



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Μετάδοση-Συλλογή ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑΥΡΟΣ Δ. ΒΑΚΑΛΗΣ

Επιβλέπων : Π. Γ. ΚΩΤΤΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Μετάδοση-Συλλογή ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑΥΡΟΣ Δ. ΒΑΚΑΛΗΣ

Επιβλέπων : Π. Γ. ΚΩΤΤΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την 10^η Ιουλίου 2017

.....
Π.Κωττής
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Χ.Καψάλης
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Γ.Φικιώρης
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2017

.....
ΣΤΑΥΡΟΣ Δ. ΒΑΚΑΛΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Σταύρος Δ. Βακάλης, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή Ε.Μ.Π. και επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας κ. Παναγιώτη Κωττή για τη συνεχή υποστήριξη και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Οι παρατηρήσεις και οι υποδείξεις του υπήρξαν πολύτιμες για την εκπόνηση της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αντιπρόεδρο της Εθνικής Επιτροπής Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων κ. Νίκο Παπαουλάκη για το χρόνο που διέθεσε και τη συμβολή του στην παρούσα εργασία, καθώς και τον κ. Νίκο Κουρεντζή για την προσφορά του απαραίτητου εξοπλισμού. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για τη συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση και σύγκριση τεχνολογιών στο χώρο της συλλογής και μετάδοσης ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο (Electronic News Gathering - ENG), η ανάλυση του θεωρητικού υπόβαθρου πίσω από αυτές, καθώς και η πρόταση και προσομοίωση μιας νέας τεχνικής προσέγγισης που μπορεί να ανταγωνιστεί ήδη υπάρχουσες προσεγγίσεις. Κίνητρο της παρούσας εργασίας είναι το ότι, ακόμη και σήμερα, το ENG χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλό κόστος υλοποίησης και λειτουργίας. Με στόχο το χαμηλό κόστος λειτουργίας, η παρούσα εργασία προτείνει μια εναλλακτική λύση στο πρόβλημα.

Στο κεφάλαιο 1 πραγματοποιείται σύντομη παρουσίαση του προβλήματος και των ήδη υπάρχουσων τεχνολογιών ENG πραγματικού χρόνου. Στο Κεφ.2 αναφέρονται κάποια χρήσιμα σημεία της θεωρίας πολυμέσων, ώστε ο αναγνώστης να εξοικειωθεί με τις απαιτήσεις της μετάδοσης βίντεο ως υπηρεσίας. Στο Κεφ.3 παρουσιάζονται πρότυπα και πρωτόκολλα του αμφίδρομου τρόπου μετάδοσης, καθώς και προσομοιώσεις και συγκρίσεις μεταξύ αυτών ως προς το video streaming. Στο Κεφ.4 γίνεται αναφορά σε πρότυπα και τεχνολογίες μονόδρομης μετάδοσης. Τέλος, στο Κεφ.5 γίνονται δοκιμές στο πεδίο με σκοπό την προσομοίωση της λειτουργίας μιας διάταξης ENG σε εξωτερικό χώρο.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Συλλογή- μετάδοση ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο, ροή βίντεο, ροή βίντεο HTTP, ροή βίντεο UDP, ροή βίντεο RTP

ABSTRACT

The aim of the diploma thesis is to present and compare technologies in the field of Electronic News Gathering (ENG), to analyze the theoretical background behind them, and to propose and simulate a new technical approach that can compete with the existing approaches. The motivation of this thesis is that, even today, ENG is characterized by very high cost of implementation and operation. With the aim of low operating costs, this thesis proposes an alternate solution to the problem.

Chapter 1 gives a short overview of the problem and of existing ENG real-time technologies. Ch.2 lists some useful points in multimedia theory, so that the reader becomes familiar with the demands of video transmission as a service. Ch.3 presents specifications and protocols of the two-way transmission, as well as simulations and comparisons between them in relation to video streaming. Ch.4 refers to one-way transmission specifications and technologies. Finally, in Ch.5 there are field tests to simulate the operation of an ENG device in the open air.

KEY WORDS

Electronic News Gathering, ENG, video streaming, HTTP video streaming, UDP video streaming, RTP video streaming

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τεχνολογίες Real-time News Gathering.....	14
1.1.1 Απευθείας συλλογή ειδήσεων μέσω του δικτύου οπτικών ινών.....	14
1.1.2 Δορυφορική Μετάδοση Ειδήσεων.....	15
1.1.3 Μονόδρομη επίγεια μικροκυματική μετάδοση.....	16
1.1.4 Συλλογή και μετάδοση ειδήσεων μέσω των κυψελωτών δικτύων 3ης και 4ης γενιάς(3G/4G).....	16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΧΡΗΣΙΜΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ

2.1 Τι είναι το ψηφιακό βίντεο.....	18
2.2 Το πρότυπο MPEG-4 AVC/ H.264.....	19
2.3 Η σχέση ρυθμού μετάδοσης και εύρους ζώνης.....	20
2.4 Αλλοιώσεις στην ποιότητα του βίντεο.....	21
2.5 Βίντεο Constant Bit Rate και Variable Bit Rate.....	22
2.6 Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (Content Distribution Networks – CDN).....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Ο ΑΜΦΙΔΡΟΜΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

3.1 Η οικογένεια προτύπων ασύρματης πρόσβασης 802.11.....	25
3.2 Η σουίτα πρωτοκόλλων TCP/IP.....	28
3.2.1 Το πρωτόκολλο IP (Internet Protocol).....	29
3.2.2 Το πρωτόκολλο TCP (Transmission Control Protocol).....	31
3.2.3 Το πρωτόκολλο UDP (User Datagram Protocol).....	31
3.2.4 Το πρωτόκολλο HTTP (Hypertext Transfer Protocol).....	31
3.2.5 Το πρωτόκολλο RTP (Real-time Transport Protocol).....	32
3.3 Σύγκριση πρωτοκόλλων για video streaming μέσω του VLC media player.....	32
3.3.1 HTTP streaming.....	33
3.3.2 UDP streaming.....	36
3.3.3 RTP streaming.....	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Ο ΜΟΝΟΔΡΟΜΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ	
4.1 DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial)	41
4.2 DVB-T2.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ	
5.1 Η διάταξη της προσομοίωσης σε εξωτερικό χώρο.....	43
5.2 Η διάταξη της προσομοίωσης σε επίπεδο λογισμικού.....	45
5.2.1 MSU Video Quality Measurement Tool.....	45
5.2.2 VLC media player.....	46
5.2.3 TeamViewer.....	47
5.3 Δοκιμές στο πεδίο υπό ευνοϊκές συνθήκες εκπομπής (ισχύς σήματος λήψης - 79dBm)	48
5.3.1 Δοκιμές με αρχείο CBR.....	49
5.3.2 Δοκιμές με αρχείο VBR.....	51
5.4 Δοκιμές στο πεδίο υπό λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες εκπομπής- (ισχύς σήματος λήψης - 84dBm).....	53
5.4.1 Δοκιμές με αρχείο CBR.....	54
5.4.2 Δοκιμές με αρχείο VBR.....	56
5.5 Συμπεράσματα.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Περί τα τέλη του δεύτερου μισού του 20^{ου} αιώνα μ.Χ., η ψηφιακή επανάσταση έμελλε να αλλάξει ριζικά την παραδοσιακή βιομηχανία. Ακόμα και σήμερα, η περίοδος αυτή είναι γνωστή ως εποχή της πληροφορίας και χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα των ανθρώπων να ανταλλάσσουν και να μεταδίδουν πληροφορίες ελεύθερα και να έχουν άμεση πρόσβαση σε γνώσεις που θα ήταν δύσκολο ή αδύνατο να βρεθούν στο παρελθόν. Πλέον τα κοινωνικά μέσα μαζικής ενημέρωσης και δικτύωσης αποτελούν μια βιομηχανία με κύκλο εργασιών πολλά δισεκατομμύρια δολάρια και τεράστια επιρροή σε πολιτικό και οικονομικό επίπεδο. Το ENG αποτελεί ένα πολύ σημαντικό αντικείμενο της εποχής μας, της οποίας οι απαιτήσεις για ταχύτητα, αξιοπιστία και ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) ολοένα και αυξάνονται.

1.1 Τεχνολογίες Real-time News Gathering

Οι κύριες διαφορές του προβλήματος της συλλογής και μετάδοσης ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο από τα υπόλοιπα προβλήματα στον χώρο των επικοινωνιών είναι ότι, ακόμα και σήμερα, το κόστος της υπηρεσίας αυτής είναι μεγάλο, είναι πολύ απαιτητική ως προς το χρόνο καθυστέρησης μετάδοσης (Real-time) και η ποιότητα υπηρεσίας σε πολλές περιπτώσεις δεν ικανοποιεί τους θεατές των ειδήσεων. Παρά την εξάπλωση του Διαδικτύου και την τεράστια κάλυψη από δίκτυα DSL (Digital Subscriber Line), επίγεια μικροκυματικά δίκτυα UHF (Ultra High Frequency) και δίκτυα 3^{ης} και 4^{ης} γενιάς κυψελωτών επικοινωνιών (3G και 4G), οι υπάρχουσες δυνατότητες δεν έχουν αξιοποιηθεί όσο έπρεπε προς αντιμετώπιση των απαιτήσεων του ENG, ιδιαίτερα στην Ελλάδα, και η αγορά συνεχίζει να προτιμά παλαιότερες και ακριβότερες τεχνολογίες.

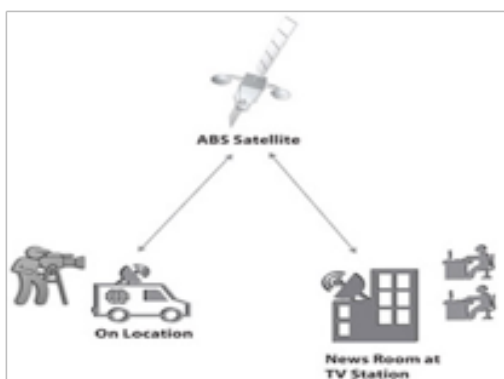
1.1.1 Απευθείας συλλογή ειδήσεων μέσω του δικτύου οπτικών ινών

Για επιλεγμένα σημεία από όπου η ζήτηση για απευθείας μετάδοση ειδήσεων είναι πολύ συχνή, όπως η Ελληνική Βουλή, το Μέγαρο Μαξίμου και μεγάλα αθλητικά στάδια, υπάρχει φυσική σύνδεση αυτών με το δίκτυο οπτικών ινών. Έτσι, όταν ένα τηλεοπτικό συνεργείο καλείται να μεταδώσει απευθείας ένα γεγονός, όπως μια ομιλία ενός υπουργού ή ένα ποδοσφαιρικό αγώνα, σε πραγματικό χρόνο, απλά συνδέει τον εξοπλισμό του σε μια θύρα Ethernet από όπου, μέσω του δικτύου οπτικών ινών, κινούμενη εικόνα και ήχος καθίστανται διαθέσιμα στον τηλεοπτικό σταθμό. Λόγω της τεράστιας χωρητικότητας του δικτύου οπτικών ινών, η μέθοδος αυτή προσφέρει πολύ μικρούς χρόνους καθυστέρησης και μπορεί να υποστηρίξει βίντεο υψηλής ανάλυσης πολύ ικανοποιητικά.

Το βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην πλειοψηφία των ειδήσεων διότι απαιτείται φυσική σύνδεση από το σημείο που λαμβάνει χώρα ένα γεγονός στο δίκτυο οπτικών ινών. Ακόμη, αν σε μία ζεύξη οπτικών ινών υπάρχει φυσική διακοπή σε κάποιο σημείο της, η υπηρεσία δεν θα είναι διαθέσιμη.

1.1.2 Δορυφορική μετάδοση ειδήσεων

Η πλέον διαδεδομένη υπηρεσία για απευθείας συλλογή και μετάδοση ειδήσεων σε απομακρυσμένα σημεία είναι η Δορυφορική – Ψηφιακή Μετάδοση Ειδήσεων (*Digital Satellite News Gathering-DSNG*). Στα τέλη του 20^{ου} αιώνα, φάνηκε ότι οι δορυφορικές επικοινωνίες χάνουν στον ανταγωνισμό με τις τεχνολογίες DSL και 3G. Όμως, η εμφάνιση του προτύπου DVB-S2 (*Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation*) το 2003 τις επανέφερε ως ανταγωνιστική τεχνολογία για πληθώρα εφαρμογών. Η δορυφορική μετάδοση ειδήσεων προϋποθέτει τη σύνδεση της συσκευής καταγραφής βίντεο σε ένα μικρό φορητό (VAN) που διαθέτει δορυφορική κεραία στην οροφή του. Μέσω μιας δορυφορικής ζεύξης, το ENG σήμα μεταδίδεται σε γεωστατικό δορυφόρο και, στη συνέχεια, μέσω άλλης δορυφορικής ζεύξης καθίσταται διαθέσιμο στον τηλεοπτικό σταθμό για απευθείας μετάδοση ή άλλη επεξεργασία.



Σχήμα 1.1: Δορυφορική μετάδοση ειδήσεων

Η DSNG υπηρεσία έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιοδήποτε σημείο έχει δορυφορική πρόσβαση και προσφέρει ικανοποιητική ποιότητα υπηρεσίας. Ωστόσο, εμφανίζει ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα. Συγκεκριμένα:

- (i) το κόστος της υπηρεσίας είναι πολύ μεγάλο, αφού απαιτείται η μίσθωση δορυφορικής σύνδεσης και η χρήση ενός δορυφορικού VAN.
- (ii) οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι ευάλωτες σε δυσμενή καιρικά φαινόμενα όπως οι βροχοπτώσεις, κατά τη διάρκεια των οποίων η απόσβεση και η αποπόλωση που υφίσταται η ζεύξη

λόγω βροχής, αρκετές φορές καθιστά τη δορυφορική ζεύξη μη διαθέσιμη ή υποβαθμίζει την ποιότητα της.

(iii) οι χρόνοι καθυστέρησης σε δορυφορικές μεταδόσεις είναι μεγάλοι εξαιτίας της μεγάλης απόστασης μεταξύ γης και δορυφόρου (36000km) που επηρεάζει και τις δύο μεταδόσεις.

Πολύ συχνά, σε ένα δελτίο ειδήσεων μπορεί να υπάρχει έλλειψη συγχρονισμού μεταξύ ήχου και εικόνας, το οποίο καταδεικνύει τη σημασία του μικρού χρόνου καθυστέρησης για το υπό εξέταση πρόβλημα.

1.1.3 Μονόδρομη επίγεια μικροκυματική μετάδοση

Σε μεγάλα αστικά κέντρα, όπως για παράδειγμα η Αθήνα, όπου υπάρχουν αρκετά κέντρα ευρυεκπομπής και λήψης και πολλά γεγονότα που απαιτούν απευθείας ειδησεογραφική κάλυψη είναι πολύ συνηθισμένη η χρήση ενός οχήματος VAN που διαθέτει μικροκυματική κεραία στην οροφή του ώστε μέσω μιας ασύρματης μονόδρομης ζεύξης να γίνει η απευθείας κάλυψη της είδησης. Η υπηρεσία αυτή έχει μικρότερο κόστος από τη δορυφορική μετάδοση, σημαντικά μικρότερους χρόνους καθυστέρησης και παρέχει αρκετά ικανοποιητικό επίπεδο QoS, βασισμένη στα πρότυπα DVB-T και DVB-T2, τα οποία περιγράφονται στο κεφάλαιο 3. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα δίαυλο για μονόδρομη μετάδοση και αφήνει αναξιοποίητη τη δυνατότητα να υποστηριχθεί αμφίδρομη μετάδοση και να επιτευχθούν μεγαλύτεροι ρυθμοί μετάδοσης. Συνεπώς, δεν αξιοποιεί πλήρως τους διαθέσιμους πόρους της υπηρεσίας.

1.1.4 Συλλογή και μετάδοση ειδήσεων μέσω των κυψελωτών δικτύων 3ης και 4ης γενιάς(3G/4G)

Η πληθυσμιακή και γεωγραφική κάλυψη των κυψελωτών δικτύων 3ης και 4ης γενιάς είναι πολύ μεγάλη και τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές καινοτομίες για τη χρήση τους για ENG υπηρεσίες. Μία ζεύξη 3G/4G βέβαια δεν προσφέρει το απαραίτητο εύρος ζώνης για μετάδοση βίντεο υψηλής ανάλυσης (HD), οπότε χρησιμοποιούνται πρόσθετες συνδέσεις 3G/4G, των οποίων τα εύρη ζώνης συνενώνονται με τη τεχνική *bonding*. Η τεχνική *bonding* εκμεταλλεύεται το διαθέσιμο ρυθμό μετάδοσης πολλαπλών συνδέσεων (για παράδειγμα γραμμών DSL και συνδέσεων 3G/4G) κατανέμοντας τη ροή δεδομένων IP σε πολλαπλές ροές πληροφορίας (*segmentation*), τις οποίες δρομολογεί παράλληλα/ταυτόχρονα στις πολλαπλές συνδέσεις IP. Η αρχική ροή δεδομένων επανασυναρμολογείται σε κάποιο σημείο συγκέντρωσης.

Αρκετές εταιρίες στο χώρο του ENG έχουν υλοποιήσει διατάξεις που μπορούν και ενσωματώνουν πολλαπλές συνδέσεις 3G/4G μέσω μιας συσκευής bonding ενσωματωμένης στον εξοπλισμό καταγραφής (βιντεοκάμερα) και μπορούν και προσφέρουν πολύ καλή ποιότητα υπηρεσίας και φορητότητα. Τα μειονεκτήματα αυτών των διατάξεων είναι:

- (i) επειδή όλη η κίνηση της πληροφορίας διακινείται σε πακέτα IP πάνω στο δίκτυο 3G/4G, προκύπτει καθυστέρηση η οποία δεν είναι αμελητέα.
- (ii) οι διατάξεις αυτές έχουν ακόμη πολύ υψηλό κόστος, τόσο για αγορά όσο και για ενοικίαση, χαρακτηριστικό που οδηγεί σε πολύ μεγάλο κόστος υπηρεσίας (operational cost).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΧΡΗΣΙΜΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΟΛΥΜΕΣΣΩΝ

2.1 Τι είναι το ψηφιακό βίντεο

Το ψηφιακό βίντεο είναι η απεικόνιση κινούμενη εικόνας σε συγχρονισμό με ακουστική πληροφορία υπό τη μορφή κωδικοποιημένης ψηφιακής πληροφορίας. Η αίσθηση της κίνησης επιτυγχάνεται με την προβολή ψηφιακών εικόνων οι οποίες εναλλάσσονται ταχύτατα. Οι ψηφιακές εικόνες που προβάλλονται στιγμιαία ονομάζονται πλαίσια ενώ ο ρυθμός εναλλαγής πλαισίων μετράται σε πλαίσια ανά δευτερόλεπτο (frames per second - fps) . Κάθε πλαίσιο είναι ορθογώνιο και αποτελείται από εικονοστοιχεία που ονομάζονται pixels. Αν το πλάτος ενός πλαισίου περιλαμβάνει W pixels και το ύψος του H pixels, τότε το μέγεθος πλαισίου είναι WxH. Η μόνη ιδιότητα των pixels είναι το χρώμα τους που απεικονίζεται από ένα σταθερό αριθμό bits. Όσο περισσότερα bits σε ένα pixel, τόσες περισσότερες παραλλαγές χρωμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθούν. Η παράμετρος αυτή ονομάζεται βάθος χρώματος (color depth - CD).

