ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Μελέτη ζεύξης για ENG

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Πασχαλίδης

Επιβλέπων: Παναγιώτης Γ. Κωττής

31 Οκτωβρίου 2018

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Μελέτη ζεύξης για ENG ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Κωνσταντίνος Πασχαλίδης

Επιβλέπων: Παναγιώτης Γ. Κωττής

Εγκρίθηκε απο τη τριμελή επιτροπή την 31 Οκτωβρίου 2018

Παναγιώτης Κωττής Καθηγητής Ε.Μ.Π	Χρήστος Καψάλης Καθηγητής Ε.Μ.Π	Γεώργιος Φικιώρης Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2018

Κωνσταντίνος Πασχαλίδης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Πασχαλίδης Κωνσταντίνος, 2018
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.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να μελετηθεί αν είναι εφικτό να γίνει ηλεκτρονική συλλογή ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο πάνω από το φάσμα των WS. Το κίνητρο για αυτή τη μελέτη είναι ότι οι τεχνικές συλλογής ειδήσεων που χρησιμοποιούνται σήμερα συνοδεύονται από υψηλό κόστος.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των μεθόδων ENG που χρησιμοποιούνται σήμερα. Στο κεφάλαιο 2 αναφέρονται βασικά στοιχεία της θεωρίας πολυμέσων ώστε να γίνουν κατανοητές οι απαιτήσεις μετάδοσης video. Στο κεφάλαιο 3 εξηγήται πως προκύπτουν τα WS καθώς και μέθοδοι και πρωτόκολλα για την αξιοποίησή τους. Τα αποτελέσματα άλλης εργασίας κατά την οποία έγινε προσομοίωση ENG πάνω IP συνοψίζονται στο κεφάλαιο 4. Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων επιπέδου θορύβου και σημάτων παρεμβολών στα WS στην περιοχή του Υμηττού. Τέλος, στο κεφάλαιο 6 αναλύονται τα συμπεράσματα της μελέτης.

Λέξεις κλειδιά

Ηλεκτρονική συλλογή ειδήσεων, Φάσμα ψηφιακής τηλεόρασης, κωδικοποίηση βίντεο, 802.11af, 802.22, White Spaces

Abstract

The purpose of this diploma thesis was to study whether it's possible to use WS for the purpose of real time ENG. The techniques that are used nowadays to provide this service suffer from high costs.

Chapter 1 summarizes briefly the ENG techniques that are used today. Chapter 2 points out some key-points of multimedia theory. Chapter 3 looks into some WS themselves as well as ways and protocols to utilize them. The results of another study that simulated ENG over IP are summarized in chapter 4. Chapter 5 presents the noise and interference signals measurements conducted at Ymittos. Finally, in chapter 6 the conclusions of this study are listed.

Key words

Electronic news gathering, Digital terrestrial television spectrum, video encoding, 802.11af, 802.22, White Spaces

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ **1**
1.1 Συνήθεις τεχνολογίες Electronic News Gathering . . . 1
1.1.1 Ενσύρματη συλλογή ειδήσεων . . . 1
1.1.2 Συλλογή ειδήσεων μέσω δορυφόρου . . . 2
1.1.3 Συλλογή ειδήσεων μέσω επίγειας μικροκυματικής ζεύξης . . . 2
1.1.4 Συλλογή ειδήσεων μέσω κυψελωτών δικτύων . . . 3
1.2 ENG πάνω από white spaces . . . 3

2 Τεχνολογια πολυμεσων **5**
2.1 Video Encoders & Decoders – CODECs . . . 5
2.1.1 H.264 . . . 6
2.1.2 HEVC . . . 6
2.2 Video artifacts . . . 7
2.3 Μέτρα ποιότητας video . . . 8

3 White Spaces **11**
3.1 Προστατευόμενες υπηρεσίες στο φάσμα 470-690MHz . . . 11
3.2 Μέθοδοι αποφυγής παρεμβολών . . . 12
3.2.1 Spectrum Sensing (Ανίχνευση φάσματος) . . . 14
3.2.2 Χρήση Βάσης δεδομένων . . . 14
3.2.3 Αξιοποίηση Σημάτων beacons (φάρων) . . . 16
3.3 Πρωτόκολλα . . . 16
3.3.1 IEEE 802.22 . . . 16
3.3.2 IEEE 802.11af . . . 18

4 Προσομοιωση ENG πανω απο IP **23**

5 Μετρησεις πεδιου & Προβλεψεις μοντελων **27**
5.1 Ανεύρεση πιθανών WS για ηλεκτρονική συλλογή ειδήσεων . . . 28
5.2 Μετρήσεις επιπέδου παρεμβολών . . . 31
5.3 Εκτίμηση της διαθέσιμης ισχύος στους δέκτες . . . 36
5.4 Εκτίμηση του ελάχιστου αποδεκτού σηματοθορυβικού λόγου . . . 37

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ **41**

Α΄ Ψηφιακες επικοινωνιες **43**
Α΄.1 Ψηφιακή διαμόρφωση . . . 43
Α΄.1.1 MPAM . . . 44
Α΄.1.2 MPSK . . . 45

Α΄.1.3 MQAM 45
Α΄.1.4 Πιθανότητα λάθους 46
Α΄.2 Διαμόρφωση OFDM 47
Α΄.3 Κωδικοποίηση 48
Α΄.4 Σχήματα πολλαπλής πρόσβασης 50

Β΄ Το μοντελο TCP/IP **53**

Γ΄ Δίκτυα Ευρείας Εκπομπής **55**

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

1.1 Παράδειγμα ζεύξης DSNG. 2
1.2 Παράδειγμα ENG με ελικόπτερο ως ενδιάμεσο σταθμό. [4] 3

3.1 Προστασία σταθμών ραδιοαστρονομίας από συσκευές WS στα κανάλια 38 και 39. [4] 13
3.2 Παράδειγμα κρυφού κόμβου. [13] 15
3.3 Παράδειγμα δικτύου 802.11af [20]. 19

4.1 Η διάταξη της προσομοίωσης [24]. 24
4.2 Οι παράμετροι της δοκιμής υπό ευνοϊκές συνθήκες [24]. 25
4.3 Οι παράμετροι της δοκιμής υπό λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες [24]. 25

5.1 Κάλυψη σταθμού ευρυεκπομπής Δάρδιτσας (Ναύπλιο) 29
5.2 Κάλυψη σταθμού ευρυεκπομπής Δολιανά (Τρίπολη) 30
5.3 Κάλυψη σταθμού ευρυεκπομπής Χλωμού (Λαμία) 30
5.4 Κάλυψη σταθμού ευρυεκπομπής Σύρου 31
5.5 Διαγράμματα ακτινοβολίας 32
5.6 Διάγραμμα Bode 33
5.7 Δίσκοι ακτίνας 15 και 30km με κέντρο τον Υμηττό 37
5.8 Απόδοση σχημάτων 16-QAM, 8–PSK και QPSK 39

Α΄.1 Αστερισμός 8PAM 44
Α΄.2 Αστερισμός 4PSK και 8PSK 45
Α΄.3 Αστερισμός 16QAM 46

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

2.1 Ποσοστό μείωσης bitrate συγκριτικά με H.264 [8] 7
2.2 Επίδοση HEVC όταν τα μέγιστα CTU είναι μικρότερα από 64×64 [9] 7

3.1 Χαρακτηριστικά του προτύπου 802.22-2011 17
3.2 Ρυθμοί μετάδοσης 802.22-2011 για cp=1/16 18
3.3 Ωφέλιμοι ρυθμοί μετάδοσης 802.11af για κανάλια 8MHz [23] 21

5.1 WS στην Αττική [12] 28
5.2 Πιθανόν κατάλληλα και ακατάλληλα WS 32
5.3 Μετρήσεις ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών στον Υμηττό 34
5.4 Μετρήσεις ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών στον Υμηττό 34
5.5 Φασματική πυκνότητα ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών από μετρήσεις σε εύρος 100 kHz 34
5.6 Μετρήσεις ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών στην Πεντέλη 35
5.7 Μετρήσεις ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών στα Τουρκοβούνια 35
5.8 Φασματική πυκνότητα ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών σε Πεντέλη και Τουρκοβούνια 36

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος ηλεκτρονική συλλογή ειδήσεων (Electronic News Gathering – ENG) δηλώνει τη χρήση ηλεκτρονικών μέσων για συλλογή και μετάδοση ειδήσεων [2]. Τα μέσα αυτά συμπεριλαμβάνουν εξοπλισμό για καταγραφή video και για τη μετάδοσή του από το σημείο όπου λαμβάνει χώρα η είδηση μέχρι τον επιθυμητό σταθμό βάσης όπου θα γίνει η συλλογή της. Η μεταφορά του video μπορεί να γίνεται ενσύρματα, συνήθως από δίκτυο οπτικών ινών, ή ασύρματα.

Σε πολλές περιπτώσεις, οι πρακτικές μετάδοσης υποφέρουν λόγω αυξημένου κόστους ή λειτουργικών αδυναμιών, όπως είναι η αυξημένη καθυστέρηση. Σε αυτό το πλαίσιο, παρουσιάζει ενδιαφέρον η χρήση εναλλακτικών τεχνολογιών για την παροχή υπηρεσιών ENG.

1.1 Συνήθεις τεχνολογίες Electronic News Gathering

Οι συνήθεις τεχνολογίες ENG περιλαμβάνουν επικοινωνία του σταθμού συλλογής με το σημείο όπου συμβαίνει η είδηση με κάποιον από τους εξής τρόπους:

i. Ενσύρματη ζεύξη μέσω οπτικών ινών.

ii. Δορυφορική ζεύξη.

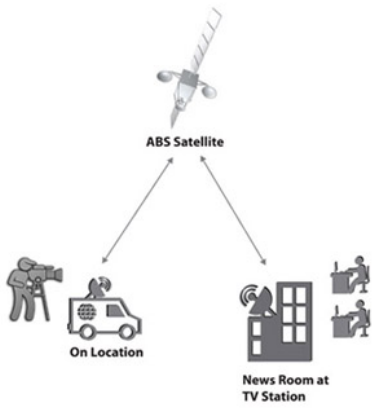
iii. Ασύρματη μικροκυματική ζεύξη.

iv. Ασύρματη ζεύξη πάνω από το κυψελωτό δίκτυο.

