούν στην περιγραφή.

4.2.3.1.1. HTTP Live Streaming (HLS)

Η Apple εισήγαγε το HTTP Live Streaming (HLS) τον Ιούνιο του 2009 με το iOS 3.0. Το HLS είναι σήμερα το πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για OTT, καθώς είναι διαθέσιμο σε όλες τις συσκευές Apple (iPhone, iPad), στις συσκευές Android, καθώς και στους περισσότερους media players και σε ορισμένους αποκωδικοποιητές (STBs).

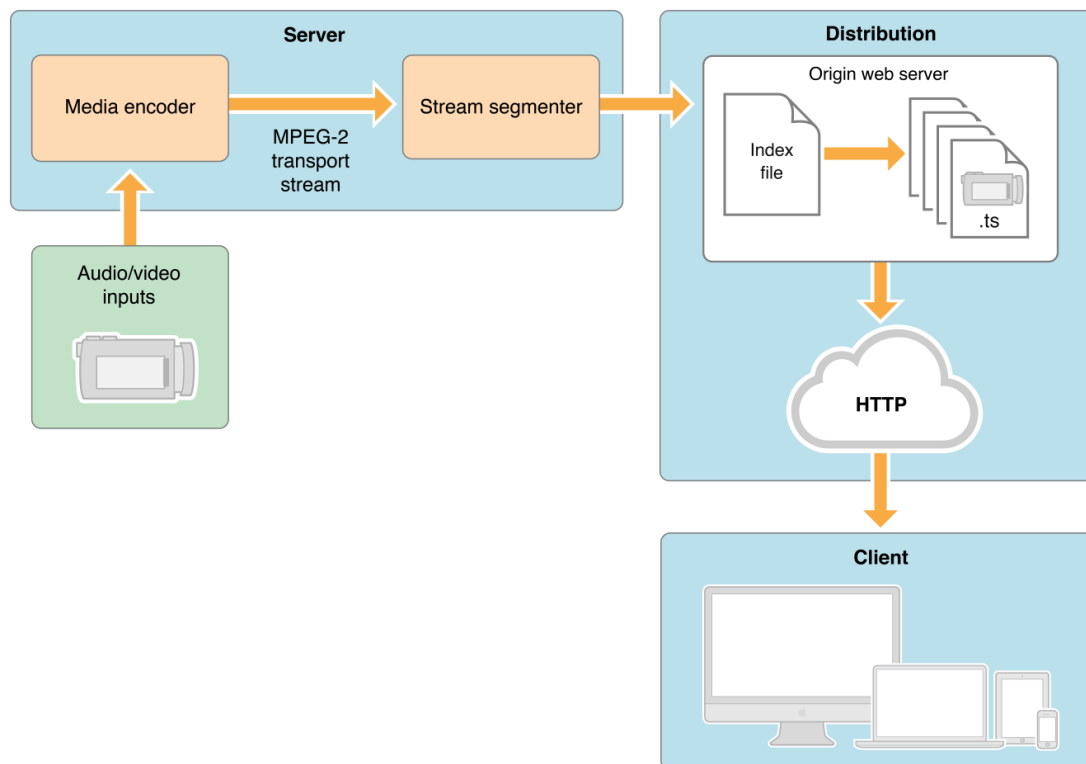
Το HLS λειτουργεί με κατακερματισμένες ροές αρχείων βίντεο που βασίζονται σε ροές μεταφοράς (Transport Streams - TS). Αυτά τα αρχεία περιέχονται σε μια ροή μεταφοράς MPEG (MPEG-TS), η οποία επίσης χρησιμοποιείται για δορυφορική μετάδοση και IPTV σε διαχειριζόμενα δίκτυα. Ο codec που χρησιμοποιείται είναι ο H.264 για βίντεο και ο AAC για ήχο, οι οποίοι χρησιμοποιούνται επίσης και σε άλλες τεχνολογίες.

Η προσέγγιση που αναπτύχθηκε από την Apple χρησιμοποιεί τροποποιημένα βιομηχανικά πρότυπα για να ταιριάζει με τις απαιτήσεις μιας λύσης OTT. Τα βήματα για τη δημιουργία μιας ροής HLS είναι τα εξής:

1. Κωδικοποίηση βίντεο σε μορφή H.264/TS (που λαμβάνεται από ζωντανή ροή ή από αρχείο), σε διαφορετικά bitrates.
2. Χρησιμοποίηση ενός τεμαχιστή ροής (stream segmenter) για τη δημιουργία μικρών «τεμαχίων» περιεχομένου, συνήθως 10 δευτερόλεπτα το καθένα.
3. Δημιουργία ενός αρχείου λίστας αναπαραγωγής (index file ή manifest file), μορφής .m3u ή .m3u8, που δείχνει από πού θα ληφθούν τα τεμάχια.
4. Διανομή του αρχείου λίστας αναπαραγωγής μέσω ενός διακομιστή HTTP και παροχή προσωρινής αποθήκευσης (caching).

Δημιουργείται αρχείο λίστας αναπαραγωγής που υποδεικνύει διαφορετικά προφίλ (ποιότητες ροής) διαθέσιμα για ένα κανάλι/περιεχόμενο, η συσκευή λήψης (PC,

smartphone, STB) αναζητά το καταλληλότερο bitrate με βάση το χρόνο που χρειάζεται για να λάβει ένα αρχείο τεμαχίου.



Σχήμα 4-7: Αρχιτεκτονική HLS

Το στοιχείο του διακομιστή είναι υπεύθυνο για το ingest ροών πολυμέσων, για να ενθυλακώσει αυτές τις ροές σε ψηφιακή μορφή κατάλληλη για διανομή και για να προετοιμάσει το ενθυλακωμένο περιεχόμενο για διανομή.

Σε μια τυπική ρύθμιση παραμέτρων, η ροή HLS μπορεί να επιτευχθεί μέσω των ακόλουθων βημάτων:

- Ένας κωδικοποιητής (media encoder) λαμβάνει είσοδο ήχου/βίντεο, την κωδικοποιεί ως βίντεο H.264 και ήχο AAC και την εξάγει σε μία ροή μεταφοράς MPEG-2 (MPEG-2 TS).
- Ο τεμαχιστής ροής (stream segmenter) σπάει τη ροή μεταφοράς σε μια σειρά μικρών αρχείων πολυμέσων. Επίσης το λογισμικό τεμαχισμού ροής δημιουργεί και διατηρεί ένα αρχείο λίστας αναπαραγωγής που περιέχει μια λίστα των αρχείων πολυμέσων.
- Αυτά τα αρχεία τοποθετούνται σε έναν web server.
- Η διεύθυνση URL του αρχείου ευρετηρίου δημοσιεύεται στον web server.
- Το λογισμικό του client διαβάζει τη λίστα αναπαραγωγής, στη συνέχεια ζητά τα αρχεία πολυμέσων παρατεταγμένα σε σειρά και τα εμφανίζει χωρίς παύσεις ή κενά μεταξύ των τεμαχίων.

Ο τεμαχιστής ροής είναι συνήθως λογισμικό που διαβάζει τη ροή μεταφοράς από το τοπικό δίκτυο και το χωρίζει σε μια σειρά μικρών αρχείων πολυμέσων με ίση

διάρκεια. Παρόλο που κάθε τεμάχιο βρίσκεται σε ξεχωριστό αρχείο, τα αρχεία βίντεο δημιουργούνται από μια συνεχή ροή η οποία μπορεί να ανακατασκευαστεί δίχως πρόβλημα.

Ο τεμαχιστής ροής δημιουργεί επίσης ένα αρχείο λίστας αναπαραγωγής που περιέχει αναφορές στα μεμονωμένα αρχεία πολυμέσων. Κάθε φορά που ο τεμαχιστής ροής ολοκληρώνει τη δημιουργία ενός νέου αρχείου πολυμέσων, ενημερώνεται το αρχείο ευρετηρίου. Η λίστα αναπαραγωγής χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της διαθεσιμότητας και της θέσης των αρχείων πολυμέσων. Ο τεμαχιστής ροής μπορεί επίσης να κρυπτογραφήσει κάθε τεμάχιο και να δημιουργήσει ένα αρχείο κλειδιού ως μέρος της διαδικασίας.

Οι λίστες αναπαραγωγής αποθηκεύονται ως αρχεία .m3u8. Τα τεμάχια πολυμέσων αποθηκεύονται ως αρχεία .ts (αρχεία ροής μεταφοράς MPEG-2).

Ένα αρχείο λίστας αναπαραγωγής (Λίστα 4-1) περιγράφει τα υπάρχοντα κομμάτια (tracks) - τεμάχια πολυμέσων (media segments) - όσον αφορά τον τύπο περιεχομένου και το bitrate και καθορίζει επίσης την κρυπτογράφιση περιεχομένου, εάν υπάρχει.

```
1 #EXTM3U
2 #EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-ID=1, BANDWIDTH=800000
3 http://example.com/low\_360p/index.m3u8
4 #EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-ID=1, BANDWIDTH=2000000
5 http://example.com/mid\_480p/index.m3u8
6 #EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-ID=1, BANDWIDTH=4000000
7 http://example.com/hd\_720p/index.m3u8
8 #EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-ID=1, BANDWIDTH= 6000000
9 http://example.com/hd\_1080p/index.m3u8
```

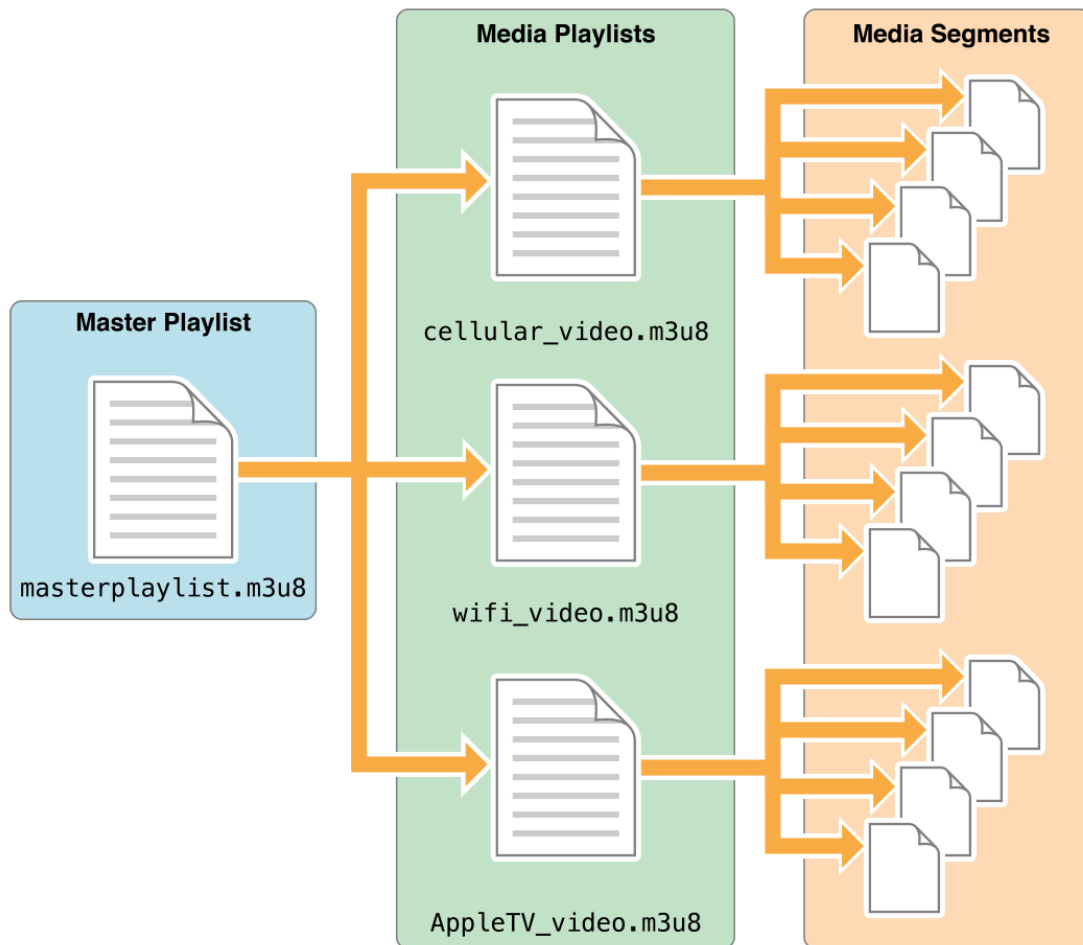
Λίστα 4-1: Δείγμα λίστας αναπαραγωγής M3U8

Κάθε αρχείο τεμαχίου πολυμέσων (Λίστα 4-2) περιέχει τις σχετικές πληροφορίες για κάθε κομμάτι πολυμέσων, όπως η διάρκεια κάθε τεμαχίου (συνήθως 10 δευτερόλεπτα) και πρόσθετες πληροφορίες σε ετικέτες.

```
1 #EXTM3U
2 #EXT-X-TARGETDURATION:10
3 #EXT-X-MEDIA-SEQUENCE:0
4 #EXTINF:10, no desc
5 fileSequence0.ts
6 #EXTINF:10, no desc
7 fileSequence1.ts
8 #EXTINF:10, no desc
9 fileSequence2.ts
10 ...
```

Λίστα 4-2: Δείγμα κομματιών .ts λίστας αναπαραγωγής M3U8

Στο Σχήμα 4-8 απεικονίζεται η σχέση που υπάρχει μεταξύ των αρχείων λίστας αναπαραγωγής και των αρχείων τεμαχίων πολυμέσων.



Σχήμα 4-8: Σχέση μεταξύ λιστών αναπαραγωγής και τεμαχίων πολυμέσων

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του HLS είναι η ικανότητα προσαρμογής του ρυθμού ροής δεδομένων έξυπνα. Σε αντίθεση με τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στη ροή RTP, η συσκευή του τελικού χρήστη είναι αυτή που αποφασίζει την ποιότητα της ροής, ανάλογα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης (και όχι ο διακομιστής βίντεο). Αυτή η προσέγγιση στοχεύει στη διασφάλιση της αδιάκοπης ροής βίντεο, δημιουργώντας έτσι μια θετική εμπειρία χρήσης μέσω διανομής OTT.

Συνοπτικά:

Τα κύρια πλεονεκτήματα του HLS είναι τα εξής:

- Οι συσκευές που υποστηρίζουν αυτό το πρωτόκολλο είναι εκατομμύρια, επιτρέποντας τη χρήση του σε ένα τεράστιο δυνητικό κοινό.
- Το HLS είναι μια πολύ απλή λύση για την παροχή προσαρμοστικής ροής σε μη διαχειριζόμενα δίκτυα.
- Είναι πολύ εύκολο να ενσωματωθεί στο επίπεδο λήψης των τερματικών συσκευών και ως εκ τούτου είναι πολύ εύκολο να αναπτυχθεί σε υπολογιστές, smartphones, tablets και STB.

- Βασίζεται στην τεχνολογία μετάδοσης Transport Stream, η οποία επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωσή της σε υπάρχοντα ψηφιακά τηλεοπτικά περιβάλλοντα.
- Υποστηρίζει πολλά συστήματα DRM, αν και το AES-128 είναι αυτό που συνήθως χρησιμοποιείται.

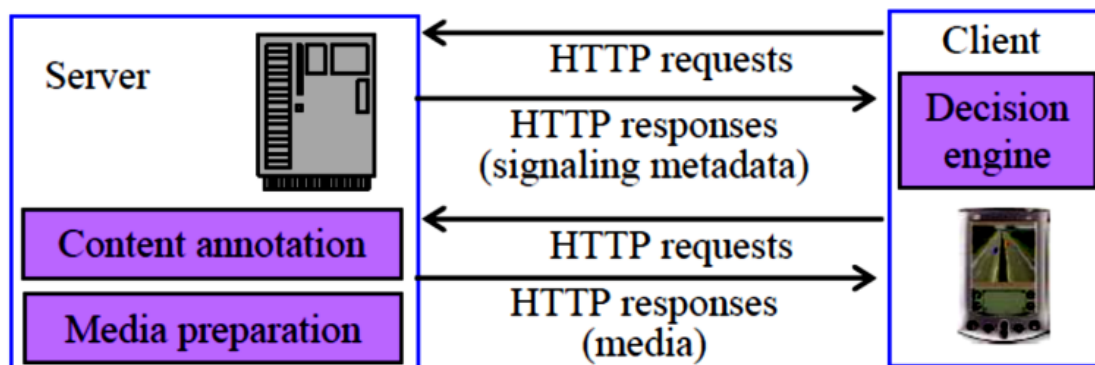
Τα κύρια μειονεκτήματα του HLS είναι τα εξής:

- Ο έλεγχος προσαρμοστικότητας βρίσκεται αποκλειστικά στην πλευρά του πελάτη (client) και αυτό δεν επιτρέπει καλύτερη ρύθμιση από την πλευρά του διακομιστή.
- Ως πρωτόκολλο της Apple, δεν έχει εγγενή υποστήριξη σε περιβάλλοντα Windows, γεγονός που καθιστά πιο δύσκολο να υιοθετηθεί ως πρότυπο τηλεοπτικής διανομής.

4.2.3.1.2. Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (MPEG-DASH)

Το πρότυπο Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH), γνωστό και ως MPEG-DASH, έχει αναπτυχθεί από τις ομάδες εργασίας MPEG και 3GPP για να καταστεί δυνατή η διαλειτουργικότητα στη ζωντανή ροή.

Λόγω της ετερογένειας των σημερινών τηλεπικοινωνιακών δικτύων, η «προσαρμοστικότητα» είναι μια πολύ σημαντική απαίτηση για κάθε πελάτη (client) συνεχούς ροής. Το DASH έχει τη δυνατότητα να παίζει σημαντικό ρόλο σε δίκτυα με κυμαινόμενο εύρος ζώνης. Για το λόγο αυτό, το DASH βασίζεται στο υποκείμενο στρώμα του HTTP, το TCP που είναι πασιγνωστό για τις παραλλαγές του στη διεκπεραιωτική ικανότητα (throughput).

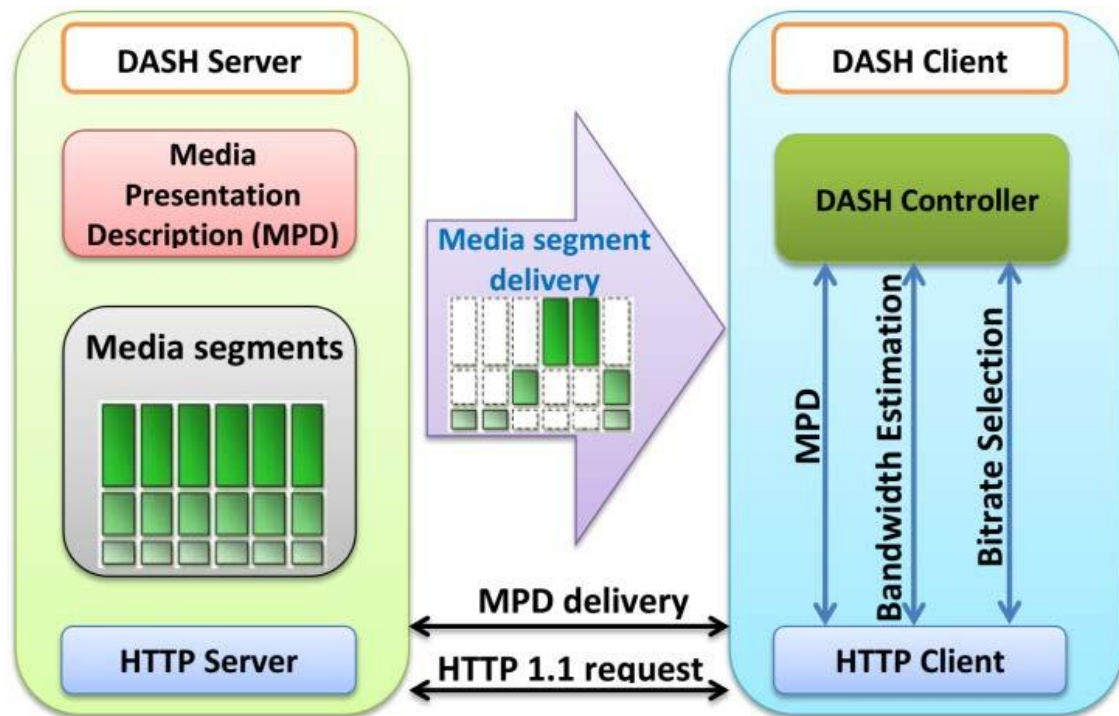


Σχήμα 4-9: Τυπική αρχιτεκτονική ροής μέσω HTTP

Συνήθως στη ροή μέσω HTTP (Σχήμα 4-9), ο διακομιστής έχει πολύ μικρή εικόνα σχετικά με τον πελάτη (client) ή την κατάσταση του δικτύου, οπότε ο client έχει την δυνατότητα να αποφασίζει πώς θα παραδοθεί το περιεχόμενο προκειμένου να παρέχεται η καλύτερη δυνατή υπηρεσία.