Για παράδειγμα, αν ένα βίντεο χωρίς ήχο διαρκεί 10min, έχει μέγεθος πλαισίου 640x480, βάθος χρώματος 24bits και ρυθμό πλαισίων 25fps, τότε θα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

$$\text{pixels ανα πλαίσιο} = 640 * 480 = 307,200$$

$$\text{bits ανα πλαίσιο} = 307,200 * 24 = 7,372,800 = 7.37\text{Mbits}$$

$$\text{ρυθμός bit (bit rate (BR))} = 7.37 * 25 = 184.25\text{Mbps}$$

$$\text{μέγεθος video (video size (VS))} = 184\text{Mbps} * 600\text{s} = 110,400\text{Mbits} = 13,800\text{Mbytes} = 13.8\text{Gbytes}$$

Τα προαναφερθέντα ισχύουν για βίντεο που δεν έχει υποστεί καμία επεξεργασία. Το τεράστιο μέγεθος αρχείου καταδεικνύει πόσο αναγκαία είναι η διαδικασία συμπίεσης του βίντεο, ιδιαίτερα στο τμήμα της μετάδοσης ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο, όπου χρειάζεται να μεταδίδεται πληροφορία με ελάχιστο χρόνο καθυστέρησης μέσω διαύλων με περιορισμένη χωρητικότητα.

Μερικά διαδεδομένα ψηφιακά σχήματα βίντεο στις μεταδόσεις σε πραγματικό χρόνο είναι τα ακόλουθα:

- 1080p (1920x1080 Full High Definition-FHD) 25~30 fps
- 720p (1280x720 High Definition-HD) 25~30 fps
- 480p (858 x 480) 24~30 fps

2.2 Το πρότυπο MPEG-4 AVC/ H.264

Το πλέον καθιερωμένο πρότυπο κωδικοποίησης και συμπίεσης τηλεοπτικού περιεχομένου σε πολλές χώρες είναι το MPEG-4 /H.264 Part 10, Advanced Video Codec (AVC) που έχει προτυποποιηθεί και από την ITU ως H.264. Το πρότυπο αυτό επιτυγχάνει καλύτερη συμπίεση σε σχέση με άλλα παλαιότερα πρότυπα για αντίστοιχη ποιότητα περιεχομένου και αξιοποιεί το χωρικό και το χρονικό πλεονασμό που υπάρχει στα σήματα βίντεο. Ο διάδοχος του H.264 αναμένεται να είναι το HEVC (High Efficiency Video Coding) που αναμένεται (i) να διπλασιάσει το ρυθμό συμπίεσης που επιτυγχάνει το H.264/MPEG-4 AVC σε αντίστοιχο επίπεδο ποιότητας και (ii) να υποστηρίξει αναλύσεις έως και 8192×4320. Ωστόσο, από πλευράς υλικού (hardware) οι απαιτήσεις του είναι μεγάλες, οπότε θα παρέλθουν αρκετά χρόνια μέχρι να υιοθετηθεί στον τομέα της τηλεοπτικής μετάδοσης.

Ο μεγάλος αρχικός όγκος πληροφορίας ενός ασυμπίεστου βίντεο οφείλεται στο ότι δεν έχει γίνει μείωση των δύο ειδών πλεονασμού:

Χωρικός πλεονασμός (Spatial Redundancy):

Δεδομένου ότι η ανθρώπινη όραση είναι περισσότερο ευαίσθητη στη φωτεινότητα της εικόνας παρά στα χρώματα, το ανθρώπινο μάτι δεν είναι σε θέση να αντιληφθεί ένα ποσοστό παραμόρφωσης ή αλλοίωσης ορισμένων παραμέτρων της εικόνας.

Χρονικός πλεονασμός (Temporal Redundancy):

Δεδομένου ότι οι τιμές δειγμάτων της εικόνας σχετίζονται μεταξύ τους, οι τιμές φωτεινότητας και εικόνας για δεδομένη χρονική στιγμή μπορούν να προβλεφθούν από τις προηγούμενες τιμές τους.

Για παράδειγμα, σε ένα δελτίο ειδήσεων πολλά pixels του πλαισίου μπορεί να έχουν ίδια τιμή με τα αντίστοιχα του προηγούμενου πλαισίου, αφού ένα μεγάλο τμήμα του πλαισίου παραμένει αμετάβλητο δεδομένου ότι ο παρουσιαστής παραμένει πρακτικά ακίνητος και κάνει μικρές κινήσεις.

Στο πρότυπο H.264 υπάρχουν τρία είδη πλαισίων: I- Intracoded Frames, P- Predictive Frames, B – Bi-predictive frames. Τα I frames είναι τα μόνα που περιέχουν καθαρή πληροφορία εικόνας. Τα P frames περιέχουν πληροφορία για τις εναλλαγές μεταξύ των γειτονικών P ή I frames που επιτρέπουν την ανακατασκευή της εικόνας. Τα B frames συμπληρώνουν την πληροφορία για τις εναλλαγές της εικόνας στο χρόνο και αποσκοπούν στην εξομάλυνση των εναλλαγών μεταξύ P και P, I και P frames. Τα I frames είναι τα μεγαλύτερα πλαίσια σε μέγεθος, ενώ ανάλογα με το βίντεο τα P frames έχουν περίπου το 60% του μεγέθους των I frames και τα B frames μπορούν να φτάσουν να είναι ίσα με το 10% του μεγέθους των I frames.

Στα Σχ.2.1 έως 2.3 φαίνεται η ασυμπίεστη ροή βίντεο, η μορφή που λαμβάνει μετά την κωδικοποίηση H.264 και ο τρόπος που αναδιατάσσονται τα πλαίσια για να γίνει η αποσυμπίεση.



Σχήμα 2.1: Ασυμπίεστη ροή βίντεο



Σχήμα 2.2: Συμπιεσμένη ροή βίντεο



Σχήμα 2.3: Ακολουθία αποσυμπίεσης

2.3 Η σχέση ρυθμού μετάδοσης και εύρους ζώνης

Όπως προαναφέρθηκε στο εδάφιο 1.1, για να πραγματοποιηθεί απευθείας μετάδοση βίντεο απαιτείται υψηλός ρυθμός μετάδοσης.

Αν θεωρηθεί ότι μετά από συμπίεση ο απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης ενός βίντεο είναι της τάξης των 6Mbps, αυτό μεταφράζεται σε συγκεκριμένο απαιτούμενο εύρος ζώνης. Ενδεικτικά, εφόσον χρησιμοποιούμε σχήμα διαμόρφωσης MPSK¹ με M=8, η φασματική απόδοση που είναι ίση με:

$$n_T = \log_2 Mbps/Hz \quad (2.1),$$

προκύπτει 3bps/Hz και το απαιτούμενο εύρος ζώνης προκύπτει:

$$R_{RF} = n_T B_{RF} \quad (2.2),$$

δηλαδή για την περίπτωση μας θα είναι ίσο με 2MHz.

Άρα η συμπίεση δεν είναι αναγκαία μόνο για μείωση του όγκου της προς μετάδοση πληροφορίας, αλλά και για μείωση του απαιτούμενου εύρους ζώνης που πρέπει να μισθωθεί.

Για συμπίεση σύμφωνα με το πρότυπο H.264, η μείωση του αριθμού των I frames οδηγεί σε μικρότερο όγκο πληροφορίας και κατά συνέπεια μείωση του απαιτούμενου εύρους ζώνης. Ωστόσο, επειδή τα I frames περιέχουν την καθαρή πληροφορία εικόνας, όταν λόγω δυσμενών συνθηκών μετάδοσης χαθούν κάποια πακέτα των I frames, το βίντεο θα υποστεί μεγαλύτερη παραμόρφωση από ένα βίντεο με περισσότερα I frames. Άρα, καίτοι απαιτεί μικρότερο εύρος ζώνης, ο αυξημένος βαθμός συμπίεσης δεν συμπεριφέρεται ευνοϊκά υπό δυσμενείς συνθήκες και απώλεια πακέτων.

2.4 Αλλοιώσεις στην ποιότητα του βίντεο

Δυστυχώς, όταν ένα τερματικό επιθυμεί να στείλει μια ροή βίντεο σε ένα άλλο τερματικό ή σε πολλαπλά τερματικά, η λαμβανόμενη ροή βίντεο παρουσιάζει αλλοιώσεις (video artifacts) σε σχέση με την εκπεμπόμενη. Οι αλλοιώσεις στην ποιότητα του βίντεο κατά τη μετάδοση του έχουν διάφορα αίτια. Συγκεκριμένα, οφείλονται σε:

- (i) συμπίεση και επανακωδικοποίηση βίντεο
- (ii) μειωμένο ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας
- (iii) δυσμενείς συνθήκες σε ασύρματες ή ενσύρματες ζεύξεις
- (iv) ανεπαρκή επεξεργαστική ισχύ των τερματικών για μετάδοση ή και λήψη ροής βίντεο

Μερικά από τα πλέον συνηθισμένα video artifacts είναι τα ακόλουθα:

- i) Macroblocking ονομάζεται το video artifact κατά το οποίο τμήματα της επιφάνειας της εικόνας απεικονίζονται με μεγάλα τετράγωνα και όχι με την πληροφορία που τους αντιστοιχεί. Το macroblocking γίνεται εύκολα διακριτό στις μεταδόσεις που έχουν ταχεία εναλλαγή μεταξύ των πλαισίων.



Σχήμα 2.4: Macroblocking

- ii) Pixelation ονομάζεται το video artifact κατά το οποίο εμφανίζονται πολλές ακμές σε μεγάλα τμήματα της επιφάνειας του βίντεο. Το macroblocking συχνά αναφέρεται και ως pixelation, ωστόσο δεν αποτελούν το ίδιο artifact. Το pixelation προσφέρει παρόμοια εμπειρία στο θεατή με την υπερβολική εστίαση σε μια ψηφιακή φωτογραφία, κατά την οποία οι ακμές των pixels αρχίζουν να γίνονται διακριτές.



Σχήμα 2.5: Pixelation

- iii) Blurring ονομάζεται το video artifact κατά το οποίο η εικόνα μοιάζει να «θολώνει», όπως υποδηλώνει και η ονομασία. Συνήθως, οφείλεται στη συμπίεση-κωδικοποίηση, κατά την οποία το βαθυπερατό φιλτράρισμα οδηγεί στην απώλεια των υψηλών συχνοτήτων.



Σχήμα 2.6: Blurring

2.5 Βίντεο Constant Bit Rate και Variable Bit Rate

Ο όρος CBR (Constant Bit Rate) αναφέρεται σε πληροφορία που έχει σταθερό ρυθμό μετάδοσης και συχνά χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις διαύλων με περιορισμένη χωρητικότητα, αφού ο περιορισμός βρίσκεται στο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τον οποίο μπορεί να υποστηρίξει ο δίαυλος και όχι στο μέσο ρυθμό μετάδοσης. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με προσθήκη ψηφίων παραπλήρωσης (bit

padding) σε τμήματα πληροφορίας που απαιτούν μικρό ρυθμό μετάδοσης, είτε με συμπίεση σε τμήματα που απαιτούν μεγάλο ρυθμό μετάδοσης.

Η επιλογή CBR δεν είναι βέλτιστη για αποθήκευση πληροφορίας, αφού για παράδειγμα σε ένα αρχείο βίντεο CBR υπάρχει κατασπατάληση αποθηκευτικού χώρου για πλαίσια με μικρή ποσότητα πληροφορίας ή χειροτέρευση της ποιότητας σε πλαίσια με μεγάλη ποσότητα πληροφορίας.

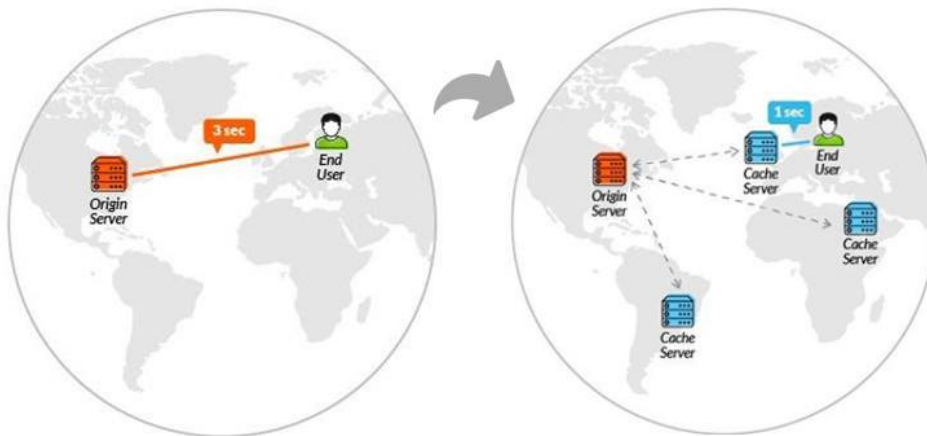
Ο όρος VBR (Variable Bit Rate) αναφέρεται σε πληροφορία που έχει μεταβλητό ρυθμό μετάδοσης και επιτρέπει σε τμήματα πληροφορίας να μεταδίδονται με τον πραγματικό ρυθμό μετάδοσης που απαιτούν. Χρησιμοποιείται κατά κόρον στα σύγχρονα σχήματα κωδικοποίησης και συμπίεσης πολυμέσων και αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή για αποθήκευση πληροφορίας, αφού δεν κατασπαταλά αποθηκευτικό χώρο για κομμάτια πληροφορίας που δεν τον χρειάζονται, ενώ αντιστοιχίζει τον απαραίτητο χώρο σε τμήματα με μεγάλη ποσότητα πληροφορίας.

2.6 Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (Content Distribution Networks – CDN)

Ένα δίκτυο διανομής περιεχομένου είναι ένα κατανεμημένο δίκτυο που αποτελείται από πολλούς εξυπηρετητές (servers) και κέντρα δεδομένων (data centers) με σκοπό να προσφέρουν στον τελικό χρήστη υψηλή διαθεσιμότητα και ποιότητα υπηρεσίας. Ένα μεγάλο μέρος του Διαδικτύου αποτελείται από δίκτυα διανομής περιεχομένου με πολλές εφαρμογές σε λογισμικό, έγγραφα, live video streaming και κοινωνικά δίκτυα.

Λόγω της απαίτησης για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης πληροφορίας και συνακόλουθα εύρος ζώνης, η διανομή βίντεο μέσω του Διαδικτύου θα αντιμετώπιζε πολλά προβλήματα, όπως υπερφόρτωση δικτύου, μεγάλη καθυστέρηση και χαμηλή διαθεσιμότητα, αν δεν πραγματοποιούνταν μέσω ενός CDN. Για παράδειγμα, αν κάποιος χρήστης στην Ελλάδα θέλει να δει ένα βίντεο από κάποιο εξυπηρετητή στις ΗΠΑ, θα αντιμετωπίσει μεγάλο χρόνο καθυστέρησης μετάδοσης της πληροφορίας. Ακόμη περισσότερο, αν πολλοί χρήστες στην Ελλάδα επιθυμούν ταυτόχρονα να δουν το ίδιο βίντεο, η υπηρεσία μπορεί να καταστεί μη διαθέσιμη, αφού ο εξυπηρετητής στις ΗΠΑ είναι υπεύθυνος για την εξυπηρέτηση και αρκετών άλλων χωρών.

Προς αντιμετώπιση του σχετικού προβλήματος, μπορεί να εγκατασταθεί ένας ενδιάμεσος εξυπηρετητής στην Ευρώπη που είναι σε θέση να προσφέρει το ίδιο βίντεο για εξισορρόπηση της κίνησης δεδομένων. Αν προστεθούν και άλλοι εξυπηρετητές σε άλλες θέσεις διαμορφώνεται ένα CDN.



Σχήμα 2.4: Ένα απλό δίκτυο διανομής περιεχομένου

Για το πρόβλημα του ENG, η διαμόρφωση ενός CDN προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα όπως παράλληλη απευθείας μετάδοση ενός γεγονότος σε πολλούς τηλεοπτικούς παρόχους με μικρές καθυστερήσεις και χρήση του Διαδικτύου, αντί για πολλαπλές ασύρματες ζεύξεις προς το σημείο συλλογής (για παράδειγμα ο Υμηττός) κάθε τηλεοπτικού σταθμού. Επίσης, το συγκεκριμένο βίντεο θα μπορεί να είναι διαθέσιμο και σε ιστοσελίδες του Διαδικτύου, δυνατότητα που ανταποκρίνεται στα σύγχρονα δεδομένα αφού οι θεατές των μέσων μαζικής ενημέρωσης παρακολουθούν ολοένα και λιγότερη τηλεόραση και μαθαίνουν την επικαιρότητα από το Διαδίκτυο μέσω του υπολογιστή τους ή του smartphone τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Ο ΑΜΦΙΔΡΟΜΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Ο αμφίδρομος τρόπος επικοινωνίας αναφέρεται στη μετάδοση κατά την οποία και οι δύο κόμβοι μπορούν να μεταδώσουν πληροφορία. Ο παραλήπτης αποστέλλει ανάδραση (feedback) στον αποστολέα για την κατάσταση του διαύλου και πληροφορεί τον αποστολέα αν έλαβε το επιθυμητό μήνυμα και ο αποστολέας μπορεί να συνεχίσει να μεταδίδει πληροφορία. Η πλειοψηφία των τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών πραγματοποιείται πλέον με αμφίδρομους τρόπους μετάδοσης με τα μεγάλα πλεονεκτήματα σε: (i) ρυθμό μετάδοσης, (ii) ευρωστία και (ii) ποιότητα υπηρεσίας αφού ο αποστολέας γνωρίζει ποια είναι η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο δέκτης ώστε να προσαρμόσει αντίστοιχα τη μετάδοσή του.

Αναφορικά με το απευθείας ENG, η χρήση αμφίδρομου τρόπου μετάδοσης προσφέρει τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα αλλά εμφανίζει και μειονεκτήματα όπως: (i) η πολυπλοκότητα συστήματος και (ii) ο αυξημένος κίνδυνος παρεμβολής σε σχέση με το μονόδρομο, αφού υπεισέρχονται στη μετάδοση δύο ασύρματες ζεύξεις έναντι μιας. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά σε μερικά σημαντικά πρότυπα, τεχνολογίες και πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σε αμφίδρομα συστήματα επικοινωνιών και στο ENG.