Προκειμένου να αξιολογηθούν οι διάφοροι τρόποι μετάδοσης πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος υλοποίησης και η επίδοσή τους στις ιδιαίτερες απαιτήσεις της διαδικασίας του ENG, δηλαδή του χρόνου καθυστέρησης και της διαθεσιμότητας ακόμα και από απομακρυσμένες περιοχές.

1.1.1 Ενσύρματη συλλογή ειδήσεων

Σε περιοχές όπου η ανάγκη για live κάλυψη είναι συχνή είναι συμφέρον από πλευράς κόστους να εγκατασταθεί ενσύρματο δίκτυο, σχεδόν πάντα οπτικών ινών, πάνω από το οποίο μεταδίδεται το video. Το Μέγαρο Μαξίμου, η Βουλή, μεγάλα αθλητικά κέντρα είναι παραδείγματα τέτοιων περιοχών. Ο τρόπος αυτός μπορεί να εγγυηθεί αρκετό εύρος ζώνης για μετάδοση υψηλής ποιότητας video με πολύ μικρό ποσοστό σφαλμάτων και δεν επηρεάζεται από εξωγενείς παράγοντες όπως είναι οι καιρικές συνθήκες.



Σχήμα 1.1: Παράδειγμα ζεύξης DSNG.

1.1.2 Συλλογή ειδήσεων μέσω δορυφόρου

Η διαδικασία ψηφιακής δορυφορικής συλλογής ειδήσεων (Digital Satellite News Gathering – DSNG) ορίζεται ως η περιστασιακή και προσωρινή εκπομπή εικόνας ή και ήχου, χρησιμοποιώντας κινητούς ή φορητούς επίγειους σταθμούς για την uplink ζεύξη στο πλαίσιο λειτουργίας των σταθερών (fixed) δορυφορικών υπηρεσιών, με σκοπό να γίνει ευρυεκπομπή του περιεχομένου [3]. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι επιτρέπει τη μετάδοση ακόμα και από απομονωμένα σημεία, με μοναδική προϋπόθεση οι καιρικές συνθήκες να είναι καλές. Ωστόσο, χαρακτηρίζεται από μεγάλους χρόνους καθυστέρησης και υψηλό κόστος.

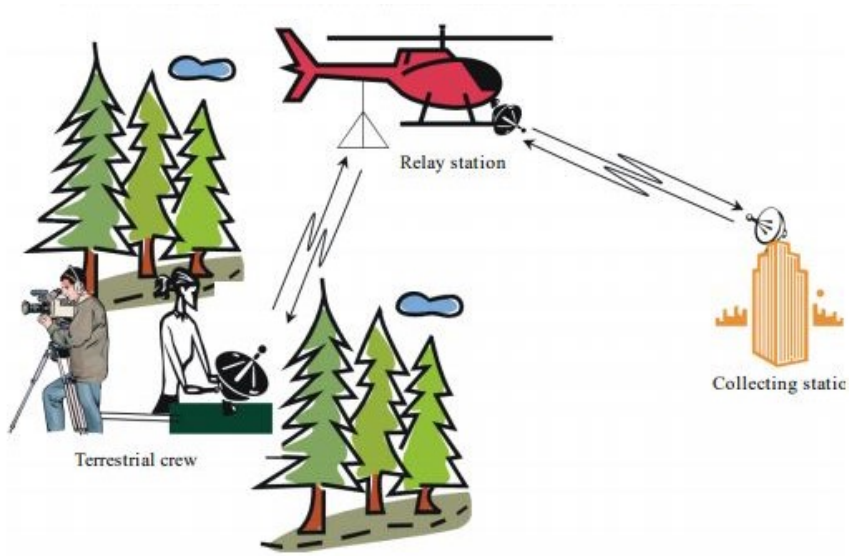
Η απόσταση ενός δορυφόρου σε γεωστατική τροχιά, όπως είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται από υπηρεσίες DSNG, είναι 35.780km από την επιφάνεια της γης. Δεδομένου ότι η ταχύτητα μετάδοσης του σήματος πληροφορίας πρακτικά ισούται με την ταχύτητα του φωτός στο κενό, για τη μετάδοση από το σημείο εκπομπής στο δορυφόρο και πάλι πίσω μέχρι το σημείο συλλογής απαιτείται χρόνος $t = \frac{2\times35780\times10^3}{3\times10^8} = 238.5$ msec. Σε αυτό το χαρακτηριστικό οφείλονται τα μεγάλα latencies που υπάρχουν στο DSNG.

Το κόστος για πραγματοποίηση DSNG είναι υψηλό λόγω του ιδιαίτερου εξοπλισμού που απαιτεί. Όπως ήδη αναφέρθηκε, χρησιμοποιούνται κινητοί ή φορητοί σταθμοί βάσης. Σχεδόν πάντα, αυτό καθιστά αναγκαία τη χρήση VAN, το οποίο λαμβάνει το video από την κάμερα και το αποστέλλει στο δορυφόρο από όπου πραγματοποιείται η επικοινωνία με το κέντρο συλλογής.

1.1.3 Συλλογή ειδήσεων μέσω επίγειας μικροκυματικής ζεύξης

Η μεγάλη καθυστέρηση που εμφανίζει το DSNG εκμηδενίζεται στην περίπτωση που αντί για διαμεσολάβηση δορυφόρου μεταξύ σημείου εκπομπής ENG και σημείου συλλογής, επιτυγχάνεται απευθείας διασύνδεσή τους μέσω επίγειας μικροκυματικής ζεύξης. Η μέθοδος αυτή υποφέρει από υψηλό κόστος υλοποίησης, αν και μικρότερο συγκριτικά με αυτό του DSNG, καθώς και από πολύ μικρή ανοχή σε εμπόδια που παρεμβάλλονται κατά τη διεύθυνση οπτικής επαφής (Line Of Sight – LOS) μεταξύ του σημείου εκπομπής και του σημείου συλλογής.

Τα φαινόμενα περίθλασης, σκίασης και σκέδασης που οφείλονται στα εμπόδια κατά τη LOS



Σχήμα 1.2: Παράδειγμα ENG με ελικόπτερο ως ενδιάμεσο σταθμό. [4]

διεύθυνση μπορούν να αντιμετωπιστούν με χρήση ενδιάμεσου σταθμού αναμετάδοσης που έχει οπτική επαφή και με τα δύο άκρα. Μια πρακτική προσέγγιση είναι ο σταθμός αναμετάδοσης να βρίσκεται σε ελικόπτερο όπως φαίνεται στο Σχ.1.2 . Φυσικά, αυτό ανεβάζει πολύ το κόστος.

1.1.4 Συλλογή ειδήσεων μέσω κυψελωτών δικτύων

Η συλλογή ειδήσεων μέσω κυψελωτών δικτύων τρίτης και τέταρτης γενιάς είναι, πλέον, συνηθισμένη πρακτική λόγω της μεγάλης γεωγραφικής κάλυψης που προσφέρουν, της ικανότητας τους να επιτυγχάνουν υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων και της δυνατότητας που παρέχουν για εκπομπή από κινητό σταθμό χωρίς να χάνεται η ζεύξη. Η τεχνολογία cellular channel bonding (ένωση γειτονικών διαύλων κυψελωτού δικτύου) μπορεί να παρέχει το απαραίτητο φάσμα για να γίνει μετάδοση υψηλής ποιότητας video σε πραγματικό χρόνο.

Ωστόσο, τέτοιες διατάξεις έχουν μεγάλο κόστος, είτε για αγορά είτε για ενοικίασή τους.

1.2 ENG πάνω από white spaces

Με τον όρο TV white space – TVWS ή απλά WS (λευκά τμήματα τηλεοπτικού φάσματος) ορίζονται τα μέρη του φάσματος τα οποία δεν χρησιμοποιούνται από τον αδειοδοτημένο χρήστη τους, δηλαδή τους παρόχους επίγειας τηλεόρασης [1]. Τα WS μπορούν να χρησιμοποιηθούν από δευτερεύοντες χρήστες, χωρίς άδεια από την αρμόδια ρυθμιστική αρχή, υπό την προϋπόθεση ότι δεν προκαλείται παρεμβολή στους δέκτες τηλεόρασης.

Το γεγονός ότι δεν χρειάζεται άδεια για χρήση των WS τα καθιστά πιθανές λύσεις για πολλές περιπτώσεις όπου οι συνήθεις τεχνολογίες δεν οδηγούν σε ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Υπό αυτή τη σκοπιά, έχει ενδιαφέρον η προσέγγιση της παροχής υπηρεσιών ENG με χρήση των WS.

[1] Η θεωρία των WS παρουσιάζεται αναλυτικά στο Κεφ.3

Είναι αναμενόμενο η χρήση των WS για ENG να παρουσιάζει ομοιότητες συγκριτικά με συλλογή ENG πάνω από επίγεια μικροκύματικη ζεύξη. Ωστόσο, εμφανίζει ορισμένα πλεονεκτήματα, κυρίως λόγω της χαμηλότερης συχνότητας που χρησιμοποιείται, δεδομένου ότι τα WS βρίσκονται στο φάσμα από 470-790MHz ενώ η ζώνη συχνοτήτων που παραχωρείται για μικροκυματικές μεταδόσεις είναι συνήθως υψηλότερη από 1GHz και μπορεί να υπερβαίνει τα 10GHz [4]. Συνοπτικά, τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση των WS για ENG είναι τα εξής:

i. Δεδομένου ότι οι απώλειες ελευθέρου χώρου για point-to-point ζεύξη δίνονται από τη σχέση

$$L_{fs} = 20\log_{10}(\frac{4\pi d}{\lambda}) \tag{1.1}$$

όπου L_{fs} οι απώλειες ελευθέρου χώρου σε dB, d η απόσταση και λ το μήκος κύματος, προκύπτει ότι οι απώλειες ελευθέρου χώρου για τις μικροκυματικές ζεύξεις ENG είναι αρκετά μεγαλύτερες.

ii. Οι απώλειες λόγω βροχής μπορούν να θεωρηθούν πρακτικά μηδενικές για ζεύξη πάνω από WS, ενώ όταν η συχνότητα μετάδοσης υπερβαίνει τα 5GHz αυτές καθίστανται αισθητές [5].

iii. Συχνά, οι μικροκυματικές ζεύξεις απαιτούν ιδιαίτερα κατευθυντικές κεραίες, οι οποίες καθιστούν δύσκολο το χειρισμό του εξοπλισμού από μή ειδικούς και δεν επιτρέπουν την κίνηση του δημοσιογράφου. Η κίνηση γίνεται εφικτή αν μεταξύ του σημείου όπου λαμβάνει χώρα η είδηση και του σημείου συλλογής παρεμβάλλεται ενδιάμεσος σταθμός, όπως φαίνεται στο Σχ.1.2. Στο σενάριο αυτό, ο ενδιάμεσος σταθμός μπορεί να παραμένει ακίνητος ώστε να επιτυγχάνεται η αποστολή δεδομένων από αυτόν στο σημείο συλλογής. Η ζεύξη μεταξύ δημοσιογράφου και ενδιάμεσου σταθμού μπορεί να πραγματοποιηθεί με λιγότερο κατευθυντικές κεραίες που δεν θέτουν περιορισμό στην κίνηση καθώς η απόσταση μεταξύ των τερματικών σημείων είναι μικρότερη ενώ, ταυτόχρονα, είναι πιθανό αυτά να συνδέονται με ζεύξη οπτικής επαφής.