Για θέματα «προσαρμοστικότητας», σε clients ή δίκτυα, πρέπει να δημιουργηθούν πολλαπλές εναλλακτικές λύσεις για κάθε στοιχείο (βίντεο ή ήχο) και τα μεταδεδομένα λήψης σήματος πρέπει να περιέχουν τα χαρακτηριστικά κάθε εναλλακτικής λύσης (όπως bitrate, ανάλυση κ.λπ.). Αυτές οι πολλαπλές εκδοχές των ίδιων μέσων θα «τεμαχιστούν» σε τμήματα που μπορούν να ζητηθούν ξεχωριστά από

τον client μέσω HTTP (Σχήμα 4-10). Αυτό επιτρέπει στον client να αλλάζει μεταξύ διαφορετικών ποιτήτων/αναλύσεων κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου συνεχούς ροής.



Σχήμα 4-10: Πεδίο εφαρμογής του προτύπου MPEG-DASH

Το περιεχόμενο υφίσταται στον διακομιστή σε δύο μέρη:

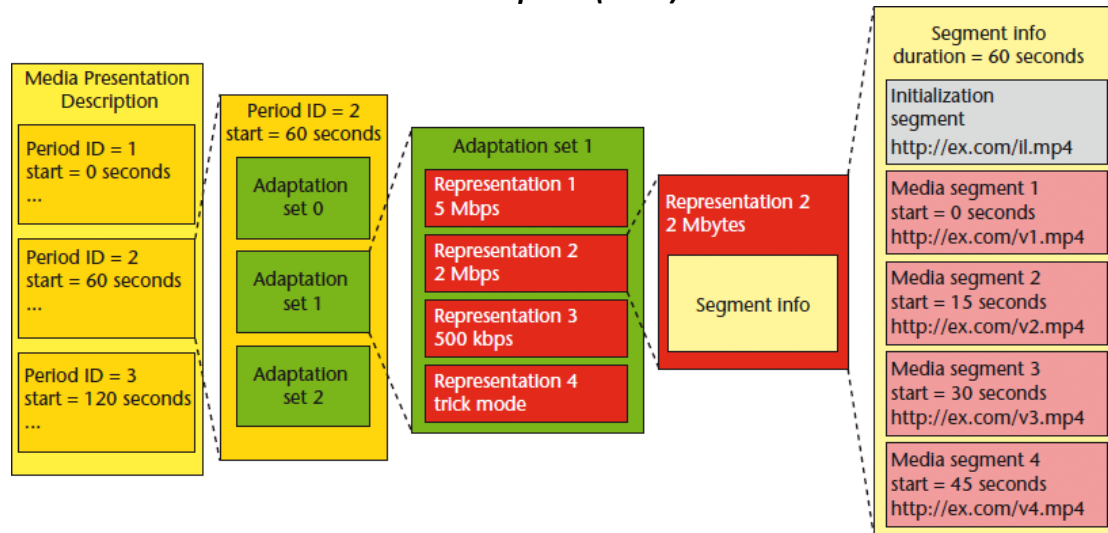
1. **MPD (Media Presentation Description):** είναι ένα αρχείο XML που περιγράφει ένα δηλωτικό (manifest) του διαθέσιμου περιεχομένου, το οποίο περιέχει τα πολλαπλά προφίλ και τις αντίστοιχες διευθύνσεις URL, μεταξύ άλλων χαρακτηριστικών.
2. **Τεμάχια (Segments):** περιέχουν τις ακολουθίες περιεχομένου με τη μορφή αρχείων πολυμέσων μικρού μεγέθους και σύντομης διάρκειας μεταξύ 1 και 15 δευτερολέπτων.

Για να είναι δυνατή η αναπαραγωγή του περιεχομένου, ο client πρέπει πρώτα να λάβει το αρχείο MPD. Αφού το λάβει, ο client αναλύει το αρχείο και αποκτά πληροφορίες σχετικές με το χρονοδιάγραμμα του προγράμματος, τη διαθεσιμότητα του περιεχομένου, τύπους πολυμέσων, αναλύσεις, ελάχιστο και μέγιστο εύρος ζώνης και την ύπαρξη διαφόρων κωδικοποιημένων εναλλακτικών λύσεων των στοιχείων πολυμέσων, χαρακτηριστικά προσβασιμότητας και της απαιτούμενης διαχείρισης ψηφιακών δικαιωμάτων (DRM), τις τοποθεσίες των συστατικών πολυμέσων στο δίκτυο, μεταξύ άλλων χαρακτηριστικών περιεχομένου.

Με αυτές τις πληροφορίες, ο client μπορεί να επιλέξει την κατάλληλη κωδικοποιημένη εναλλακτική λύση και να ξεκινήσει τη ροή του περιεχομένου, μεταφέροντας τα τεμάχια με τη χρήση αιτημάτων HTTP GET.

Προβλέπεται κατάλληλη προσωρινή αποθήκευση (buffering) για να επιτρέπονται διακυμάνσεις δικτύου και για τον έλεγχο αυτού· ο client παρακολουθεί πάντοτε το εύρος ζώνης του δικτύου. Ταυτόχρονα, ο client συνεχίζει να φορτώνει τα επόμενα τεμάχια και ανάλογα με τις μετρήσεις του αποφασίζει πώς θα προσαρμοστεί στο διαθέσιμο εύρος ζώνης, φορτώνοντας τεμάχια με υψηλότερα ή χαμηλότερα bitrates ώστε να διατηρήσει επαρκές buffer και αναπαραγωγή.

4.2.3.1.2.1. Media Presentation Description (MPD)



Σχήμα 4-11: Ιεραρχικό μοντέλο δεδομένων του MPD

Το αρχείο MPD (Σχήμα 4-11) εισάγει μια σειρά από έννοιες όπως:

- **Περίοδος (Period):** Είναι η μέγιστη μονάδα ομαδοποίησης που αντιπροσωπεύει ένα μέρος του περιεχομένου, που καθορίζεται από το χρόνο έναρξης και τη διάρκεια του. Ο διαχωρισμός σε περιόδους γίνεται για να διαχωριστούν σκηνές μέσα στο ίδιο το περιεχόμενο. Κάθε περίοδος αποτελείται από ένα ή περισσότερα σετ προσαρμογής.
- **Σετ προσαρμογής (Adaptation Set):** Αυτά τα στοιχεία αντιπροσωπεύουν ροές βίντεο, ήχου και κειμένου ή μεταδεδομένων (metadata). Στην πιο απλή περίπτωση, μια περίοδος θα μπορούσε να περιέχει μόνο μία ροή ήχου και βίντεο, αλλά για να μειωθεί το εύρος ζώνης, κάθε σετ προσαρμογής μπορεί να χωριστεί σε πολλά bitrates. Για παράδειγμα ένα σετ προσαρμογής μπορεί να περιέχει τα διαφορετικά bitrates του στοιχείου βίντεο και τις διαφορετικές ροές ήχου, μια για κάθε υποστηριζόμενη γλώσσα. Κάθε σετ προσαρμογής συνήθως περιλαμβάνει πολλαπλές αναπαραστάσεις.
- **Αναπαράσταση (Representation):** Μια αναπαράσταση είναι μια κωδικοποιημένη εναλλακτική λύση του ίδιου συστατικού πολυμέσων, το οποίο ποικίλλει από άλλες αναπαραστάσεις κατά bitrate, ανάλυση, αριθμό καναλιών, μεταξύ άλλων χαρακτηριστικών. Κάθε αναπαράσταση αποτελείται από ένα ή περισσότερα τεμάχια. Τα τεμάχια είναι κομμάτια ροής σε χρονική ακολουθία. Κάθε τμήμα περιέχει ένα URI, μια διευθύνσιμη τοποθεσία σε ένα διακομιστή που μπορεί να γίνει λήψη χρησιμοποιώντας την εντολή HTTP GET.
- **Τεμάχια (Segments):** Τα τεμάχια χωρίζονται σε δύο τύπους, τα τεμάχια πολυμέσων, που περιέχουν τις πραγματικές πληροφορίες βίντεο/ήχου και

τμήματα ευρετηρίου, τα οποία βοηθούν το πρόγραμμα αναπαραγωγής πολυμέσων να προετοιμάσει την αναπαραγωγή παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με διάρκειες, σημεία πρόσβασης στο τεμάχιο κ.λπ.

Όταν ο client προσπαθεί να αναπαραγάγει το περιεχόμενο, πρώτα λαμβάνει και στη συνέχεια αναλύει το έγγραφο MPD XML. Στη συνέχεια, επιλέγει το σύνολο των αναπαραστάσεων που θα χρησιμοποιηθούν με βάση τα περιγραφικά στοιχεία του MPD, ανάλογα με τις δυνατότητες του client και τις επιλογές του χρήστη. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα αναπαραγωγής δημιουργεί ένα χρονοδιάγραμμα και αρχίζει να αναπαράγει το περιεχόμενο πολυμέσων ζητώντας τα κατάλληλα τεμάχια πολυμέσων. Η περιγραφή κάθε αναπαράστασης περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τα τεμάχιά της, οι οποίες καθιστούν δυνατή την διατύπωση των αιτημάτων για κάθε τεμάχιο με βάση το εύρος των διευθύνσεων URL και των bytes. Για ζωντανές αναπαραστάσεις, το MPD παρέχει επίσης χρόνο έναρξης και χρόνο λήξης διαθεσιμότητας τεμαχίου, κατά προσέγγιση χρόνο έναρξης πολυμέσων και σταθερή ή μεταβλητή διάρκεια των τεμαχίων.

Όσον αφορά την υποστήριξη DRM, το MPEG-DASH έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει πολλαπλά DRM. Υποστηρίζει πολλαπλά DRM δεδομένου ότι κάθε σετ προσαρμογής μπορεί να χρησιμοποιεί ένα σχήμα DRM ανεξάρτητα από τα άλλα σετ προσαρμογής στο ίδιο MPD και εφόσον οι συσκευές (clients) υποστηρίζουν μία από τις καθορισμένες τεχνολογίες DRM, θα είναι σε θέση να αποκωδικοποιήσουν το περιεχόμενο.

Όσον αφορά την εκτεταμένη υιοθεσία και την εστίαση στην έρευνα, το γεγονός ότι πρόκειται για ανοιχτό (open source) πρότυπο, ήδη με σημαντικές ερευνητικές πρωτοβουλίες, και ότι το DASH Industry Forum (DASH-IF) έχει ως μέλη του τις περισσότερες από τις κορυφαίες τεχνολογικές εταιρείες στον κόσμο, η πιθανότητα για το MPEG-DASH να γίνει η de facto τεχνολογία προσαρμοστικής ροής με βάση το HTTP είναι σημαντική.

4.2.3.2. Σύνοψη προσαρμοστικής ροής μέσω HTTP

Η διανομή μέσω HTTP αποτελεί τον πυρήνα κάθε μιας από αυτές τις προσαρμοστικές τεχνολογίες που αναλύθηκαν παραπάνω και διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην επιτυχία που είχαν.

Οι αρχικές προτάσεις για τη ροή πολυμέσων είχαν ως κύριες προκλήσεις τη χωρητικότητα και τις καθυστερήσεις των δικτύων και οδήγησαν στην ανάπτυξη του RTSP, ενός πρωτοκόλλου ροής με χαμηλό overhead με ενσωματωμένα χαρακτηριστικά διαχείρισης συνόδων/καταστάσεων. Καθώς αναπτύχθηκε το Διαδίκτυο και αυξήθηκε η χωρητικότητα του δικτύου, το HTTP έγινε αγαθό και οι μεγάλες προκλήσεις στη διανομή πολυμέσων μετατοπίστηκαν από τη χωρητικότητα του δικτύου στη χωρητικότητα των servers: έχοντας πλέον διακομιστές που διαχειρίζονται ξεχωριστές συνόδους ροής για κάθε client δεν είναι επεκτάσιμη υλοποίηση και κάνει γίνεται εντατική χρήση των πόρων των servers.

Λαμβάνοντας υπ' όψη ότι το Διαδίκτυο κατασκευάστηκε ουσιαστικά γύρω από το HTTP, έχει βελτιωθεί εξαιρετικά για αυτή τη συγκεκριμένη μέθοδο διανομής, όπου ανταλλάσσονται μεγάλα τεμάχια δεδομένων. Η αξία της παράδοσης μικρών πακέτων, όπως τα πακέτα TCP, έχει ελαττωθεί, εξ ου και η εκτεταμένη χρήση τεχνολογιών προοδευτικής λήψης και CDN για την αντιμετώπιση της τοποθεσίας του περιεχομένου και τη μείωση της κυκλοφορίας σε μεγάλες αποστάσεις στο Διαδίκτυο.

Εκ των πραγμάτων, μια μέθοδος διανομής πολυμέσων με τη χρήση του HTTP εκμεταλλεύεται τα ακόλουθα γεγονότα:

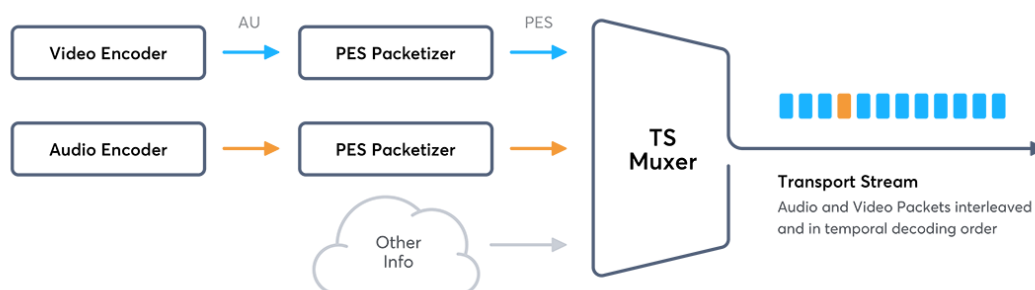
- Τα περισσότερα firewalls έχουν ήδη ρυθμιστεί έτσι ώστε να επιτρέπουν την κίνηση HTTP, μέσω της θύρας 80 (TCP), ενώ στην περίπτωση άλλων πρωτοκόλλων συνεχούς ροής μπορεί να μην συμβαίνει αυτό.
- Το HTTP είναι γνωστό ως stateless πρωτόκολλο. Επομένως, η σύννοδος συνεχούς ροής μπορεί να διαχειρίζεται από τον πελάτη αντί του διακομιστή, ελαφραίνοντας έτσι τους πολύτιμους υπολογιστικούς πόρους από πλευράς διακομιστή. Κάθε αίτηση θα απαιτήσει μια ατομική, περιοδική σύννοδο.
- Αξιοπιστία και απλότητα ανάπτυξης: Τα HTTP και TCP δοκιμάζονται και υποστηρίζονται ευρέως.

4.3. Μορφότυπα δοχείων βίντεο (Video container formats)

Οι ροές βίντεο είναι ενσωματωμένες σε διαφορετικά δοχεία (containers) για τη μεταφορά τους, υποστηρίζοντας διαφορετικά χαρακτηριστικά και μεταδεδομένα.

4.3.1. MPEG-TS

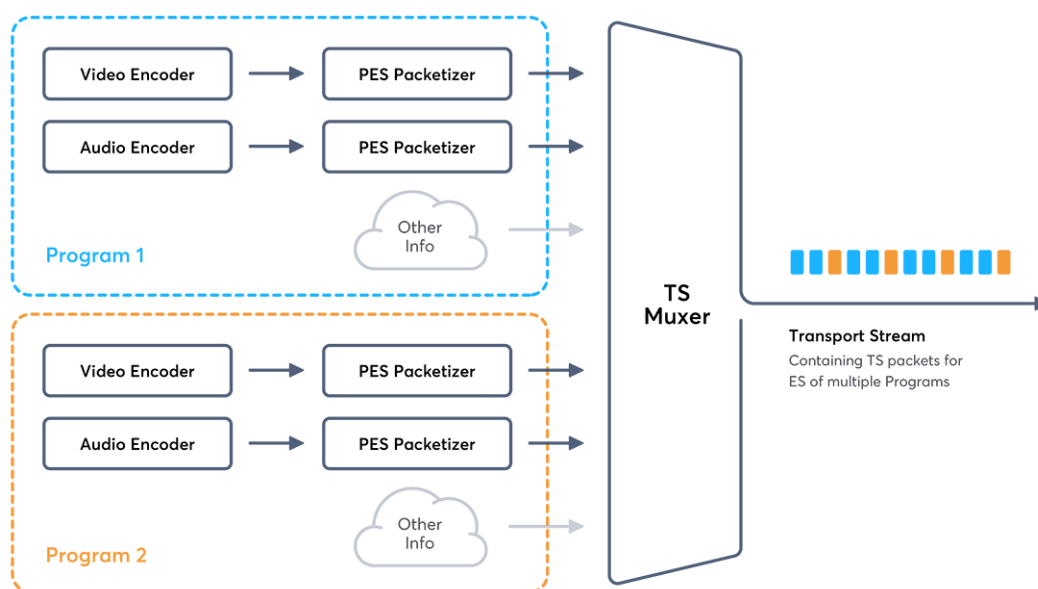
Η ροή μεταφοράς (transport stream ή TS) είναι ένα δοχείο πολλαπλών πολυπλεγμένων προγραμμάτων που περιλαμβάνουν ήχο και βίντεο. Για να δημιουργηθεί μια ροή μεταφοράς, τα πακέτα ενός προγράμματος πολυπλέκονται μαζί (Σχήμα 4-12). Όλες οι πολυπλεγμένες ροές δεδομένων όλων των προγραμμάτων συνδυάζονται και έτσι σχηματίζεται το δοχείο MPEG-TS.



Σχήμα 4-12: Πολυπλεξία ενός προγράμματος

Μια ροή μεταφοράς MPEG-TS περιέχει τα πακέτα ροής μεταφοράς όλων των προγραμμάτων με όλα τα σήματα βίντεο, ήχου και δεδομένων. Ένα πακέτο ροής μεταφοράς έχει μέγεθος 188 bytes.

Σε μια ροή μεταφοράς μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από 1 πρόγραμμα (Σχήμα 4-13). Οι ρυθμοί δεδομένων μπορεί να διαφέρουν κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, αλλά ο συνολικός ρυθμός δεδομένων πρέπει να παραμείνει σταθερός.



Σχήμα 4-13: Πολυπλεξία πολλών προγραμμάτων

Ένα πρόγραμμα μπορεί να περιέχει βίντεο και ήχο, μόνο ήχο (εκπομπή ήχου) ή μόνο δεδομένα και έτσι η δομή είναι ευέλικτη και μπορεί επίσης να αλλάξει κατά τη διάρκεια της μετάδοσης. Η ροή μεταφοράς, για να είναι σε θέση να προσδιορίσει την τρέχουσα δομή της ροής μεταφοράς κατά τη διάρκεια της αποκωδικοποίησης, μεταφέρει επίσης καταλόγους που περιγράφουν τη δομή, που ονομάζεται «πίνακες» (tables).

Οι ροές μεταφοράς μπορούν να βρεθούν στα «.ts», «.trp», τα οποία είναι μορφότυπα άμεσης εκπομπής, και στα μορφότυπα «.mpg».

Το MPEG-TS χρησιμοποιείται στην ψηφιακή μετάδοση βίντεο (Digital Video Broadcast - DVB), στην IPTV και στη διανομή OTT με τη μορφή HLS.

4.3.2. MP4

Όπως το MPEG-TS, το MP4 (MPEG-4 Part 14) είναι ένα μορφότυπο δοχείου βίντεο που αποθηκεύει ήχο, βίντεο και συναφή δεδομένα, όπως υπότιτλους, μεταδεδομένα, κλπ.

Το MP4 είναι ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μορφότυπα δοχείων βίντεο και συχνά είναι ένα αρχείο κατάληξης «.mp4». Θεωρείται ως το προτιμώμενο πρότυπο στο ίντερνετ, αλλά και σε άλλες εφαρμογές πολυμέσων στο Διαδίκτυο.