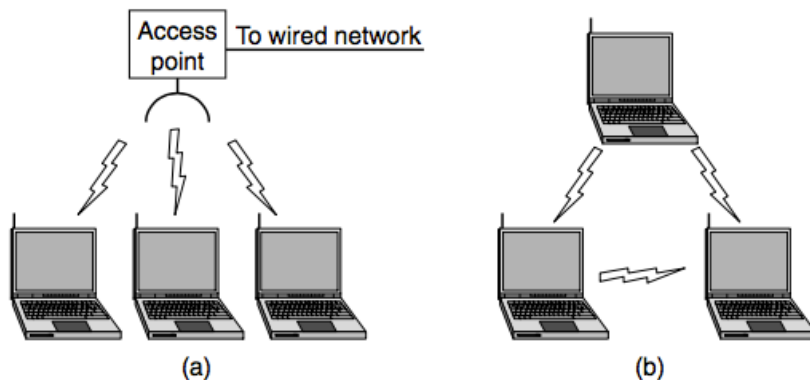
3.1 Η οικογένεια προτύπων ασύρματης πρόσβασης 802.11

Τα ασύρματα δίκτυα LAN έχουν διεισδύσει σε πολύ μεγάλο βαθμό στη καθημερινή ζωή, σε χώρους κατοικίας, εργασίας, διασκέδασης και εκπαίδευσης που διαθέτουν τουλάχιστον ένα σημείο ασύρματης πρόσβασης στο Διαδίκτυο. Η κατηγορία προτύπων που κυριάρχησε ονομάζεται IEEE 802.11 (wireless LAN) και είναι επίσης γνωστή ως Wi-Fi. Η ονομασία 802.11 οφείλεται στο γεγονός ότι τα προηγούμενα πρότυπα δικτύων LAN είχαν κωδική ονομασία 802.1 έως και 802.10 και τα ασύρματα δίκτυα LAN σχεδιάστηκαν να επεκτείνουν τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα LAN.

Οι ζώνες συχνοτήτων επιλέχθηκαν με βάση το ποιες ζώνες ήταν διαθέσιμες, κατά προτίμηση σε παγκόσμιο επίπεδο. Έτσι, σύμφωνα με την ITU-R (International Telecommunication Union-Radiocommunication Sector) υπάρχει διαθέσιμο φάσμα στις φασματικές περιοχές 902-928MHz, 2.4-2.5GHz, 5.725-5.825GHz στις οποίες μια συσκευή μπορεί να χρησιμοποιήσει το ελεύθερο φάσμα με περιορισμό στην ισχύ εκπομπής ώστε να αποφεύγονται οι αμοιβαίες παρεμβολές με τις υπόλοιπες συσκευές.

Τα ασύρματα δίκτυα 802.11 αποτελούνται από πελάτες (clients), π.χ. φορητούς υπολογιστές και smartphones, και από σημεία πρόσβασης (APs – access points), που ονομάζονται και σταθμοί βάσης (base stations). Τα σημεία πρόσβασης, μέσω αυτών διέρχεται όλη η κίνηση πληροφορίας, συνδέονται στο ενσύρματο δίκτυο. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας χρηστών όταν

βρίσκονται εντός εμβέλειας σε δίκτυα ειδικού σκοπού που ονομάζονται ad hoc networks. Τα δύο είδη δικτύων φαίνονται στο Σχ.3.1:



Σχήμα 3.1: a) Ασύρματο δίκτυο με σημείο πρόσβασης και b) ad hoc δίκτυο

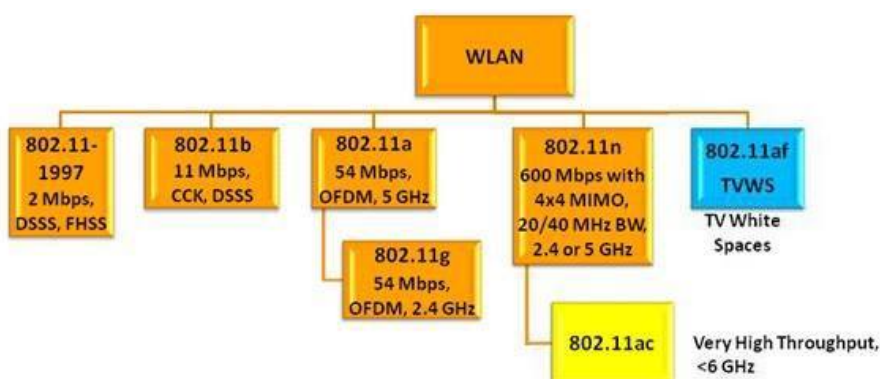
Η ασύρματη μετάδοση επηρεάζεται από φαινόμενα διάδοσης, όπως σκέδαση, ανάκλαση και περίθλαση. Ο δέκτης λαμβάνει πολλές εκδοχές του σήματος εκπομπής που είναι προϊόντα ανακλάσεων από τον περιβάλλοντα χώρο και προκαλούν αφαιρετική ή προσθετική συμβολή. Κατά συνέπεια, το σήμα λήψης εμφανίζει διαφορές σε σχέση με το σήμα εκπομπής. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διάλεια λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης (multipath fading).

Η πρώτη γενιά των προτύπων 802.11 το 1997 στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz προσέφερε ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μόλις 1-2Mbps, σημαντικά μικρότερους από την οικονομικότερη ενσύρματη λύση των δικτύων Ethernet (IEEE 802.3) που προσέφερε ταχύτητες 10 ή 100Mbps. Συνεπώς, έγιναν αμέσως προσπάθειες για αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων του προτύπου. Το πρότυπο IEEE 802.11a (1999) επέτυχε ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 54Mbps για λειτουργία στη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz, όπου εμφανίζεται μικρότερη κίνηση σε σχέση με τη ζώνη των 2.4GHz. Αυτό επιτεύχθηκε με χρήση της διαμόρφωσης OFDM² που διαχωρίζει το εύρος ζώνης σε μικρότερα φασματικά τμήματα και αποστέλλει τα bits πληροφορίας κατά παράλληλο τρόπο. Στο πρότυπο 802.11a χρησιμοποιήθηκαν 52 φέροντα και εύρος ζώνης 20MHz.

Το πρότυπο 802.11b, που και αυτό ολοκληρώθηκε το 1999, επέτυχε ταχύτητες μέχρι 11Mbps στη ζώνη 2.4GHz, όπου δεν απαιτείται αδειοδότηση, χωρίζοντας τη διαθέσιμη εκεί φασματική ζώνη σε έξι κανάλια των 15MHz. Η πολλαπλή πρόσβαση επιτυγχάνεται μέσω του σχήματος CSMA³ προς αποφυγή συγκρούσεων. Το πρότυπο 802.11g (2003) σχεδιάστηκε με σκοπό να επιτύχει αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης στη περιοχή συχνοτήτων των 2.4GHz. Προσφέροντας ταχύτητες 54Mbps και μερική συμβατότητα με το πρότυπο 802.11b, αποτελεί το πλέον επιτυχημένο πρότυπο Wi-Fi. Το 2007, τέθηκε σε λειτουργία το πρότυπο 802.11n που λειτουργεί τόσο στα 2.4 όσο και στα 5GHz, με

ονομαστικό ρυθμό μετάδοσης 540Mbps, δηλαδή είναι 10 φορές ταχύτερο από το πρότυπο 802.11g. Η μεγάλη αύξηση του ρυθμού μετάδοσης οφείλεται κυρίως στη χρήση της τεχνικής MIMO (multiple-input multiple-output). Τα δεδομένα τεμαχίζονται σε πολλαπλές ροές και μεταδίδονται σε διαφορετικούς πολλαπλούς διαύλους, οι οποίοι προκύπτουν από τους διαφορετικούς συνδυασμούς μεταξύ των πολλαπλών κεραιών σε πομπό και δέκτη. Η τεχνική τεμαχισμού της πληροφορίας και μετάδοσής της μέσω διαφορετικών διαύλων ονομάζεται χωρική πολυπλεξία (spatial multiplexing), και οι ροές δεδομένων που προκύπτουν ονομάζονται χωρικές ροές. Με βάση το 802.11n, το Δεκέμβριο του 2013 δημοσιεύτηκε το πρότυπο 802.11ac που χρησιμοποιεί ευρύτερα κανάλια (εύρους 80 ή 160MHz έναντι των 40MHz που χρησιμοποιεί το 802.11n) στη ζώνη των 5GHz, μεγαλύτερη χωρική πολυπλεξία, υψηλότερης στάθμης σχήματα διαμόρφωσης (έως και 256-QAM) και με τη προσθήκη της τεχνολογίας multi-user MIMO.

Τέλος, το Φεβρουάριο του 2014 εγκρίθηκε το πρότυπο 802.11af, το οποίο επιτρέπει τη λειτουργία ασυρμάτων δικτύων LAN στα φασματικά κενά των ζωνών VHF και UHF μεταξύ 54 και 790MHz (TV white spaces). Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται ονομάζεται ευφυής διαχείριση ραδιοφάσματος (cognitive radio) και στηρίζεται στη δυναμική διαχείριση του φάσματος μέσω της οποίας η διάταξη μπορεί αυτόματα να ανιχνεύει τα διαθέσιμα κανάλια στο ασύρματο φάσμα και αναλόγως να επιλέγει το κανάλι με τις βέλτιστες συνθήκες μετάδοσης. Σε επίπεδο φυσικού στρώματος, το πρότυπο βασίζεται στο σχήμα OFDM. Λόγω των αρκετά μικρότερων συχνοτήτων λειτουργίας σε σχέση με τη ζώνη 2.4 και 5GHz, το πρότυπο 802.11af υπόκειται σε χαμηλότερες απώλειες σε σχέση με τα πρότυπα 802.11 a/b/g/n/ac. Επομένως, χαρακτηρίζεται από αρκετά μεγαλύτερη εμβέλεια. Για κανάλια εύρους 6MHz και 7MHz με μια μόνο χωρική ροή μπορούν να επιτευχθούν ταχύτητες των 26.7Mbps, ενώ για κανάλια εύρους 8MHz μπορούν να επιτευχθούν ταχύτητες των 35.6Mbps. Με τέσσερις χωρικές ροές και τέσσερα συνενωμένα κανάλια με τη τεχνική bonding μπορούν να επιτευχθούν ταχύτητες έως και 426.7Mbps για κανάλια εύρους 6MHz και 7MHz, ενώ για κανάλια εύρους 8MHz μπορούν να επιτευχθούν ταχύτητες έως και 568.9Mbps.



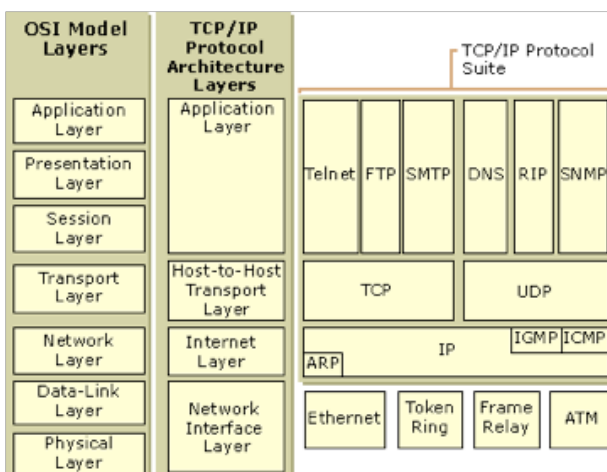
Σχήμα 3.2: Μερικά από τα πλέον διαδεδομένα πρότυπα της οικογένειας 802.11

3.2 Η σουίτα πρωτοκόλλων TCP/IP

Η ονομασία TCP/IP αναφέρεται σε ένα σύνολο πρωτοκόλλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα δίκτυα υπολογιστών και επικοινωνιών. Το ακρωνύμιο προέρχεται από τα ακρωνύμια Transmission Control Protocol και Internet Protocol, τα οποία είναι και τα πλέον διαδεδομένα πρωτόκολλα της συλλογής.

Η ταξινόμηση των πρωτοκόλλων που ανήκουν στη συλλογή γίνεται σε επίπεδα (layers). Κάθε επίπεδο αντιμετωπίζει συγκεκριμένα προβλήματα της μεταφοράς δεδομένων. Το TCP/IP αποτελείται από τέσσερα επίπεδα, σε αντίθεση με το μοντέλο OSI που αποτελείται από επτά. Τα τέσσερα επίπεδα του TCP/IP περιγράφονται ακολούθως:

- 1) Επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer), το οποίο περιλαμβάνει τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται από την πλειοψηφία των εφαρμογών δικτύωσης, όπως για παράδειγμα η πλοήγηση στο Διαδίκτυο και το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (Email).
- 2) Επίπεδο Μεταφοράς (Host-to-Host Transport Layer), το οποίο είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά μηνυμάτων, έλεγχο σφαλμάτων και ροής και τεμαχισμό της πληροφορίας.
- 3) Επίπεδο Διαδικτύου (Internet Layer), το οποίο είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά δεδομένων από το δίκτυο του αποστολέα στο δίκτυο του παραλήπτη.
- 4) Επίπεδο Διασύνδεσης Δικτύου (Network Interface Layer), το οποίο περιέχει τα φυσικά στοιχεία του δικτύου (hubs, repeaters, κάρτες δικτύων) και τον τρόπο με τον οποίο εμπλέκονται στην αποστολή και διαβίβαση των πακέτων.



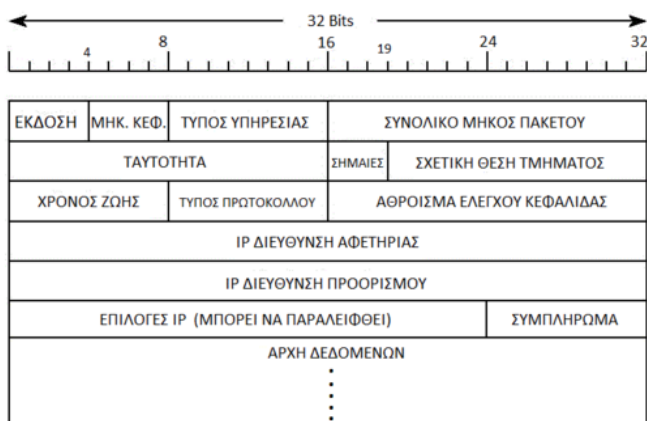
Σχήμα 3.3: Η σουίτα πρωτοκόλλων TCP/IP και η αναλογία της με το μοντέλο OSI

3.2.1 Το πρωτόκολλο IP (Internet Protocol)

Το πρωτόκολλο διαδικτύου αποτελεί το κύριο πρωτόκολλο μεταφοράς πακέτων δεδομένων και επί αυτού είναι βασισμένο το Διαδίκτυο. Είναι το σημαντικότερο πρωτόκολλο της συλλογής TCP/IP και ανήκει στο Επίπεδο Διαδικτύου. Το IP καθορίζει τη μορφή των πακέτων που μεταδίδονται και είναι υπεύθυνο για τη διευθυνσιοδότηση και προώθησή των πακέτων από τον αποστολέα προς τον τελικό παραλήπτη μέσω ενός ή περισσότερων δρομολογητών.

Το πρωτόκολλο IP δεν αποτελεί αξιόπιστο τρόπο μετάδοσης πληροφορίας αλλά αποτελεί λύση βέλτιστης προσπάθειας (best-effort). Επειδή είναι ανεξάρτητο της τεχνολογίας υλικού, δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι θα μεταφέρει τα δεδομένα στον προορισμό τους χωρίς απώλειες ή αλλοίωση πακέτων ή χωρίς καθυστέρηση. Απλώς, το πρωτόκολλο IP καταβάλλει τη βέλτιστη δυνατή προσπάθεια για να επιτύχει τη μεταφορά των δεδομένων.

Η γνωστότερη και πλέον επιτυχημένη έκδοση του πρωτοκόλλου IP είναι η IPv4 (Internet Protocol Version 4), η οποία, καίτοι η νέα έκδοση IPv6 υπάρχει από το 2012, εξακολουθεί να διευθυνσιοδοτεί την πλειοψηφία των διευθύνσεων του Διαδικτύου.



Σχήμα 3.4: Το δεδομενόγραμμα IPv4

Στο σχήμα 3.4 φαίνεται η μορφή του δεδομενογράμματος IPv4. Στο επίπεδο δικτύου, τα πακέτα αναφέρονται ως δεδομενογράμματα. Τα κύρια πεδία είναι τα ακόλουθα:

- *Αριθμός Έκδοσης.* Τα πρώτα 4 bit καθορίζουν την έκδοση πρωτοκόλλου IP. Ανάλογα με την έκδοση, ο δρομολογητής μπορεί να καθορίσει πώς να διαχειριστεί το δεδομενόγραμμα, αφού διαφορετικές εκδόσεις χρησιμοποιούν διαφορετικές μορφές δεδομενογράμματος.
- *Μήκος κεφαλίδας.* Επειδή ο αριθμός των επιλογών είναι μεταβλητός, αυτά τα 4 bit καθορίζουν πού ακριβώς μέσα στο δεδομενόγραμμα αρχίζουν τα δεδομένα. Τα περισσότερα δεδομενογράμματα IP δεν έχουν επιλογές, οπότε έχουν κεφαλίδα που αποτελείται από 20 byte.

- *Τύπος υπηρεσίας.* Τα bit τύπου υπηρεσίας συμπεριλήφθηκαν στην κεφαλίδα του IPv4 για τις διάφορες απαιτήσεις των υπηρεσιών. Για παράδειγμα, κάποιες υπηρεσίες απαιτούν πολύ μικρό χρόνο καθυστέρησης (real-time), ενώ άλλες απαιτούν υψηλή αξιοπιστία.
- *Συνολικό Μήκος Πακέτου.* Σε αυτό το πεδίο αναγράφεται το συνολικό μήκος πακέτου σε byte. Αφού αυτό το πεδίο έχει μήκος 16bit, το μέγιστο θεωρητικά μέγεθος δεδομενογράμματος IP είναι 65.535byte. Ωστόσο, σπάνια το μέγεθος των πακέτων υπερβαίνει τα 1.500 byte.
- *Ταντότητα, σημαίες, σχετική θέση τμήματος.* Αυτά τα τρία πεδία σχετίζονται με την κατάτμηση του IP σε πακέτα.
- *Διάρκεια ζωής (time-to-live, TTL).* Ο λόγος ύπαρξης του πεδίου αυτού είναι για να διασφαλίσει ότι τα δεδομενογράμματα δεν θα κυκλοφορούν για πάντα μέσα στο δίκτυο. Το πεδίο μειώνεται κατά ένα κάθε φορά που γίνεται επεξεργασία του δεδομενογράμματος από ένα δρομολογητή.
- *Πρωτόκολλο.* Αυτό το πεδίο χρησιμοποιείται μόνο όταν το δεδομένογράμμα φθάσει στον τελικό του προορισμό. Η τιμή του δηλώνει το πρωτόκολλο μεταφοράς στο οποίο πρέπει να παραδοθεί το δεδομένογράμμα. Για παράδειγμα η τιμή 6 αντιστοιχεί στο πρωτόκολλο TCP, ενώ η τιμή 17 αντιστοιχεί στο UDP, τα οποία περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.
- *Άθροισμα ελέγχου κεφαλίδας.* Το άθροισμα ελέγχου κεφαλίδας επιτρέπει σε ένα δρομολογητή να ανιχνεύει σφάλματα σε ένα δεδομένογράμμα IP. Αν ανιχνευθεί σφάλμα, ο δρομολογητής απορρίπτει το πακέτο, άλλως το επαναπροωθεί
- *Διευθύνσεις IP προέλευσης και προορισμού.* Ένα τερματικό που επιθυμεί να αποστείλει ένα δεδομένογράμμα, εισάγει τη διεύθυνση IP του στο πεδίο διεύθυνσης IP προέλευσης και τη διεύθυνση του τελικού προορισμού, την οποία βρίσκει μέσω μιας αναζήτησης DNS.
- *Επιλογές.* Τα πεδία επιλογών επιτρέπουν σε μια κεφαλίδα IP να επεκταθεί. Ωστόσο, η ύπαρξη των επιλογών περιπλέκει αρκετά τη δρομολόγηση και την επεξεργασία των πακέτων, αφού οι κεφαλίδες δεδομενογραμμάτων μπορούν να έχουν μεταβλητό μήκος.
- *Δεδομένα.* Τις περισσότερες φορές το πεδίο αυτό εμπεριέχει το τμήμα επιπέδου μεταφοράς, που θα παραδοθεί στον προορισμό. Ωστόσο, κάποιες φορές μπορεί να περιέχει και άλλους τύπους δεδομένων.