Κεφάλαιο 2

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ

Πολυμέσο είναι το περιεχόμενο που αποτελείται από το συνδυασμό περιεχομένων διαφορετικής μορφής, όπως κειμένου, ήχου και βίντεο. Σε μια εφαρμογή ENG, η τεχνολογία πολυμέσων έχει πρωταρχικό ρόλο στα δύο άκρα της, στην καταγραφή της είδησης και στην αναπαραγωγή της στον τελικό αποδέκτη. Οι επιλογές που θα γίνουν στο τμήμα της τεχνολογίας πολυμέσων μπορούν να επηρεάσουν καθοριστικά την quality of experience (ποιότητα της εμπειρίας) του τελικού αποδέκτη. Μια ζεύξη πάνω από WS για εξυπηρέτηση ENG πρέπει να είναι σε θέση να μεταφέρει live stream καλής ποιότητας video υπό περιορισμένο εύρος ζώνης ακόμα και υπό δυσμενείς συνθήκες στο δίαυλο μετάδοσης. Οι απαιτήσεις αυτές δεν είναι δυνατό να επιτευχθούν χωρίς υποστήριξη από τη σύγχρονη τεχνολογία πολυμέσων.

Το ψηφιακό video είναι στατικές εικόνες που εναλλάσσονται αρκετά ταχέως ώστε να αποδίδεται η αίσθηση της κίνησης. Κάθε εικόνα αποτελείται από εικονοστοιχεία, τα pixels, και ονομάζεται frame (πλαίσιο). Χαρακτηριστικό του πλαισίου είναι το πλήθος των pixel που το σχηματίζουν, με τον αριθμό αυτό να δίνεται σε μορφή $W \times H$, όπου W το πλήθος των pixels κατά το πλάτος του πλαισίου και H το πλήθος τους κατά το μήκος του. Η μοναδική ιδιότητα των pixels είναι το χρώμα τους το οποίο καθορίζεται από συγκεκριμένο αριθμό bits. Το πλήθος των bits που χρησιμοποιούνται για να ορίσουν ένα χρώμα ονομάζεται βάθος χρώματος. Αν το βάθος χρώματος δεν είναι αρκετά μεγάλο η ποιότητα της εικόνας μπορεί να χειροτερεύσει αισθητά. Η συχνότητα εναλλαγής των εικόνων μετράται σε frames per second – fps (πλαίσια ανά δευτερόλεπτο).

Για video 24 fps, διάρκειας δέκα λεπτών και ποιότητας standard HD, δηλαδή 1280×720 pixels, με 24 bit βάθος χρώματος που δεν έχει υποστεί συμπίεση ή επεξεργασία, προκύπτουν τα εξής χαρακτηριστικά:

$$bit\ rate = 24\frac{frames}{sec} \times (1280 \times 720)\frac{pixels}{frame} \times 24\frac{bits}{pixel} = 530.8\frac{Gbits}{sec} \tag{2.1}$$

$$video\ size = 530.8\frac{Gbits}{sec} \times 600sec = 39.8Terabyte \tag{2.2}$$

Τόσο μεγάλα αρχεία είναι δύσκολο να αποθηκευθούν και σχεδόν ανέφικτο να μεταδοθούν απευθείας μέσω ασύρματης ζεύξης, καθιστώντας αναγκαία τη συμπίεση video (video compression).

2.1 Video Encoders & Decoders – CODECs

Video codec είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που συμπιέζει και αποσυμπιέζει μια ροή video, κωδικοποιώντας και αποκωδικοποιώντας την αντίστοιχα. Στόχος είναι το μέγεθος του video να μικρύνει αρκετά ώστε να μπορεί να αποθηκευθεί ή να μεταδοθεί. Στην πορεία της διαδικασίας, είναι δυνατό:

i. Να διατηρείται όλη η πληροφορία, οπότε ο codec αυτός χαρακτηρίζεται ως codec χωρίς απώλειες (non lossy).

ii. Κάποιο τμήμα της πληροφορίας να χάνεται, οπότε ο codec χαρακτηρίζεται ως codec με απώλειες (lossy).

Γενικά, οι codecs με απώλειες πετυχαίνουν πολύ καλύτερη επίδοση συμπίεσης. Για το λόγο αυτό, είναι δημοφιλέστεροι από αυτούς χωρίς απώλειες, οι οποίοι προσφέρουν καλύτερη ποιότητα εικόνας.

Οι περισσότεροι codecs εκμεταλλεύονται το χρονικό και το χωρικό πλεονασμό που υπάρχει στο video σήμα για να επιτύχουν συμπίεση [6]. Με την έννοια του χρονικού πλεονασμού περιγράφονται τμήματα από διαδοχικά frames που δεν έχουν αλλάξει. Ο χρονικός πλεονασμός αυξάνεται μαζί με την αύξηση των fps. Είναι αναμενόμενο διαδοχικά frames σε ένα video 50fps, όπου τα frames απέχουν 20msec, να μην είναι πολύ διαφορετικά μεταξύ τους. Για παράδειγμα, σε ένα δελτίο ειδήσεων ο παρουσιαστής κινείται αργά συγκριτικά με το ρυθμό εναλλαγής των πλαισίων, ενώ το υπόβαθρο μπορεί να μην αλλάζει καθόλου. Ως προς το χώρο, οι codecs εκμεταλλεύονται το ότι μεταξύ γειτονικών pixel υπάρχει μεγάλη συσχέτιση. Η ικανότητα ένος codec να συμπιέζει ένα video σε αρχείο που απαιτεί μικρότερο ρυθμό ροής ψηφίων (bitrate) ονομάζεται απόδοση κωδικοποίησης (coding efficiency).

2.1.1 H.264

Το H.264 είναι ένα standard για συμπίεση video. Αναπτύχθηκε από την ITU Video Coding Experts Group σε συνεργασία με τον οργανισμό ISO/IEC JTC1 Moving Picture Experts Group. Χρησιμοποιείται για να δώσει λύση σε εφαρμογές ευρυεκπομπής, αποθήκευσης video, ασύρματης μετάδοσης κ.α. [7].

Το πρότυπο H.264 προσανατολίζεται στην πρόβλεψη κίνησης (motion compensation) τετράγωνων και παραλληλόγραμμων μπλοκ, σε αντίθεση με άλλα πρότυπα που στοχεύουν στην πρόβλεψη κίνησης μπλοκ με περισσότερο περίπλοκα σύνορα [6]. Τα μπλοκ αυτά ονομάζονται macroblocks και μπορεί να έχουν μέγεθος από 4×4 έως 16×16 [7]. Από το πρότυπο ορίζονται τρεις τύποι frame, τα I–frame (intracoded), P–frame (predictive), B–frame (bi-predictive). Τα I–frames είναι τα πλαίσια που έχουν όλη την πληροφορία για την προβολή μιας εικόνας. Τα P–frames είναι πλαίσια των οποίων τμήματα περιγράφονται μέσω πρόβλεψη κίνησης. Για να ανακατασκευαστεί η εικόνα ενός πλαισίου P χρειάζονται πληροφορίες και από άλλα πλαίσια. Τα B–frames είναι επίσης πλαίσια τμήματα των οποίων ανακατασκευάζονται με πρόβλεψη κίνησης. Η διαφορά τους από τα P frames είναι ότι για κάθε macroblock που πρέπει να ανακατασκευαστεί μέσω πρόβλεψης κίνησης, χρειάζονται πληροφορίες από έως 2 άλλα πλαίσια, σε αντίθεση με τα P frames όπου το πλαίσιο αναφοράς είναι ένα για κάθε macroblock.

2.1.2 HEVC

Το HEVC είναι πρότυπο για συμπίεση video μεταγενέστερο του H.264. Είναι γνωστό επίσης ως H.265 ή ως MPEG-H Part 2. Αναπτύχθηκε από τη συνεργασία μεταξύ της ITU-T VCEG και του οργανισμού ISO/IEC MPEG. Το HEVC επιτυγχάνει μεγαλύτερη συμπίεση από το H.264, με αποτέλεσμα video ίδιας ποιότητας να πραγματοποιούνται με μικρότερο ρυθμό ροής ψηφίων. Η μείωση του απαιτούμενου ρυθμού ψηφίων φαίνεται στον Πιν.2.1.

Ανάλυση εικόνας			
480p	720p	1080p	2160p
52%	56%	62%	64%

Πίνακας 2.1: Ποσοστό μείωσης bitrate συγκριτικά με H.264 [8]

	Μέγιστο μέγεθος CTU		
	64×64	32×32	16×16
Αύξηση bitrate	0%	2.2%	11%
Χρόνος κωδικοποίησης	100%	82%	58%
Χρόνος αποκωδικοποίησης	100%	111%	160%

Πίνακας 2.2: Επίδοση HEVC όταν τα μέγιστα CTU είναι μικρότερα από 64×64 [9]

Η ειδοποιός διαφορά του HEVC από το H.264 που του επιτρέπει να επιτυγχάνει μεγαλύτερη απόδοση κωδικοποίησης είναι ότι η εικόνα διαμερίζεται σε coding tree units – CTU (μονάδες δένδρων κωδικοποίησης) τα οποία είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα μπλοκ εικόνας που χρησιμοποιεί το πρότυπο H.264. Το μέγεθος των CTU μπορεί να είναι από 16×16 pixels έως 64×64. Μεγαλύτερα CTU αυξάνουν την απόδοση κωδικοποίησης και μειώνουν το χρόνο αποκωδικοποίησης, με κόστος σε αύξηση του χρόνου κωδικοποίησης, όπως φαίνεται στον Πιν.2.2.