Το MP4 έχει αρκετές δυνατότητες για χρήση εικόνων, διαφορετικών αρχείων με αποσπάσματα βίντεο, υπότιτλων κ.ά. Έχει τη δυνατότητα για τμηματική αναπαραγωγή και γι' αυτό προτιμάται στις περιπτώσεις streaming video. Μπορεί να αναπαραχθεί σχεδόν σε οποιαδήποτε συσκευή, όπως υπολογιστές, smartphones, smart TVs, smartwatches, κλπ. Επιπλέον χρησιμοποιείται στην προσαρμοστική ροή μέσω HTTP.

4.4. Κρυπτογράφηση και διαχείριση ψηφιακών δικαιωμάτων (DRM)

Στις τηλεοπτικές πλατφόρμες OTT, η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την προστασία του περιεχομένου ονομάζεται DRM (Digital Rights Management). Με την αύξηση της διαδικτυακής κατανάλωσης περιεχομένου, είναι όλο και περισσότερο απαραίτητη η ενσωμάτωση συστημάτων DRM στα συστήματα διανομής.

Τα συστήματα DRM βασίζουν τη λειτουργία τους στην κρυπτογράφηση των δεδομένων περιεχομένου, οπότε από τη στιγμή που τα δεδομένα κρυπτογραφούνται, η μετάδοσή τους, η αντιγραφή και η διανομή τους δεν αποτελούν πρόβλημα, διότι χωρίς το απαραίτητο κλειδί για την αποκρυπτογράφηση τους, η αναπαραγωγή τους είναι αδύνατη.

Η κρυπτογράφηση του περιεχομένου πραγματοποιείται ως μια διαδοχική φάση μετά την κωδικοποίησή του, έτσι ώστε το περιεχόμενο να προστατεύεται πριν αποθηκευτεί στους διακομιστές περιεχομένου (origin). Τα κλειδιά με τα οποία είναι κρυπτογραφημένο το περιεχόμενο αποθηκεύονται σε ένα διακομιστή αδειών (DRM Server ή Licence Server), ένα θεμελιώδες σύστημα προστασίας.

Έτσι, κάθε φορά που ένας χρήστης προσπαθεί να αναπαραγάγει προστατευμένο περιεχόμενο, ο media player που είναι ενσωματωμένος στην εφαρμογή της συσκευής του χρήστη επικοινωνεί με τον διακομιστή αδειών και σε περίπτωση που ο χρήστης είναι πιστοποιημένος, σύμφωνα με τις διαμορφωμένες πολιτικές πρόσβασης, ο διακομιστής θα παράσχει το κλειδί με το οποίο αποκρυπτογραφείται το περιεχόμενο και επομένως αποκωδικοποιείται και αναπαράγεται επιτυχώς.

Μερικά από τα πιο διαδεδομένα συστήματα DRM είναι τα εξής:

- Microsoft PlayReady: Είναι ένα ιδιόκτητο DRM της Microsoft που σχετίζεται με την προσαρμοστική ροή Smooth Streaming, αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες προσαρμοστικές ροές, όπως το MPEG-DASH.
- Apple Fairplay: Είναι ένα DRM που είναι ενσωματωμένο στο HLS και επικεντρώνεται εξ ολοκλήρου στα συστήματα της Apple, όπως iOS, Apple TV, Quiktime.

- Google Widevine: Η δημοτικότητα αυτού του DRM έγκειται στην υποστήριξη μιας ευρείας γκάμας συσκευών (συσκευές Android και iOS, Smart TVs, κονσόλες παιχνιδιών).

Η επιλογή ενός συστήματος DRM είναι ένα κρίσιμο σημείο σε ένα σύστημα διανομής OTT TV, καθώς έχει άμεσες επιπτώσεις στις υποστηριζόμενες συσκευές στις οποίες παρέχεται το περιεχόμενο (ο media player είναι ενσωματωμένος στην εφαρμογή που εκτελείται στη συσκευή και υποστηρίζει το σύστημα DRM της πλατφόρμας).

4.5. Μορφότυπα κωδικοποίησης βίντεο (Video coding formats) - Συμπύεση

Για τη διανομή βίντεο από το headend, όπου χρησιμοποιούνται πρότυπα ποιότητας (τα οποία μπορεί να απαιτούν έως και 3 Gbps), έως ότου γίνει ορατή από τον τελικό χρήστη, απαιτείται μετασχηματισμός του σήματος βίντεο και ήχου, το οποίο πρέπει να προσαρμοστεί στα κανάλια διανομής. Από την ανάγκη αυτή γεννιούνται τα διαφορετικά πρότυπα κωδικοποίησης σήματος, τα οποία μας επιτρέπουν να μειώσουμε σημαντικά την ανάγκη για εύρος ζώνης χωρίς να επηρεάσουμε σημαντικά την ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης.

Από τα πρώτα πρότυπα, όπως το MPEG-2, μέχρι τα πιο διαδεδομένα H.264 (MPEG-4 AVC) και H.265 (HEVC), όλοι έχουν επιδιώξει, βελτιώνοντας τους αλγόριθμους κωδικοποίησης, να βελτιστοποιήσουν το εύρος ζώνης που απαιτείται για την τελική διανομή του σήματος βίντεο στον τελικό χρήστη, με δύο βασικούς στόχους: να προσφέρουν περισσότερο περιεχόμενο στον τελικό χρήστη χρησιμοποιώντας το ίδιο διαθέσιμο εύρος ζώνης και να είναι σε θέση να προσφέρουν τέτοιου είδους περιεχόμενο με ανώτερη ποιότητα.

Παρακάτω, παρουσιάζεται μια λεπτομερής περιγραφή της λειτουργίας των δύο πιο κοινά χρησιμοποιούμενων προτύπων, των H.264 (AVC) και H.265 (HEVC).

4.5.1. H.264 (AVC)



Σχήμα 4-14: Λογότυπο του H.264

Το H.264 (MPEG-4 Part 10, Advanced Video Coding - AVC) (Σχήμα 4-14) είναι ένα ανοικτό πρότυπο με άδεια χρήσης που είναι συμβατό με τις πιο αποτελεσματικές τεχνικές συμπύεσης βίντεο που είναι διαθέσιμες σήμερα.

Χωρίς να υποβαθμίζεται η ποιότητα της εικόνας, ένας κωδικοποιητής H.264 μπορεί να μειώσει το μέγεθος ενός ψηφιακού αρχείου βίντεο κατά περισσότερο από 80% σε σύγκριση με ορισμένα πρότυπα όπως το Motion JPEG και έως και 50% σε σύγκριση με το προγενέστερο MPEG-2. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται μικρότερο εύρος ζώνης και επομένως μικρότερος χώρος αποθήκευσης από τη μία για να ταιριάζει με την ποιότητα του οπτικοακουστικού σήματος· ή από την άλλη, μπορεί να επιτευχθεί υψηλότερη ποιότητα εικόνας βίντεο με μια δεδομένη ταχύτητα μεταφοράς.

Το πρότυπο H.264 είναι το αποτέλεσμα ενός κοινού σχεδίου μεταξύ της ομάδας εμπειρογνομόνων κωδικοποίησης βίντεο ITU-T και της ομάδας εμπειρογνομόνων κινούμενων εικόνων ISO/IEC (MPEG). Ο ITU-T είναι ο τομέας που συντονίζει τα πρότυπα τηλεπικοινωνιών εξ ονόματος της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών. Ο ISO είναι ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης, ενώ η IEC είναι η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή, η οποία επιβλέπει τα πρότυπα όλων των ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών και συναφών τεχνολογιών. Έτσι, H.264 είναι το όνομα που χρησιμοποιείται από την ITU-T, ενώ ο ISO (το IEC χρησιμοποιεί το όνομα «MPEG-4 Part 10, AVC», όπως παρουσιάζεται ως τμήμα της ακολουθίας MPEG-4. Αυτή η ακολουθία περιλαμβάνει, για παράδειγμα, το MPEG-4 Part 2, το οποίο είναι ένα από τα πιο κοινά πρότυπα που χρησιμοποιούν οι κωδικοποιητές βίντεο που βασίζονται σε IP.

Καθώς είναι σχεδιασμένο για την επίλυση αρκετών αδυναμιών των προηγούμενων προτύπων συμπίεσης βίντεο, το H.264 ικανοποιεί με επιτυχία τους ακόλουθους στόχους:

- Μείωση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (bitrate) κατά 50%, βάσει σταθερής ποιότητας βίντεο και σε σύγκριση με άλλα πρότυπα βίντεο.
- Ανθεκτικότητα έναντι σφαλμάτων, έτσι ώστε τα σφάλματα μετάδοσης να είναι ανεκτά σε διάφορα δίκτυα.
- Ικανότητα χαμηλής καθυστέρησης (latency) και βελτιωμένη ποιότητα όταν υπάρχει υψηλότερη καθυστέρηση.
- Αποκωδικοποίηση ακριβούς αντιστοίχισης, η οποία καθορίζει πόσους αριθμητικούς υπολογισμούς πρέπει να εκτελεί ένας κωδικοποιητής και ένας αποκωδικοποιητής για την αποφυγή συσσώρευσης σφαλμάτων.

Το H.264 διαθέτει επίσης αρκετή ευελιξία για να υποστηρίξει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών με διαφορετικές απαιτήσεις για το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Για παράδειγμα, στις εφαρμογές βίντεο για ψυχαγωγία το H.264, μπορεί να προσφέρει απόδοση μεταξύ 1 και 10 Mbit/s με υψηλή καθυστέρηση, ενώ στις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες μπορεί να προσφέρει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μικρότερο από 1 Mbit/s με χαμηλή καθυστέρηση.

Ο κύριος στόχος της συμπίεσης βίντεο είναι ότι το ψηφιακό αρχείο βίντεο μπορεί να αποστέλλεται και να αποθηκεύεται με αποτελεσματικό τρόπο, γι' αυτό οι αλγόριθμοι κωδικοποίησης και συμπίεσης εστιάζουν τις προσπάθειές τους στη μείωση και εξάλειψη περιττών δεδομένων προσπαθώντας να διατηρήσουν την ποιότητα του βίντεο.

Σε αυτή τη διαδικασία στο αρχικό βίντεο εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος για να δημιουργηθεί ένα συμπιεσμένο αρχείο ώστε να είναι έτοιμο για μετάδοση ή αποθήκευση. Για να αναπαραχθεί το συμπιεσμένο αρχείο, εφαρμόζεται ο αντίστροφος αλγόριθμος και δημιουργείται ένα βίντεο που περιλαμβάνει ουσιαστικά το ίδιο περιεχόμενο με το αρχικό βίντεο. Ο χρόνος που απαιτείται για τη συμπίεση, την αποστολή, την αποσυμπίεση και την εμφάνιση ενός αρχείου είναι αυτό που ονομάζεται καθυστέρηση (latency). Όσο πιο προηγμένος είναι ο αλγόριθμος συμπίεσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση στην ίδια ισχύ επεξεργασίας.

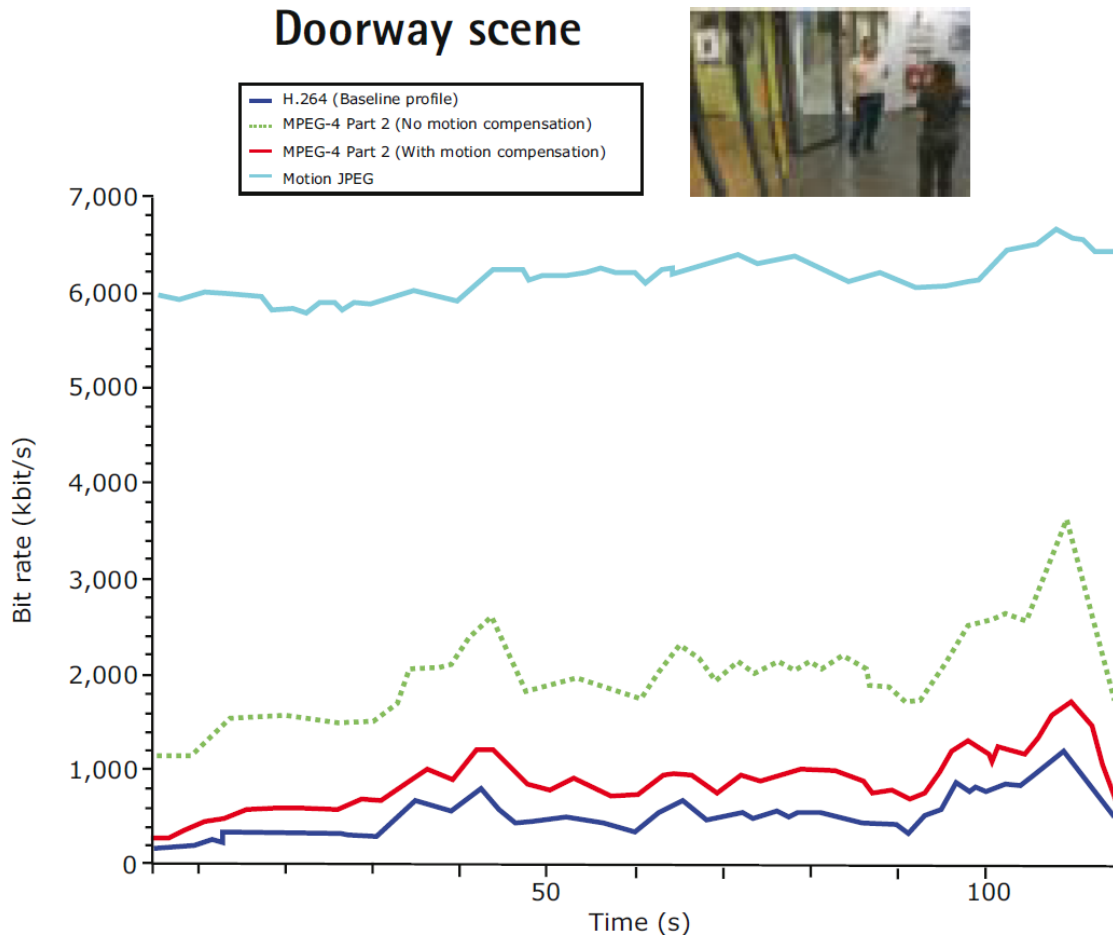
Το ζεύγος αλγορίθμων που λειτουργούν μαζί ονομάζεται codec που προέρχεται από τη σύνθεση των λέξεων coder-decoder (κωδικοποιητής-αποκωδικοποιητής). Οι codecs που χρησιμοποιούν διαφορετικά πρότυπα συνήθως δεν είναι συμβατοί μεταξύ τους, δηλαδή το περιεχόμενο βίντεο που είναι συμπιεσμένο με ένα συγκεκριμένο πρότυπο δεν μπορεί να αποσυμπίεστεί με ένα άλλο διαφορετικό πρότυπο. Για παράδειγμα, ένας αποκωδικοποιητής MPEG-4 Part 2 δεν θα λειτουργεί με έναν κωδικοποιητή H.264. Αυτό συμβαίνει απλώς επειδή ένας αλγόριθμος δεν μπορεί να αποκωδικοποιήσει σωστά τα δεδομένα εξόδου του άλλου αλγορίθμου, αλλά είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν πολλοί διαφορετικοί αλγόριθμοι στο ίδιο λογισμικό ή hardware, προκειμένου να συμπιεστούν διάφορα μορφότυπα (formats). Τα διαφορετικά πρότυπα συμπίεσης βίντεο χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους για τη μείωση των δεδομένων και, κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα σχετικά με το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και την καθυστέρηση είναι διαφορετικά.

Τα αποτελέσματα των κωδικοποιητών που χρησιμοποιούν το ίδιο πρότυπο συμπίεσης μπορεί επίσης να ποικίλουν επειδή ο σχεδιαστής ενός κωδικοποιητή αποφάσισε να χρησιμοποιήσει διαφορετικά σύνολα εργαλείων που ορίζονται από ένα πρότυπο. Κάθε φορά που τα δεδομένα εξόδου ενός κωδικοποιητή συμμορφώνονται με το format ενός προτύπου, μπορούν να γίνουν διαφορετικές υλοποιήσεις. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα, δεδομένου ότι κάθε υλοποίηση μπορεί να έχει τους δικούς της στόχους και τους προϋπολογισμούς. Οι επαγγελματικοί κωδικοποιητές που δεν λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιούνται για έλεγχο οπτικών μέσων πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν ένα καλύτερο κωδικοποιημένο βίντεο από έναν hardware κωδικοποιητή σε πραγματικό χρόνο για τηλεδιάσκεψη ενσωματωμένη σε μια φορητή συσκευή. Επομένως, ένα συγκεκριμένο πρότυπο δεν μπορεί να εγγραφεί το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ή την ποιότητα. Επιπλέον, η απόδοση ενός προτύπου δεν μπορεί να συγκριθεί σωστά με άλλα πρότυπα ή ακόμη και με άλλες υλοποιήσεις του ίδιου προτύπου, χωρίς πρώτα να προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόστηκε.

Ένας αποκωδικοποιητής, σε αντίθεση με έναν κωδικοποιητή, πρέπει να εφαρμόσει όλα τα απαραίτητα μέρη ενός προτύπου για να αποκωδικοποιήσει μια μετάδοση συμβατών bits. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένα πρότυπο καθορίζει ακριβώς τον τρόπο με τον οποίο ο αλγόριθμος αποσυμπίεσης πρέπει να αποκαταστήσει κάθε bit ενός συμπιεσμένου αρχείου.

Στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 4-15) συγκρίνεται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, με βάση την ίδια ποιότητα εικόνας, μεταξύ των ακόλουθων προτύπων βίντεο: Motion

JPEG, MPEG-4 Part 2 (χωρίς αντιστάθμιση κίνησης), MPEG-4 Part 2 (με αντιστάθμιση κίνησης) και H.264 (βασικό προφίλ).



Σχήμα 4-15: Σύγκριση προτύπων H.264, H.263 και Motion JPEG

Από το γράφημα αυτό μπορούμε να συμπεράνουμε, όπως έχει σημειωθεί προηγουμένως, τον τρόπο με τον οποίο διαφορετικοί αλγόριθμοι λαμβάνουν χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης ανάλογα με τη χωρητικότητα συμπίεσης τους, έτσι ώστε για ένα βίντεο συμπιεσμένο με Motion JPEG να έχει ένα ρυθμό μετάδοσης που γύρω στα 6 Mbps, ενώ αν χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος που βασίζεται στο πρότυπο H.263 (χωρίς αντιστάθμιση κίνησης) θα μειώσουμε το ρυθμό μετάδοσης σε λιγότερο από 2 Mbps. Ωστόσο, εάν εφαρμοστεί αντιστάθμιση κίνησης στον ίδιο αλγόριθμο, θα επιτευχθεί μια ακόμα μεγαλύτερη μείωση, επιτυγχάνοντας ένα μέσο ρυθμό μετάδοσης περίπου 700 Kbps. Ακόμα μεγαλύτερη συμπίεση επιτυγχάνεται με το H.264, το οποίο στην περίπτωση αυτή μειώνει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε 350 Kbps.

Μια σημαντική πτυχή αυτού του προτύπου είναι ότι, όπως και ο προκάτοχός του, παρέχει διαφορετικά επίπεδα συμπίεσης (τάξεις απόδοσης) με τη μορφή προφίλ (σύνολα αλγοριθμικών χαρακτηριστικών):

Το H.264 έχει 7 προφίλ, το καθένα από τα οποία προορίζεται για μια συγκεκριμένη κατηγορία εφαρμογών. Κάθε προφίλ καθορίζει το σύνολο χαρακτηριστικών που

μπορεί να χρησιμοποιήσει ο κωδικοποιητής για να περιορίσει την πολυπλοκότητα της υλοποίησης του αποκωδικοποιητή.

Από την άλλη πλευρά, το H.264 έχει 11 επίπεδα ή βαθμούς χωρητικότητας για να περιορίσει τις απαιτήσεις απόδοσης, το εύρος ζώνης και τη μνήμη. Κάθε επίπεδο καθορίζει τον ρυθμό μετάδοσης και τη συχνότητα κωδικοποίησης σε macroblocks ανά δευτερόλεπτο για αναλύσεις που κυμαίνονται από QCIF (176 x 144) έως HDTV (1920 x 1080), έτσι ώστε όσο υψηλότερη είναι η ανάλυση, τόσο υψηλότερο να είναι το απαιτούμενο επίπεδο.

Ανάλογα με το προφίλ του H.264, ο κωδικοποιητής μπορεί να χρησιμοποιήσει διαφορετικούς τύπους καρτέ (frames): τα καρτέ I (I-frames), τα καρτέ P (P-frames), τα καρτέ B (B-frames) και τις ακολουθίες τους.