3.2.2 Το πρωτόκολλο TCP (Transmission Control Protocol)

Το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μεταφοράς ανήκει στο Επίπεδο Μεταφοράς της σουίτας TCP/IP και έχει ως στόχους: (i) την αξιόπιστη αποστολή και λήψη δεδομένων, (ii) την αποφυγή λαθών και (iii) τη σωστή σειρά άφιξης πακέτων στο στρώμα εφαρμογής. Επί του πρωτοκόλλου TCP βασίζεται η πλειοψηφία των υπηρεσιών στο Διαδίκτυο όπως, για παράδειγμα, το HTTP (Hypertext Transfer Protocol), γνωστό ως πρόθεμα των διευθύνσεων World Wide Web (WWW).

Τα πακέτα πληροφορίας ονομάζεται τεμάχια TCP (TCP segments) και η πληροφορία αποστέλλεται υπό τη μορφή ροής οκτάδων που φθάνουν στον παραλήπτη με την ίδια σειρά με την οποία τα απέστειλε ο αποστολέας. Οι μηχανισμοί που καθιστούν το πρωτόκολλο αξιόπιστο είναι:

- i) η αποστολή επιβεβαιώσεων (ACK) που επιβεβαιώνουν την ορθή λήψη των δεδομένων
- ii) οι τεχνικές ελέγχου συμφόρησης, με χρήση των οποίων το TCP προσπαθεί να αποφύγει υπερφόρτωση μεταξύ των δύο συνδεδεμένων άκρων.

3.2.3 Το πρωτόκολλο UDP (User Datagram Protocol)

Το πρωτόκολλο UDP ανήκει στο Επίπεδο Μεταφοράς και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου τα πακέτα πρέπει να φθάσουν ταχέως στον προορισμό τους και για τις οποίες υπάρχει ανοχή ως προς τα πακέτα που δεν φθάνουν καθόλου ή φθάνουν με λάθος σειρά. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι η μετάδοση ήχου και βίντεο. Επειδή δεν διαθέτει μηχανισμούς επιβεβαιώσεων και ελέγχου ροής όπως το πρωτόκολλο TCP, το πρωτόκολλο UDP είναι ταχύτερο και αποτελεσματικότερο στις εφαρμογές που δεν απαιτούν πλήρως αξιόπιστη επικοινωνία.

Οι εφαρμογές που είναι πολύ ευαίσθητες ως προς την καθυστέρηση μεταφοράς, όπως οι εφαρμογές audio και video streaming και τα online παίγνια, απαιτούν την παράδοση μεγάλου όγκου πληροφορίας στον τελικό προορισμό ταχέως και χωρίς διακοπές στη ροή της εικόνας ή του ήχου. Αν κάποιο πακέτο χαθεί, υπάρχουν διαθέσιμοι ειδικοί μηχανισμοί διόρθωσης ώστε ο χρήστης που παρακολουθεί ακουστικό ή οπτικοακουστικό περιεχόμενο να μην αντιληφθεί διαφορά.

3.2.4 Το πρωτόκολλο HTTP (Hypertext Transfer Protocol)

Το Πρωτόκολλο Μεταφοράς Υπερκειμένου (HyperText Transfer Protocol – HTTP) είναι ένα πρωτόκολλο του επιπέδου εφαρμογής της σουίτας TCP/IP και αποτελεί τον πυρήνα του World Wide Web. Το HTTP υλοποιείται σε δύο προγράμματα: ένα πρόγραμμα πελάτη και ένα πρόγραμμα εξυπηρετητή, τα οποία εκτελούνται σε διαφορετικά τερματικά συστήματα και ανταλλάσσουν μεταξύ

τους μηνύματα HTTP. Όταν ο χρήστης ζητεί να περιηγηθεί σε μια ιστοσελίδα, ο φυλλομετρητής του αποστέλλει μηνύματα αίτησης HTTP στον εξυπηρετητή για τα αντικείμενα της σελίδας, που μπορεί να είναι αρχεία HTML, εικόνες, βίντεο αλλά και μικροεφαρμογές. Ο εξυπηρετητής λαμβάνει τις αιτήσεις και αποκρίνεται με μηνύματα απόκρισης HTTP, τα οποία περιέχουν τα αντικείμενα.

Το HTTP χρησιμοποιεί το TCP ως το υποκείμενο πρωτόκολλο μεταφοράς. Ο πελάτης HTTP εκκινεί μια σύνδεση TCP με τον εξυπηρετητή και αφού εγκατασταθεί η σύνδεση, ο πελάτης αποστέλλει μηνύματα αιτήσεων HTTP στη διεπαφή socket και ο εξυπηρετητής λαμβάνει μηνύματα απόκρισης στη διεπαφή socket του.

Ένα από τα πλεονεκτήματα μιας αρχιτεκτονικής οργανωμένης σε επίπεδα γίνεται αντιληπτό από το ότι το HTTP δεν χρειάζεται να ασχολείται με απώλεια πακέτων, διόρθωση λαθών ή αναδιάταξη των πακέτων στη σωστή σειρά, αφού με όλα τα προαναφερθέντα ασχολείται το TCP στο επίπεδο μεταφοράς.

3.2.5 Το πρωτόκολλο RTP (Real-time Transport Protocol)

Το πρωτόκολλο RTP είναι ένα πρωτόκολλο της σουίτας TCP/IP που χρησιμοποιεί το UDP ως υποκείμενο πρωτόκολλο μεταφοράς και χρησιμοποιείται κατά κόρον στις εφαρμογές για επικοινωνία που προσφέρουν πολυμεσικές ροές όπως τηλεφωνικές κλήσεις μέσω διαδικτύου (Voice over IP), βίντεο κλήσεις, audio και video streaming και real-time broadcasting. Το RTP, σε αναλογία με το UDP, δεν παρέχει κανένα μηχανισμό για τη διασφάλιση της έγκαιρης παράδοσης των πακέτων ή κάποια εγγύηση ποιότητας υπηρεσίας. Ωστόσο, διαθέτει μηχανισμούς για τον έλεγχο και συγχρονισμό των δεδομένων. Η ενθυλάκωση πακέτων RTP γίνεται αντιληπτή μόνο στα τερματικά ενώ οι δρομολογητές δεν γνωρίζουν ποια δεδομενογράμματα IP περιέχουν πακέτα RTP και ποια όχι. Με τον τρόπο αυτό το RTP καταφέρνει να εκμεταλλευτεί την ταχύτητα του UDP, αφού ο έλεγχος και ο συγχρονισμός των πακέτων λαμβάνει χώρα στα τερματικά.

3.3 Σύγκριση πρωτοκόλλων για video streaming μέσω του VLC media player

Το VideoLAN Client (VLC) media player είναι μια δωρεάν πολυμεσική εφαρμογή ανοικτού κώδικα που χρησιμοποιείται για αναπαραγωγή πολυμεσικού περιεχομένου, κωδικοποίηση αλλά και streaming. Επειδή είναι ανοικτού κώδικα και χρησιμοποιεί δικά του εσωτερικά codecs, μπορεί να λειτουργήσει σχεδόν σε κάθε δημοφιλή πλατφόρμα και να χρησιμοποιήσει μεγάλο πλήθος αρχείων, CD, DVD, ροές δεδομένων δικτύου, κάρτες σύλληψης και άλλους τύπους πολυμέσων.

Η προσομοίωση video streaming που θα ακολουθήσει γίνεται σε ασύρματο οικιακό δίκτυο LAN, δηλαδή μέσω ενός WiFi router και όχι σε μια επίγεια μικροκυματική ζεύξη. Επίσης, οι δυσμενείς

καταστάσεις που συμβαίνουν σε μια ασύρματη ζεύξη, όπως παρεμβολές, βροχοπτώσεις ή απώλεια LOS (line of sight), οι οποίες επιφέρουν μείωση του ρυθμού μετάδοσης, αυξημένο χρόνο καθυστέρησης και απώλεια πακέτων, προσομοιώνονται με τη βοήθεια της εφαρμογής Network Link Conditioner για macOS.

Η διάταξη της προσομοίωσης περιλαμβάνει δύο φορητούς υπολογιστές και ένα WiFi router συνδεδεμένα σε τοπολογία WLAN. Το αρχείο που χρησιμοποιήθηκε έχει format MP4, ανάλυση 720x404pixels, frame rate 23.97fps και είναι το έβδομο επεισόδιο του πέμπτου κύκλου της σειράς “Elementary”. Ο επιλεγμένος τύπος ενθυλάκωσης είναι ο MPEG-TS (MPEG-Transport Stream) και οι δυσμενείς συνθήκες προσομοιώνονται στο δέκτη με βάση δύο προφίλ testing και Very Bad Network με τις παραμέτρους που εμφανίζονται στο Σχ.3.5:

Profile	DNS Delay	Downlink Bandwidth	Downlink Packets Dropped	Downlink Delay	Uplink Bandwidth	Uplink Packets Dropped	Uplink Delay
testing	10 ms	2000 kbps	1%	100 ms	2000 kbps	1%	100 ms
Very Bad Network	None	1 mbps	10%	500 ms	1 mbps	10%	500 ms

Σχήμα 3.5: Οι παράμετροι των δύο προφίλ της προσομοίωσης

3.3.1 HTTP streaming

Στο HTTP streaming, το βίντεο αποθηκεύεται σε ένα εξυπηρετητή HTTP ως ένα συνηθισμένο αρχείο με ένα συγκεκριμένο URL. Όταν ένας χρήστης επιθυμεί να παρακολουθήσει το βίντεο, ο πελάτης εγκαθιστά μια σύνδεση TCP με τον εξυπηρετητή και εκδίδει μια αίτηση HTTP για το συγκεκριμένο URL. Στη συνέχεια, ο εξυπηρετητής αποστέλλει το αρχείο του βίντεο μέσα σε ένα μήνυμα απόκρισης HTTP, όσο το δυνατό ταχύτερα επιτρέπουν ο έλεγχος συμφόρησης και ο έλεγχος ροής. Στην πλευρά του πελάτη, τα byte συλλέγονται σε ένα ενταμιευτή εφαρμογής πελάτη (client buffer). Όταν ο αριθμός των bytes υπερβεί ένα κατώφλιο, η εφαρμογή πελάτη αρχίζει την αναπαραγωγή. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή λαμβάνει διαδοχικά πλαίσια του βίντεο από τον ενταμιευτή εφαρμογής πελάτη, τα οποία αποσυμπιέζει και τα εμφανίζει στην οθόνη. Αν για κάποιο λόγο κατά τη διάρκεια του streaming ο ρυθμός μετάδοσης μειωθεί, τότε η αναπαραγωγή του βίντεο δεν σταματά αναγκαστικά, αφού ο ενταμιευτής μπορεί να έχει συλλέξει εκ των προτέρων bytes από πλαίσια σε μελλοντική χρονική σειρά.

Η ανωτέρω τεχνική με εκ των προτέρων φόρτωση δεδομένων στον ενταμιευτή μπορεί να λειτουργήσει πολύ αποδοτικά σε streaming αποθηκευμένου βίντεο. Ωστόσο, για real-time video streaming δεν μπορεί να αποδώσει, αφού τα δεδομένα αποστέλλονται σε πραγματικό χρόνο.

HTTP streaming χωρίς ενεργοποιημένο κάποιο προφίλ

Όπως φαίνεται στο στιγμιότυπο του Σχ.3.6 η ροή βίντεο είναι πολύ ικανοποιητική και δεν εμφανίζει αισθητές διαφορές σε σχέση με την αναπαραγωγή σε πλατφόρμα που έχει αποθηκευμένο το αρχείο. Ο λόγος είναι ότι το πρωτόκολλο TCP, στο οποίο βασίζεται το HTTP, διορθώνει τα λάθη και ότι στο υπό εξέταση δίκτυο οι χρόνοι καθυστέρησης είναι πολύ μικροί εξαιτίας των μικρών αποστάσεων μεταξύ των χρηστών.



Σχήμα 3.6

HTTP streaming με ενεργοποιημένο το testing profile

Η ροή συνεχίζει να είναι ικανοποιητική δεδομένου ότι ο ρυθμός μετάδοσης των 2000kbps είναι αρκετός για τη μετάδοση του συγκεκριμένου αρχείου. Στις χρονικές στιγμές όπου υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ διαδοχικών πλαισίων εμφανίζονται μικρές αλλοιώσεις στην εικόνα χωρίς όμως αυτό να επιδρά αρνητικά στη συνολική εμπειρία του χρήστη.



Σχήμα 3.7

HTTP streaming με ενεργοποιημένο το Very Bad Network profile

Η ροή βίντεο πλέον δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί, αφού οι δυσμενείς συνθήκες δεν επιτρέπουν την έγκαιρη αποστολή TCP επιβεβαιώσεων στον αποστολέα και χάνεται ο συγχρονισμός μεταξύ αποστολέα και δέκτη. Με την ενεργοποίηση του Very Bad Network profile αρχίζει η εμφάνιση γκριζών pixel και μετά από λίγα δευτερόλεπτα η ροή παύει να είναι διαθέσιμη.



Σχήμα 3.8

HTTP streaming με ενεργοποιημένη τη λειτουργία transcoding

Με ενεργοποιημένη τη λειτουργία transcoding του VLC player για επανακωδικοποίηση του βίντεο σε format MPEG-4 στα 768kbps και του ήχου σε format MP3 στα 128kbps, το video streaming συμπεριφέρεται αρκετά διαφορετικά. Εξαιτίας της απαιτητικής διαδικασίας του video encoding, ο

επεξεργαστής δεν μπορεί να κάνει encoding και streaming το βίντεο ταυτόχρονα και κατά συνέπεια η ροή εμφανίζει διακοπές και στο βίντεο και στον ήχο, οι οποίες δεν μπορούν να αποτυπωθούν σε στιγμιότυπα.

3.3.2 UDP streaming

Με το UDP streaming ο εξυπηρετητής μεταδίδει βίντεο με ρυθμό ίσο με το ρυθμό κατανάλωσης του βίντεο από τον πελάτη, τεμαχίζοντας τα πακέτα του βίντεο με ένα σταθερό ρυθμό. Για παράδειγμα, αν ο ρυθμός λήψης του βίντεο είναι 2Mbps και κάθε πακέτο UDP μεταφέρει 8.000bit βίντεο τότε ο εξυπηρετητής θα μετέδιδε ένα πακέτο UDP κάθε $8.000\text{bit} / 2\text{Mbps} = 4\text{ms}$.

Επειδή το UDP δεν χρησιμοποιεί μηχανισμό ελέγχου συμφόρησης, ο εξυπηρετητής μπορεί να προωθήσει πακέτα μέσα στο δίκτυο με το ρυθμό λήψης του βίντεο, χωρίς τους περιορισμούς ελέγχου ρυθμού του TCP. Το UDP χρησιμοποιεί ένα μικρό ενταμειυτή στην πλευρά του πελάτη, ο οποίος μπορεί να περιέχει βίντεο διάρκειας μικρότερης του ενός δευτερολέπτου για επίτευξη ομαλής αναπαραγωγής βίντεο.

UDP streaming χωρίς ενεργοποιημένο κάποιο προφίλ

Η ροή βίντεο είναι ικανοποιητική και δεν εμφανίζει σημαντικές διαφορές σε σχέση με τη ροή HTTP που προσομοιώθηκε προηγουμένως. Η ροή HTTP προσφέρει καλύτερη εικόνα με μηδενικές αλλοιώσεις όταν δεν υπάρχει κάποιο ενεργοποιημένο profile, εξαιτίας της διορθωτικής ικανότητας που διαθέτει το πρωτόκολλο HTTP και της πολύ καλής κατάστασης του δικτύου.



Σχήμα 3.9

UDP streaming με ενεργοποιημένο το testing profile

Η ροή εμφανίζει macroblocking στην εικόνα όπως φαίνεται στο Σχ.3.10. Παρά το ότι ο ρυθμός μετάδοσης είναι αρκετός για τη μετάδοση της ροής βίντεο, το πρωτόκολλο UDP δεν μπορεί να αντισταθμίσει πλήρως ούτε τους μικρούς χρόνους καθυστέρησης ούτε τη μικρή απώλεια πακέτων.



Σχήμα 3.10

UDP streaming με ενεργοποιημένο το Very Bad Network profile

Η ροή εμφανίζει σημαντικές αλλοιώσεις όχι μόνο στην εικόνα αλλά και στον ήχο του βίντεο. Όχι μόνο εμφανίζεται macroblocking στην εικόνα, αλλά και ο ήχος του βίντεο εμφανίζει διακοπές. Ως πρωτόκολλο βέλτιστης προσπάθειας, το πρωτόκολλο UDP δεν προσπαθεί να διορθώσει τα λάθη αλλά επικεντρώνεται στο να φθάσουν όσο το δυνατό περισσότερα πακέτα στον προορισμό. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο στιγμιότυπο του Σχ.3.11, από όπου φαίνεται ότι η ροή δεν χάνεται όπως στο παράδειγμα με το πρωτόκολλο HTTP. Άρα, το UDP αποτελεί την προτιμητέα επιλογή για τις περιπτώσεις όπου δεν απαιτείται υψηλό QoS αλλά απαιτείται υψηλή διαθεσιμότητα.



Σχήμα 3.11

UDP streaming με ενεργοποιημένη τη λειτουργία transcoding

Όπως και στο παράδειγμα με το HTTP transcoding, ο φορητός υπολογιστής που χρησιμοποιείται για την παρούσα προσομοίωση δεν διαθέτει την απαραίτητη επεξεργαστική ισχύ ώστε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις ταυτόχρονου encoding και streaming. Κατά συνέπεια, η ροή εμφανίζει διακοπές στο βίντεο και στον ήχο.

3.3.3 RTP streaming

Όπως προαναφέρθηκε, το RTP χρησιμοποιεί το UDP ως υποκείμενο πρωτόκολλο μεταφοράς και προσθέτει bits για έλεγχο και συγχρονισμό της ροής. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αναμένονται να είναι αρκετά παρόμοια με την αυτήν του UDP, αφού οι ροές MPEG προσφέρουν από μόνες τους συγχρονισμό.

RTP streaming χωρίς ενεργοποιημένο κάποιο προφίλ

Η ροή RTP είναι σε πλήρη αντιστοιχία με τη ροή UDP. Το HTTP συνεχίζει να είναι η προτιμητέα επιλογή υπό ευνοϊκές συνθήκες μετάδοσης, προσφέροντας την καλύτερη συνολική εμπειρία.