2.2 Παραμορφώσεις στην εικόνα video (Video Artifacts)

Video artifacts (παραμορφώσεις σε video) είναι μια παρατηρήσιμη διαταραχή στην εικόνα ενός video που συνήθως προκύπτει μετά από τη συμπίεση ή και τη μετάδοσή του. Τα video artifacts μπορεί να οφείλονται στη συστηματική απώλεια δεδομένων ενός codec με απώλειες ή σε λάθη που συμβαίνουν κατά τη μετάδοση του video. Είναι προφανές ότι οι codecs προσπαθούν να μην χάνουν δεδομένα που προκαλούν παρατηρήσιμη παραμόρφωση στην εικόνα. Ωστόσο, αυτό μπορεί να συμβαίνει είτε από λανθασμένη εκτίμηση για τη σημασία της επικείμενης παραμόρφωσης, είτε επειδή ο συντελεστής συμπίεσης[1] που πρέπει να επιτευχθεί είναι πολύ χαμηλός για να αποδοθεί η εικόνα με ικανοποιητική ευκρίνεια.

Τα video artifacts που παρατηρούνται συχνά είναι τα εξής:

i. Macroblocking. Είναι το artifact κατά το οποίο υπάρχουν αλλοιώσεις στα σύνορα των μπλοκ που επεξεργάζεται ο codec. Εμφανίζονται ως ασυνέχειες στην εικόνα μεταξύ μεγάλων μπλοκ από pixels.

ii. Aliasing. Είναι το artifact κατά το οποίο η συχνότητα δειγματοληψίας είτε σε χωρικό είτε σε χρονικό επίπεδο δεν είναι αρκετή για να αποδώσει την αρχική εικόνα.

[1] Συντελεστής συμπίεσης ονομάζεται ο λόγος του πλήθους των ψηφίων στην είσοδο ενός κωδικοποιητή προς το πλήθος των ψηφίων στην έξοδό του.

iii. Pixelation. Είναι το artifact κατά το οποίο τα pixels είναι τόσο μεγάλα που είναι εμφανείς οι αιχμές τους.

2.3 Μέτρα ποιότητας video

Η ποιότητα εικόνας ενός video είναι κατά βάση υποκειμενικό μέγεθος. Αν και υπάρχουν αλγόριθμοι που αποτιμούν την ποιότητα video, αυτοί δεν μπορούν να αποδώσουν την υποκειμενική κρίση των θεατών, που είναι αυτό που έχει σημασία. Προκειμένου να καθοριστεί η ποιότητα ενός video συχνά χρησιμοποιείται συνδυασμός υποκειμενικών και αυτοματοποιημένων μεθόδων. Αυτό που συνήθως έχει ενδιαφέρον είναι η εκτίμηση της σοβαρότητας των αλλοιώσεων που προκύπτουν στο αρχείο video μετά από την κωδικοποίηση/αποκωδικοποίησή του ή μετά από μετάδοση του κατά την οποία έγιναν λάθη.

Για την υποκειμενική μέτρηση της ποιότητας πραγματοποιείται μια από τις ακόλουθες δοκιμές:

i. Το προς εκτίμηση video προβάλλεται σε ένα τυχαίο πλήθος ανθρώπων οι οποίοι το βαθμολογούν με μια κλίμακα.

ii. Ένας ειδικός εκτιμητής ποιότητας video παρακολουθεί και συγκρίνει το video προς μέτρηση και το πρωτότυπο video. Ο ειδικός είναι σε θέση να γνωρίζει τα video artifacts που ενδέχεται να εμφανιστούν καθώς και να κρίνει τη σοβαρότητά τους.

Μερικές από τις συχνότερες μεθόδους αντικειμενικής εκτίμησης ποιότητας video βασίζονται στον υπολογισμό του δείκτη PSNR – Peak Signal to Noise Ratio ή του δείκτη SSIM – Stuctural Similarity.

Ο δείκτης PSNR υπολογίζεται από την εξίσωση

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \frac{MAX_I^2}{MSE} \tag{2.3}$$

όπου το MSE – Mean squared error (μέση τετραγωνική τιμή σφάλματος) προκύπτει από την εξίσωση

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i,j) - K(i,j)]^2 \tag{2.4}$$

για ασπρόμαυρη εικόνα.Το MAX_I είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει η τιμή ενός pixel. Σε μια εικόνα με βάθος χρώματος 8 bit ανά pixel, η τιμή αυτή είναι $2^8 - 1 = 255$. Όμοια οι συναρτήσεις I και K δίνουν την τιμή του pixel (i,j) ενός frame του πρωτότυπου και του υπό εξέταση video αντίστοιχα. Όταν η εικόνα είναι έγχρωμη, τότε ο όρος MSE υπολογίζεται για κάθε συνιστώσα χρώματος ξεχωριστά και λαμβάνεται ο μέσος όρος αυτών. Το πλεονέκτημα του PSNR είναι ότι υπολογίζεται πολύ εύκολα χωρίς απαίτηση για μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Ωστόσο, δεν αποδίδει επαρκώς αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα και συνήθως χρησιμοποιείται ως πρώτη εκτίμηση για την ποιότητα ενός video ή σε συνδυασμό με άλλη μέθοδο.

Ο δείκτης SSIM αποδίδει την ομοιότητα μεταξύ δύο εικόνων, της πρωτότυπης και της επεξεργασμένης. Υπολογίζεται από την εξίσωση

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \tag{2.5}$$

όπου x και y μπλοκ από pixel σε frame στην πρωτότυπη και την επεξεργασμένη εικόνα, μ_x ο μέσος όρος των pixels του παραθύρου x, μ_y ο μέσος όρος των pixels του παραθύρου y, σ_x η διακύμανση του παραθύρου x, σ_y η διακύμανση του παραθύρου y, σ_{xy} η συνδιακύμανση των δύο παραθύρων. Τα $c_{1,2}$ είναι σταθερές που προκύπτουν από τη σχέση

$$c_{1,2} = (k_{1,2}L)^2 \tag{2.6}$$

με $k_1 = 0.01$, $k_2 = 0.03$ και L το εύρος τιμών κάθε pixel (τυπικά έχει την τιμή $2^{bits/pixel}$). Η μέθοδος αυτή απαιτεί περισσότερη επεξεργαστική ισχύ· όμως, τα αποτελέσματά της ακολουθούν καλύτερα τα αποτελέσματα που δίνουν οι υποκειμενικές μετρήσεις.

Κεφάλαιο 3

WHITE SPACES

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, White Spaces – WS είναι τα τμήματα του φάσματος εντός της ζώνης που έχει παραχωρηθεί για παροχή επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης που δεν χρησιμοποιούνται για την υπηρεσία αυτή. Σε δεδομένες περιοχές και χρονικές στιγμές και εφόσον δεν προκαλούνται παρεμβολές στις προστατευόμενες υπηρεσίες, τα WS είναι διαθέσιμα για παροχή άλλων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών [10].

Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων απονέμεται από την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων για παροχή επικοινωνιών ή δικτύων[11]. Σε αυτό το πλαίσιο, για την κάλυψη της επίγειας τηλεόρασης έχει παραχωρηθεί το εύρος 470MHz-790MHz στους δύο παρόχους της συγκεκριμένης υπηρεσίας στην Ελλάδα, την Digea και την ΕΡΤ.

Η κάλυψη της χώρας δεν πραγματοποιείται από ένα SFN (single-frequency network) αλλά χωρίζεται σε allotments (γεωγραφικά μερίσματα) τα οποία καλύπτονται από ένα ή δύο διαφορετικά SFN[1] [12]. Η ισχύς εκπομπής των πομπών είναι συνήθως μερικά kW και η ευρυεκπομπή γίνεται από σημεία με μεγάλο υψόμετρο προκειμένου να υπάρχει LOS, ή περίπου LOS, των σημείων εκπομπής με τους δέκτες τηλεόρασης εντός της περιοχής κάλυψης.

Το μεγάλο υψόμετρο των σταθμών εκπομπής οδηγεί στο ενδεχόμενο ύπαρξης LOS μεταξύ σταθμού και δεκτών που εξυπηρετούνται από διαφορετικό SFN. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την υψηλή ισχύ εκπομπής των σταθμών, δεν επιτρέπει τη χρήση των ίδιων καναλιών από γειτονικά SFN καθώς ενδέχεται σε κάποιους δέκτες να φθάνουν δύο σήματα συγκρίσιμης ισχύος στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Το ένα σήμα είναι το επιθυμητό σήμα ενώ το άλλο είναι σήμα παρεμβολής. Αν το σήμα παρεμβολής δεν έχει επαρκώς μικρότερη ισχύ από το σήμα πληροφορίας, ο δέκτης δεν μπορεί απομονώσει τα επιθυμητά δεδομένα. Αποτέλεσμα αυτού είναι κάποια κανάλια να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ορισμένες περιοχές και έτσι δημιουργούνται WS. Επιπλέον, κατά τη μετάβαση από την αναλογική τηλεόραση στην ψηφιακή, τμήμα του φάσματος έμεινε ανεκμετάλλευτο, καθώς έγινε δυνατή η ευρυεκπομπή τηλεόρασης με υψηλότερη φασματική απόδοση.