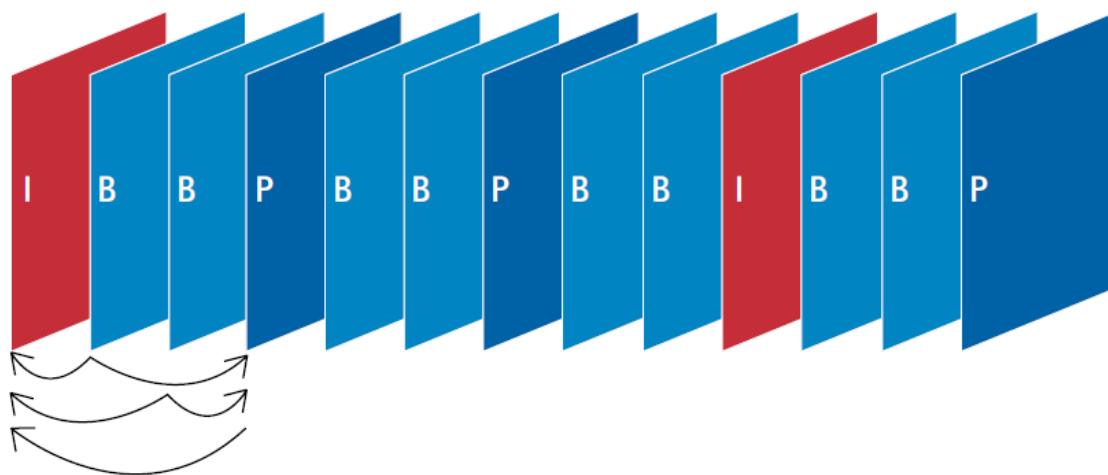
Ένα καρτέ I ή I-frame (Intra-frame) είναι μια αυτόνομη εικόνα που μπορεί να κωδικοποιηθεί ανεξάρτητα χωρίς αναφορά σε άλλες εικόνες. Η πρώτη εικόνα μιας ακολουθίας βίντεο είναι πάντα ένα καρτέ I. Τα καρτέ I χρησιμεύουν ως σημεία εκκίνησης σε νέες απεικονίσεις ή ως σημεία επανασυγχρονισμού σε περίπτωση που η μετάδοση των bits έχει απώλειες. Τα καρτέ I μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή λειτουργιών προς τα εμπρός ή προς τα πίσω ή τυχαίας πρόσβασης. Ένας κωδικοποιητής θα εισάγει αυτόματα καρτέ I σε τακτά χρονικά διαστήματα ή κατόπιν αιτήματος νέων clients που μπορούν να ενσωματωθούν στην προβολή μιας μετάδοσης.

Το μειονέκτημα αυτού του τύπου καρτέ είναι ότι καταναλώνουν πολλά περισσότερα bits, αλλά από την άλλη πλευρά δεν παράγουν πάρα πολλά αντικείμενα (ελαττώματα απεικόνισης).

Ένα καρτέ P ή P-frame (Predictive inter-frame) αναφέρεται σε τμήματα προηγούμενων καρτέ I ή P για την κωδικοποίηση του καρτέ. Τα καρτέ P απαιτούν συνήθως λιγότερα bits από τα καρτέ I, αλλά έχουν το μειονέκτημα ότι είναι πολύ ευαίσθητα στη μετάδοση σφαλμάτων, λόγω της πολύπλοκης εξάρτησης από προηγούμενα καρτέ P ή I.

Ένα καρτέ B ή B-frame (Bi-predictive inter-frame) είναι ένα καρτέ που αναφέρεται τόσο σε προηγούμενα όσο και σε επόμενα καρτέ.

Ο ορισμός αυτής της ακολουθίας καρτέ, σε σχέση με τον αριθμό των καρτέ B και P που υπάρχουν μεταξύ δύο καρτέ I, είναι γνωστός ως GOP, Group of Pictures (Σχήμα 4-16).



Σχήμα 4-16: Ενδεικτική ακολουθία καρέ I, P και B

Όταν ένας αποκωδικοποιητής βίντεο επαναφέρει ένα βίντεο αποκωδικοποιώντας τη μετάδοση bits καρέ-καρέ, η αποκωδικοποίηση πρέπει πάντα να ξεκινά με ένα καρέ I. Τα καρέ P και B, αν χρησιμοποιούνται, πρέπει να αποκωδικοποιούνται δίπλα στα καρέ αναφοράς.

Στο βασικό προφίλ του H.264 χρησιμοποιούνται μόνο καρέ I και P. Αυτό το προφίλ είναι ιδανικό για web κάμερες και κωδικοποιητές βίντεο, καθώς η καθυστέρηση μειώνεται χάρη στην απουσία καρέ B.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση των δεδομένων βίντεο, τόσο μέσα σε ένα μεμονωμένο καρέ (στατική εικόνα) όσο και μεταξύ μιας ακολουθίας καρέ.

Μέσα στο καρέ, τα δεδομένα μπορούν να μειωθούν απλά εξαλείφοντας τις πληροφορίες που δεν είναι απαραίτητες και που επηρεάζουν την ανάλυση του καρέ.

Σε μια ακολουθία καρέ, τα δεδομένα του βίντεο μπορούν να μειωθούν με μεθόδους όπως η διαφορική κωδικοποίηση, που χρησιμοποιείται στα περισσότερα πρότυπα συμπίεσης βίντεο, συμπεριλαμβανομένου του H.264. Στη διαφορική κωδικοποίηση, ένα καρέ συγκρίνεται με ένα άλλο καρέ αναφοράς (όπως ένα προηγούμενο καρέ I ή P) και κωδικοποιούνται μόνο εικονοστοιχεία (pixels) που έχουν αλλάξει από το καρέ αναφοράς. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο αριθμός των τιμών εικονοστοιχείων που πρόκειται να κωδικοποιηθούν και αποσταλούν.

Στο Σχήμα 4-17 απεικονίζεται μια κωδικοποίηση ακολουθίας τριών εικόνων με το μορφότυπο Motion JPEG. Οι τρεις εικόνες στην ακολουθία κωδικοποιούνται και αποστέλλονται ως ξεχωριστές μοναδικές εικόνες (καρέ I) χωρίς εξαρτήσεις η μία από την άλλη.



Σχήμα 4-17: Κωδικοποίηση ακολουθίας καρτέ με Motion JPEG

Στο Σχήμα 4-18 απεικονίζεται η ίδια διαδικασία, με διαφορά τη χρήση του μορφότυπου H.264 για κωδικοποίηση της ακολουθίας. Με τη διαφορική κωδικοποίηση, μόνο η πρώτη εικόνα (καρτέ I) κωδικοποιείται στο σύνολό της. Στις δύο ακόλουθες εικόνες (καρτέ P), γίνονται αναφορές στην πρώτη εικόνα για τα στατικά στοιχεία, δηλαδή το σπίτι, και μόνο τα κινούμενα μέρη, δηλαδή ο άνθρωπος που τρέχει, κωδικοποιείται με χρήση διανυσμάτων κίνησης, μειώνοντας έτσι την ποσότητα των πληροφοριών που αποστέλλονται και αποθηκεύονται.



Σχήμα 4-18: Κωδικοποίηση ακολουθίας καρτέ με H.264

Ο βαθμός κωδικοποίησης είναι περαιτέρω δυνάμενος να ελαττωθεί εάν και η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση βασίζονται σε μπλοκ εικονοστοιχείων, γνωστά ως macroblocks, αντί για μεμονωμένα εικονοστοιχεία.

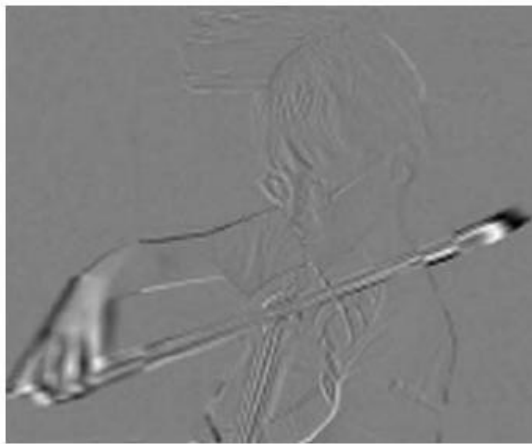
Το επακόλουθο είναι ότι η σύγκριση μεταξύ καρτέ δεν γίνεται από pixel σε pixel, αλλά ότι καλύπτονται μεγαλύτερες περιοχές και κωδικοποιούνται μόνο εκείνα τα μπλοκ που είναι σημαντικά διαφορετικά. Επίσης, μειώνοντας το υπολογιστικό φορτίο που σχετίζεται με τη θέση των προς αλλαγή περιοχών, όταν τα καρτέ διαιρούνται σε μεγαλύτερες περιοχές.



Frame 1



Frame 2



Residual

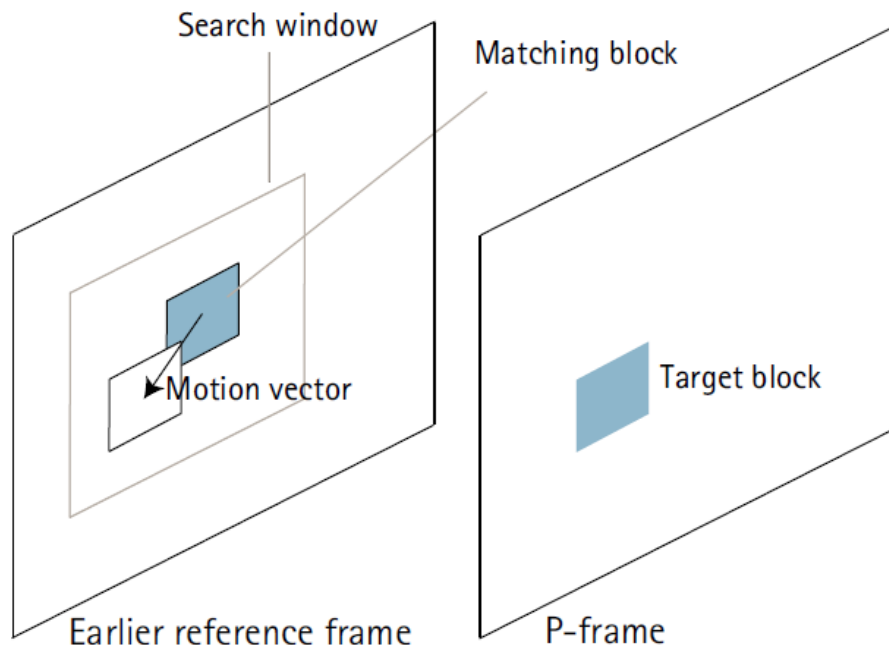
Σχήμα 4-19: Απεικόνιση της διαφοράς μεταξύ 2 καρέ

Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η διαφοροποιημένη κωδικοποίηση, που βασίζεται στη διαφορά μεταξύ ενός καρέ και του επόμενου, δεν θα μειώσει σημαντικά τα δεδομένα εάν υπάρχει μεγάλη κίνηση στο βίντεο ή με άλλα λόγια αν η διαφορά μεταξύ καρέ είναι πολύ μεγάλη.

Για αυτές τις περιπτώσεις, υπάρχουν τεχνικές αντιστάθμισης κίνησης βασισμένες σε blocks (Σχήμα 4-20), οι οποίες λαμβάνουν υπόψη ότι ένα μεγάλο μέρος ενός νέου καρέ περιλαμβάνεται ήδη στο προηγούμενο καρέ, αν και ίσως σε διαφορετική θέση.

Αυτή η τεχνική χωρίζει ένα καρέ σε μια σειρά από macroblocks, έτσι ώστε να μπορεί να συνθέσει ή να «προβλέψει» ένα νέο καρέ μπλοκ ανά μπλοκ, αναζητώντας ένα μπλοκ που ταιριάζει με ένα καρέ αναφοράς. Αν βρεθεί μια αντιστοίχιση, ο κωδικοποιητής απλά κωδικοποιεί τη θέση στην οποία βρέθηκε το μπλοκ που αντιστοιχεί στο καρέ αναφοράς.

Η κωδικοποίηση του διανύσματος κίνησης (motion vector), όπως ονομάζεται, απαιτεί λιγότερα bits από ότι θα έπρεπε να κωδικοποιηθεί το πραγματικό περιεχόμενο ενός μπλοκ.



Σχήμα 4-20: Αντιστάθμιση κίνησης

Με το H.264, άρχισε να εφαρμόζεται ένα προηγμένο σύστημα εσωτερικής πρόβλεψης για την κωδικοποίηση καρέ I. Αυτό το σχήμα επιτυγχάνει να μειώσει σημαντικά το μέγεθος σε bits ενός καρέ I, διατηρώντας υψηλή ποιότητα και διευκολύνοντας την διαδοχική πρόβλεψη μικρότερων μπλοκ εικονοστοιχείων μέσα σε ένα macroblock. Αυτή η τεχνική πραγματοποιείται με την αναζήτηση των αντίστοιχων εικονοστοιχείων μεταξύ των προηγούμενων κωδικοποιημένων εικονοστοιχείων που περιβάλλουν ένα νέο μπλοκ 4x4 εικονοστοιχείων που θα κωδικοποιούνται εσωτερικά. Έτσι, μέσω της επαναχρησιμοποίησης των τιμών των εικονοστοιχείων που έχουν ήδη κωδικοποιηθεί, είναι δυνατό να μειωθεί σημαντικά το μέγεθος σε bits.

Αυτή η τεχνολογία της εσωτερικής πρόβλεψης αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό του H.264, του οποίου η εφαρμογή έχει αποδειχθεί πολύ αποτελεσματική.

Το πρότυπο H.264 βελτιώνει επίσης την αντιστάθμιση κίνησης βάσει μπλοκ, που χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση καρέ P και B, σε σύγκριση με τον προκάτοχό του.

Ένας κωδικοποιητής μπορεί να επιλέξει μεταξύ της αναζήτησης μπλοκ που ταιριάζουν, με ακρίβεια μικρότερη από ένα εικονοστοιχείο, σε μερικές ή πολλές περιοχές ενός ή περισσότερων καρέ αναφοράς. Το μέγεθος και το σχήμα του μπλοκ είναι επίσης μια ρυθμιζόμενη παράμετρος, η επιλογή της οποίας αποτελεί σημείο βελτίωσης για τις αντιστοιχίσεις που βρέθηκαν. Σε περιοχές όπου δεν εντοπίζονται μπλοκ αντιστοίχισης, χρησιμοποιούνται εσωτερικά κωδικοποιημένα macroblocks.

Η αντιστάθμιση κίνησης είναι η πιο απαιτητική πτυχή ενός κωδικοποιητή βίντεο και οι διάφορες μορφές και βαθμοί εφαρμογής επηρεάζουν άμεσα την αποτελεσματικότητα συμπίεσης του βίντεο και τη διάρκεια του.

Με το H.264, τα «πιξελιάσματα», τα οποία εμφανίζονται σε υψηλά συμπιεσμένα βίντεο λόγω της χρήσης προτύπων Motion JPEG και MPEG αντί του H.264, μπορούν να μειωθούν χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο αποτμημάτωσης (deblocking filter). Αυτό το φίλτρο εξομαλύνει τις άκρες του μπλοκ χρησιμοποιώντας μια προσαρμοστική δύναμη για να προσφέρει ένα σχεδόν τέλειο αποσυμπιεσμένο βίντεο (Σχήμα 4-21).



Σχήμα 4-21: Επίδραση του φίλτρου αποτμημάτωσης στην αποκωδικοποίηση

4.5.2. H.265 (HEVC)



Σχήμα 4-22: Λογότυπό του H.265

Είναι αλήθεια ότι σήμερα οι πάροχοι υπηρεσιών χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο το πρότυπο H.264. Παρ' όλα αυτά, οι τάσεις στην κατανάλωση βίντεο επισημαίνουν την ανάγκη να χρησιμοποιηθούν νέα, αποδοτικότερα πρότυπα, κυρίως για δύο λόγους:

- Αύξηση των αναλύσεων ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερος ρεαλισμός, από Full HD (1080p) σε 4K (με 2160p, 3840p για Ultra HD ή 4096p για Native 4K).
- Η αύξηση της κατανάλωσης βίντεο σε κινητές συσκευές.

Ο πρώτος, δεδομένων των προηγούμενων υλοποιήσεων των αλγορίθμων συμπίεσης, συνεπάγεται με μια γραμμική αύξηση του ρυθμού μεταφοράς, συμβιβάζοντας το μέγεθος του δικτύου των τηλεπικοινωνιακών παρόχων. Ενώ ο δεύτερος, απαιτεί μια δραστική μείωση της ποιότητας βίντεο, έτσι ώστε ο ρυθμός μεταφοράς να

προσαρμόζεται στο εύρος ζώνης ώστε να είναι ικανές αυτές οι συσκευές να το διαχειριστούν.

Το πρότυπο H.265 (High Efficiency Video Coding - HEVC) (Σχήμα 4-22) είναι ο διάδοχος του H.264 και έχει αναπτυχθεί υπό την αιγίδα των οργανισμών ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG) και ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG). Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, το κύριο καθήκον του είναι η βελτίωση της αποτελεσματικότητας σε σχέση με τον κωδικοποιητή H.264, ο οποίος μπορεί να είναι κατά 50% πιο αποτελεσματικός και να υποστηρίζει αναλύσεις έως και 8K (8192 x 4320).

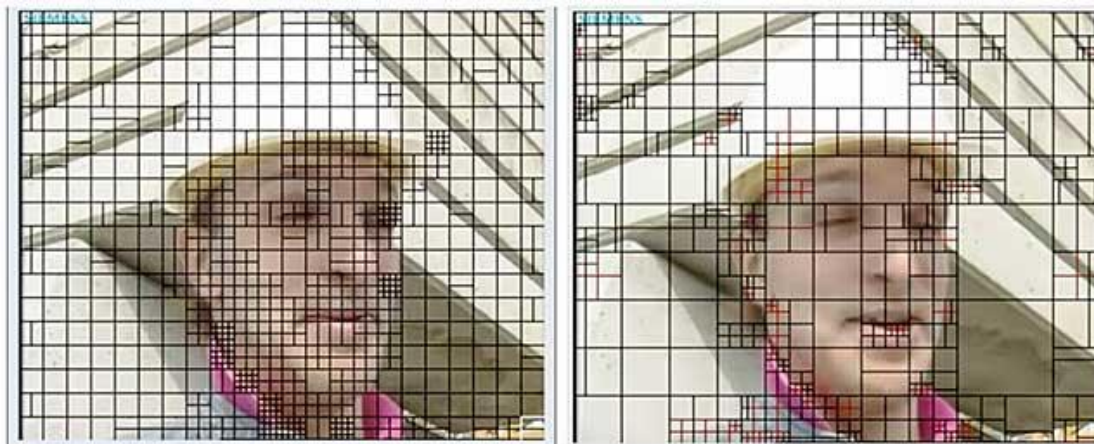
Οι ερευνητικές εργασίες για την αναζήτηση ενός διαδόχου του H.264 άρχισαν με ξεχωριστούς τρόπους, η ITU-T άρχισε να εργάζεται σε αυτή τη γραμμή το 2004, ενώ η ISO/IEC ξεκίνησε τις εργασίες της το 2007. Η εργασία πάνω στο πρότυπο ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2010 μετά από μια πρόσκληση για προτάσεις που ανακοινώθηκε απ' τους παραπάνω οργανισμούς, οι οποίοι είχαν ήδη διενεργήσει μελέτη σκοπιμότητας για ένα πρότυπο που θα μπορούσε να δώσει μεγάλο κέρδος συμπίεσης σε σχέση με τα ήδη υπάρχοντα. Η προτυποποίηση ολοκληρώθηκε τον Ιανουάριο του 2013 στην πρώτη του έκδοση, και συνεχίζεται ακόμη και σήμερα.

Ομοίως με τους προκατόχους του, MPEG-2 και H.264, το H.265 χρησιμοποιεί τρεις τύπους καρτέ I, B και P, μέσα σε μια ομάδα καρτέ που ενσωματώνουν στοιχεία συμπίεσης καρτέ ανά καρτέ.