Σχήμα 3.12

RTP streaming με ενεργοποιημένο το testing profile

Όπως και το UDP, το RTP δεν ασχολείται με τη διόρθωση λαθών και απώλεια πακέτων, οπότε ούτε και αυτό προσπαθεί να αντισταθμίσει την απώλεια πακέτων. Το UDP μάλιστα εμφανίζει λίγο καλύτερη συμπεριφορά, αφού το RTP διαθέτει πλεονάζουσα πληροφορία για συγχρονισμό, η οποία δεν ήταν απαραίτητη δεδομένου ότι η ροή MPEG διασφαλίζει το συγχρονισμό



Σχήμα 3.13

RTP streaming με ενεργοποιημένο το Very Bad Network profile

Τα αποτελέσματα είναι σε πλήρη αντιστοιχία με το αντίστοιχο παράδειγμα του UDP.



Σχήμα 3.14

RTP streaming με ενεργοποιημένη τη λειτουργία transcoding

Πάλι, η προσομοίωση παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με την αντίστοιχη προσομοίωση με UDP.

Συμπερασματικά, το πρωτόκολλο HTTP είναι η προτιμητέα επιλογή για δίαυλο με ευνοϊκές συνθήκες μετάδοσης, όπως για παράδειγμα ενσύρματα δίκτυα LAN, αφού προσφέρει το καλύτερο QoS λόγω της ικανότητας διόρθωσης λαθών του πρωτοκόλλου TCP. Το πρωτόκολλο UDP είναι η προτιμητέα επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή διαθεσιμότητα και όχι τόσο υψηλό QoS. Τέλος, το RTP παρουσιάζει παρόμοια ίσως και λίγο χειρότερη συμπεριφορά από το UDP στις σύγχρονες ροές MPEG, αφού τα πρόσθετα bits που εισάγονται για έλεγχο και συγχρονισμό δεν χρειάζονται και αποτελούν πλεονασμό. Το RTP μπορεί να παρουσιάσει καλύτερη συμπεριφορά από το UDP σε περιπτώσεις που απαιτούν συγχρονισμό από το πρωτόκολλο μεταφοράς, όπως οι πολυμεσικές ροές και που ο ρυθμός των bit δεν είναι σταθερός.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Ο ΜΟΝΟΔΡΟΜΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Ο μονόδρομος τρόπος μετάδοσης πληροφορίας αναφέρεται σε τεχνολογίες επικοινωνίας κατά τις οποίες η πληροφορία μπορεί να αποσταλεί κατά μία μόνο κατεύθυνση. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι το αναλογικό ραδιόφωνο και η αναλογική και ψηφιακή τηλεόραση. Οι τελικοί χρήστες συντονίζονται στη συχνότητα του ραδιοφωνικού ή τηλεοπτικού σταθμού και μπορούν να παρακολουθήσουν το οπτικό ή οπτικοακουστικό περιεχόμενο που επιθυμούν. Ωστόσο, δεν μπορούν να μεταδώσουν και αυτοί πληροφορία προς την κατεύθυνση του σταθμού.

Τα πλεονεκτήματα των μονόδρομων τρόπων επικοινωνίας είναι η απλότητα για τους χρήστες που είναι σε θέση με μία μόνο συσκευή λήψης να έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες βίντεο και ήχου. Ταυτόχρονα και η πολυπλοκότητα για τον πάροχο του περιεχομένου είναι μικρή, αφού με μια κεραία μπορεί να εξυπηρετήσει ικανοποιητικά μεγάλο αριθμό χρηστών. Ωστόσο, για την υπηρεσία ENG, ο μονόδρομος τρόπος επικοινωνίας εμφανίζει μειονεκτήματα όπως ο μειωμένος ρυθμός μετάδοσης, αφού ο πομπός που καταγράφει ένα γεγονός δεν γνωρίζει την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο δέκτης- σταθμός βάσης.

4.1 DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial)

Το πρότυπο DVB-T ανήκει στην οικογένεια DVB και είναι το πλέον διαδεδομένο πρότυπο ευρυεκπομπής ψηφιακής επίγειας τηλεόρασης στην Ευρώπη. Η πρώτη δημοσίευσή του έγινε το 1997 ενώ τέθηκε για πρώτη φορά σε λειτουργία στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1998. Χρησιμοποιείται και για εφαρμογές Earth News Gathering για τη μετάδοση βίντεο και ήχου από ένα κινητό σταθμό (συνήθως βαν) προς κεντρικό σημείο λήψης.

Το πρότυπο DVB-T μεταδίδει συμπιεσμένη πληροφορία όπως ήχο ή βίντεο με μια ροή MPEG , χρησιμοποιώντας COFDM (Coded OFDM) με αλυσιδωτή κωδικοποίηση FEC (Forward Error Correction) που χρησιμοποιεί συνελκτικούς κώδικες και κώδικες Reed Solomon με ρυθμούς κώδικα 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 και 7/8 και εναλλάσσει σχήμα διαμόρφωσης μεταξύ των QPSK, 16QAM και 64QAM.

Η τεχνική που χρησιμοποιεί για επίτευξη (i) υψηλού ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας και (ii) υψηλής διαθεσιμότητας συστήματος είναι η προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (Adaptive Coding and Modulation – ACM). Χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους και μετρήσεις της ποιότητας του καναλιού, το σύστημα προσαρμόζει τη λειτουργία του αντίστοιχα προς την κατάσταση του διαύλου. Για παράδειγμα, αν ο ουρανός είναι καθαρός, τότε οι απώλειες λόγω βροχής είναι μηδενικές, το σύστημα μεταβαίνει σε λειτουργία σχήματος διαμόρφωσης υψηλού επιπέδου και κώδικα FEC υψηλού ρυθμού. Αν, όμως, οι συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές για ασύρματη μετάδοση, το

σύστημα επιλέγει λειτουργία με το πλέον εύρωστο σχήμα διαμόρφωσης, στη συγκεκριμένη περίπτωση το QPSK, και με το μικρότερο ρυθμό κώδικα. Έτσι, το σύστημα αυξάνει τη διαθεσιμότητά του, αφού αξιοποιεί την υψηλή ευρωστία του σχήματος QPSK, αλλά επιτυγχάνει και υψηλό μέσο ρυθμό μετάδοσης χρησιμοποιώντας σχήμα διαμόρφωσης υψηλού επιπέδου όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές. Αξίζει να αναφερθεί ότι η τεχνική ACM δεν εφαρμόζεται μόνο στο πρότυπο DVB-T αλλά στην πλειοψηφία των σύγχρονων ασύρματων και ενσύρματων προτύπων μετάδοσης πληροφορίας και έχει συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στη ραγδαία επανάσταση στις τηλεπικοινωνίες.

Το πρότυπο DVB-T διαθέτει 4 επιλογές προστασίας παρεμβολών με διάστημα φύλαξης ⁴ (guard interval) 1/32, 1/16, 1/8 και 1/4, κανάλια 6, 7 και 8 MHz και ρυθμό ανανέωσης βίντεο 50 ή 60Hz.

4.2 DVB-T2

Το πρότυπο DVB-T2 αποτελεί τη δεύτερη έκδοση του επιτυχημένου προτύπου DVB-T, στην οποία έχουν ενσωματωθεί βελτιώσεις που αποσκοπούν σε καλύτερη χρήση του ραδιοφάσματος και αύξηση του ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας. Όπως και το DVB-T, το DVB-T2 χρησιμοποιεί και αυτό σχήμα COFDM και ACM με αλυσιδωτή κωδικοποίηση FEC με κώδικες LDPC (Low Density Parity Check) και BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham) και ρυθμούς κώδικα 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, και 5/6. Το DVB-T2 επιλέγει σχήμα διαμόρφωσης μεταξύ των QPSK, 16QAM, 64QAM και 256QAM και λόγω προστασίας έναντι παρεμβολών μεταξύ των τιμών 1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32 και 1/128.

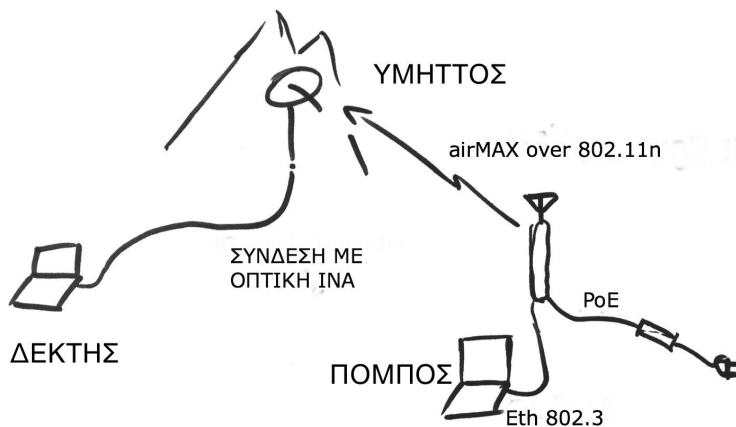
Μέσω του μεγαλύτερου εύρους επιλογών προστασίας έναντι παρεμβολών που προσφέρει, το πρότυπο DVB-T2 διαχειρίζεται καλύτερα το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Σε συνδυασμό με τις κωδικοποιήσεις LDPC και BCH, το σύστημα λειτουργεί περισσότερο αποδοτικά υπό υψηλά επίπεδα θορύβου, άρα είναι περισσότερο εύρωστο και ευέλικτο στην αντιμετώπιση του θορύβου. Επιπλέον, το DVB-T2 μπορεί να χρησιμοποιήσει διαμόρφωση 256QAM όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές και, άρα, να επιτύχει υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ

5.1 Η διάταξη της προσομοίωσης σε εξωτερικό χώρο

Οι προσομοιώσεις που αποσκοπούσαν στη σύγκριση πρωτοκόλλων για video streaming, όπως περιγράφηκε στην ενότητα 3.3, πραγματοποιήθηκαν σε οικιακό δίκτυο WLAN. Ωστόσο, η παρούσα διπλωματική έχει ως θέμα τη συλλογή και απευθείας μετάδοση ειδήσεων, οπότε πρέπει να εξετασθεί εκτενώς η περίπτωση του video streaming σε εξωτερικούς χώρους.

Για τις ανάγκες της προσομοίωσης σε εξωτερικό χώρο χρησιμοποιήθηκαν ένας φορητός υπολογιστής και ασύρματος τερματικός εξοπλισμός, όπου η ασύρματη διεπαφή 802.11n είναι σε διάταξη γέφυρας (bridge mode) με την καλωδιακή διεπαφή Ethernet 802.3 προσφέροντας διασύνδεση στο Layer 2 με το σταθμό βάσης και κατά συνέπεια με το υπόλοιπο δίκτυο κορμού.



Σχήμα 5.1: Η διάταξη της προσομοίωσης

Η ασύρματη διεπαφή που χρησιμοποιήθηκε είναι το NanoBridge M3 της Ubiquiti, το οποίο αποτελεί ολοκληρωμένο σύστημα ασύρματης πρόσβασης και μπορεί όχι μόνο να λειτουργήσει ως γέφυρα για τη διασύνδεση δύο δικτύων LAN, αλλά και ως δρομολογητής (router) και σημείο πρόσβασης (access point). Το πρωτόκολλο ασύρματης πρόσβασης που θα χρησιμοποιηθεί είναι το airMAX της UBIQUITI, το οποίο χρησιμοποιεί το 802.11n ως υποκείμενο πρωτόκολλο, αντικαθιστώντας το σχήμα CSMA/CoA με το σχήμα TDMA, καθώς η απόδοση του CSMA/CoA μειώνεται δραστικά στις ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων σε εξωτερικούς χώρους εξαιτίας των μεγάλων χρόνων διάδοσης που αυξάνονται αθροιστικά σε κάθε μήνυμα RTS ή CTS. Τα δύο προαναφερθέντα σχήματα πολλαπλής πρόσβασης περιγράφονται αναλυτικά στο παράρτημα της εργασίας.



Σχήμα 5.2: Ασύρματη διεπαφή NanoBridge M3

Η μέγιστη ισχύς εξόδου είναι ίση με 25dBm και το εύρος ζώνης συχνοτήτων είναι από 3.4 έως και 3.7GHz με κανάλια εύρους από 5 έως και 40MHz. Η διεπαφή κάνει ανίχνευση συχνοτήτων και διαλέγει μεταξύ πολλών το βέλτιστο κανάλι για μετάδοση. Επίσης, η τεχνική MIMO του προτύπου 802.11n είναι σε εφαρμογή.

Η διεπαφή διαθέτει δύο θύρες Ethernet, μία για σύνδεση σε τερματικό και μία για τροφοδοσία PoE (Power over Ethernet). Επειδή η δικτύωση πραγματοποιείται στο Layer 2 και η σύνδεση με το τερματικό, στην παρούσα περίπτωση το φορητό υπολογιστή, γίνεται με καλώδιο Ethernet, δεν χρειάζεται κάποιο driver software και η χρήση του λογισμικού της συσκευής γίνεται εφικτή πληκτρολογώντας σε φυλλομετρητή τη διεύθυνση IP της διεπαφής, ανεξαρτήτως λειτουργικού συστήματος. Μέσω του λογισμικού της διεπαφής είναι δυνατή η παραμετροποίηση της ζεύξης, καθώς και η μέτρηση του ρυθμού μετάδοσης στο φυσικό στρώμα και του πραγματικού ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας.

Για την επίτευξη της σύνδεσης σε επίπεδο IP χρειάστηκε να ανατεθεί στο φορητό υπολογιστή διεύθυνση IP, μάσκα υποδικτύου, πύλη δικτύου και διεύθυνση DNS από τις ρυθμίσεις της καλωδιακής διεπαφής Ethernet. Η ασύρματη διεπαφή NanoBridge M3, το τερματικό που βρίσκεται στον Υμηττό και ο φορητός υπολογιστής που προσομοιώνει το δέκτη έχουν όλα διευθύνσεις IP στο ίδιο υποδίκτυο, ίδια πύλη, μάσκα υποδικτύου και διεύθυνση DNS που προαναφέρθηκαν. Οι τρεις πρώτες τιμές παραμετροποιήθηκαν με σκοπό τη γεφύρωση των δύο δικτύων, ενώ η διεύθυνση του DNS παραμετροποιήθηκε για να είναι εφικτή η σύνδεση των τερματικών με το Διαδίκτυο.

5.2 Η διάταξη της προσομοίωσης σε επίπεδο λογισμικού

5.2.1 MSU Video Quality Measurement Tool

Για την αξιολόγηση της ποιότητας του video streaming χρησιμοποιήθηκε η δωρεάν έκδοση του Moscow State University Video Quality Measurement Tool (MSU VQMT). Το MSU VQMT προσπαθεί να επιτύχει αντικειμενική αξιολόγηση της ποιότητας του βίντεο υπολογίζοντας έως και 24 διαφορετικές παραμέτρους εκτίμησης. Για τις ανάγκες της προσομοίωσης, θα χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες παράμετροι:

- *Peak signal-to-noise ratio (PSNR⁵)*, δηλαδή το λόγο της μέγιστης ισχύος ενός σήματος προς τον υπάρχοντα θόρυβο
- *Video Quality Metric (VQM⁶)*, παράμετρος που χρησιμοποιεί το μετασχηματισμό DCT για να προσομοιώσει την ανθρώπινη αντίληψη
- *MSU Drop Frame Metric v1.1*, παράμετρος που εκφράζει την απώλεια πλαισίων.

Το MSU VQMT εξάγει τα αποτελέσματα σε διάγραμμα αλλά και σε βίντεο που απεικονίζει ανά πλαίσιο τις παραμέτρους.

Για παράδειγμα για τις τιμές του PSNR χρησιμοποιεί με αύξουσα σειρά τα χρώματα κόκκινο, κίτρινο, πράσινο, μπλε και μαύρο όπως φαίνονται στο Σχ.5.3 (Σημείωση: Μεγαλύτερες τιμές PSNR σημαίνουν μικρότερες διαφορές μεταξύ αρχείου αναφοράς και αρχείου καταγραφής με μέγιστη τιμή τα 100dB όταν τα δύο αρχεία είναι πανομοιότυπα):



Σχήμα 5.3: Από αριστερά προς τα δεξιά, το αρχείο αναφοράς, το αρχείο καταγραφής και η έξοδος του MSU VQMT για την παράμετρο PSNR.

Όπως φαίνεται στο Σχ.5.3, υπάρχουν μικρές αλλοιώσεις στο αρχείο καταγραφής σε σχέση με το αρχείο αναφοράς και το MSU VQMT στην έξοδό του απεικονίζει τα pixel με μπλε και πράσινο χρώμα, σύμφωνα με την υψηλή τιμή PSNR που τους αντιστοιχεί.

Για την παράμετρο VQM, φωτεινότερα pixels και μεγαλύτερες τιμές σημαίνουν μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ αρχείου αναφοράς και αρχείου καταγραφής με ιδανική τιμή το μηδέν. Οι τιμές της παραμέτρου VQM είναι καθαροί αριθμοί.



Σχήμα 5.4: Από αριστερά προς τα δεξιά το αρχείο αναφοράς, το αρχείο καταγραφής και η έξοδος του MSU VQMT για την παράμετρο VQM.

Όπως φαίνεται στο Σχ.5.4 μεταξύ του αρχείου αναφοράς και του αρχείου καταγραφής δεν υπάρχουν εμφανείς διαφορές, οπότε η έξοδος του MSU VQMT αποτελείται επί το πλείστον από σκοτεινά pixels και από λίγα φωτεινά pixels στα τμήματα εμφανίζονται αλλοιώσεις.

Η παράμετρος MSU Drop Frame Metric παίρνει την τιμή 1 όταν ανιχνεύει την απώλεια κάποιου πλαισίου, ενώ παίρνει την τιμή 0 όταν δεν ανιχνεύει καμία απώλεια πλαισίου.

Σύμφωνα με το άρθρο *Robust Transmission of JPEG2000 Encoded Images over Packet Loss Channels* των Xiangjun Li και Jianfei Cai, η ποιότητα μιας εικόνας μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική εφόσον η παράμετρος PSNR είναι μεγαλύτερη των 25dB. Η παράμετρος VQM πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν εγγύτερα στο μηδέν, όπως αναφέρεται στην ιστοσελίδα του MSU VQMT, ενώ το Drop Frame Metric να είναι ίσο με μηδέν.

5.2.2 VLC media player

Το MSU VQMT κάνει offline σύγκριση βίντεο, έχοντας ως είσοδο δύο αρχεία: το αρχείο αναφοράς και το αρχείο που προκύπτει από την καταγραφή της ροής, οπότε χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία καταγραφής του VLC player. Το VLC player μπορεί να καταγράψει βίντεο μέσω του πλήκτρου record από το GUI (Graphics User Interface) του, αλλά και μέσω της γραμμής εντολών του. Στη συνέχεια, ενδεικτικά αναφέρεται ένα script που χρησιμοποιήθηκε για την αποθήκευση-καταγραφή της ροής βίντεο από το δέκτη:

@echo off

```
"C:\Program Files\VideoLAN\VLC\VLC.exe" -vvv udp://@:1234 --sout file/ts:stream.ts
```

exit /b

Μετά την παράμετρο `-vvv` αναφέρεται η διεύθυνση της ροής, στη συγκεκριμένη περίπτωση πρόκειται για μονοεκπομπή πακέτων UDP στη θύρα 1234 του δέκτη και μετά την παράμετρο `--sout` τίθεται η επιθυμητή έξοδος της ροής, στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι επιθυμητό να εξαχθεί σε αρχείο ως ροή MPEG-TS και το όνομα του αρχείου είναι `stream.ts`.