3.1 Προστατευόμενες υπηρεσίες στο φάσμα 470-690MHz

Η διαδικασία ανίχνευσης WS εστιάζοντας μόνο στην αποφυγή παρεμβολής σε δέκτες επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης (Digital Terrestrial Television – DTT) αποτελεί εύκολη και ικανοποιητική πρώτη προσέγγιση. Τα αποτελέσματα αυτής της ανίχνευσης διαθέσιμων διαύλων είναι αντιπροσωπευτικά της πραγματικής διαθεσιμότητας καναλιών καθώς η συντριπτική πλειονότητα των δεκτών σε αυτό το φάσμα είναι δέκτες τηλεόρασης. Επιπλέον, οι άλλες υπηρεσίες που λειτουργούν σε κάποια περιοχή συχνοτήτων στο εύρος 470MHz έως 690MHz χρησιμοποιούν μόνο μικρά τμήματα

[1] Τα δίκτυα SFN και MFN ορίζονται στο παράρτημα Γ.

αυτού του φάσματος. Έτσι, οι συχνότητες εντός του εύρους 470-690MHz που δεν χρησιμοποιούνται σε μια περιοχή για παροχή ψηφιακής τηλεόρασης συνήθως αντιστοιχούν σε διαθέσιμα WS. Η ευκολία ανίχνευσης καναλιών που δεν χρησιμοποιούνται για παροχή επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης έγκειται στη διαθεσιμότητα των απαραίτητων δεδομένων, όπως είναι τα χρησιμοποιούμενα κανάλια ανά περιοχή, ο χάρτης κάλυψης κάθε σταθμού εκπομπής κ.α. Οι προβλέψεις μιας τέτοιας μελέτης, αν και είναι ικανοποιητικές για πρώτη προσέγγιση, υπερεκτιμούν το πλήθος των διαθέσιμων καναλιών και την ισχύ εκπομπής να χρησιμοποιήσει ένα white space device – WSD(συσκευή WS). Εκτός της τηλεόρασης, οι υπηρεσίες που πρέπει να προστατευτούν προκειμένου η υλοποίηση ζεύξεων πάνω από WS να μην προκαλεί παρεμβολή στους αντίστοιχους δέκτες είναι οι εξής:

i. Programm making and special events – PMSE. Ο όρος PMSE καλύπτει πολλές ασύρματες συσκευές, όπως μικρόφωνα, ακουστικά, walkie–talkie που χρησιμοποιούνται από την τηλεόραση και τις εταιρίες παραγωγής προγραμμάτων. Δεν υπάρχει συγκεκριμένο σενάριο που να περιγράφει την ευρεία χρήση τους η οποία μπορεί να αφορά σε εσωτερικές (indoor) ή εξωτερικές (outdoor) ζεύξεις. Αυτό, σε συνδυασμό με τη χαμηλή ισχύ εκπομπής που χαρακτηρίζει τις συσκευές αυτές, καθιστά την προστασία των PMSE περίπλοκη διαδικασία με ιδιαίτερες απαιτήσεις. Μια πρόταση για οριστική λύση του προβλήματος είναι η παραχώρηση συγκεκριμένου καναλιού WS από την εθνική ρυθμιστική αρχή σε συσκευές για PMSE και ο αποκλεισμός όλων των συσκευών WS από αυτό το κανάλι [13].

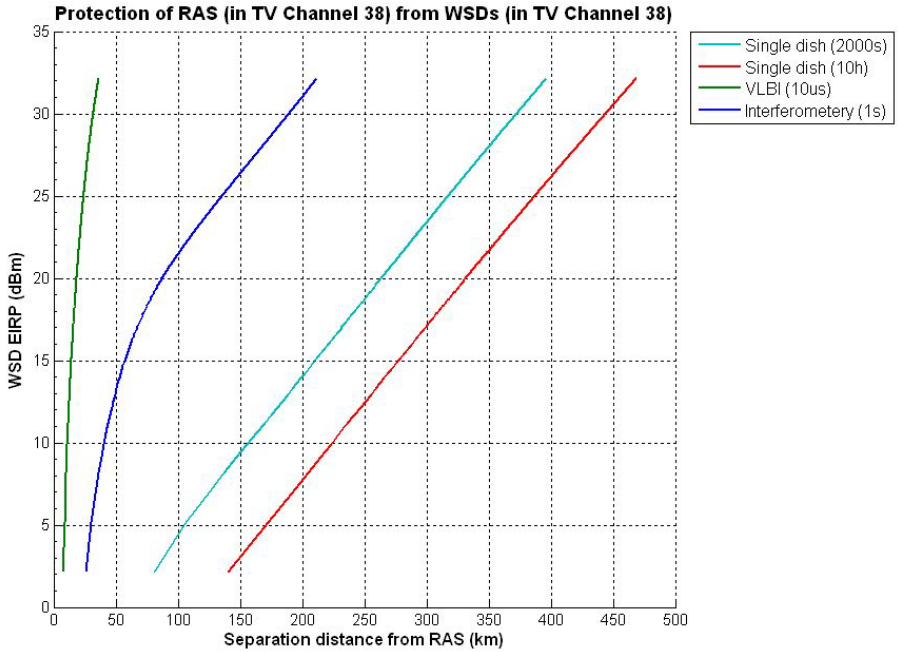
ii. Αεροναυτικής ραδιοπλοήγησης στις συχνότητες 645–790 MHz. Το εύρος 645-790MHz έχει παραχωρηθεί για αεροναυτική ραδιοπλοήγηση σε κάποιες χώρες, όχι όμως στην Ελλάδα. Οι ζεύξεις αυτές είναι συνήθως αμφίδρομες και χαρακτηρίζονται από EIRP τουλάχιστον 30dBW [14]. Τα χαρακτηριστικά αυτά καθιστούν τις ζεύξεις αεροναυτικής ραδιοπλοήγησης εύκολα ανιχνεύσιμες από τις συνήθεις μεθόδους αποφυγής παρεμβολών.

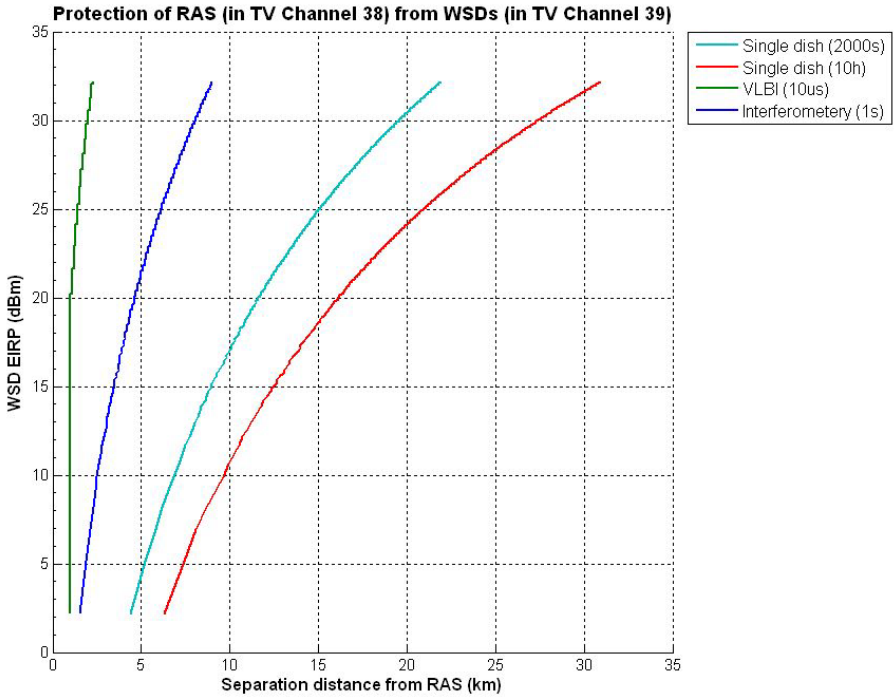
iii. Ραδιοαστρονομίας στις συχνότητες 608–614MHz. Οι υπηρεσίες ραδιοαστρονομίας είναι πολύ ευαίσθητες σε παρεμβολές, με αποτέλεσμα οι συχνότητες 608-614MHz και τα γειτονικά κανάλια σε αυτές να μην είναι διαθέσιμα για υλοποίηση ζεύξεων από συσκευές WS. Στο Σχ.3.1 φαίνεται η απαιτούμενη απόσταση μεταξύ συσκευών WS και κάποιου σταθμού ραδιοαστρονομίας για διάφορα EIRP των συσκευών WS και μεθόδους παρατήρησης RAS. Στους κάθετους άξονες των διαγραμμάτων μετριέται η ισχύς εκπομπής των συσκευών WS ενώ στον οριζόντιο η απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των συσκευών WS και των σταθμών ραδιοαστρονομίας. Από το Σχ.3.1 φαίνεται πως ύπαρξη σταθμών ραδιοαστρονομίας αποκλείει τη χρήση του καναλιού 38 από συσκευές WS ακόμα και αν αυτές βρίσκονται σε πολύ μεγάλη απόσταση. [13].

3.2 Μέθοδοι αποφυγής παρεμβολών

Προκειμένου οι συσκευές που εκπέμπουν σε WS να μην προκαλούν παρεμβολή στους δέκτες των πρωτευουσών υπηρεσιών, είναι αναγκαίο να υπάρχει έλεγχος των συχνοτήτων στις οποίες εκπέμπουν και του EIRP τους. Ως προς τον έλεγχο του EIRP υπάρχουν 2 προσεγγίσεις:

i. Καθορισμός άνω ορίου ανεξάρτητα από τη θέση των συσκευών WS. Συνήθως, το άνω όριο είναι δεδομένο για διάφορους τύπους συσκευών (fixed, mobile κ.α.) και διαφοροποιείται με κριτήριο το αν τα γειτονικά κανάλια χρησιμοποιούνται για ευρυεκπομπή DTT.





Σχήμα 3.1: Προστασία σταθμών ραδιοαστρονομίας από συσκευές WS στα κανάλια 38 και 39. [4]

ii. Υπολογισμός του ορίου για κάθε συσκευή WS ανάλογα με τη θέση, τον τύπο και τη συχνότητα που χρησιμοποιεί.

Η πρώτη μέθοδος έχει γίνει αποδεκτή από την FCC [15], ενώ η δεύτερη προτείνεται από τη CEPT.

3.2.1 Spectrum Sensing (Ανίχνευση φάσματος)

Μια συσκευή WS που χρησιμοποιεί την τεχνική spectrum sensing προσπαθεί να ανιχνεύσει την ύπαρξη προστατευόμενης υπηρεσίας σε κάθε κανάλι ώστε να αποφύγει την παρεμβολή. Τα βασικά στοιχεία της μεθόδου περιλαμβάνουν[13]:

i. Το κατώφλιο ανίχνευσης.

ii. Τη συχνότητα νέας ανίχνευσης καναλιών που είχαν θεωρηθεί διαθέσιμα.