Οι κύριες βελτιώσεις του H.265 σε σχέση με τα προγενέστερα πρότυπα, είναι οι εξής:

- Μπλοκ δέντρου κωδικοποίησης (Coding Tree Blocks), όπου το H.264 χρησιμοποιεί macroblocks με μέγιστο μέγεθος 16x16 εικονοστοιχείων, το H.265 εισάγει μια νέα έννοια, τα μπλοκ δέντρου, για τα οποία το μέγιστο μέγεθος αυξήθηκε στα 64x64 εικονοστοιχεία. Τα μεγάλα μπλοκ είναι πιο αποτελεσματικά όταν κωδικοποιούνται μεγάλα καρτέ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-23.
- Ο αριθμός των τρόπων ενδο-εικονικής κωδικοποίησης (intra-prediction) αυξάνεται: Ενώ το H.264 παρέχει μόνο 9 τρόπους ενδο-εικονικής κωδικοποίησης, το H.265 αυξάνει αυτόν τον αριθμό σε και 35, προσθέτοντας περισσότερες πιθανές αναφορές στις μπλοκ εικονοστοιχείων, και επομένως, αυξάνοντας σημαντικά την αποτελεσματικότητα της κωδικοποίησης ενός καρτέ I, αν και συνεπώς αυξάνεται ο χρόνος επεξεργασίας που απαιτείται για την αναζήτηση μοτίβων επανάληψης μπλοκ στις πρόσθετες διευθύνσεις.
- Προηγμένη πρόβλεψη διανύσματος κίνησης (advanced motion vector prediction - AMVP), η οποία επιτρέπει στον κωδικοποιητή να βρει περισσότερο πλεονασμό μεταξύ των καρτέ.
- Βελτιώσεις στα εργαλεία παραλληλισμού, όπως, για παράδειγμα, η παράλληλη επεξεργασία μετώπου κύματος (Wavefront Parallel Processing - WPP), που σημαίνει πιο αποτελεσματική κωδικοποίηση σε περιβάλλοντα πολλαπλών πυρήνων.
- Βελτιώσεις στο φίλτρο αποτμημάτωσης (deblocking filter) και συμπερίληψη ενός δεύτερου φίλτρου, το οποίο ονομάζεται «δειγματικά προσαρμοζόμενη

μετατόπιση» (Sample Adaptive Offset - SAO), σκοπός του οποίου είναι ο περιορισμός του αριθμού των αντικειμένων στις άκρες κάθε μπλοκ.



H.264

H.265

Σχήμα 4-23: Διαφορές μπλοκ δέντρου κωδικοποίησης H.264 και H.265

Αρκετές μελέτες¹⁶ επικεντρώθηκαν στο πόσο αποτελεσματική είναι αυτή η κωδικοποίηση, τόσο με πρακτικό όσο και με υποκειμενικό τρόπο. Η ακόλουθη εικόνα παρουσιάζει περιληπτικά την αποτελεσματικότητα των διαφορετικών κωδικοποιήσεων που εφαρμόζονται σε βίντεο (Σχήμα 4-24):

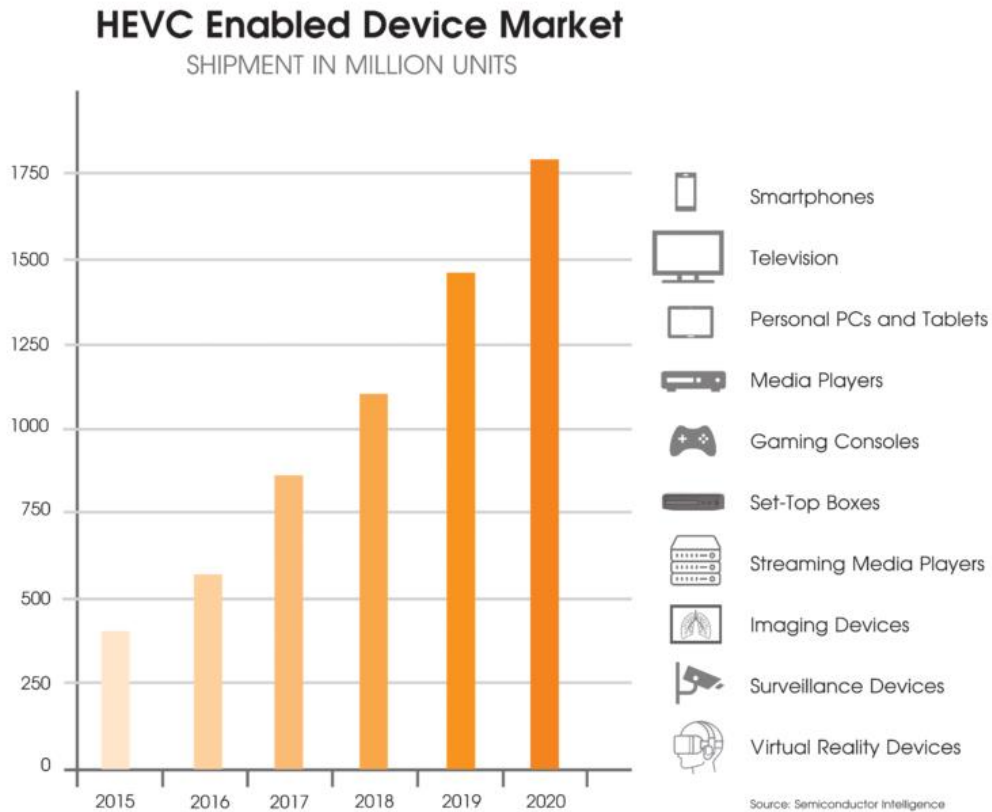
Encoding	Bit-Rate Savings Relative to			
	H.264/MPEG-4 AVC HP	H.263 CHC	MPEG-4 ASP	MPEG-2 H.262 MP
HEVC MP	40.3%	67.9%	72.3%	80.1%
H.264/MPEG-4 AVC HP	–	46.8%	54.1%	67.0%
H.263 CHC	–	–	13.2%	37.4%
MPEG-4 ASP	–	–	–	27.8%

Σχήμα 4-24: Σύγκριση απόδοσης H.265 με H.264, H.263 και H.262

Όπως φαίνεται στον πίνακα, η εξοικονόμηση του ρυθμού μεταφοράς είναι πολύ σημαντική, ωστόσο, συνεπάγεται μεγαλύτερος βαθμός υπολογιστικής πολυπλοκότητας τόσο από την πλευρά του κωδικοποιητή όσο και από τη συσκευή του τελικού χρήστη που πρέπει να αποκωδικοποιήσουν το περιεχόμενο.

Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η υιοθέτηση αυτού του νέου κωδικοποιητή είναι βαθμιαία με την πάροδο του χρόνου, όπως βλέπουμε στο Σχήμα 4-25.

¹⁶ J. Ohm, G. J. Sullivan, H. Schwarz, T. K. Tan and T. Wiegand, "Comparison of the Coding Efficiency of Video Coding Standards—Including High Efficiency Video Coding (HEVC)," in IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 22, no. 12, pp. 1669-1684, Dec. 2012, doi: 10.1109/TCSVT.2012.2221192.



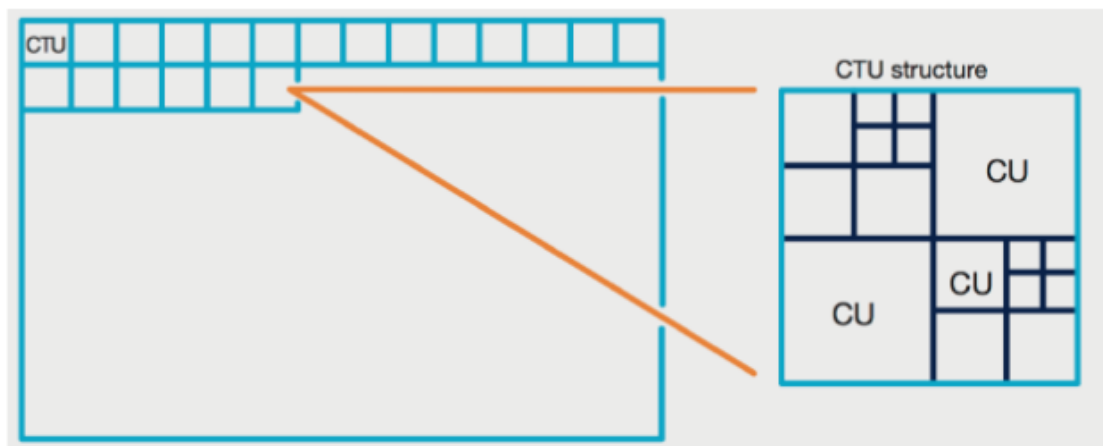
Σχήμα 4-25: Εξέλιξη συσκευών συμβατών με H.265

Όσον αφορά τους τομείς εφαρμογής αυτού του νέου προτύπου, ένας από τους κύριους είναι η υποστήριξη για βίντεο υψηλής ανάλυσης (HD και UHD), τα οποία, λόγω της φύσης τους, λόγω των μεγάλων καρέ και των υψηλών ρυθμών καρέ, απαιτούν πολύ υψηλότερο βαθμό αποτελεσματικότητας.

Επιπλέον, με τη συμπερίληψη τεχνολογιών πολλαπλών πυρήνων στους επεξεργαστές των συσκευών, από smartphones και tablets έως Smart TVs, οι οποίες επιτρέπουν την αύξηση της υπολογιστικής ικανότητας, είναι δυνατόν να επωφεληθούν από αυτούς τους πόρους παράλληλης επεξεργασίας για την αποκωδικοποίηση βίντεο με αποτελεσματικότερο τρόπο.

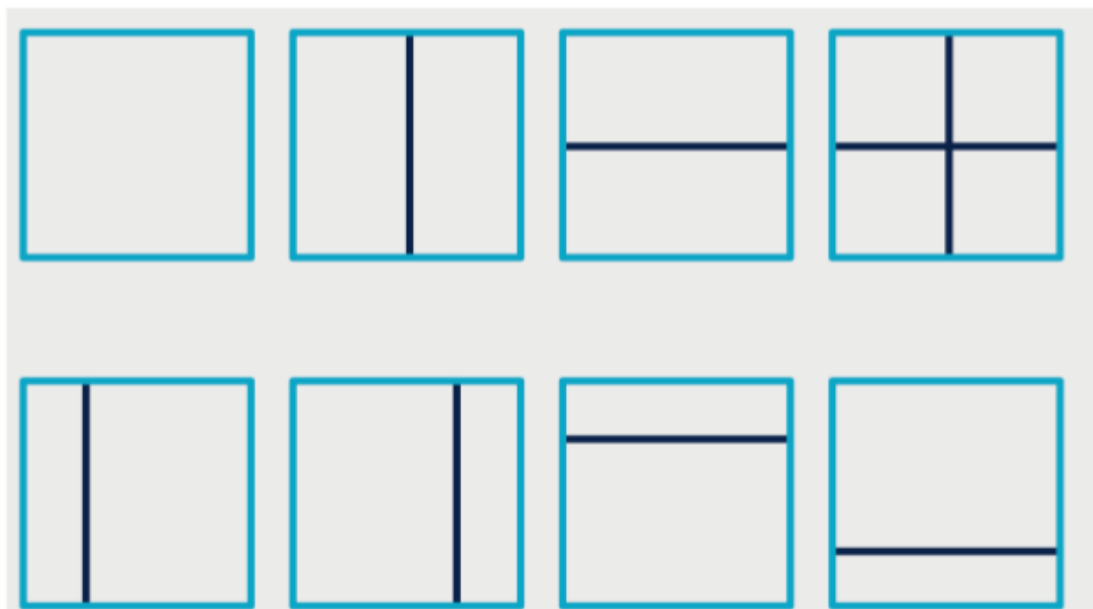
Όπως και στα πρότυπα που προηγούνται, το H.265 βασίζεται στην κατάτμηση καρέ σε μπλοκ, με μια συγκεκριμένη δομή όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα οποία κωδικοποιούνται ξεχωριστά εφαρμόζοντας πρόβλεψη γειτονικών μπλοκ τόσο στο ίδιο καρέ όσο και σε γειτονικά καρέ.

Για να διασφαλιστεί η μέγιστη αποτελεσματικότητα της συμπίεσης, έχει τροποποιηθεί σημαντικά η κωδικοποίηση εικόνων κατά μπλοκ, διαιρώντας την εικόνα σε μονάδες κωδικοποίησης δέντρου (Coding Tree Units - CTU), μέγιστου μεγέθους 64 εικονοστοιχείων, οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να χωριστούν σε μεμονωμένες μονάδες κωδικοποίησης (Coding Units - CU) (Σχήμα 4-26).



Σχήμα 4-26: Δομή CTU-CU

Επιπλέον, κάθε μονάδα κωδικοποίησης (CU) μπορεί να περιέχει μία ή περισσότερες υποδιαίρεσεις πρόβλεψης κίνησης, όπου μια μονάδα κωδικοποίησης μπορεί να χωριστεί σε άνισες μονάδες ύψους και πλάτους (Σχήμα 4-27).



Σχήμα 4-27: Παραδείγματα υποδιαίρεσεων μιας CU

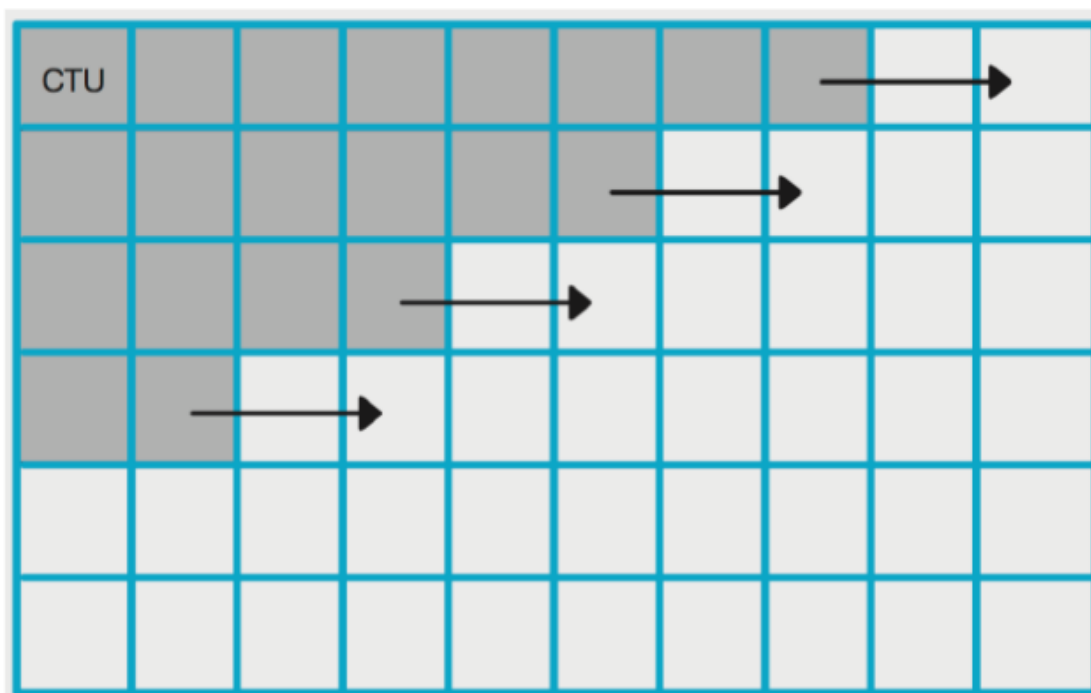
Το μέγεθος των μπλοκ πρόβλεψης μπορεί να ποικίλει από 4x4 έως 64x64, όπου μεγάλα μπλοκ πρόβλεψης είναι αποτελεσματικά για την κωδικοποίηση των κανονικών περιοχών της εικόνας, ενώ τα μικρά μπλοκ είναι ιδανικά για εκείνες τις περιοχές που περιέχουν περισσότερες λεπτομέρειες ή περισσότερες παραλλαγές στην εικόνα.

Στο H.265 υπάρχει μόνο μια μέθοδος κωδικοποίησης εντροπίας, η CABAC (Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding), βελτιστοποιημένη για τις τρέχουσες δυνατότητες παράλληλης επεξεργασίας.

Επιπλέον, συμπεριλαμβάνονται δύο φίλτρα, αυτό της αποτμημάτωσης (deblocking) και αυτό της δειγματικά προσαρμοζόμενης μετατόπισης (SAO), τα οποία επιτρέπουν

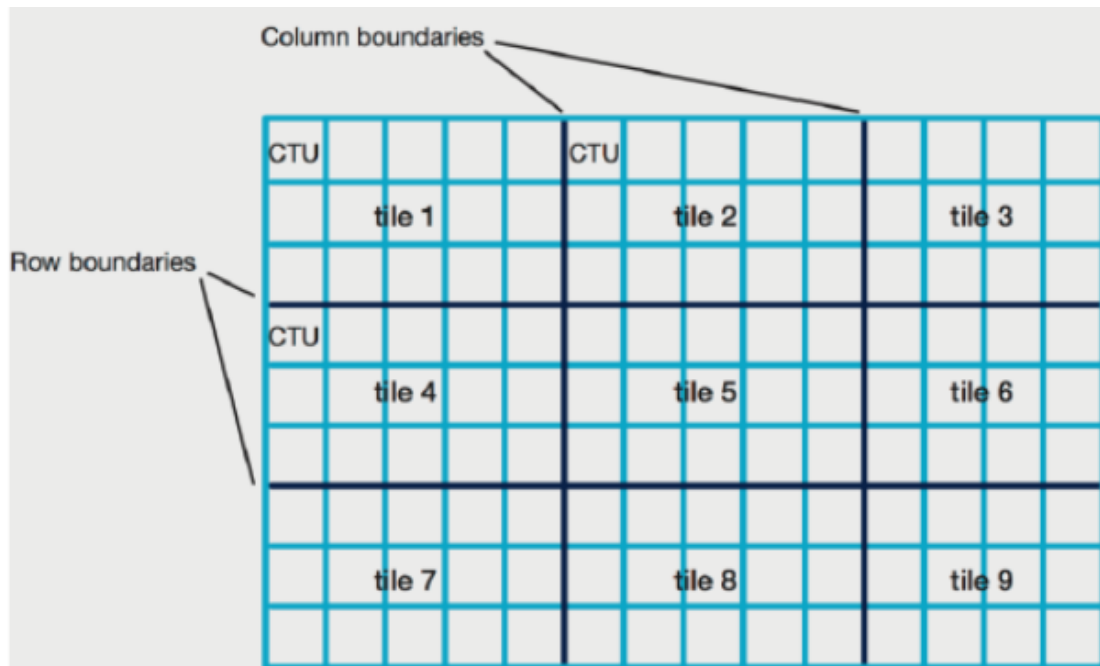
να αυξηθεί σημαντικά η υποκειμενική ποιότητα των εικόνων αυξάνοντας ταυτόχρονα την αποτελεσματικότητα της συμπίεσης.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το H.265 δίνει μεγάλη έμφαση στην παράλληλη επεξεργασία, μεγιστοποιώντας τη χρήση των πολλαπλών πυρήνων επεξεργαστών και αυξάνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα των χρόνων κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης. Για παράδειγμα, η παράλληλη επεξεργασία μετώπου κύματος (Wavefront Parallel Processing - WPP) επιτρέπει την επαναφορά της κωδικοποίησης CABAC στην αρχή κάθε γραμμής CTU για να διευκολυνθεί η προσαρμογή στο περιεχόμενο του καρέ βίντεο και επιτρέπει την έναρξη της αποκωδικοποίησης μιας σειράς πριν τελειώσει η αποκωδικοποίηση της προηγούμενης σειράς, έτσι ώστε αρκετές γραμμές να μπορούν να αποκωδικοποιούνται παράλληλα σε διαφορετικά νήματα (threads) με καθυστέρηση δύο CTU (Σχήμα 4-28).