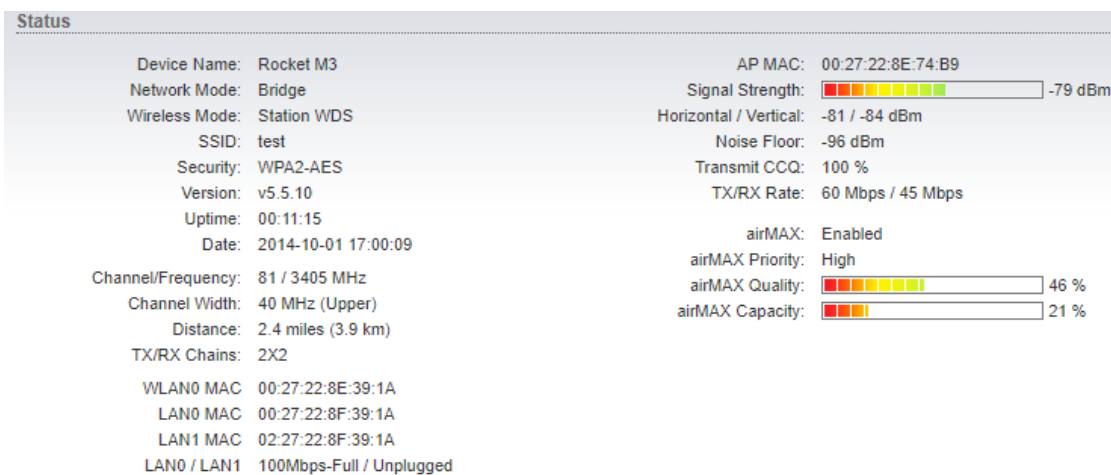
Από την πλευρά της αποστολής το αρχείο αναφοράς έχει ανάλυση 640x480pixels, 25fps, video format H.264, audio format MP3, μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 1.16 Mbps και ήταν το ίδιο επεισόδιο τηλεοπτικής σειράς που χρησιμοποιήθηκε και στην ενότητα 3.3. Χρησιμοποιήθηκαν δύο αρχεία, από τα οποία το ένα ήταν CBR (Constant Bit Rate) και το άλλο VBR (Variable Bit Rate). Οι προαναφερθείσες παράμετροι επιλέχθηκαν με σκοπό (i) να ελαχιστοποιηθεί η αλλοίωση που οφείλεται στην πρόσθετη επανακωδικοποίηση που απαιτούν τα βίντεο υψηλής ανάλυσης και υψηλού bit rate και (ii) για την καλύτερη αξιολόγηση της αλλοίωσης κατά τη μεταφορά των πακέτων IP. Ο δέκτης επιλέγει να αποθηκεύσει την εισερχόμενη ροή σε αρχείο .mp4 και να επανακωδικοποιήσει τα πακέτα σε προφίλ MPEG-4 έναντι του προφίλ MPEG-TS. Αυτό γίνεται επειδή κατά τη διάρκεια δοκιμών η επιλογή MPEG-TS είχε ως έξοδο ένα αρχείο πολύ μεγάλου μεγέθους, με αποτέλεσμα την εμφάνιση πολλαπλών σφαλμάτων εξαιτίας του μεγάλου όγκου των πλεοναζόντων bits που εισάγονται για την επίτευξη συγχρονισμού. Άρα, η ενθυλάκωση MPEG-4 είναι προτιμητέα όταν χρειάζεται αποθήκευση της ροής σε κάποιο αρχείο και όχι απλώς διάθεση της για προβολή στο θεατή. Το γεγονός ότι υπάρχει μια επανακωδικοποίηση στο δέκτη χειροτερεύει ελαφρώς το PSNR της λαμβανόμενης ροής, ωστόσο για τις ανάγκες της διπλωματικής μπορεί να αγνοηθεί.

5.2.3 TeamViewer

Ο απομακρυσμένος έλεγχος του τερματικού-δέκτη στο σταθμό βάσης γίνεται εφικτός από οπουδήποτε υπάρχει σύνδεση με το Διαδίκτυο με τη χρήση του λογισμικού TeamViewer. Το λογισμικό είναι δωρεάν για μη εμπορική χρήση και διαθέσιμο για την πλειοψηφία των λειτουργικών συστημάτων. Επιπλέον, είναι πολύ φιλικό προς το χρήστη για την εγκατάσταση μιας σύνδεσης απομακρυσμένου ελέγχου και απαιτεί μόνο τη δημιουργία ενός λογαριασμού και την εγκατάσταση του TeamViewer και στα δύο τερματικά χωρίς να χρειάζεται ο χρήστης να ασχοληθεί με παραμετροποίηση σε επίπεδο IP.

5.3 Δοκιμές στο πεδίο υπό ευνοϊκές συνθήκες εκπομπής (ισχύς σήματος λήψης -79dBm)

Οι δοκιμαστικές μεταδόσεις που περιγράφονται στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν από την ταράτσα των παλαιών κτηρίων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών στην Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου. Από το σημείο από όπου έγιναν οι μεταδόσεις υπήρχε καθαρή LOS προς το τερματικό στον Υμηττό και στο airOS αποτυπώθηκαν οι παράμετροι που φαίνονται στο Σχ.5.5 (Σημείωση: Οι παράμετροι TX/RX Rate αναφέρονται στους μέγιστους ρυθμούς που μπορούν να επιτευχθούν από το σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης και χωρική πολυπλεξία που έχουν επιλεχθεί με βάση την ισχύ σήματος στο πρότυπο 802.11n. Οι πραγματικοί μέσοι ρυθμοί μετάδοσης είναι αρκετά μικρότεροι). Επίσης, καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής, η παράμετρος Drop Frame Metric ήταν ίση με μηδέν και άρα δεν χάθηκαν καθόλου πακέτα.



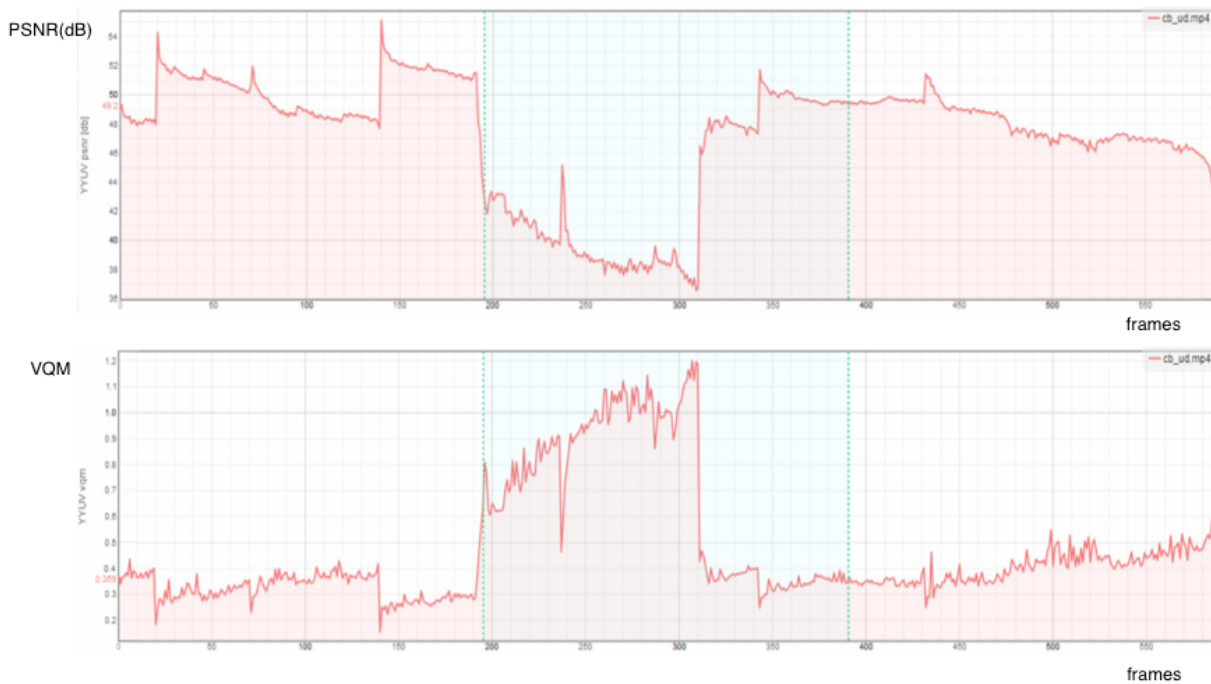
Σχήμα 5.5: Οι παράμετροι της πρώτης δοκιμής όπως απεικονίζονται στο airOS

5.3.1 Δοκιμές με αρχείο CBR



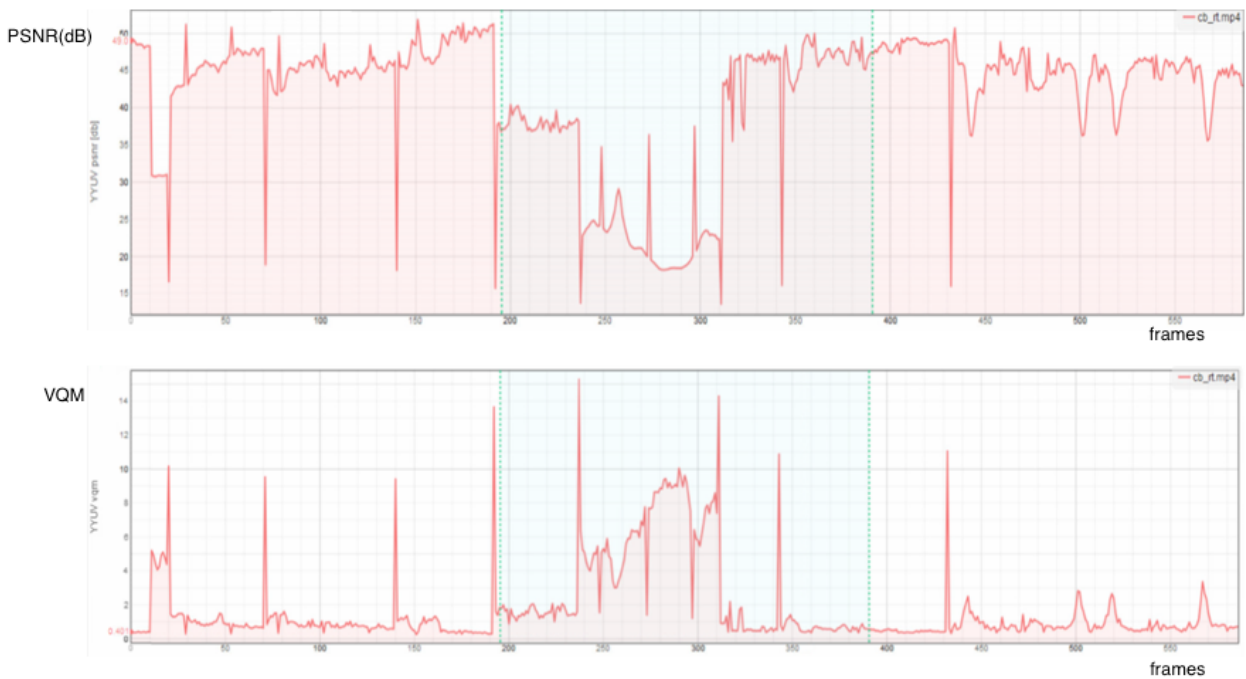
Σχήμα 5.6: Διαγράμματα PSNR και VQM για HTTP δοκιμή με CBR αρχείο και ισχύ σήματος λήψης -79dBm

Όπως φαίνεται στο Σχ.5.6, αν εξαιρεθούν τα πρώτα πλαίσια τα οποία αποτελούνται κατά πλειοψηφία από γκρίζα pixel λόγω της καθυστερημένης εγκατάστασης σύνδεσης TCP μεταξύ των δύο τερματικών, η παράμετρος PSNR βρίσκεται αρκετά υψηλότερα των 25dB, ενώ η παράμετρος VQM βρίσκεται πολύ κοντά στο μηδέν. Η παρούσα μέτρηση καταδεικνύει τη δυσκολία εγκατάστασης TCP σύνδεσης.



Σχήμα 5.7: Διαγράμματα PSNR και VQM για UDP δοκιμή με CBR αρχείο και ισχύ σήματος λήψης -79dBm

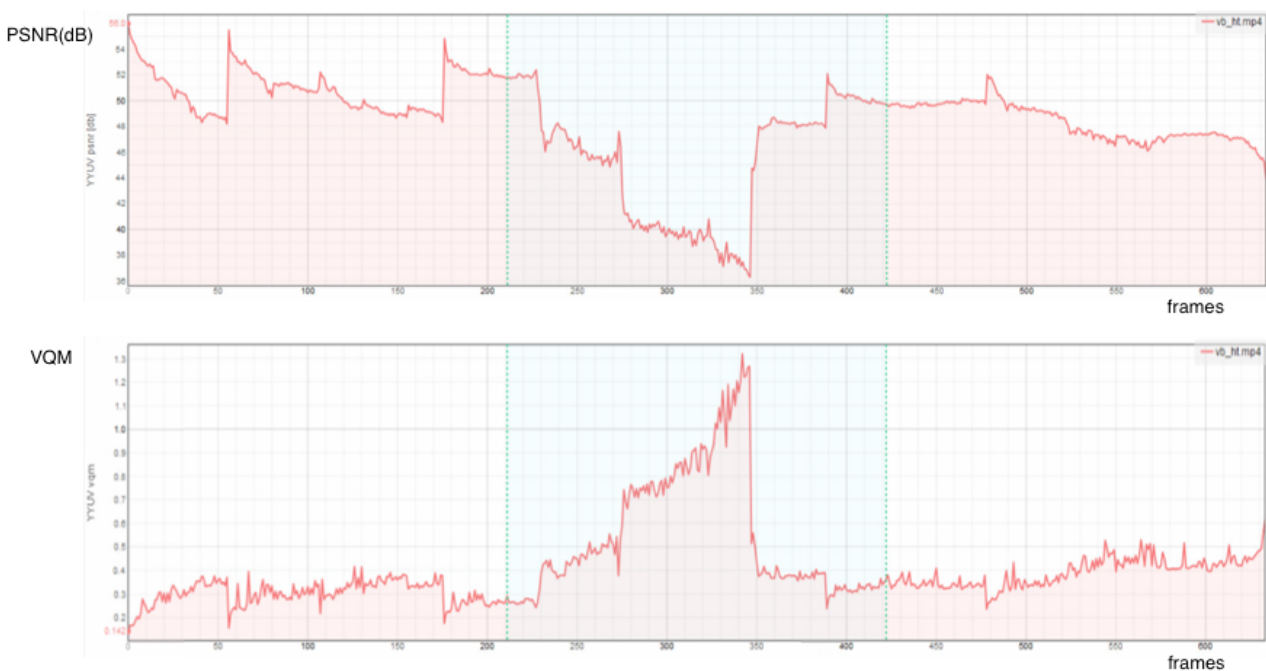
Εξαιτίας της αλλαγής κλίμακας, τα αποτελέσματα για το πρωτόκολλο UDP στο Σχ.5.7 φαίνονται λιγότερο ικανοποιητικά σε σχέση με τα αποτελέσματα στο Σχ.5.6. Ωστόσο, το PSNR παρέμεινε υψηλότερο των 30dB και το VQM δεν υπερέβη την τιμή 1.2. Τα διαγράμματα καταδεικνύουν ότι το πρωτόκολλο UDP πετυχαίνει ικανοποιητική συμπεριφορά, χωρίς να χρειάζεται να εγκαταστήσει σύνδεση TCP, απλώς αποστέλλοντας πακέτα πάνω από το IP.



Σχήμα 5.8: Διαγράμματα PSNR και VQM για UDP δοκιμή με CBR αρχείο και ισχύ σήματος λήψης -79dBm

Όπως φαίνεται στο Σχ.5.8, το πρωτόκολλο RTP παρουσιάζει χειρότερα αποτελέσματα από τα άλλα δύο, με εξάρσεις και βυθίσεις που όμως διαρκούν ελάχιστα. Πάντως, κατά τη διάρκεια του streaming ο θεατής δεν μπορεί να αντιληφθεί διαφορά.

5.3.2 Δοκιμές με αρχείο VBR



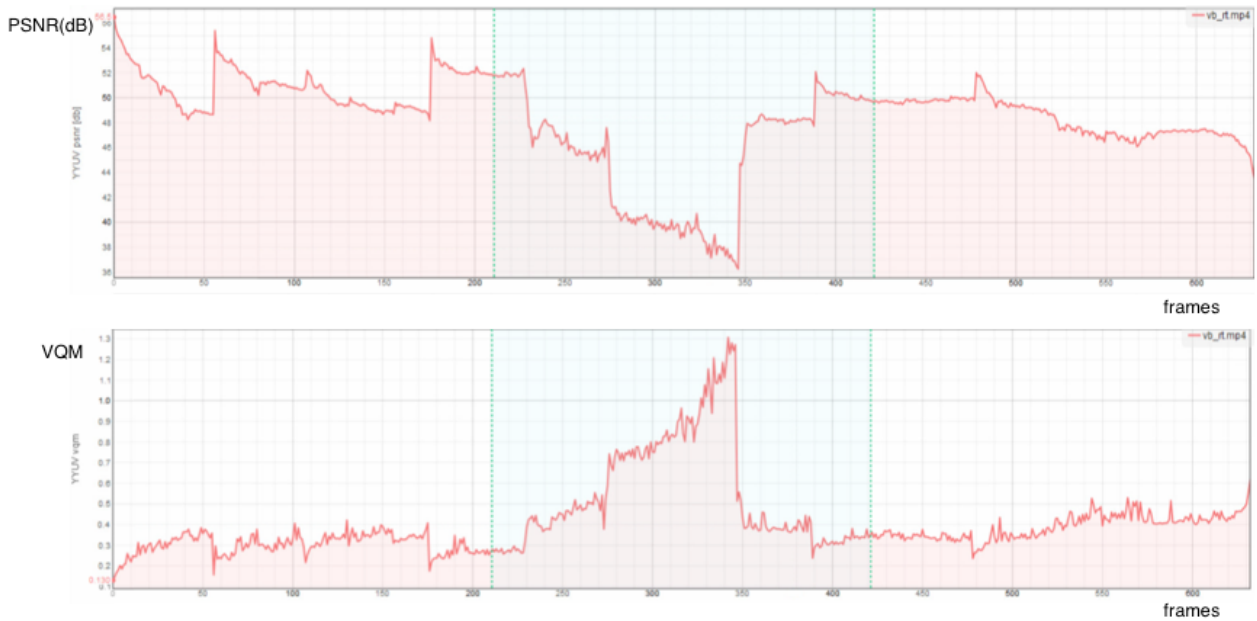
Σχήμα 5.9: Διαγράμματα PSNR και VQM για HTTP δοκιμή με VBR αρχείο και ισχύ σήματος λήψης -79dBm

Το αποτέλεσμα στο Σχ.5.9 είναι πολύ ικανοποιητικό όπως και στην περίπτωση με το αρχείο CBR. Το γεγονός ότι δεν υπάρχει στην αρχή καθυστέρηση, όπως στην προηγούμενη περίπτωση με το αρχείο CBR, είναι λιγότερο πιθανό να οφείλεται στο ότι το αρχείο VBR έχει μικρότερο bitrate στην αρχή του βίντεο και περισσότερο στο ότι, κατά τη διάρκεια των δοκιμών, για εγκατάσταση συνδέσεων HTTP χρειάζονταν πολλαπλές προσπάθειες και η ροή βίντεο χανόταν με τρόπο που δεν μπορούσε να προβλεφθεί από τον αποστολέα.