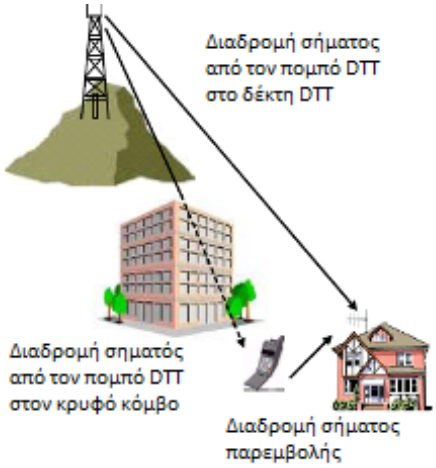
iii. Τη διάρκεια ανίχνευσης.

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν χρειάζεται υποστήριξη από κάποια υποδομή, όπως από μια βάση δεδομένων με όλα τα διαθέσιμα κανάλια ανά περιοχή. Ωστόσο, η υλοποίηση μιας cognitive(γνωστικής) ζεύξης αποκλειστικά με τη μέθοδο spectrum sensing δεν μπορεί να δώσει αξιόπιστη προστασία και αποδοτική χρήση του φάσματος. Ένα πρόβλημα που δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί είναι αυτό του κρυφού κόμβου. Με τον όρο αυτό περιγράφεται η περίπτωση όπου το σήμα προστατευόμενης υπηρεσίας έχει αρκετή ισχύ για να εξυπηρετήσει τον επιθυμητό δέκτη άλλα όχι ικανή ώστε να ανιχνευθεί από τη συσκευή WS. Ενδεικτικά, ένας δέκτης DTT που βρίσκεται σε μεγαλύτερο ύψος από τη συσκευή που κάνει sensing του φάσματος μπορεί να έχει LOS με το σημείο ευρυεκπομπής αλλά η συσκευή WS δεν μπορεί να ανιχνεύσει το τηλεοπτικό σήμα λόγω των απωλειών περίθλασης, όπως φαίνεται στο Σχ.3.2. Αν το κατώφλι ανίχνευσης οριζόταν αρκετά χαμηλά θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα του κρυφού κόμβου. Όμως, αυτό προκαλεί λάθη κατά την αναγνώριση κατειλημμένων καναλιών και δίαυλοι που είναι στην πραγματικότητα διαθέσιμοι για συσκευές WS να ταυτοποιούνται ως κατειλημμένοι με αποτέλεσμα να μειώνεται η χρηστική αξία των συσκευών WS. Λόγω της μικρής ισχύς εκπομπής τους, τα PMSE αποτελούν συχνά κρυφούς κόμβους για δίκτυα συσκευών WS.

3.2.2 Χρήση Βάσης δεδομένων

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο αποφυγής παρεμβολών, οι συσκευές WS προσδιορίζουν τη γεωγραφική θέση τους και συμβουλεύονται μια βάση δεδομένων που τα πληροφορεί για τις διαθέσιμες συχνότητες και το επιτρεπόμενο EIRP στη θέση αυτή. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι απαιτεί από τη ρυθμιστική αρχή να διατηρεί βάση δεδομένων εκπομπής για κάθε περιοχή. Ωστόσο, προσφέρει καθολική λύση σε όλα τα προβλήματα που προκύπτουν από την αναχρησιμοποίηση του φάσματος σε μια λογική cognitive radio (γνωστική ασύρματη ζεύξη).

Η παρεμβολή που προκαλείται σε ένα δέκτη τηλεόρασης από μια συσκευή WS μπορεί να είναι ανεκτή ή καταστροφική. Η βάση δεδομένων πρέπει να μπορεί να προσδιορίζει το μέγιστο όριο ανεκτής παρεμβολής ώστε να αξιοποιούνται αποδοτικά τα WS. Το όριο αυτό εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από την ποιότητα του σήματος επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης στο σημείο του δέκτη, την



Σχήμα 3.2: Παράδειγμα κρυφού κόμβου. [13]

επιλεκτικότητα του δέκτη ως προς την επιθυμητή συχνότητα και τις γειτονικές της κ.α. Προκειμένου η βάση δεδομένων να μπορεί να προστατεύσει τους δέκτες DTT, πρέπει να γνωριζει τα εξής [13]:

i. Την ποιότητα της τηλεοπτικής κάλυψης σε κάθε σημείο της περιοχής ενδιαφέροντος. Για το σκοπό αυτό, γίνεται πλεγματοποίηση της περιοχής με ικανοποιητική ακρίβεια και η βάση δεδομένων γνωρίζει την ποιότητα της κάλυψης σε κάθε σημείο του πλέγματος.

ii. Ένα κριτήριο για να προσδιορίζεται η μέγιστη παρεμβολή σε δέκτη επίγειας ψηφιακής που θεωρείται ανεκτή.

iii. Συγκεκριμένες τοπολογίες αναφοράς παρεμβολέα-παρεμβαλλόμενου για τις οποίες τα όρια EIRP δίνουν την καθορισμένη ανεκτή παρεμβολή.

iv. Κατάλληλες τιμές λόγου προστασίας συσκευής WS σε DTT ως συνάρτηση της φασματικής απόστασης των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται από κάθε υπηρεσία.

v. Μια μεθοδολογία για τον υπολογισμό του μέγιστου διαθέσιμου EIRP για κάθε συσκευή WS.

Διαθέτοντας τα ανωτέρω στοιχεία, η βάση δεδομένων υπολογίζει τη μέγιστη ισχύ εκπομπής για κάθε συσκευή WS. Σε καθένα υπολογισμό λαμβάνονται υπόψη όλες οι υπόλοιπες συσκευές. Τα όρια που προκύπτουν εξασφαλίζουν ότι σε κάθε σημείο του πλέγματος και οποιαδήποτε χρονική στιγμή η πιθανότητα πρόκλησης καταστρεπτικής παρεμβολής είναι αρκούντως μικρή [2].

Αντίστοιχα δεδομένα απαιτούνται και για προστασία των υπόλοιπων υπηρεσιών σε αυτό το φάσμα.

[2] Η πιθανότητα αυτή λέγεται πιθανότητα υπέρβασης και πρέπει να δίνεται στη βάση δεδομένων ως στοιχείο.

3.2.3 Αξιοποίηση Σημάτων beacons (φάρων)

Τα beacons είναι σήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δηλώσουν αν ένα κανάλι είναι κατειλημμένο ή διαθέσιμο. Τρεις είναι οι πιθανοί τρόποι χρησιμοποίησής τους [13]:

i. Beacon ενεργοποίησης. Αν ανιχνευθεί αυτό το σήμα, το κανάλι θεωρείται διαθέσιμο.

ii. Beacon απενεργοποίησης. Αν ανιχνευθεί αυτό το σήμα, το κανάλι θεωρείται κατειλημμένο.

iii. Pilot Beacon. Ταυτοποιεί τα χρησιμοποιούμενα κανάλια.

Συνήθως, τα σήματα beacon χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με κάποια από τις προαναφερθείσες μεθόδους και όχι αυτοτελώς. Μπορούν να υποβοηθούν τη χρήση της βάσης δεδομένων όταν αυτή δεν είναι σε θέση να δώσει ενημερωμένα στοιχεία, πχ σε ad-hoc δίκτυα που μπορούν να λειτουργήσουν σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων, όπως συμβαίνει με τα συστήματα PMSE. [16]

3.3 Πρωτόκολλα

Η ιδέα για την αξιοποίηση των WS προκειμένου να γίνει αποδοτικότερη η αξιοποίηση του φάσματος υπάρχει πολλά χρόνια [17]. Ωστόσο, πρωτόκολλα που ορίζουν τα χαρακτηριστικά των συσκευών και των δικτύων που λειτουργούν στο φάσμα των WS άργησαν να εκδοθούν. Ιδιαίτερης αναφοράς αξίζουν τα πρότυπα IEEE 802.22 και IEEE 802.11af. Ο οργανισμός IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) είναι ένας διεθνής οργανισμός με βάση στις Ηνωμένες πολιτείες. Αν και δεν είναι επίσημο όργανο όπως η ITU, τα πρότυπά που εκδίδει απολαμβάνουν μεγάλη αναγνώριση.

3.3.1 IEEE 802.22

Τα καλά χαρακτηριστικά διάδοσης ακόμα και σε NLOS ζεύξεις σε συνδυασμό με υλοποιήσιμα μεγέθη κεραιών, καθιστούν το φάσμα των WS ιδανικό για ευρυζωνική κάλυψη μεγάλων αραιοκατοικημένων περιοχών που είναι δύσκολο ή ασύμφορο να εξυπηρετηθούν με άλλον τρόπο. Για αυτό το σκοπό, το πρότυπο IEEE 802.22 αποσκοπεί στη χρήση cognitive radio τεχνικών [18]. Για την προστασία των πρωτευουσών υπηρεσιών, οι συσκευές του δικτύου IEEE 802.22 κάνουν spectrum sensing ενώ ταυτόχρονα χρησιμοποιείται βάση δεδομένων.

Όλοι οι κόμβοι σε ένα δίκτυο IEEE 802.22 κάνουν sensing του φάσματος με μια κεραία κέρδους τουλάχιστον 0dBi προς όλες τις κατευθύνσεις[3] σε ύψος τουλάχιστον 10m πάνω από το έδαφος. Για την υλοποίηση της βάσης δεδομένων είναι απαραίτητο όλες οι συσκευές να είναι εξοπλισμένες με δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης (π.χ GPS, Galileo κ.α). Η βάση ενημερώνεται για το γεωγραφικό πλάτος και μήκος κάθε κόμβου καθώς και για το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας κάθε συσκευής που ανήκει στο τμήμα του δικτύου για το οποίο η βάση είναι υπεύθυνη να ρυθμίσει. Οι συσκευές WS πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζουν beacons που σηματοδοτούν την ύπαρξη ασύρματων μικροφώνων χαμηλής ισχύος [19].