Σχήμα 4-28: Παράλληλη επεξεργασία των CTUs

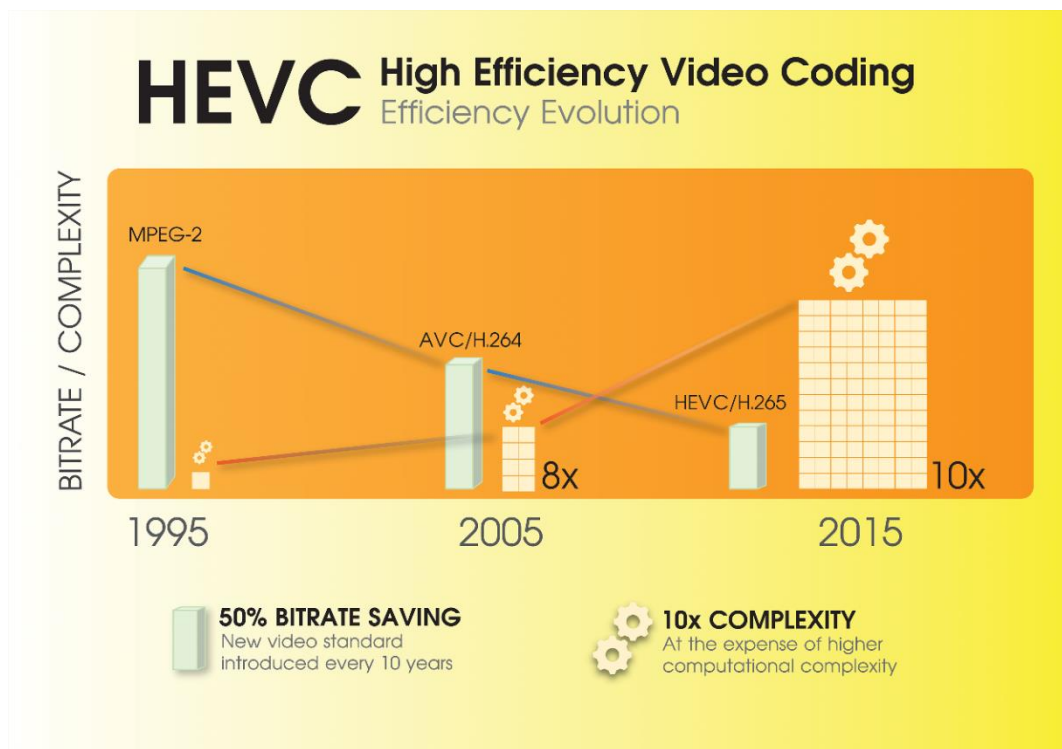
Ως μέρος των νέων δυνατοτήτων που περιλαμβάνει το H.265, υπάρχει ο λεγόμενος διαμερισμός σε πλακίδια (tiles) που επιτρέπει στην εικόνα να χωρίζεται σε ορθογώνια πλακίδια με κύριο στόχο την αύξηση της ικανότητας για παράλληλη επεξεργασία (Σχήμα 4-29). Τα πλακίδια είναι αυτόνομα αποκωδικοποιήσιμες περιοχές, που κωδικοποιούνται ωστόσο με κάποιες κοινές πληροφορίες κεφαλίδας. Τυπικά, διαμορφώνονται έτσι ώστε κάθε πλακίδιο να έχει κατά προσέγγιση τον ίδιο αριθμό CTUs.



Σχήμα 4-29: Διαίρεση σε πλακίδια για παράλληλη επεξεργασία

Η άμεση συνέπεια όλων αυτών των νέων δυνατοτήτων στην κωδικοποίηση H.265, είναι η σημαντική αύξηση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας και, κατ' επέκταση, την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος που είναι απαραίτητη για την υλοποίησή της.

Σε σύγκριση με το H.264, το H.265 είναι 10 φορές πιο περίπλοκο που σημαίνει ότι θα χρησιμοποιηθεί δεκαπλάσια υπολογιστική ισχύς σε για να υλοποιηθεί (Σχήμα 4-30).



Σχήμα 4-30: Σύγκριση ρυθμού μετάδοσης και υπολογιστικής ισχύος του H.265 με προγενέστερα πρότυπα

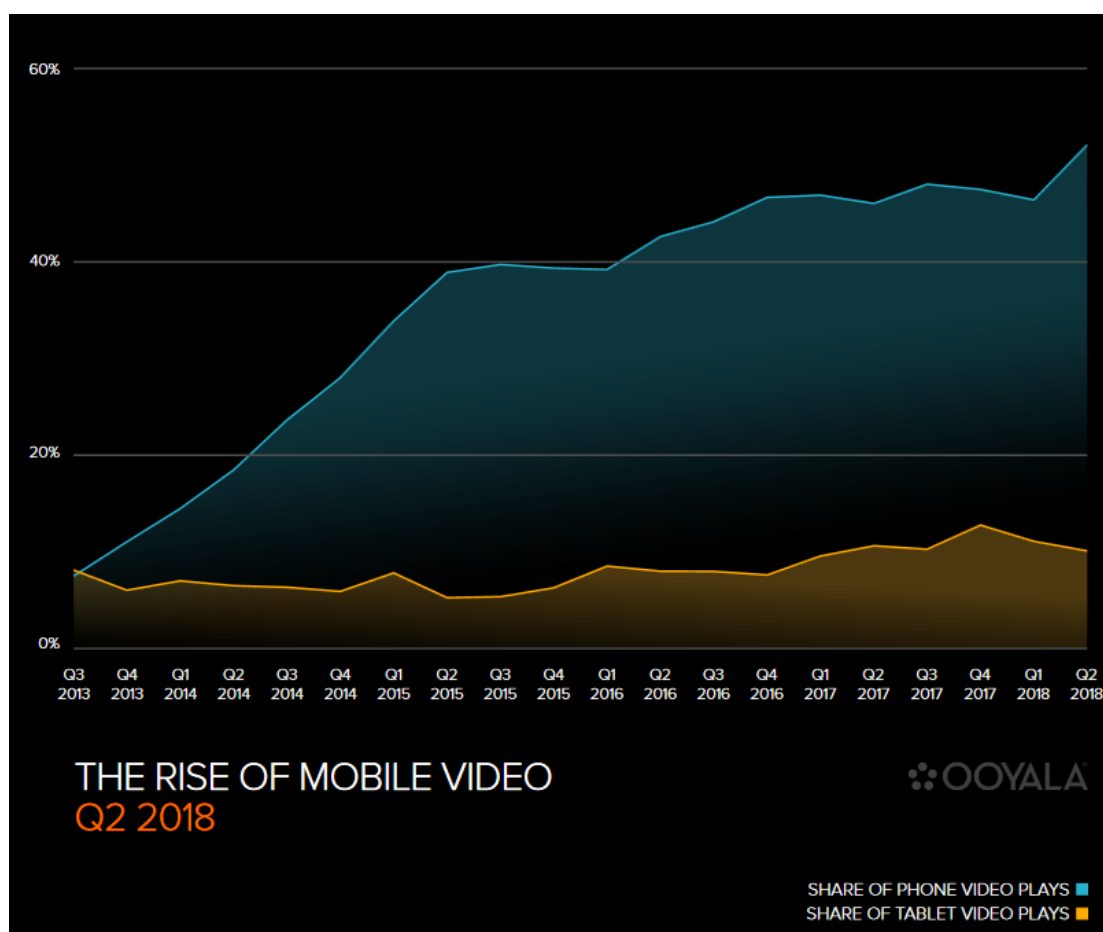
5. Μελλοντικές τάσεις - εξελίξεις

Το παρόν κεφάλαιο παρέχει μια επισκόπηση των βασικών τάσεων και εξελίξεων όσον αφορά την υπηρεσία OTT TV και τις υποδομές που είναι απαραίτητες για την παροχή της υπηρεσίας.

5.1. Εξέλιξη υπηρεσιών

5.1.1. Υπηρεσίες οπουδήποτε και οποτεδήποτε (TV Everywhere)

Με την ανάπτυξη και διαθεσιμότητα των ευρυζωνικών δικτύων, των δικτύων κινητής και παράλληλα με την ανάπτυξη της υπολογιστικής ισχύος των συνδεδεμένων συσκευών, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες VOD και Live TV οπουδήποτε και οποτεδήποτε.



Σχήμα 5-1: Μερίδιο χρόνου αναπαραγωγής βίντεο σε κινητά και tablets

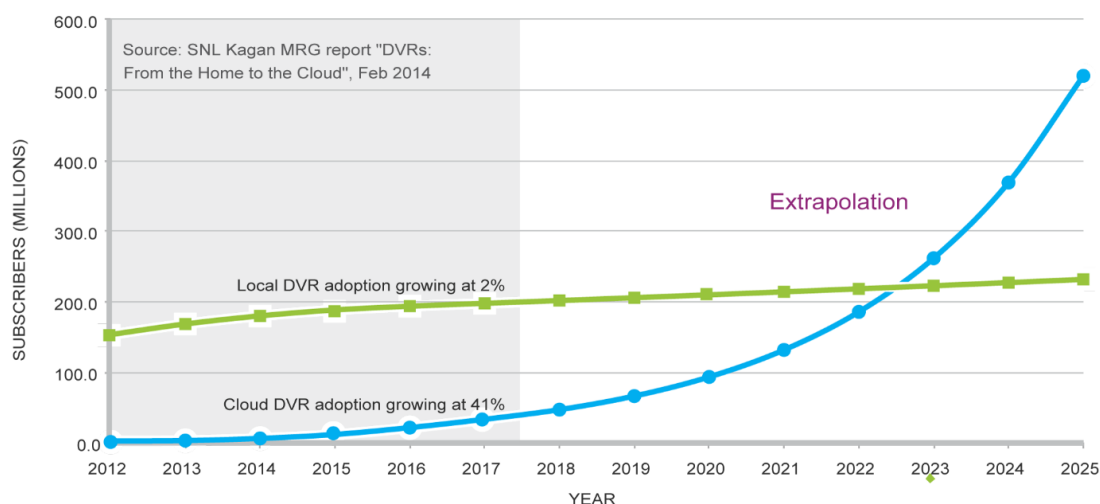
Η τάση της χρήσης υπηρεσιών βίντεο οπουδήποτε και οποτεδήποτε αντανακλάται στη λήψη βίντεο ή στη συνεχή ροή (streaming) από τους χρήστες σε συνδεδεμένες συσκευές. Το Σχήμα 5-1 δείχνει, από όλα τα βίντεο που έχουν αναπαραχθεί σε συνδεδεμένες συσκευές (π.χ. προσωπικοί υπολογιστές, smartphones, tablets και συνδεδεμένες τηλεοράσεις), το μερίδιο του χρόνου που έχουν αναπαραχθεί σε

κινητά και tablets. Το μερίδιο του χρόνου που καταλαμβάνουν τα κινητά τηλέφωνα αυξήθηκε σταθερά σε μια πενταετία (Ιούλιος 2013-Ιούνιος 2018).

5.1.2. Ψηφιακή εγγραφή βίντεο στο νέφος (Cloud DVR)

Η παραδοσιακή υπηρεσία ψηφιακής εγγραφής βίντεο (DVR) επιτρέπει στον χρήστη να εγγράψει οποιοδήποτε τηλεοπτικό πρόγραμμα στο Set-top box (STB) που βρίσκεται στο σπίτι. Η προβολή του προγράμματος όμως περιορίζεται στο χώρο όπου βρίσκεται το STB. Δύο ακόμα περιορισμοί που υπάρχουν είναι ο αριθμός ταυτόχρονων εγγραφών και η ποσότητα του αποθηκευτικού χώρου.

Η ψηφιακή εγγραφή βίντεο στο νέφος (cloud DVR - cDVR ή αλλιώς network DVR - nDVR) αντιπροσωπεύει μια πραγματική μετατόπιση προτύπου. Υπάρχει η δυνατότητα να υλοποιηθεί υπηρεσία DVR χωρίς να χρειάζεται να χρειάζεται η ύπαρξη συστημάτων αποθήκευσης στο σπίτι του χρήστη. Με τη μετακίνηση της εγγραφής περιεχομένου στο κέντρο διαχείρισης δικτύου του παρόχου της υπηρεσίας, ή ακόμη και σε ένα δημόσιο cloud, μπορεί να υπάρξει μια υπηρεσία DVR όπου ο χρήστης θα μπορεί να κάνει εγγραφή περιεχομένου και να το παρακολουθεί σε όποιο μέρος κι αν βρίσκεται. Ωστόσο, υπάρχουν πολυπλοκότητες στη σχετική τεχνολογία, καθώς και σημαντικά νομικά εμπόδια που πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά την υλοποίηση μιας υπηρεσίας DVR βασισμένης στο cloud. Αυτό έχει προκαλέσει έναν αργό, αλλά σκόπιμο ρυθμό υιοθεσίας (Σχήμα 5-2).



Σχήμα 5-2: Σύγκριση και πρόβλεψη αριθμού συνδρομητών που υιοθετούν παραδοσιακό DVR (πράσινο) έναντι αυτών που υιοθετούν Cloud DVR (γαλάζιο)

5.2. Από Broadcast TV σε OTT TV

Αρχικά, τα τηλεοπτικά δίκτυα προσέθεσαν την OTT TV πλάι στις κλασικές υπηρεσίες εκπομπής ως μέσο για να φτάσουν σε ευρύτερο κοινό. Σήμερα υπάρχει το ερώτημα αν η OTT TV μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως τις παραδοσιακές υποδομές των τηλεοπτικών δικτύων.

Η εν λόγω υποδομή βασίζεται σε σήματα εκπομπής (broadcast), τα οποία μεταφέρονται απευθείας στις συσκευές των θεατών (τηλεοράσεις, STBs), με εγγυημένη QoS και σαφώς καθορισμένες υπηρεσίες. Αυτό αλλάζει δραματικά κατά τη μετάβαση στην OTT TV, η οποία είναι unicast.

Δεδομένου ότι οι τεχνολογίες της OTT TV καθίστανται κυρίαρχες, η κοινή αίσθηση είναι ότι τα τηλεοπτικά δίκτυα θα μπορούσαν να τις χρησιμοποιήσουν όχι μόνο ως συμπλήρωμα στην βασική υπηρεσία εκπομπής τους, αλλά στο εγγύς μέλλον ως ο αντικαταστάτης τους. Σε μια μελέτη το Μάρτιο του 2017¹⁷, φάνηκε ότι το 70% των ερωτηθέντων πιστεύει ότι σε 15 χρόνια, το σύνολο ή η συντριπτική πλειοψηφία του βίντεο θα παραδίδεται μέσω IP αντί της παραδοσιακής καλωδιακής, επίγειας ή δορυφορικής μετάδοσης.

5.3. UHD ανάλυση

Η εφαρμογή του μορφότυπου υψηλής ευκρίνειας (HD) είναι προς το παρόν το πρότυπο του κλάδου. Για τις μελλοντικές εξελίξεις, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η υιοθέτηση της υπερ-υψηλής ευκρίνειας (UHD)· UHDTV 1 και 2. Ο Πίνακας 5-1 παρέχει μια επισκόπηση των διαφορετικών μορφότυπων εικόνας.

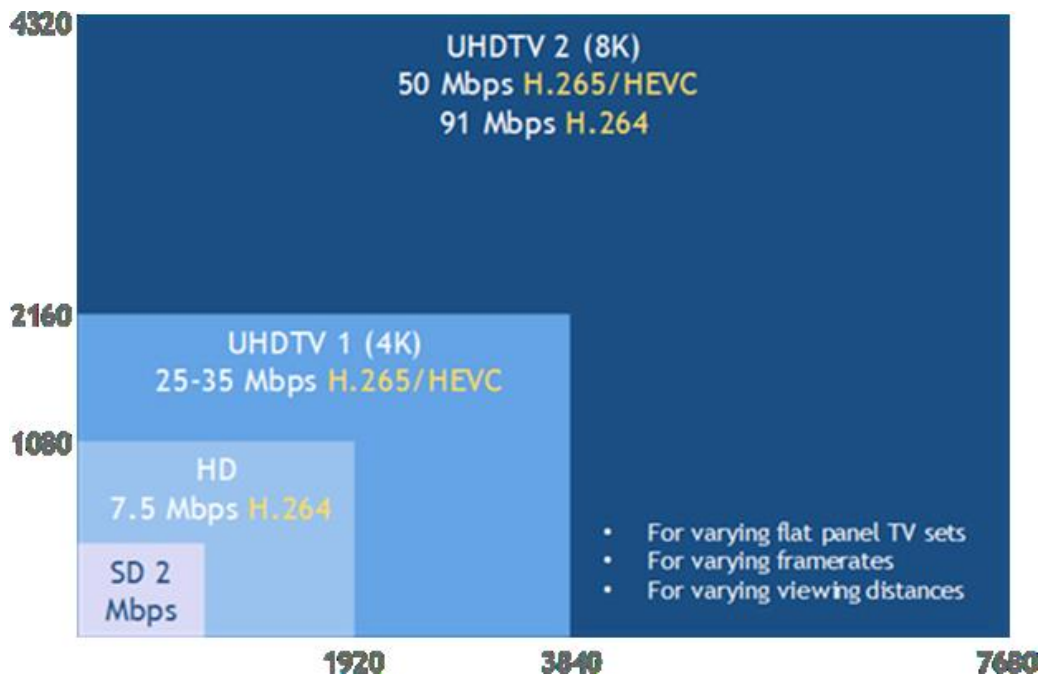
Μορφότυπο	Εναλλακτική ονομασία	Αναλογία εικόνας	Ανάλυση εικόνας (megapixels)
HDTV	2K	1920 x 1080	~ 2
UHDTV1	4K	3840 x 2160	~ 8
UHDTV2	8K	7689 x 4320	~ 32

Πίνακας 5-1: Σύγκριση μορφότυπων εικόνας

Η τεχνολογική πρόκληση για την παροχή υπηρεσιών UHD είναι η αύξηση της ικανότητας μετάδοσης και της αποτελεσματικότητας της κωδικοποίησης βίντεο.

Το Σχήμα 5-3 δείχνει την αναλογία εικόνας και το απαιτούμενο εύρος ζώνης για βίντεο SD, HD και UHD με την εφαρμογή των προτύπων H.264 (AVC) και H.265 (HEVC).

¹⁷ Digital TV Europe webinar «Is ABR ready for the IP switchover?» Sponsored by Nokia. March 30, 2017, <https://www.digitaltveurope.com/intelligence/next-generation-tv-is-abr-ready-for-the-ip-switchover>



Σχήμα 5-3: Αναλογίες και απαιτήσεις ρυθμού μετάδοσης εικόνας

Από το Σχήμα 5-3 μπορεί να παρατηρηθεί ότι η απαιτούμενη ικανότητα μεταφοράς είναι υψηλή για βίντεο UHDTV, ακόμη και με την αποτελεσματικότερη τεχνολογία κωδικοποίησης που είναι διαθέσιμη σήμερα (H.265). Με τα τρέχοντα πρότυπα DVB 2ης γενιάς, στην περίπτωση του DVB-T2 μπορεί πρακτικά να επιτευχθεί καθαρός ρυθμός μετάδοσης bit περίπου 40 Mbit/s.

5.4. Νέο πρότυπο κωδικοποίησης βίντεο (H.266)



Σχήμα 5-4: Λογότυπό του H.266

Το H.266 (Versatile Video Coding - VVC, MPEG-I Part 3) (Σχήμα 5-4) είναι ένα πρότυπο κωδικοποίησης βίντεο που έχει αναπτυχθεί και οριστικοποιήθηκε στις 6 Ιουλίου 2020 από την Joint Video Experts Team (JVET), μια ενωμένη ομάδα εμπειρογνομόνων βίντεο της ομάδας εργασίας MPEG του ISO/IEC JTC 1 και της ομάδας εργασίας VCEG της ITU-T. Είναι ο διάδοχος του προτύπου H.265 (HEVC) και αναμένεται να υποστηρίξει αναλύσεις από 4K μέχρι 16K, καθώς και βίντεο 360°.

Σε σύγκριση με το H.265, το H.266 αναμένεται να μειώνει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως και 50%, σύμφωνα με το γερμανικό Ινστιτούτο Fraunhofer Heinrich Hertz (HHI)¹⁸. Έτσι, είναι δυνατή η αποτελεσματικότερη μετάδοση δεδομένων στο σταθερό δίκτυο και ειδικά στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, όπου η χωρητικότητα δεδομένων είναι περιορισμένη. Για παράδειγμα, ένα βίντεο UHD 90 λεπτών που

¹⁸ <https://www.broadbandtvnews.com/2019/09/03/wdr-and-fraunhofer-hhi-join-forces-for-vvc-h-266>

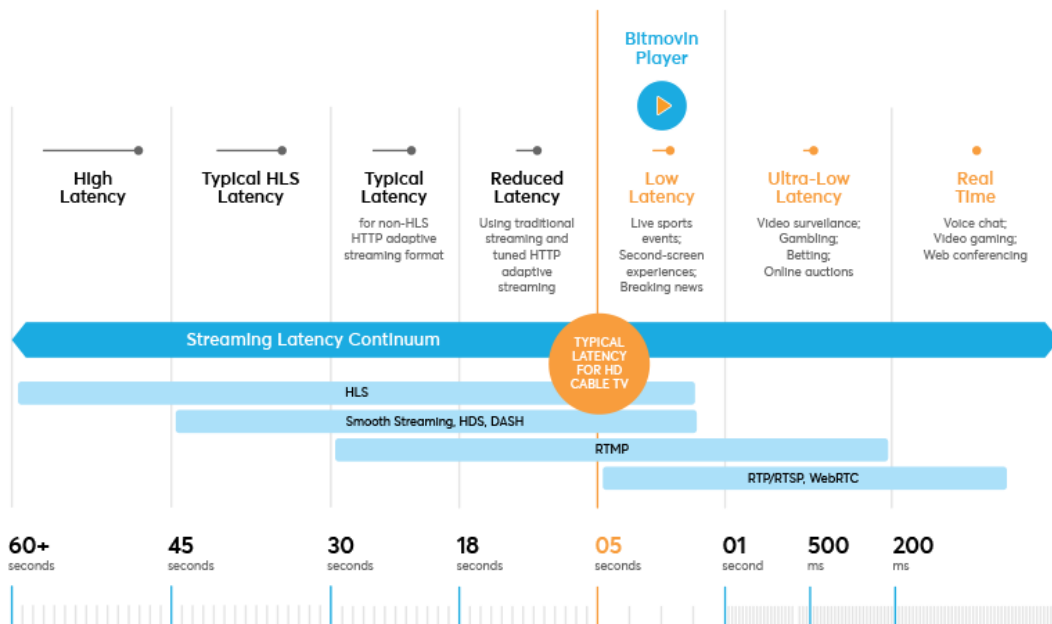
κωδικοποιείται με H.265 απαιτεί σήμερα περίπου 10 GB δεδομένων, ενώ με το H.266 θα είναι αρκετά περίπου 5 GB.