Σχήμα 5.10: Διαγράμματα PSNR και VQM για UDP δοκιμή με VBR αρχείο και ισχύ σήματος λήψης -79dBm

Τα αποτελέσματα δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά για τα πρώτα 55 πλαίσια. Ωστόσο, στα επόμενα πλαίσια η ροή αποκτά καλή ποιότητα όπως φαίνεται στο Σχ.5.10. Το αρχείο VBR φαίνεται να συμπεριφέρεται ελαφρώς προβληματικά με το πρωτόκολλο UDP.



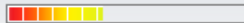


Σχήμα 5.11: Διαγράμματα PSNR και VQM για RTP δοκιμή με VBR αρχείο και ισχύ σήματος λήψης -79dBm

Το πρωτόκολλο RTP παρουσιάζει πολύ καλή συμπεριφορά, σε άμεση σύγκριση με το HTTP, όταν χρησιμοποιείται VBR video. Το πρωτόκολλο RTP φαίνεται να αξιοποιεί το χαμηλότερο bit rate των VBR video και εξομαλύνει τις αλλαγές στο bitrate με τα επιπλέον bits για συγχρονισμό που διαθέτει.

5.4 Δοκιμές στο πεδίο υπό λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες εκπομπής (ισχύς σήματος λήψης -84dBm)

Οι δοκιμαστικές μεταδόσεις που περιγράφονται στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν μέσα από το κτίριο της βιβλιοθήκης στην Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου με την ασύρματη διεπαφή τοποθετημένη σε παράθυρο, από όπου υπήρχε οπτική επαφή με το τερματικό στον Υμηττό. Ωστόσο, ενδιάμεσως παρεμβάλλονταν δένδρα και κτίρια. Καθ' όλη τη διάρκεια των δοκιμών, η παράμετρος Drop Frame Metric ήταν ίση με μηδέν, οπότε δεν υπήρξε απώλεια πακέτων.

Στο airOS αποτυπώθηκαν οι παράμετροι που φαίνονται στο Σχ.5.12:

Status	
Device Name:	Rocket M3
Network Mode:	Bridge
Wireless Mode:	Station WDS
SSID:	test
Security:	WPA2-AES
Version:	v5.5.10
Uptime:	00:20:18
Date:	2014-10-01 17:09:12
Channel/Frequency:	81 / 3405 MHz
Channel Width:	40 MHz (Upper)
Distance:	2.3 miles (3.8 km)
TX/RX Chains:	2X2
WLAN0 MAC	00:27:22:8E:39:1A
LAN0 MAC	00:27:22:8F:39:1A
LAN1 MAC	02:27:22:8F:39:1A
LAN0 / LAN1	100Mbps-Full / Unplugged
AP MAC:	00:27:22:8E:74:B9
Signal Strength:	 -84 dBm
Horizontal / Vertical:	-86 / -86 dBm
Noise Floor:	-95 dBm
Transmit CCQ:	98.7 %
TX/RX Rate:	45 Mbps / 30 Mbps
airMAX:	Enabled
airMAX Priority:	High
airMAX Quality:	 33 %
airMAX Capacity:	 8 %

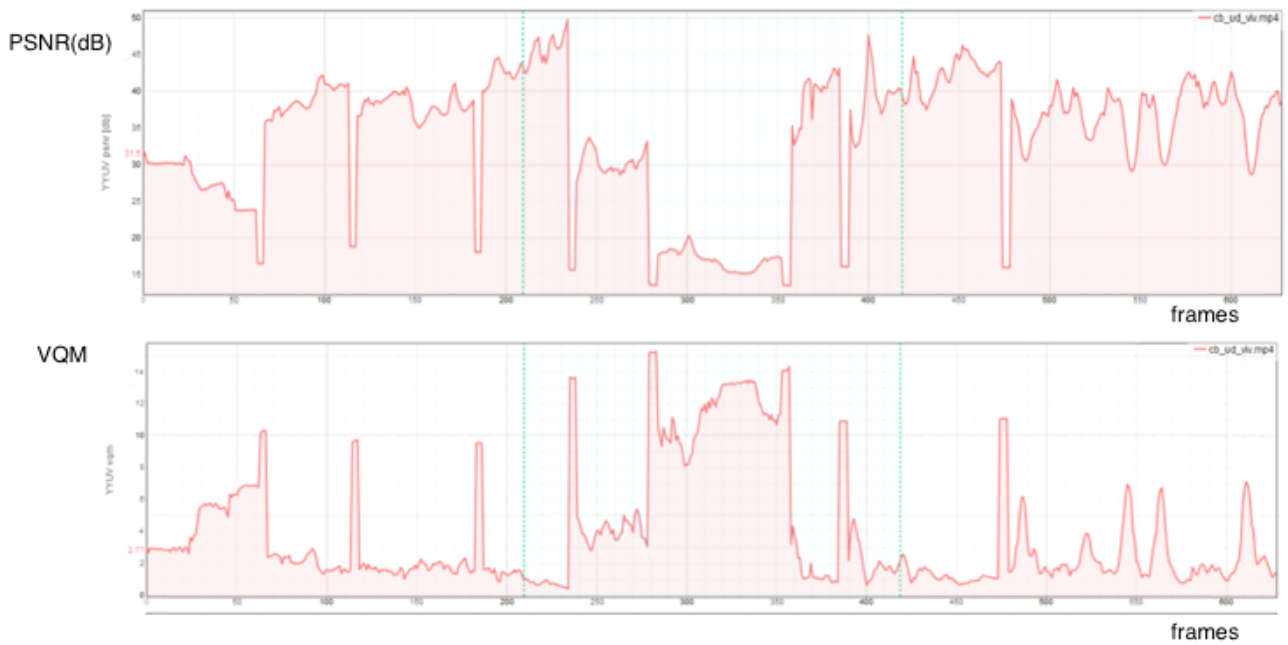
Σχήμα 5.12: Οι παράμετροι της δεύτερης δοκιμής όπως απεικονίζονται στο airOS

5.4.1 Δοκιμές με αρχείο CBR

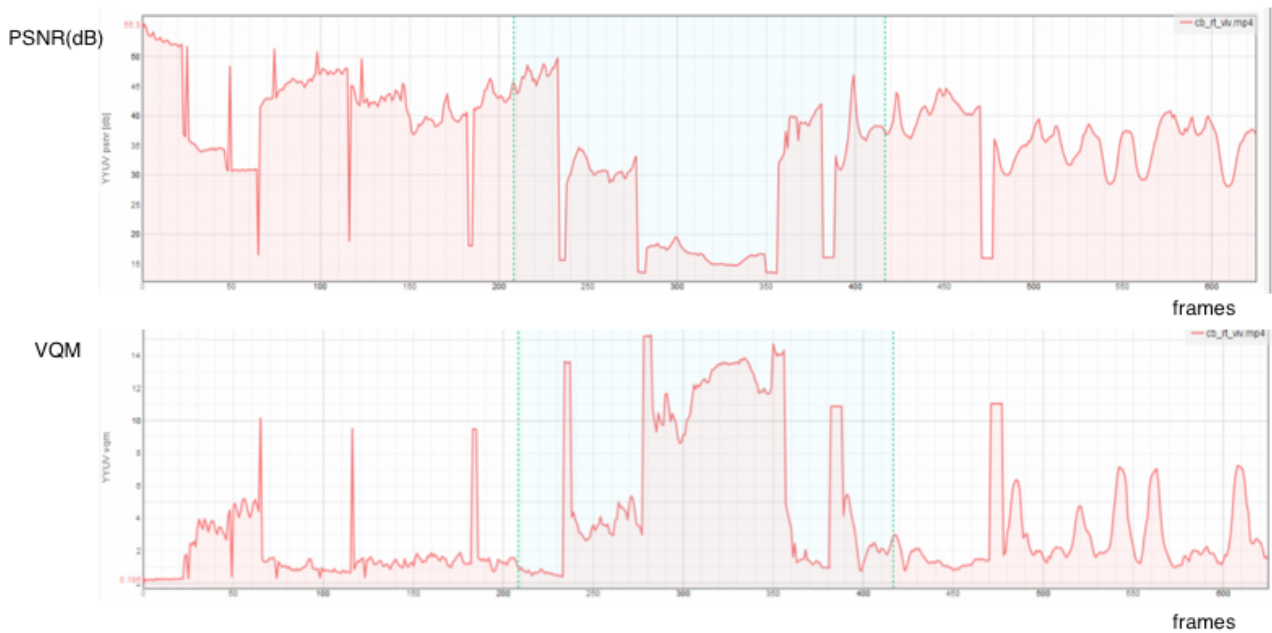


Σχήμα 5.13: Διαγράμματα PSNR και VQM για HTTP δοκιμή με CBR αρχείο και ισχύ σήματος λήψης -84dBm

Παρά τη χαμηλότερη ισχύ λήψης τα αποτελέσματα δεν έχουν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα αποτελέσματα της πρώτης δοκιμής που πραγματοποιήθηκε με ισχύ λήψης -79dBm. Οι παράμετροι PSNR και VQM βρίσκονται εντός του εύρους των επιθυμητών τιμών.



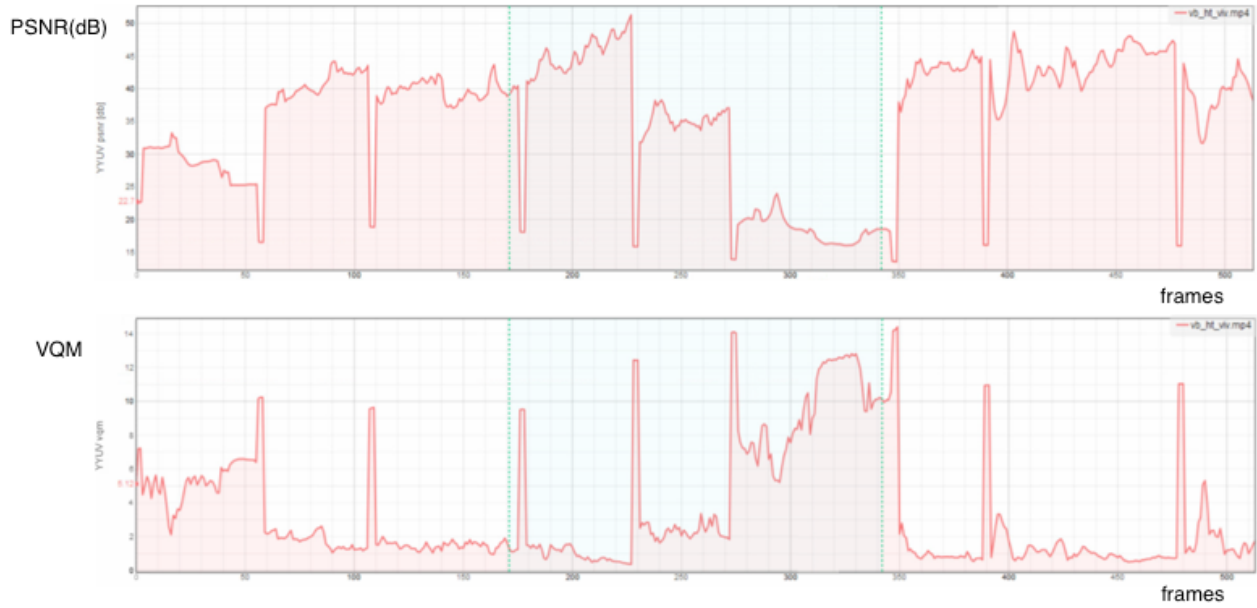
Σχήμα 5.14: Διαγράμματα PSNR και VQM για UDP δοκιμή με CBR αρχείο και ισχύ σήματος λήψης -84dBm



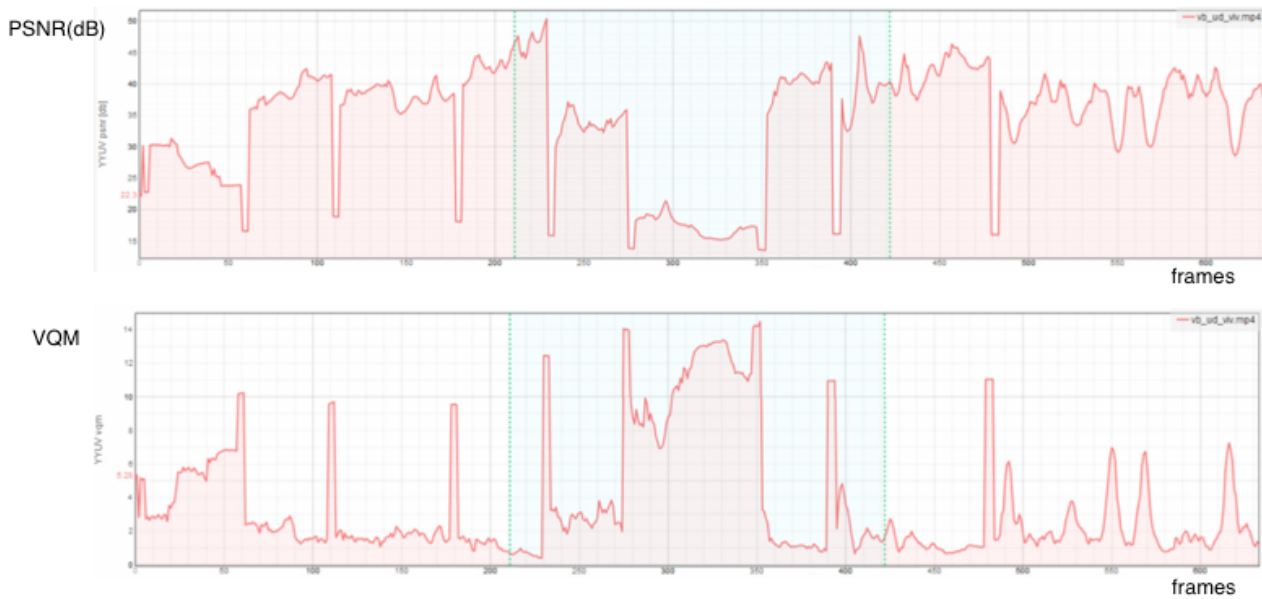
Σχήμα 5.15: Διαγράμματα PSNR και VQM για RTP δοκιμή με CBR αρχείο και ισχύ σήματος λήψης -84dBm

Όπως φαίνεται από τα Σχ.5.14 και 5.15, τα πρωτόκολλα UDP και RTP παρουσιάζουν πολύ παρόμοιες συμπεριφορές με συχνές εξάρσεις στο VQM και βυθίσεις στο PSNR.

5.4.2 Δοκιμές με αρχείο VBR



Σχήμα 5.16: Διαγράμματα PSNR και VQM για HTTP δοκιμή με VBR αρχείο και ισχύ σήματος λήψης -84dBm



Σχήμα 5.17: Διαγράμματα PSNR και VQM για UDP δοκιμή με VBR αρχείο και ισχύ σήματος λήψης -84dBm

Όπως φαίνεται στα Σχ.5.16 και 5.17, αυτή τη φορά τα πρωτόκολλα HTTP και UDP εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά.



Σχήμα 5.18: Διαγράμματα PSNR και VQM για RTP δοκιμή με VBR αρχείο και ισχύ σήματος λήψης -84dBm

Το πρωτόκολλο RTP εμφανίζει αρκετά καλύτερη συμπεριφορά σε σχέση με τα UDP και HTTP όταν χρησιμοποιείται το VBR αρχείο με πολύ μικρότερης διάρκειας εξάρσεις και βυθίσεις.

Σημείωση

Το πρόγραμμα MSU VQMT υπολογίζει τις παραμέτρους PSNR και VQM συγκρίνοντας πλαίσιο προς πλαίσιο το αρχείο αναφοράς και το αρχείο καταγραφής. Ωστόσο, το αρχείο αναφοράς με το αρχείο καταγραφής δεν ήταν πάντα συγχρονισμένα ως προς τα πλαίσια, οπότε χρειάστηκε χειροκίνητος συγχρονισμός. Άρα ο οριζόντιος άξονας των διαγραμμάτων δεν αναφέρεται στα ίδια πλαίσια σε όλα τα σχήματα και υπάρχουν μικρές μετατοπίσεις.

5.5 Συμπεράσματα

Η επιλογή του πρωτοκόλλου HTTP για την υπηρεσία ENG φαίνεται προφανής λύση επειδή προσφέρει υψηλό PSNR και χαμηλό VQM. Ωστόσο, η απάντηση για το ποια είναι η προτιμητέα επιλογή πρωτοκόλλου για την υπηρεσία ENG δεν είναι τόσο απλή. Επειδή το πρωτόκολλο HTTP χρειάζεται εγκατάσταση σύνδεσης TCP από το ένα τερματικό προς το άλλο μέσω αποστολής επιβεβαιώσεων, χρειάστηκαν πολλαπλές προσπάθειες για την επίτευξη σύνδεσης και ο δέκτης πάντα έχανε κάποια ελάχιστα πλαίσια στην αρχή. Επιπλέον, σε πολλές απόπειρες HTTP streaming, ο δέκτης λάμβανε video streaming χωρίς ήχο. Τέλος, αν για κάποιο λόγο υπάρχει μεγάλη απώλεια πακέτων

εξαιτίας θορύβου ή παρεμβολής, σύμφωνα με την ενότητα 3.3, η ροή video θα χαθεί. Τα προαναφερθέντα αρνητικά σημεία δεν εμφανίζονταν στις δοκιμές με τα πρωτόκολλα UDP και RTP.

Οι δοκιμές με το πρωτόκολλο UDP έδειξαν ότι το πρωτόκολλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εξυπηρέτηση ENG υπηρεσιών, επιτυγχάνοντας λίγο χειρότερη ποιότητα βίντεο σε σχέση με το HTTP λόγω απουσίας μηχανισμών διορθώσεων. Οι δοκιμές με το UDP χρειάζονταν μία και μοναδική προσπάθεια, δεδομένου ότι το UDP αποστέλλει ταχύτατα πακέτα πάνω από το IP, χωρίς να υπάρχει ανάγκη επιβεβαιώσεων. Το UDP έδειξε καλύτερη συμπεριφορά στο CBR αρχείο, αφού η υπηρεσία UDP streaming, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 3.3, μεταδίδει βίντεο με ρυθμό ίσο με το ρυθμό αφομοίωσης του βίντεο από το θεατή, χρονίζοντας τα τμήματα του βίντεο με ένα σταθερό ρυθμό.