Τα βασικά χαρακτηριστικά του IEEE 802.22 παρουσιάζονται στον Πιν.3.1 [18]. Οι ωφέλιμοι ρυθμοί μετάδοσης πληροφορίας παρέχονται για κανάλια εύρους 6MHz και αυξάνονται αναλογικά για κανάλια εύρους 7 και 8MHz.

[3] Κέρδος τουλάχιστον 0dBi προς όλες τις κατευθύνσεις μπορεί να επιτευχθεί με sector κεραίες ή με κεραίες πάνω σε σύστημα με ρότορα.

Παράμετρος	Χαρακτηριστικά	Σημειώσεις
Εύρος ζώνης καναλιού	6, 7, ή 8MHz	Εξαρτάται από την ρυθμιστική αρχή. Στην Ελλάδα, 8MHz.
Ωφέλιμος ρυθμός μετάδοσης	4.54 έως 22.69Mbps	Για κανάλι 6MHz
Φασματική απόδοση	0.76-3.78Mbps	
Διαμόρφωση	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	BPSK για μετάδοση προοιμίων και CDMA κωδίκων
EIRP	Εξαρτάται από τη ρυθμιστική αρχή	
Σχήμα πολλαπλής πρόσβασης	OFDMA	
FFT	2k	
Κυκλικό πρόθεμα	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	
Duplex	TDD	

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά του προτύπου 802.22-2011

Το δίκτυο αποτελείται από σταθμούς βάσης (BS) και τερματικά (CPE). Ένας σταθμός βάσης μπορεί να εξυπηρετήσει τερματικά που βρίσκονται σε απόσταση έως 100km. Το πρωτόκολλο IEEE 802.22 υποστηρίζει την τεχνική ACM (Adaptive coding and modulation) ορίζοντας 4 διαθέσιμους ρυθμούς κώδικα (1/2, 2/3, 3/4, 5/6) και 3 σχήματα διαμόρφωσης. Το πρότυπο θέτει υποχρεωτική συνελικτική κωδικοποίηση με ορισμένο κωδικοποιητή, ενώ συμπεριλαμβάνει και τρείς προαιρετικές μεθόδους κωδικοποίησης οι οποίες επιτυγχάνουν καλύτερη απόδοση με κόστος αυξημένη πολυπλοκότητα υλοποίησης και αυξημένο χρόνο αποκωδικοποιήσης,

Στον Πιν.3.2 δίνονται οι ωφέλιμοι ρυθμοί μετάδοσης για κάθε προφίλ μετάδοσης (mode) που υποστηρίζει το πρότυπο [18]. Τα προφίλ μετάδοσης 3-14 χρησιμοποιούνται για μεταφορά δεδομένων πληροφορίας, ενώ τα προφίλ 1 και 2 χρησιμοποιούνται για μετάδοση δεδομένων προς έλεγχο του δικτύου. Ο ρυθμός μετάδοσης R_i για κάθε προφίλ i προκύπτει από την εξίσωση

$$R_i = \frac{8}{7}(1+cp)MBR_c\frac{S_D}{S_T} \tag{3.1}$$

όπου 8/7 ο παράγοντας διαπλάτυνσης από την OFDM κωδικοποίηση, cp το κυκλικό πρόθεμα, M το πλήθος των ψηφίων ανά σύμβολο, B το εύρος ζώνης, R_c ο ρυθμός κώδικα, S_T το συνολικό πλήθος των υποφέροντων OFDM και S_D το πλήθος αυτών που μεταφέρουν δεδομένα. Έτσι, ενδεικτικά, για το προφίλ 10 είναι[4]

$$R_{10} = \frac{8}{7}\frac{17}{16}4 \times 6 \times 10^6 \times 2/3\frac{1440}{2048} = 12.10Mbps \tag{3.2}$$

Ενώ η φασματική απόδοση για το ίδιο προφίλ προκύπτει από τη σχέση

$$E_{10} = \frac{R_{10}}{6 \times 10^6} = 2.016bps/Hz \tag{3.3}$$

[4]Το πλήθος των υποφέρουσων με δεδομένα είναι 1440 [18].

PHY mode	Διαμόρφωση	Ρυθμός κώδικα	Ωφέλιμος ρυθμός μετάδοσης(Mbps)	Φασματική απόδοση
1	BPSK	Ακωδικοποίητο		
2	QPSK	1/2		
3	QPSK	1/2		
4	QPSK	1/2		
5	QPSK	1/2	4.54	0.76
6	QPSK	2/3	6.05	1.01
7	QPSK	3/4	6.81	1.13
8	QPSK	5/6	7.56	1.26
9	16-QAM	1/2	9.08	1.51
10	16-QAM	2/3	12.10	2.02
11	16-QAM	3/4	13.61	2.27
12	16-QAM	5/6	15.13	2.52
13	64-QAM	1/2	13.61	2.27
14	64-QAM	2/3	18.15	3.03
15	64-QAM	3/4	20.42	3.40
16	64-QAM	5/6	22.69	3.78

Πίνακας 3.2: Ρυθμοί μετάδοσης 802.22-2011 για cp=1/16

3.3.2 IEEE 802.11af

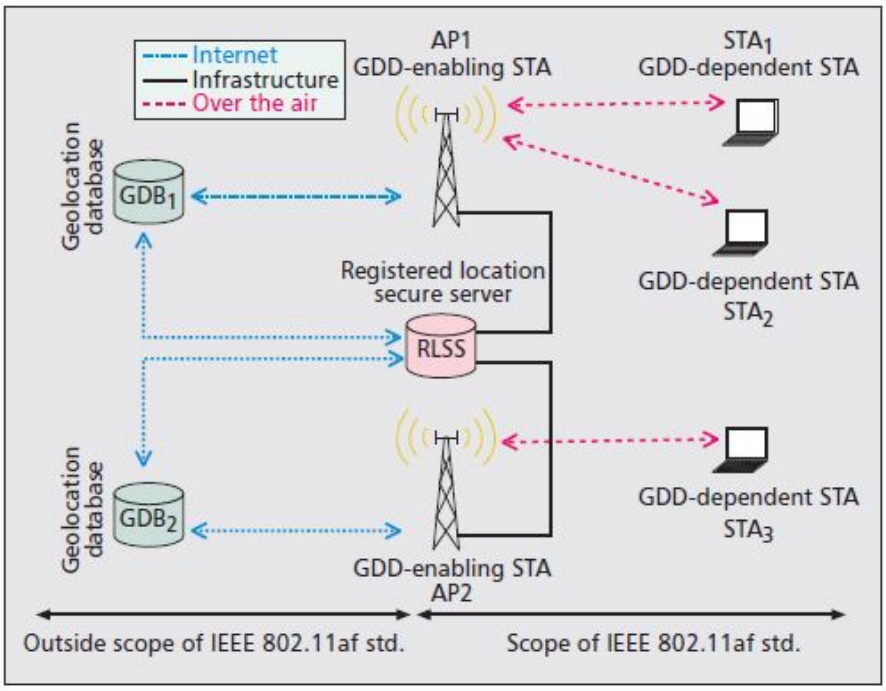
Το πρωτόκολλο IEEE 802.11af ανήκει στην οικογένεια 802.11 η οποία γενικά χρησιμοποιείται σε WLAN – Wireless Local Area Network (Τοπικά ασύρματα δίκτυα μικρής εμβέλειας). Η κατηγορία IEEE 802.11 έχει ευρεία αναγνώριση και εφαρμογή και είναι γνωστή ως Wi-Fi. Η έκδοση 802.11af επιτρέπει την υλοποίηση WLAN δικτύων στο φάσμα των WS με χρήση cognitive radio τεχνικών. Αρκετοί από τους μηχανισμούς που χρησιμοποιούν δίκτυα συσκευών WS δεν είναι κοινοί σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά διαφοροποιούνται κατά περίπτωση μέσω των κανονισμών των εθνικών ρυθμιστικών αρχών. Για το λόγο αυτό, το IEEE 802.11af ορίζει μηχανισμούς και οντότητες που απαρτίζουν το δίκτυο, παρέχοντας ευελιξία σε ορισμένα χαρακτηριστικά υλοποίησής του.

Η υλοποίηση του cognitive radio βασίζεται σε βάση δεδομένων γεωγραφικής τοποθεσίας (Geolocation Database – GDB) όπου αποθηκεύονται λειτουργικές παράμετροι των συσκευών WS. Η βάση δεδομένων είναι υπό τον έλεγχο της αντίστοιχης ρυθμιστικής αρχής [20].

Το επόμενο στοιχείο στην αρχιτεκτονική του δικτύου 802.11af είναι ο Registered Location Secure Server – RLSS (Ασφαλής εξυπηρετητής καταχωρισμένης θέσης), ο οποίος λειτουργεί ως τοπική βάση δεδομένων για μικρό αριθμό συσκευών. Ο ρόλος του ποικίλλει αντίστοιχα με το πλαίσιο λειτουργίας που έχει θέσει η ρυθμιστική αρχή [20].

Οι υπόλοιπες οντότητες του δικτύου περιγράφονται ως εξαρτώμενες από GDB (Geolocation-Database-Dependent – GDD) και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

i. GDD–Enabling Stations (σταθμοί που ενεργοποιούν). Αυτοί οι σταθμοί είναι τα σημεία πρόσβασης (Access Points) του δικτύου και είναι αυτοί που επικοινωνούν με την GDB προκειμένου να ενημερωθούν για τις επιτρεπτές παραμέτρους λειτουργίας των συσκευών που ανήκουν στην περιοχή κάλυψής τους. Οι παράμετροι λαμβάνονται υπό τη μορφή χάρτη WS



Σχήμα 3.3: Παράδειγμα δικτύου 802.11af [20].

– WSM [21].

ii. GDD–Dependent Stations (εξαρτώμενοι σταθμοί). Αυτοί οι σταθμοί είναι το τελευταίο στοιχείο του δικτύου, τα τερματικά.

Στο Σχ.3.3, παρουσιάζεται ένα απλό δίκτυο IEEE 802.11af που περιλαμβάνει όλες τις οντότητες που περιγράφηκαν προηγουμένως.