Κατά τη διάρκεια του 2022 αναμένεται να κυκλοφορήσουν τα πρώτα προϊόντα που θα βασίζονται στο νέο πρότυπο.

5.5. Χαμηλή καθυστέρηση (Low latency)

Η καθυστέρηση (latency) όπως επισημάνθηκε στην ενότητα 2.3.2. είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη στιγμή που ένας κόμβος στέλνει ένα μήνυμα μέχρι τη στιγμή που ο άλλος κόμβος το λαμβάνει.

Σε ένα live γεγονός, η καθυστέρηση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη για να εξασφαλιστεί καλή ποιότητα εμπειρίας (QoE). Η καθυστέρηση μετριέται συχνά σε ένα φάσμα, όπου η υψηλή καθυστέρηση είναι η λιγότερο περιζήτητη καθυστέρηση ενώ ο πραγματικός χρόνος (real-time) είναι η πιο περιζήτητη. Στο Σχήμα 5-5 συμπεριλαμβάνονται οι τύποι της καθυστέρησης, ο χρόνος καθυστέρησης και οι μορφές ροής.



Σχήμα 5-5: Φάσμα καθυστέρησης σε ροή βίντεο

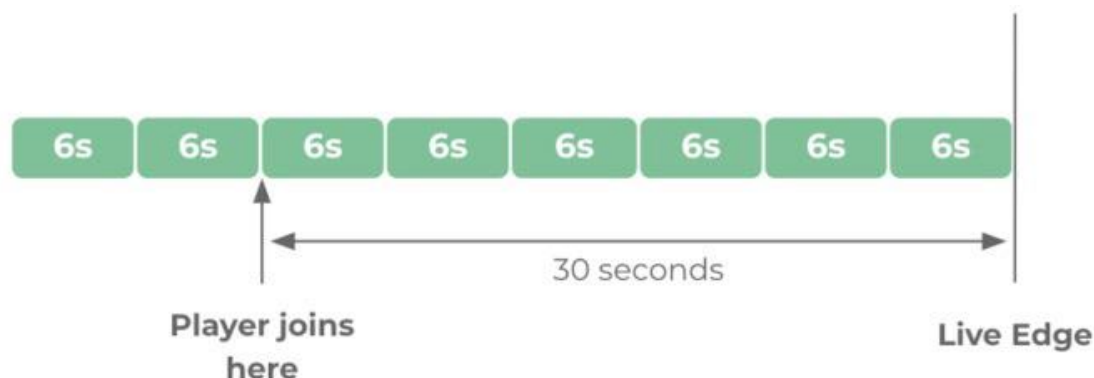
Το φάσμα καθυστέρησης δείχνει ότι η μη βελτιστοποιημένη διανομή OTT αντιστοιχεί σε καθυστέρηση περίπου 30+ δευτερολέπτων, ενώ η τυπική διανομή IPTV καθυστερεί περίπου 5 δευτερόλεπτα.

5.5.1. Αιτίες καθυστέρησης

Κάθε στοιχείο της αλυσίδας επεξεργασίας και παράδοσης πολυμέσων εισάγει ένα ορισμένο ποσό καθυστέρησης και τελικά συσσωρεύεται σε αυτό που θεωρείται ζωντανή καθυστέρηση (live latency).

Ας ρίξουμε μια ματιά στις κύριες αιτίες καθυστέρησης:

5.5.1.1. Buffering σε επίπεδο προγράμματος αναπαραγωγής



Σχήμα 5-6: Χρονοδιάγραμμα ζωντανής ροής

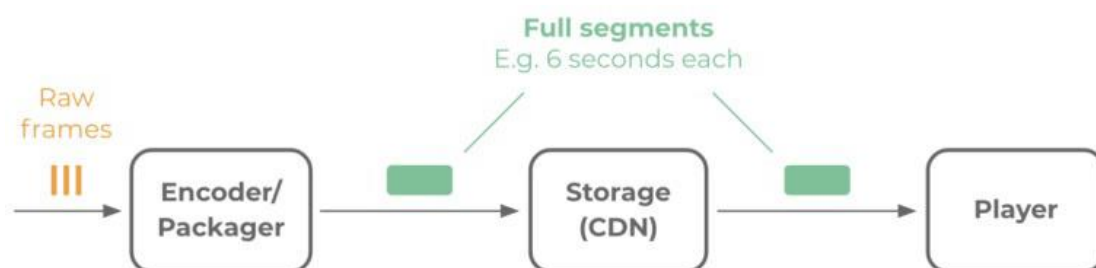
Ένα πρόγραμμα αναπαραγωγής βίντεο (video player) έχει ως στόχο να διατηρήσει μια προκαθορισμένη ποσότητα αποθηκευμένων δεδομένων (buffer) πριν από τη θέση αναπαραγωγής (playback). Η τυπική καθυστέρηση είναι περίπου 30 δευτερόλεπτα (Σχήμα 5-6). Ένας από τους λόγους πίσω από αυτό είναι η αιτία ότι εάν το εύρος ζώνης του δικτύου μειωθεί κατά την αναπαραγωγή θα εξακολουθούν να υπάρχουν 30 δευτερόλεπτα δεδομένων που θα αναπαράγονται χωρίς διακοπή. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου το πρόγραμμα αναπαραγωγής μπορεί να προσαρμοστεί σε νέες συνθήκες εύρους ζώνης κατάλληλα, επιτρέποντας έτσι στη συσκευή αναπαραγωγής να προσαρμοστεί.

Ωστόσο, όταν το πρόγραμμα αναπαραγωγής στοχεύει για 30 δευτερόλεπτα buffer με ζωντανή ροή, πρέπει να μείνει τουλάχιστον 30 δευτερόλεπτα πίσω από το ενεργό άκρο (το πραγματικό live περιεχόμενο) της ροής με τη θέση αναπαραγωγής της. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα καθυστέρηση 30 δευτερολέπτων. Αντιστρόφως, αυτό σημαίνει ότι η επιδίωξη μικρής καθυστέρησης θα απαιτούσε να είμαστε ακόμη πιο κοντά στο ενεργό άκρο που συνεπάγεται στην ύπαρξη ενός ελάχιστου buffer. Αν ο στόχος είναι καθυστέρηση 5 δευτερολέπτων, το πρόγραμμα αναπαραγωγής θα πρέπει να έχει μέγιστο buffer 5 δευτερόλεπτα.

5.5.1.2. Μεγάλα τμήματα

Οι ζωντανές ροές κωδικοποιούνται σε πραγματικό χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι αν η διάρκεια ενός τμήματος (segment) είναι 6 δευτερόλεπτα, ο κωδικοποιητής (encoder) θα χρειαστεί 6 δευτερόλεπτα για να παράγει ένα πλήρες τμήμα. Επιπλέον, εάν ως μορφότυπο δοχείου βίντεο (video container format) χρησιμοποιηθεί το

κατακερματισμένο MP4 (fragmented MP4 - fMP4), οι κωδικοποιητές μπορούν να καταγράψουν ένα τμήμα στο επιθυμητό αποθηκευτικό μέσο μόνο μετά την πλήρη κωδικοποίησή του, δηλαδή 6 δευτερόλεπτα μετά την έναρξη της κωδικοποίησης του τμήματος. Έτσι, μόλις ένα τμήμα μεταφερθεί στο αποθηκευτικό μέσο, το παλαιότερο πλαίσιο (frame) του τμήματος είναι ήδη κατά 6 δευτερόλεπτα ξεπερασμένο. Στην άλλη πλευρά της αλυσίδας διανομής (delivery chain), το πρόγραμμα αναπαραγωγής μπορεί να αποκωδικοποιήσει μόνο ένα τμήμα fMP4 στην ολότητά του και επομένως πρέπει να κάνει λήψη ολόκληρου του τμήματος προτού το επεξεργαστεί. Διαδικασίες όπως η αποστολή ενός βίντεο στον διακομιστή προέλευσης (origin) του CDN, η μεταφορά του περιεχομένου μέσα στο CDN και η λήψη από τον διακομιστή άκρου (edge) του CDN στον τελικό χρήστη (client) μπορεί να αυξήσει τη συνολική καθυστέρηση (Σχήμα 5-7).



Σχήμα 5-7: Ολόκληρα τμήματα 6 δευτερολέπτων στη ροή εργασίας

Συνοπτικά, το γεγονός ότι τα τμήματα υφίστανται επεξεργασία και μεταφέρονται στην ολότητά τους έχει ως αποτέλεσμα ο χρόνος καθυστέρησης να σχετίζεται άμεσα με τη διάρκεια του τμήματος.

5.5.2. Προσεγγίσεις επίλυσης

5.5.2.1. Αφελής προσέγγιση: Μικρά τμήματα

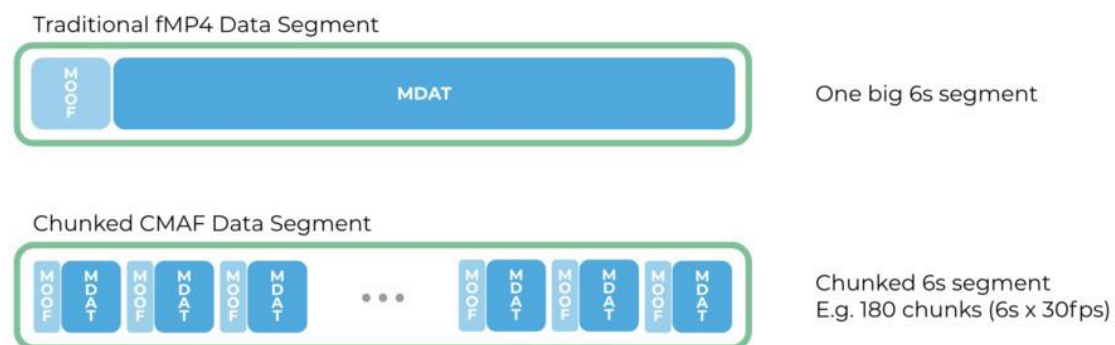
Καθώς η καθυστέρηση συσχετίζεται με τη διάρκεια του τμήματος, ένας απλός τρόπος για τη μείωση της καθυστέρησης θα ήταν να χρησιμοποιηθούν μικρά τμήματα, π.χ. διάρκειας 1 δευτερολέπτου. Ωστόσο, αυτό συνοδεύεται από ανεπιθύμητες παρενέργειες όπως:

- **Η αποδοτικότητα της κωδικοποίησης βίντεο υποβαθμίζεται:** Η απαίτηση για κάθε τμήμα βίντεο που αρχίζει με ένα βασικό πλαίσιο (key frame) σημαίνει ότι υπάρχουν μικρές ομάδες εικόνων (groups of pictures - GOP). Αυτό με τη σειρά του προκαλεί προβλήματα στην αποτελεσματικότητα της διαφορικής/προγνωστικής (differential/predictive) κωδικοποίησης. Με μικρά τμήματα, θα πρέπει να καταναλωθούν περισσότερα bits εάν στόχος είναι η ίδια ποιότητα περιεχομένου με το περιεχόμενο που αποτελείται από μεγαλύτερα τμήματα.
- **Περισσότερες αιτήσεις δικτύου** και, ό,τι αρνητικό σχετίζεται με αυτές, π.χ. χρόνος μέχρι το πρώτο byte (time to first byte - TTFB) που χάνεται σε κάθε αίτηση.
- **Ο αυξημένος αριθμός τμημάτων** ενδέχεται να μειώσει την αποτελεσματικότητα της προσωρινής αποθήκευσης (caching) του CDN.

- Το **buffer του προγράμματος αναπαραγωγής αυξάνεται** με απροσδόκητο τρόπο, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο διακοπής της αναπαραγωγής λόγω του επαναπροσδιορισμού του buffer (rebuffering).

5.5.2.2. CMAF

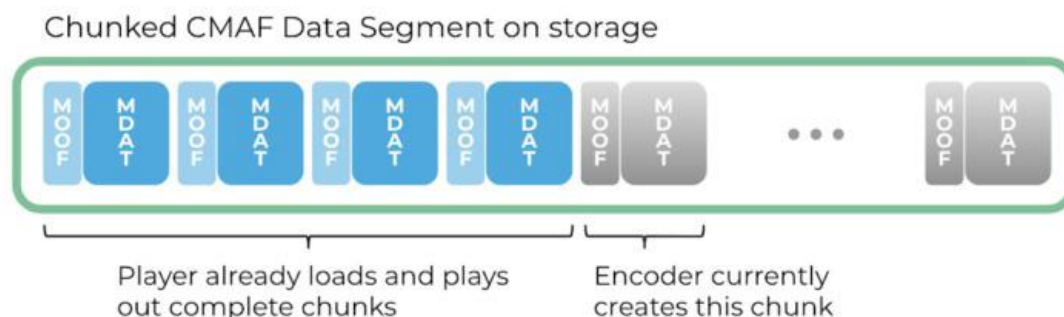
Για να επιλυθεί το πρόβλημα των μεγάλων τμημάτων που παράγονται και καταναλώνονται μόνο στην ολότητά τους, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το σύστημα τεμαχισμένης κωδικοποίησης που καθορίζεται στο πρότυπο MPEG-CMAF (MPEG - Common Media Application Format). Το CMAF ορίζει ένα μορφότυπο δοχείου (container format) με βάση το μορφότυπο ISO Base Media File Format (ISO BMFF), παρόμοιο με το μορφότυπο δοχείου MP4, το οποίο υποστηρίζεται ήδη ευρέως από προγράμματα περιήγησης και τερματικές συσκευές. Στο πλαίσιο της τεμαχισμένης κωδικοποίησης που διαθέτει, το CMAF παρουσιάζει την ιδέα των τεμαχίων CMAF (CMAF chunks). Σε σύγκριση με ένα «συνηθισμένο» τμήμα fMP4 που έχει το ωφέλιμο φορτίο πολυμέσων (media payload) σε ένα μεγάλο δοχείο, το τεμαχισμένο CMAF επιτρέπει στα τμήματα να αποτελούνται από μια σειρά τεμαχίων CMAF (πλειάδες moof+mdat) (Σχήμα 5-8). Σε ακραίες περιπτώσεις, κάθε πλαίσιο μπορεί να τοποθετηθεί στο δικό του τεμάχιο CMAF. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στον κωδικοποιητή να παράγει και στον αποκωδικοποιητή του προγράμματος αναπαραγωγής να καταναλώνει τα τμήματα τεμάχιο ανά τεμάχιο αντί να καταναλώνεται ολόκληρο το τμήμα. Ομολογουμένως, το μορφότυπο δοχείου MPEG-TS προσφέρει παρόμοιες ιδιότητες με το τεμαχισμένο CMAF, αλλά εξασθενεί ως μορφότυπο για OTT διανομή λόγω της έλλειψης υποστήριξης για συσκευές και πλατφόρμες που παρέχουν το fMP4 και το CMAF.



Σχήμα 5-8: Τμήμα fMP4 6 δευτερολέπτων σε σύγκριση με το τεμαχισμένο τμήμα CMAF

Η τεμαχισμένη κωδικοποίηση από μόνη της δεν βοηθά να ελαττωθεί η καθυστέρηση, αλλά αποτελεί βασικό συστατικό. Για να αξιοποιηθεί πλήρως η τεμαχισμένη κωδικοποίηση, πρέπει να συνδυαστεί η διαδικασία με την HTTP 1.1 τεμαχισμένη κωδικοποίηση μεταφοράς (Chunked Transfer Encoding - CTE). Η CTE είναι ένα χαρακτηριστικό του HTTP που επιτρέπει μεταφορές πόρων όπου το μέγεθος είναι άγνωστο κατά τη στιγμή μεταφοράς. Το CTE μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον κωδικοποιητή για να εγγραφτούν κομμάτια CMAF στο αποθηκευτικό μέσο αμέσως μόλις αυτά παραχθούν χωρίς να περιμένουμε να κωδικοποιηθεί ολόκληρο το τμήμα (Σχήμα 5-9). Αυτό επιτρέπει στο πρόγραμμα αναπαραγωγής να αιτηθεί (επίσης

χρησιμοποιώντας CTE) διαθέσιμα κομμάτια CMAF ενός τμήματος που εξακολουθεί να κωδικοποιείται και να τα προωθεί όσο το δυνατόν ταχύτερα στον αποκωδικοποιητή για να αναπαραχθούν. Επομένως, η δυνατότητα αναπαραγωγής είναι δυνατή μόλις ληφθεί το πρώτο τεμάχιο CMAF.



Σχήμα 5-9: Τεμαχισμένο τμήμα CMAF στο αποθηκευτικό μέσο

5.5.3. Αποτελέσματα της διανομής χαμηλής καθυστέρησης

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διανομής χαμηλής καθυστέρησης:

- **Ομαλότερα και λιγότερο αθόρυβα επίπεδα buffer στον client** από τη συνεχή ροή των τεμαχίων CMAF που λαμβάνονται. Έτσι, μειώνεται ο κίνδυνος υπέρβασης του buffer και βελτιώνεται η σταθερότητα της αναπαραγωγής.
- **Ταχύτερη εκκίνηση ροής (time to first frame)** και αναζήτηση στον client λόγω της δυνατότητας μερικής αποκωδικοποίησης και αναπαραγωγής τμημάτων κατά τη λήψη τους.
- **Μεγαλύτερο overhead στο μέγεθος αρχείου τμήματος** σε σύγκριση με τα μη τεμαχισμένα τμήματα ως αποτέλεσμα των πρόσθετων μεταδεδομένων (δοχεία moof, κεφαλίδες mdat) που εισάγονται με συνδυασμένες κωδικοποιήσεις.
- **Χαμηλά επίπεδα buffer** στον client που επηρεάζει την σταθερή αναπαραγωγή. Η χαμηλή καθυστέρηση σε πραγματικό χρόνο (low live latency) υποδηλώνει ότι ο client παίζει κοντά στο άκρο του live γεγονότος και έχει χαμηλό επίπεδο buffer. Επομένως, το μεγαλύτερο εφικτό επίπεδο buffer περιορίζεται από την τρέχουσα καθυστέρηση πραγματικού χρόνου. Είναι ένας συμβιβασμός QoE: μικρός χρόνος αναμονής έναντι σταθερότητα αναπαραγωγής.

5.6. Ανάπτυξη υποδομών παρόχων

Το headend αποτελείται από hardware που διαχειρίζεται διάφορες κατηγορίες υπηρεσιών (live TV, VoD και multiscreen), το οποίο επεξεργάζεται διαφορετικούς τύπους σημάτων βίντεο και τα στέλνει στην πλατφόρμα διανομής.

Ωστόσο, τα παραδοσιακά headends δεν είναι σχεδιασμένα ώστε να εξυπηρετούν τις σύγχρονες απαιτήσεις κατανάλωσης βίντεο. Τα παλαιότερα headends είναι διαχωρισμένα και ακόμη απορροφούν ροές βίντεο Serial Digital Interface (SDI)· χρησιμοποιούν συσκευές και hardware συγκεκριμένων σκοπών. Η υποδομή παλαιού τύπου περιορίζει την ταχεία και αποτελεσματική υιοθέτηση των υπηρεσιών OTT. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των headends έχει αυξηθεί λόγω της ανάγκης προσαρμογής σε νέες τεχνολογίες συμπίεσης και σε πολλά πρότυπα βίντεο, όπως κανονική ευκρίνεια (SD), υψηλή ευκρίνεια (HD), 4K και σύντομα 8K.