Οι δοκιμές με το πρωτόκολλο RTP έδειξαν παρόμοια συμπεριφορά με το UDP. Ωστόσο, η μετάδοση του αρχείου VBR είχε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τη μετάδοση του αρχείου CBR, αφού το πρωτόκολλο RTP, το οποίο κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτούν συγχρονισμό σε πραγματικό χρόνο, μπορεί να αξιοποιήσει το μικρότερο μέσο ρυθμό μετάδοσης και να ανταποκριθεί στις αυξομειώσεις του.

Συμπερασματικά:

- (i) Το πρωτόκολλο HTTP παρουσιάζει την καλύτερη ποιότητα video streaming από τα τρία πρωτόκολλα εξαιτίας της διορθωτικής ικανότητας του TCP. Τα UDP και RTP προσφέρουν λίγο χειρότερη εμπειρία, αφού δεν διαθέτουν διορθωτικούς μηχανισμούς. Ωστόσο, και στις τρεις περιπτώσεις ο θεατής του βίντεο δεν μπορεί να αντιληφθεί διαφορά.
- (ii) Τα πρωτόκολλα UDP και RTP μπορούν και αποθηκεύουν ολόκληρη τη ροή σε αντίθεση με το πρωτόκολλο HTTP που απαιτεί εγκατάσταση σύνδεσης TCP χάνοντας πάντα κάποια πλαίσια στην αρχή της ροής που ενδέχεται να οδηγήσει σε απώλεια σημαντικής πληροφορίας για την ENG υπηρεσία.
- (iii) Οι χρόνοι καθυστέρησης του πρωτοκόλλου HTTP είναι μεγάλοι εξαιτίας της αποστολής επιβεβαιώσεων, σε αντίθεση με τους χρόνους καθυστέρησης των UDP και RTP που είναι μικροί αφού δεν υπάρχει η ανάγκη επιβεβαιώσεων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 1.1.2, οι μικροί χρόνοι καθυστέρησης έχουν μεγάλη σημασία για την ENG υπηρεσία.
- (iv) Η δοκιμή με το πρωτόκολλο HTTP χρειαζόταν πολλαπλές προσπάθειες για εγκατάσταση σύνδεσης TCP σε αντίθεση με τα UDP και RTP, των οποίων οι δοκιμές απαιτούσαν μία και μοναδική προσπάθεια. Η άμεση και έγκαιρη κάλυψη ενός γεγονότος αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για το πρόβλημα ENG.

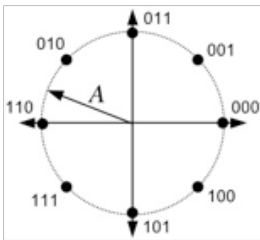
- (v) Σύμφωνα με την ενότητα 3.3, αν κατά τη διάρκεια του HTTP streaming υπάρχει μεγάλη απώλεια πακέτων εξαιτίας θορύβου ή παρεμβολής, τότε η ροή βίντεο θα χαθεί, κάτι το οποίο δε συμβαίνει με τα πρωτόκολλα UDP και RTP τα οποία θα συνεχίσουν να στέλνουν όσα πακέτα μπορούν. Άρα τα πρωτόκολλα UDP και RTP προσφέρουν μεγαλύτερη διαθεσιμότητα και ευρωστία από το πρωτόκολλο HTTP, το οποίο αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για την ENG υπηρεσία.
- (vi) Το CBR αρχείο παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά από το VBR αρχείο για HTTP streaming, αφού η εκ των προτέρων φόρτωση δεδομένων φαίνεται να λειτουργεί καλύτερα όταν ο ρυθμός μετάδοσης είναι σταθερός και όχι όταν παρουσιάζει αυξομειώσεις.
- (vii) Το CBR αρχείο παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά από το VBR αρχείο και για UDP streaming, αφού σύμφωνα με την ενότητα 3.3, η υπηρεσία UDP streaming μεταδίδει βίντεο με ρυθμό ίσο με το ρυθμό αφομοίωσης του βίντεο από το θεατή, χρονίζοντας τα τμήματα του βίντεο με ένα σταθερό ρυθμό. Άρα ένα αρχείο με μεταβλητό ρυθμό μετάδοσης μπορεί να μην εμφανίζει εξίσου καλή συμπεριφορά με ένα αρχείο με σταθερό ρυθμό μετάδοσης, δεδομένου ότι το UDP δεν διαθέτει bits για συγχρονισμό.
- (viii) Το VBR αρχείο παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά από το CBR αρχείο για RTP streaming, μιας και γενικά ο μέσος ρυθμός μετάδοσης ενός βίντεο VBR είναι μικρότερος από ένα αντίστοιχο βίντεο CBR. Το πρωτόκολλο RTP μπορεί να αξιοποιήσει τις μικρότερες απαιτήσεις για μέσο ρυθμό μετάδοσης, αλλά και να ανταποκριθεί στις αυξομειώσεις του ρυθμού μετάδοσης με τα επιπρόσθετα bits που διαθέτει για συγχρονισμό.

Τα πρωτόκολλα UDP και RTP αποτελούν την προτιμητέα επιλογή για την ENG υπηρεσία, καίτοι η ποιότητα του video streaming που προσφέρουν είναι λίγο χειρότερη από την ποιότητα του HTTP streaming εξαιτίας της ευρωστίας τους και των μικρών χρόνων καθυστέρησης που διαθέτουν, μιας και η ENG υπηρεσία χρειάζεται υψηλή διαθεσιμότητα και προσφορά εμπειρίας σε πραγματικό χρόνο. Η επιλογή ανάμεσα σε UDP ή RTP εξαρτάται από την επιλογή αρχείου VBR ή CBR. Το VBR αρχείο συμπεριφέρεται καλύτερα με το πρωτόκολλο RTP και το CBR αρχείο συμπεριφέρεται καλύτερα με το πρωτόκολλο UDP. Αν ο διάυλος μπορεί να υποστηρίξει μικρό ρυθμό μετάδοσης, τότε η επιλογή CBR αρχείου και πρωτοκόλλου UDP είναι προτιμητέα, αφού ο περιορισμός είναι ως προς το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τον οποίο μπορεί να υποστηρίξει ο διάυλος και όχι ως προς το μέσο ρυθμό μετάδοσης. Αν δεν υπάρχει περιορισμός από το ρυθμό μετάδοσης, τότε η επιλογή VBR αρχείου και πρωτοκόλλου RTP είναι προτιμητέα, αφού προσφέρει χαμηλότερο μέσο ρυθμό μετάδοσης,

αποφεύγει την κατασπατάληση εύρους ζώνης και όλα τα τμήματα του βίντεο μπορεί να μεταδοθούν με τον πραγματικό ρυθμό μετάδοσης που απαιτούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

¹ Το σχήμα διαμόρφωσης MPSK (Multiple Phase Shift Keying) είναι μέθοδος διαμόρφωση της φάσης του σήματος και αντιστοιχεί bits πληροφορίας σε σύμβολα. Η αντιστοίχιση των bits πληροφορίας σε σύμβολα μπορεί να αναπαρασταθεί με έναν αστερισμό όπου σε έναν κύκλο τα σύμβολα απεικονίζονται αντίστοιχα με τη φάση που τους έχει αντιστοιχηθεί. Κάθε σύμβολο αντιστοιχεί σε $\log_2 M$ bits όπως φαίνεται στο Σχ.6.1 για $M=8$.



Σχήμα 6.1: Διάγραμμα αστερισμού 8PSK

² Η διαμόρφωση OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) βασίζεται στο χωρισμό μιας ροής ψηφίων πληροφορίας σε πολλές επιμέρους ροές (substreams) και στη μετάδοσή τους σε αντίστοιχο πλήθος υποδιαύλων (subchannels). Τα πολλαπλά υπο-φέροντα (subcarriers) επιλέγονται να είναι ορθογώνια μεταξύ τους, υπό ιδανικές συνθήκες διάδοσης. Η τεχνική αυτή χαρακτηρίζεται από ρυθμό μετάδοσης και εύρος ζώνης πολλαπλάσιο κάθε υποδιαύλου, το οποίο είναι χαρακτηριστικό των πολυδιαυλικών διαμορφώσεων.

³ Το σχήμα CSMA (Carrier Sense Multiple Access) αποτελεί τεχνική τυχαίας πρόσβασης κατά την οποία κάθε τερματικό παρακολουθεί το δίαυλο και δεν επιχειρεί να μεταδώσει μέχρι να τον βρει ελεύθερο. Ο βασικός περιορισμός του σχήματος εμφανίζεται όταν δύο ή περισσότερα τερματικά εκκινούν ταυτόχρονα τη μετάδοσή τους πριν προλάβουν να ανιχνεύσουν ότι υπάρχει άλλη μετάδοση στο δίαυλο, οπότε επέρχεται σύγκρουση. Για τον περιορισμό των επιπτώσεων των συγκρούσεων έχουν αναπτυχθεί οι δύο ακόλουθες τεχνικές:

- CSMA/CoD (collision detection) όπου ο όρος CoD αναφέρεται στη δυνατότητα των τερματικών να ανιχνεύουν τις συγκρούσεις. Όταν κάποιο τερματικό ανιχνεύει μια σύγκρουση, τερματίζει τη μετάδοση και αναμένει επί κάποιο χρονικό διάστημα μέχρι να επανεκκινήσει μετάδοση. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ανίχνευση φέροντος (carrier sense) και εφαρμόζεται στα ενσύρματα δίκτυα και υιοθετείται από το ενσύρματο πρωτόκολλο Ethernet. Στις ασύρματες μεταδόσεις, δεν είναι δυνατό όλα τα τερματικά να ανιχνεύουν την ισχύ του φέροντος, εξαιτίας των απωλειών μετάδοσης και της διαφορετικής απόστασης μεταξύ τους. Στη περίπτωση αυτή, εφαρμόζεται η παραλλαγή του σχήματος CSMA που ακολουθεί.

· CSMA/CoA (collision avoidance) όπου ο όρος CoA αναφέρεται στη δυνατότητα των τερματικών να αποφεύγουν τις συγκρούσεις. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς όταν ένα τερματικό/πομπός επιχειρεί να μεταδώσει σε άλλο τερματικό/δέκτη, το ερωτά αν είναι αποδεκτή η μετάδοση πακέτου μέσω ενός μηνύματος RTS (request to send). Εφόσον ο δέκτης αντιληφθεί ότι ο δίαυλος είναι ελεύθερος, αποκρίνεται μέσω ενός μηνύματος CTS (clear to send) και ταυτόχρονα ειδοποιεί όλα τα υπόλοιπα τερματικά ότι ο δίαυλος είναι κατειλημμένος. Αντίστοιχα με το αν το πακέτο λήφθηκε με ή χωρίς λάθη, το τερματικό επιστρέφει στον πομπό ένα μήνυμα θετικής επιβεβαίωσης ACK, ή αντίστοιχα αρνητικής επιβεβαίωσης NACK. Αυτά είναι και τα βασικά χαρακτηριστικά του σχήματος CSMA που εφαρμόζεται στα πρότυπα 802.11a/b.

Σε αντίθεση με άλλα σχήματα πολλαπλής πρόσβασης, το σχήμα CSMA δεν επιτρέπει την ταυτόχρονη χρήση του διαύλου από πολλαπλά τερματικά, όπως για παράδειγμα το σχήμα TDMA. Τα τερματικά χρειάζεται να αναμένουν κάποιο χρονικό διάστημα για να μεταδώσουν, το οποίο μπορεί να επιμηκυνθεί κατά πολύ, καθώς αυξάνονται οι ενεργοί χρήστες σε ένα δίκτυο. Επιπλέον, αύξηση του αριθμού των χρηστών συνεπάγεται περισσότερες συγκρούσεις και περισσότερες αναμεταδόσεις πακέτων με αποτέλεσμα η διέλευση του δικτύου να μειώνεται δραστικά.

Το σχήμα TDMA (Time Division Multiple Access) είναι μέθοδος πολλαπλής προσπέλασης που επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να είναι συγχρονισμένοι στην ίδια συχνότητα. Το εκπεμπόμενο σήμα είναι χωρισμένο σε χρονοσχισμές, οι οποίες αντιστοιχίζονται σε ξεχωριστούς χρήστες. Κάθε χρήστης λαμβάνει το περιεχόμενο της χρονοσχισμής που του έχει εκχωρηθεί. Επειδή υπάρχει μόνο μια συχνότητα εκπομπής αποφεύγονται οι παρεμβολές γειτονικών καναλιών και τα προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης είναι αμελητέα.

⁴ Ο όρος διάστημα φύλαξης (guard interval) αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ διαδοχικών μεταδόσεων και χρησιμοποιείται για να διασφαλίσει ότι οι ξεχωριστές μεταδόσεις δεν επικαλύπτουν η μια την άλλη. Χρησιμοποιείται τόσο στο OFDM όπου οι μεταδόσεις αφορούν τον ίδιο χρήστη, όσο και στο TDMA όπου οι μεταδόσεις αφορούν διαφορετικούς χρήστες. Στο σχήμα OFDM υπάρχει ένα διάστημα φύλαξης πριν την αρχή κάθε OFDM συμβόλου ενώ στο TDMA κάθε χρονοσχισμή τελειώνει με ένα διάστημα ασφαλείας για αποφυγή παρεμβολών. Συχνά προσδιορίζεται υπό τη μορφή λόγου, για παράδειγμα 1/8, που δηλώνει το λόγο της χρονικής διάρκειας του διαστήματος φύλαξης προς τη χρονική διάρκεια της ωφέλιμης πληροφορίας. Όσο μικρότερος είναι ο λόγος GI τόσο μικρότερη η προστασία του σήματος έναντι παρεμβολών και τόσο μεγαλύτερος ο ωφέλιμος ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας.

⁵ Ο όρος Peak signal-to-noise ratio (PSNR) εκφράζει το λόγο της μέγιστης δυνατής ισχύς ενός σήματος προς την ισχύ του υπάρχοντος θορύβου. Επειδή πολλά σήματα έχουν πολύ μεγάλο δυναμικό εύρος, το PSNR εκφράζεται συνήθως σε dB. Το PSNR αποτελεί τη πιο συνηθισμένη παράμετρο μέτρησης της ποιότητας επανακωδικοποιημένης εικόνας ή βίντεο. Σε αυτή την περίπτωση το σήμα είναι η αρχική πληροφορία ενώ ο θόρυβος είναι οι αλλοιώσεις που εισάγονται από τη συμπίεση ή επανακωδικοποίηση.

Το PSNR περιγράφεται εύκολα με τη χρήση του μέγιστου τετραγωνικού σφάλματος (mean squared error – MSE). Για μια μονόχρωμη $m \times n$ I και για την προσέγγιση του θορύβου K , το MSE ορίζεται ως:

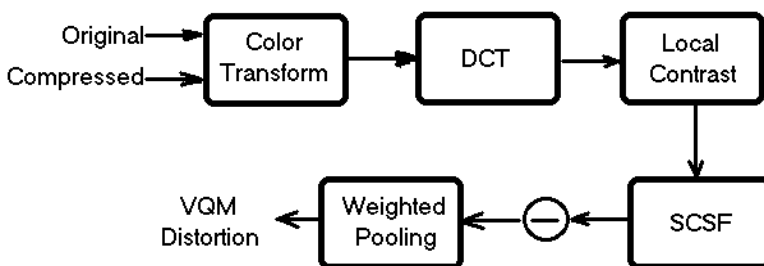
$$MSE = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2 \quad (6.1)$$

και το PSNR (σε dB) ορίζεται ως:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (6.2)$$

Όπου MAX_I είναι η μέγιστη δυνατή τιμή που μπορεί να πάρει ένα pixel της εικόνας. Για παράδειγμα χρησιμοποιείται αναπαράσταση 8 bit για κάθε pixel, τότε η μέγιστη δυνατή τιμή ενός pixel είναι 255.

⁶ Η παράμετρος VQM προσπαθεί να προσομοιώσει την ανθρώπινη αντίληψη χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμό που φαίνεται στο Σχ.6.2:



Σχήμα 6.2: Το σχηματικό διάγραμμα του αλγορίθμου υπολογισμού του VQM

Στο πρώτο βήμα του αλγορίθμου γίνεται μετασχηματισμός χρώματος στο YUV-color space και στο δεύτερο βήμα γίνεται μετασχηματισμός DCT. Στο τρίτο βήμα η παράμετρος τοπική αντίθεση (Local Contrast – LC) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την σχέση 6.3:

$$LC(i,j) = DCT(i,j) * Power(DC/1024, 0.65) / DC \quad (6.3),$$

,όπου DC είναι η DC συνιστώσα κάθε πλαισίου

Στο τέταρτο βήμα χρησιμοποιείται μια συνάρτηση χωρικής αντίθεσης και ευαισθησίας (Spatial Contrast Sensitivity Function – SCSF). Στο τελευταίο βήμα χρησιμοποιείται σταθμισμένη συγκέντρωση (weighted pooling), όπου εφαρμόζονται οι παρακάτω εξισώσεις για να υπολογίσει την παράμετρο VQM:

$$\text{Mean_dist}=1000*\text{mean}(\text{mean}(\text{abs}(\text{diff}))) \quad (6.4)$$

$$\text{Max_dist}=1000*\text{maximum}(\text{maximum}(\text{abs}(\text{diff}))) \quad (6.5)$$

$$\text{VQM}= (\text{Mean_dist}+0.005*\text{Max_dist}) \quad (6.6)$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Ασύρματες Επικοινωνίες- Κωττής Γ. Παναγιώτης, Αράπογλου Παντελής-Δανιήλ
- 2) Δικτύωση Υπολογιστών- J. F. Kurose, K. W. Ross , Εκδοσεις: Μ.Γκιούρδας
- 3) Δίκτυα υπολογιστών, Tanenbaum Andrew S., Εκδ. Κλειδάριθμος
- 4) Ψηφιακή Τηλεόραση - Ανδρέας Εμμ. Παπαδάκης
- 5) https://el.wikipedia.org/wiki/Εποχή_της_πληροφορίας
- 6) https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_video
- 7) http://www.dvbsystem.com/Public/uploads/images/20120621120709_83111.gif
- 8) <http://www.absatellite.com/wp-content/uploads/2015/12/Satellite-News-Gathering-final.jpg>
- 9) <https://www.cs.ucy.ac.cy/~nicolast/courses/cs422/lectures/mm21.pdf>
- 10) https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11af
- 11) https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- 12) <http://mwrf.com/test-amp-measurement/what-s-difference-between-ieee-80211ac-and-80211ad>
- 13) http://www.eett.gr/opencms/opencms/EETT/Electronic_Communications/Radio_Communications/Rights_Of_Use/
- 14) https://en.wikipedia.org/wiki/Content_delivery_network
- 15) http://www.dipolnet.com/h_264_compression_-_learn_and_use_in_practice_bib312.htm
- 16) http://www.compression.ru/video/quality_measure/info.html
- 17) https://en.wikipedia.org/wiki/Constant_bitrate
- 18) https://en.wikipedia.org/wiki/Variable_bitrate
- 19) DCT-based Video Quality Evaluation, Feng Xiao
- 20) https://en.wikipedia.org/wiki/Peak_signal-to-noise_ratio
- 21) https://el.wikipedia.org/wiki/Α_ρ_χ_ε_ί_ο :Ipheader.png
- 22) <https://i-technet.sec.s-msft.com/dynimg/IC213263.gif>
- 23) <https://www.incapsula.com/cdn-guide/what-is-cdn-how-it-works.html>