5.6.1. Μετάβαση υποδομής από SDI σε Ethernet/IP

Η μετάβαση σε δίκτυα IP βρίσκεται σε εξέλιξη στον κλάδο των ραδιοτηλεοπτικών μεταδόσεων εδώ και αρκετό καιρό. Ωστόσο, μόλις πρόσφατα ορίστηκαν πρότυπα που επιτρέπουν πραγματική διαλειτουργικότητα και αποδοτικότητα που καθιστούν τη αλλαγή από SDI σε IP μια εφικτή επιλογή για μετάβαση. Ως εκ τούτου, η διανομή εξελίσσεται ταχύτερα στα συστήματα που βασίζονται σε IP σε σχέση με την παραδοσιακή ψηφιακή διασύνδεση.

Η SDI (Serial Digital Interface - σειριακή ψηφιακή διασύνδεση) τυποποιήθηκε για πρώτη φορά από την SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) το 1989, σηματοδοτώντας μια επαναστατική μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή υποδομή βίντεο. Στον πυρήνα του, το σύστημα χρησιμοποιείται για τη μετάδοση μη συμπιεσμένων, μη κρυπτογραφημένων ψηφιακών σημάτων βίντεο για επαγγελματική μετάδοση.

Από την έναρξή της, η SDI έχει αναπτύξει μια σειρά προτύπων που περιλαμβάνουν πρότυπα τα οποία υποστηρίζουν τη δημιουργία υψηλότερων αναλύσεων, εύρους χρωμάτων και ρυθμών καρέ για την κάλυψη των αναγκών του κλάδου και την πρόωθηση της τεχνολογίας κατανάλωσης.

Ωστόσο, η ανάγκη για αυξημένο εύρος ζώνης για τη μετάδοση περιεχομένου UHD και καλύτερη συνδεσιμότητα, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη υπηρεσιών OTT TV, απλά υπερτερεί των δυνατοτήτων αυτού που μπορεί να προσφέρει η SDI. Εξαιτίας αυτού, υπήρξε μια αλλαγή σε δίκτυα που βασίζονται σε IP για λειτουργίες στούντιο που είναι πλήρως προσαρμοσμένες στο IP.

Τα δίκτυα IP χρησιμοποιούν τεχνολογίες που προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία για τους ραδιοτηλεοπτικούς φορείς. Μακροπρόθεσμα, αυτό σημαίνει μειωμένο κόστος, βελτιωμένη κατανάλωση εύρους ζώνης με υψηλότερους ρυθμούς bit και βελτιωμένη συνολική αποδοτικότητα. Επιπλέον, οι μεταγωγείς IP (IP switches) είναι αμφίδρομοι και μπορούν να διαχειριστούν πολλαπλές θύρες εισόδου και εξόδου, σε αντίθεση με την SDI.

Το σημερινό πρότυπο, όσον αφορά τις ταχύτητες μετάδοσης και μεταγωγής Ethernet, είναι 10 Gbits/s. Αυτό είναι κάτι παραπάνω από επαρκές για τους περισσότερους οργανισμούς σήμερα. Ωστόσο αναμένεται να μην είναι επαρκές στα επόμενα χρόνια.

Το BBC έχει ήδη υλοποιήσει με επιτυχία δίκτυα Ethernet με ταχύτητες 100 Gbits/s.¹⁹ Επίσης γίνεται λόγος για πλήρη μετάβαση των ραδιοτηλεοπτικών φορέων στο IP μέχρι το 2025.²⁰

5.6.2. Από hardware σε software - Εικονικοποίηση (Virtualization)

Ο κύριος στόχος της εικονικοποίησης (virtualization) είναι η διαχείριση των φόρτων εργασίας με ριζική μετατροπή των παραδοσιακών υπολογιστικών συστημάτων ώστε να είναι πιο επεκτάσιμα. Η εικονικοποίηση αποτελεί μέρος του τοπίου της τεχνολογίας πληροφορικής (IT) εδώ και δεκαετίες και σήμερα μπορεί να εφαρμοστεί σε μια ευρεία γκάμα επιπέδων συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της δικτύωσης.

Η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (Network Function Virtualization - NFV) αποσκοπεί στην αντιμετώπιση των προβλημάτων των σημερινών τηλεπικοινωνιακών δικτύων που περιλαμβάνουν μια αυξανόμενη ποικιλία ιδιόκτητων συσκευών hardware. Με την εξέλιξη της τυποποιημένης τεχνολογίας εικονικοποίησης IT, διάφοροι τύποι εξοπλισμού δικτύου μπορούν να ενοποιηθούν σε τυποποιημένους διακομιστές, μεταγωγείς και αποθηκευτικούς χώρους μεγάλου όγκου. Η NFV περιλαμβάνει την υλοποίηση λειτουργιών δικτύου σε λογισμικό που μπορεί να εκτελείται σε μια σειρά τυποποιημένου hardware του διακομιστή και μπορεί να μεταφερθεί ή να εγκατασταθεί σε διάφορες θέσεις στο δίκτυο, ανάλογα με τις ανάγκες, χωρίς να χρειάζεται να εγκατασταθεί νέος εξοπλισμός.

Το 2012 το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (ETSI) συνέστησε μια Ομάδα Προδιαγραφών του κλάδου (ISG) για την ανάπτυξη των προτύπων εικονικοποίησης των κλασικών λειτουργιών και εφαρμογών των τηλεπικοινωνιακών παρόχων. Έκτοτε, το μοντέλο του ETSI έχει καταστεί ένα σχέδιο για τη διαχειριζόμενες εικονικές υποδομές και την ενορχήστρωση και διαχείριση εικονικών λειτουργιών. Λόγω των απαιτήσεων του δικτύου στο επίπεδο του παρόχου και πραγματικού χρόνου, είναι σκόπιμο να εφαρμοστεί το ίδιο μοντέλο εικονικοποίησης και διαχείρισης των λειτουργιών των πολυμέσων στην υποδομή του headend.

Αλλάζοντας τις λειτουργίες του hardware σε λειτουργίες λογισμικού, το headend μπορεί να διαχειριστεί λειτουργίες επεξεργασίας βίντεο σε όλες τις διαθέσιμες πλατφόρμες υλοποίησης. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε πλατφόρμα μπορεί να αξιοποιηθεί για τα μοναδικά πλεονεκτήματά της, ώστε να παρέχει βέλτιστη απόδοση επεξεργασίας όσον αφορά την ποιότητα, το κόστος και την αποδοτικότητα. Αυτή η προσέγγιση δημιουργεί ένα ευέλικτο, με δυνατότητες επέκτασης σύνολο πόρων για όλες τις λειτουργίες επεξεργασίας βίντεο. Η εισαγωγή ενός συστήματος ενορχήστρωσης (orchestration) που διαχειρίζεται τις εικονικές λειτουργίες μπορεί να αναπτυχθεί ως ενιαία διεπαφή, μειώνοντας τις δυσκολίες διαχείρισης και παρακολούθησης πολλαπλών συστημάτων για διάφορες υπηρεσίες.

¹⁹ 100Gbps Ethernet arrives at BBC R&D, Jonathan Rosser, 14 September 2015,

<https://www.bbc.co.uk/rd/blog/2015-09-100gbps-ethernet-arrives-at-bbc-r-and-d>

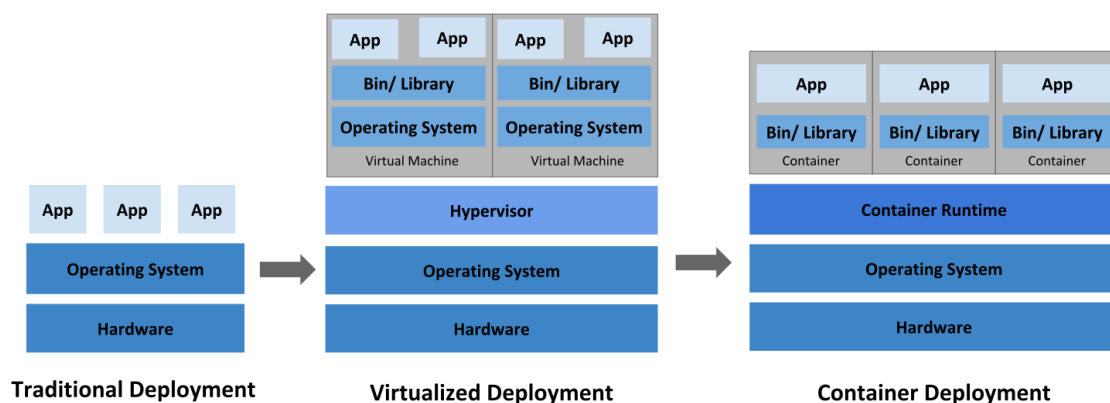
²⁰ Broadcasters set to complete move to IP by 2025, Joseph O'Halloran, 16 December 2015,

<https://www.rapidtvnews.com/2015121641032/broadcasters-set-to-complete-move-to-ip-by-2025.html>

Όταν χρησιμοποιείται ένα εικονικοποιημένο περιβάλλον επεξεργασίας βίντεο, το κόστος λειτουργίας μπορεί να μειωθεί ολόενα και περισσότερο μεταβαίνοντας από τον παραδοσιακό εξοπλισμό hardware (π.χ. encoders, transcoders, video switches) σε λύσεις βασισμένες σε λογισμικό. Οι λειτουργικές αναβαθμίσεις ή αλλαγές στα πρότυπα και τους κωδικοποιητές μπορούν να επιτευχθούν χωρίς την ανάγκη για νέο υλικό. Επιπλέον, η εικονικοποίηση και η ενορχήστρωση επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση της ροής εργασιών. Μια εικονικοποιημένη ροή εργασίας βίντεο βελτιώνει τις δυνατότητες για να προσφέρει περιεχόμενο με νέους τρόπους, πιο γρήγορα. Ένα headend που οι λειτουργίες του έχουν εικονικοποιηθεί μπορεί να προσθέσει νέες υπηρεσίες και κανάλια με ταχύτερο τρόπο, επιτρέποντας ενημερώσεις ή προσαρμογές εργασιών, γεγονός που αυξάνει τελικά το επίπεδο της υπηρεσίας.

Ένα παραπάνω βήμα εικονικοποίησης είναι η εικονικοποίηση σε επίπεδο λειτουργικού συστήματος, επίσης γνωστή ως «δοχειοποίηση» (containerization) και αναφέρεται σε ένα λειτουργικό σύστημα στο οποίο ο πυρήνας του (kernel) επιτρέπει την ύπαρξη πολλαπλών απομονωμένων περιοχών χρήστη (user spaces). Η πιο δημοφιλής υλοποίηση τέτοιων περιοχών, είναι τα δοχεία (containers), όπου ένα container στήνεται πάνω σε ένα λειτουργικό σύστημα και χρησιμοποιεί τον πυρήνα αυτού του λειτουργικού συστήματος για να εκτελέσει τις λειτουργίες του. Το κύριο πλεονέκτημα υλοποίησης συγκεκριμένων εργασιών με containers είναι η λιγότερη σπατάλη υπολογιστικών πόρων σε σχέση με μια αντίστοιχη υλοποίηση με εικονικές μηχανές (virtual machines). Τα containers άρχισαν να κερδίζουν έδαφος από το 2013, με την έλευση του Docker.

Στο Σχήμα 5-10 μπορούμε να δούμε την εξέλιξη της υλοποίησης υποδομών από την παραδοσιακή με hardware μέχρι τη σημερινή με containers.



Σχήμα 5-10: Εξέλιξη υλοποίησης υποδομών από hardware σε software

6. Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας έγινε προσπάθεια να παρουσιαστεί από τεχνικής πλευράς πως υλοποιείται μια τηλεοπτική πλατφόρμα ΟΤΤ. Κυρίως στην εισαγωγή έγινε προσπάθεια να παρουσιαστεί όσο γίνεται πιο εκλαϊκευμένα το αντικείμενο της εργασίας.

Στην συγκεκριμένη εργασία υπήρξαν δυσκολίες περιγραφής ορισμένων διαδικασιών ή λειτουργιών καθώς δεν είχε υπάρξει στο παρελθόν παρόμοια ενασχόλησή μου με το αντικείμενο και οι γνώσεις μου πάνω στο συγκεκριμένο τομέα του κλάδου ήταν περιορισμένες. Επίσης υπήρξε δυσκολία στην απόδοση ορισμένων όρων στα ελληνικά καθώς υπήρχαν ελάχιστες ή καθόλου πηγές που να αναφέρονταν. Σε ελάχιστες περιπτώσεις έγινε πρωτότυπη απόδοση όρων με αναγραφή μέσα σε παρένθεση του αγγλόφωνου όρου που βρέθηκε.

Στο πλαίσιο μελέτης και εμβάθυνσης του αντικειμένου, μελετήθηκαν αρκετές πτυχιακές και διπλωματικές εργασίες, οι οποίες εξετάζουν σε διάφορες πτυχές το αντικείμενο. Στην ελληνική βιβλιογραφία δεν βρέθηκε παρόμοια εργασία που να ασχολείται αποκλειστικά με το συγκεκριμένο αντικείμενο παρά μόνο υλοποιήσεις τηλεοπτικών πλατφορμών που άρχισαν να υλοποιούνται στην Ελλάδα κυρίως στα τέλη της δεκαετίας του 1990 (δορυφορική τηλεόραση) και στα τέλη της δεκαετίας του 2000 (IPTV). Όσον αφορά το αντικείμενο της παρούσας εργασίας βρέθηκαν μικρές αναφορές σε συγκεκριμένα κεφάλαια όπου το περιέγραφαν συνοπτικά ή αφορούσαν μελλοντικές τάσεις. Έτσι υπήρξε η ανάγκη να ανατρέξω σε ξενόγλωσση βιβλιογραφία από ιδρύματα του εξωτερικού, κυρίως από την Ισπανία και την Πορτογαλία που προσέγγιζαν περισσότερο το αντικείμενο της εργασίας.

Επίσης έγινε εκτενής αναζήτηση σε ξενόγλωσση αρθρογραφία στο Internet για να περιγραφούν συγκεκριμένα κομμάτια που δεν μπόρεσαν να βρεθούν σε βιβλιογραφία. Στην ελληνική αρθρογραφία βρέθηκαν μόνο άρθρα για τις υπάρχουσες υπηρεσίες που υπάρχουν αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα.

Βιβλιογραφία - Πηγές

Ελληνική Βιβλιογραφία

- [1] Forouzan Behrouz A., Mosharraf Firouz, "Δίκτυα Υπολογιστών, Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω", Παπασωτηρίου, 2011.
- [2] Γεώργιος Μ. Σπηλιόπουλος, "Αρχιτεκτονικές & παροχή υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας σε περιβάλλον διαδικτυακής τηλεόρασης", Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2013.
- [3] Στουπάκης Παναγιώτης, "Τηλεόραση μέσω του πρωτοκόλλου IP (IPTV): Αρχές Λειτουργίας και Δικτυακή υποστήριξη", Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2015.
- [4] Πουλερέ Ευαγγελία, Κουτούμπα Όλγα, "Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου(CDN)", Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηπείρου, 2015.
- [5] Χαντζή Χρυσή, Σαμπράκου Ιωάννα, "Quality of Service", Εργασία για το μάθημα "Αλγοριθμικά Θέματα Δικτύων και Τηλεματικής", Πανεπιστήμιο Πατρών, 2001.
- [6] Αλεξάκος Χρήστος, Βότης Κωνσταντίνος, Μπλέκας Αλέξανδρος, "Quality of Service", Εργασία για το μάθημα "Αλγοριθμικά Θέματα Δικτύων και Τηλεματικής", Πανεπιστήμιο Πατρών, 2004.
- [7] Τι είναι η Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service - QoS), Σημειώσεις για το μάθημα "Δίκτυα Υπολογιστών", Κεφάλαιο "Διαχείριση Δικτύου και Ποιότητα Υπηρεσίας", Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/teaching_m/management/qos.htm, Τελευταία επίσκεψη: 24-2-2021.
- [8] Το πρωτόκολλο SNMP, Σημειώσεις για το μάθημα "Δίκτυα Υπολογιστών", Κεφάλαιο "Διαχείριση Δικτύου και Ποιότητα Υπηρεσίας", Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/teaching_m/management/snmp.htm, Τελευταία επίσκεψη: 24-2-2021.
- [9] SNMP Διαχείριση Δικτύου - Βασικές έννοιες, Σημειώσεις για το μάθημα "Διαχείριση Επικοινωνιακών συστημάτων", Κεφάλαιο 4, http://users.sch.gr/pgalatis/wordpress/wp-content/uploads/2013/11/SNMP_Intro.pdf, Τελευταία επίσκεψη: 24-2-2021.

Ξενόγλωσσα Βιβλιογραφία

- [10] Adrian Popescu, "Greening Video Distribution Networks Energy-Efficient Internet Video Delivery", Springer, 2018.
- [11] Hans W. Barz, Gregory A. Bassett, "Multimedia Networks: Protocols, Design and Applications", Wiley, 2016.
- [12] Wendell Odom, "CCENT/CCNA ICND1 100-105 Official Cert Guide", Cisco Press, 2016.
- [13] Todd Lammle, "CCNA Routing and Switching Complete Study Guide", Second Edition, Sybex, 2016.

- [14] José Miguel Costa Silva, "Content Distribution in OTT Wireless Networks", Master Thesis, Universidade de Aveiro, 2016.
- [15] Richard Queirós Soares, "OTT TV services - Technical and Economic Aspects", Master Thesis, Universidade de Aveiro, 2013.
- [16] João Pedro Brites Ferreira Nogueira, "Over-The-Top Multimedia Delivery: A Catch-Up TV Case Study", Doctoral Theses, Universidade de Aveiro, 2017.
- [17] Manuel Beltrán Sevilla, Pablo Fernández Rosales, "Diseño e implementación de una plataforma de video streaming OTT multiformato", Proyecto fin de carrera, Universidad Politécnica de Madrid, 2017.
- [18] Ignacio López Gómez, "Análisis y desarrollo de aplicaciones de VOD para múltiples dispositivos", Proyecto fin de carrera, Universidad Politécnica de Madrid, 2017.
- [19] Athanasios Natsiopoulos, "Generation of a transport stream for DVB and realisation of a HF-modulated DVB-signal", Bachelor Theses, Odisee University College, 2015.
- [20] Jerome Blanc, "OTT TV for Broadcasters, Preserving Broadcast-Grade Quality and Services, The OTT encoder-packager point of view", Whitepaper, Keppix, 2017.
- [21] The future of cable TV: Trends and implications, ITU, 2018.

Ελληνική αρθρογραφία

- [22] <https://techblog.gr/homecinema/cosmote-tv-ott-mathe-ta-panta-gia-tin-neopyresia-streaming-tileorasis>, Τελευταία επίσκεψη: 24-2-2021.
- [23] <https://digitaltvinfo.gr/magazine-archive/etos-2019/item/29137-cosmote-tv-ott>, Τελευταία επίσκεψη: 24-2-2021.
- [24] <https://digitaltvinfo.gr/articles/first-review/item/11144-nova-go>, Τελευταία επίσκεψη: 24-2-2021.

Ξενόγλωσση αρθρογραφία

- [25] H3C S9500 Operation Manual-Release1648[v1.24]-04 IP Multicast Volume, http://www.h3c.com/en/d_200901/624722_294551_0.htm, Τελευταία επίσκεψη: 24-2-2021.
- [26] The importance of low latency in video streaming, August 1, 2018, <https://www.theoplayer.com/blog/the-importance-of-low-latency-in-video-streaming>, Τελευταία επίσκεψη: 24-2-2021.
- [27] Encoding Versus Transcoding in Enterprise Video, <https://qumu.com/en/2017/11/27/encoding-versus-transcoding-in-enterprise-video>, Τελευταία επίσκεψη: 24-2-2021.
- [28] From SDI to IP: The Evolution of Distribution, July 2, 2019, <https://www.smpte.org/blog/sdi-ip-evolution-distribution>, Τελευταία επίσκεψη: 24-2-2021.
- [29] The Transition from SDI to IP Isn't Just a Technology Challenge – It's a People Challenge Too, October 7, 2016, <https://www.thebroadcastbridge.com/content/entry/6997/the-transition->

- [from-sdi-to-ip-isnt-just-a-technology-challenge-its-a-people](#), Τελευταία επίσκεψη: 24-2-2021.
- [30] 100Gbps Ethernet arrives at BBC R&D, September 14, 2015, <https://www.bbc.co.uk/rd/blog/2015-09-100gbps-ethernet-arrives-at-bbc-r-and-d>, Τελευταία επίσκεψη: 24-2-2021.
- [31] Video Tech Deep-Dive: Live Low Latency Streaming Part 1 <https://bitmovin.com/live-low-latency-streaming-p1>, Τελευταία επίσκεψη: 24-2-2021.