Το IEEE 802.11af, εκτός από τις οντότητες που συνθέτουν το δίκτυο, ορίζει και μηχανισμούς για τη μεταξύ τους επικοινωνία και για τη ρύθμισή του δικτύου. Μέσω της διαδικασίας Channel Availability Query (ερώτηση για διαθέσιμα κανάλια), τα GDD-dependent STA λαμβάνουν ένα ενημερωμένο WSM από τα GDD-Enabling STA. Η διαδικασία αυτή συμβαίνει σε μια από τις τρεις περιπτώσεις:

i. Όταν λήξει ο χρόνος για τον οποίο είχε ενεργοποιηθεί η συσκευή.

ii. Στην περίπτωση όπου το GDD-Enabling STA ενημερώσει το τερματικό για αλλαγή στη διαθεσιμότητα των καναλιών.

iii. Όταν ένα τερματικό μετακινηθεί εκτός της περιοχής εμβέλειας του σταθμού του.

Το Channel Schedule Managment (διαχείριση προγράμματος καναλιών) είναι η διαδικασία κατά την οποία οι σταθμοί GDD - Enabling κάνουν αίτηση σε κάποιο RLSS ή σε κάποιο άλλο GDD - Enabling STA για να ενημερωθούν ως προς το πρόγραμμα των καναλιών WS. Έτσι, τους γνωστοποιούνται οι χρόνοι έναρξης και λήξης εκπομπής για κάθε κανάλι [20].

Το Contact Vertification Signal (σήμα επαλήθευσης επικοινωνίας) εκπέμπεται από τους σταθμούς GDD - Enabling και εξυπηρετεί δύο σκοπούς. Πρώτον, με αυτό το σήμα γνωρίζει ποια

τερματικά βρίσκονται εντός της περιοχής εμβέλειας του και, δεύτερον, μέσω αυτού τα τερματικά επιβεβαιώνουν ότι λειτουργούν με έγκυρο WSM. [20]

Η διαδικασία GDD Enablement επιτρέπει σε ένα GDD - Enabling STA να ενεργοποιήσει ένα δίκτυο ώστε τερματικά να συνδεθούν σε αυτό. Το enabling STA αποστέλλει ένα σήμα φάρο σε όλα τα διαθέσιμα WS. Ένα μη ενεργοποιημένο τερματικό αντιλαμβάνεται παθητικά το ηλεκτρομαγνητικό του περιβάλλον. Όταν λάβει το beacon ενεργοποίησης μπορεί να μεταβεί από την κατάσταση "Unenabled" (μη ενεργοποιημένο) στην "Attempting GDD enablement" (προσπάθεια για ενεργοποίηση) και να στείλει απάντηση στο σταθμό. Αν ο enabling σταθμός λάβει την απάντηση, τότε ενημερώνει το τερματικό ότι μπορεί να περάσει στην κατάσταση "Enabled" (ενεργοποιημένο).

Η υλοποίηση του συστήματος διαφοροποιείται ανάλογα με το πλαίσιο που ορίζει η ρυθμιστική αρχή. Η FCC ορίζει τα δίκτυα 802.11af ως συστήματα ανοικτού βρόχου και το κριτήριο για την ύπαρξη ή μη παρεμβολής είναι προκαθορισμένο. Η έλλειψη ανάδρασης μεταξύ τερματικών και βάσης δεδομένων οδηγεί σε απλότητα υλοποίησης, με αντίτιμο τη λιγότερο αποδοτική χρήση των WS. Αντίθετα, το ευρωπαϊκό πλαίσιο λειτουργίας απαιτείται συχνή επικοινωνία των συσκευών WS και της βάσης δεδομένων. Η πρόκληση παρεμβολής από μια συσκευή WS στις πρωτεύουσες υπηρεσίες ρυθμίζεται με ευέλικτα όρια στο επιτρεπόμενο EIRP [22].

Το PHY layer βασίζεται στο standard TVHT (TV High Throughput). Το standard αυτό υποστηρίζει bonding (συνένωση) καναλιών όταν αυτά είναι διαθέσιμα με στόχο την επίτευξη μεγαλύτερου ρυθμού μετάδοσης. Bonding μπορεί να γίνει σε κανάλια που ικανοποιούν μια από τις ακόλουθες περιπτώσεις [23]:

i. Μεταξύ δύο μη διαδοχικών καναλιών.

ii. Μεταξύ δύο διαδοχικών καναλιών, σχηματίζοντας ένα ενιαίο block.

iii. Μεταξύ τεσσάρων διαδοχικών καναλιών.

iv. Μεταξύ δύο μη διαδοχικών block που αποτελούνται από ένα ζεύγος γειτονικών καναλιών.

Οι ρυθμοί μετάδοσης που μπορούν να επιτευχθούν με ένα κανάλι εύρους 8MHz παρουσιάζονται στον Πιν.3.3. Ο ρυθμός μετάδοσης πολλαπλασιάζεται με παράγοντα δύο ή τέσσερα αν χρησιμοποιείται bonding. Ο ρυθμός μετάδοσης R_i προκύπτει από την εξίσωση

$$R_i = MR_c \frac{1}{T_s} S_D \tag{3.4}$$

όπου M το πλήθος των ψηφίων ανά σύμβολο, R_c ο ρυθμός του κώδικα, S_D το πλήθος των υποφέρουσων που μεταφέρουν δεδομένα και T_s η διάρκεια του συμβόλου OFDM η οποία δίνεται από τη σχέση

$$T_s = \frac{S_T}{B}(1 + cp) \tag{3.5}$$

με S_T να είναι το συνολικό πλήθος των OFDM υποφερουσών και cp το κυκλικό πρόθεμα.

Ενδεικτικά, για το προφίλ 7 και κυκλικό πρόθεμα cp=1/4 προκύπτει[5]

$$T_{s_7} = \frac{144}{8}(1 + 1/4) = 22.5\mu s \tag{3.6}$$

[5]Από το πρωτόκολλο έχουμε ότι $S_D = 108$ και $S_T = 144$.

Index	Διαμόρφωση	Ρυθμός κώδικα	Ωφέλιμος ρυθμός μετάδοσης (Mbps), 1/4cp	Ωφέλιμος ρυθμός μετάδοσης (Mbps), 1/8 cp
0	BPSK	1/2	2.4	2.7
1	QPSK	1/2	4.8	5.3
2	QPSK	3/4	7.2	8.0
3	16-QAM	1/2	9.6	10.7
4	16-QAM	3/4	14.4	16.0
5	64-QAM	2/3	19.2	21.3
6	64-QAM	3/4	21.6	24.0
7	64-QAM	5/6	24.0	26.7
8	256-QAM	3/4	28.8	32.0
9	256-QAM	5/6	32.0	35.6

Πίνακας 3.3: Ωφέλιμοι ρυθμοί μετάδοσης 802.11af για κανάλια 8MHz [23]

$$R_7 = 6 \times 5/6 \frac{1}{22.5 \times 10^{-}6} 108 = 24Mbps \tag{3.7}$$

Κεφάλαιο 4

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ENG ΠΑΝΩ ΑΠΟ IP

Προσομοίωση αποστολής live video σε εξωτερικό χώρο έχει υλοποιηθεί στα πλαίσια άλλων εργασιών [24]. Σε διπλωματική εργασία, με θέμα τη μετάδοση και συλλογή ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο, σχεδιάστηκε ζεύξη με πομπό στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, και δέκτη στον Υμηττό. Στην προσομοίωση αυτή επιλέχθηκε το IEEE 802.11n, με μερικές τροποποιήσεις, ως πρωτόκολλο ασύρματης πρόσβασης. Στόχος της εργασίας ήταν η μελέτη της επίδοσης μερικών πρωτοκόλλων εφαρμογής και μεταφοράς[1] με κριτήριο την ποιότητα του αρχείου video που φθάνει στο δέκτη.

Η διάταξη της ζεύξης παρουσιάζεται στο Σχ.4.1. Ο πομπός ήταν ένας φορητός υπολογιστής που είχε αποθηκευμένο το αρχείο video. Αυτός ήταν συνδεδεμένος μέσω ethernet με το σταθμό ασύρματης εκπομπής, τη διεπαφή NanoBridge M3 της Ubiquiti, ο οποίος λειτουργούσε ως γέφυρα μεταξύ δύο LAN. Η ασύρματη πρόσβαση έγινε από το πρωτόκολλο airMAX πού χρησιμοποιεί το IEEE 802.11n ως υποκείμενο πρωτόκολλο αντικαθιστώντας τη μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης CSMA/CoA με TDMA. Η λήψη γινόταν στον Υμηττό και, στη συνέχεια, τα δεδομένα αποστέλλονταν μέσω οπτικής ίνας σε απομακρυσμένο δέκτη. Στο πλαίσιο της προσομοίωσης, θεωρήθηκε ότι η χειροτέρευση στην εικόνα του video οφείλεται εξ ολοκλήρου στα λάθη που συμβαίνουν εξαιτίας του ασύρματου τμήματος της ζεύξης [24].

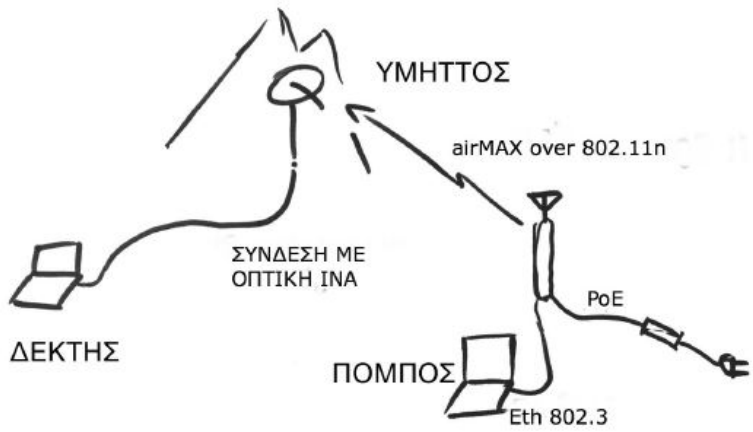
Η ζώνη συχνοτήτων όπου μπορεί να λειτουργήσει η ασύρματη διεπαφή NanoBridge M3 είναι από 3.4 έως 3.7GHz. Για το λόγο αυτό, οι απώλειες ελευθέρου χώρου της ζεύξης είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες απώλειες της περίπτωσης όπου η ασύρματη μετάδοση διεξαγόταν στο φάσμα των WS. Συγκεκριμένα για απόσταση 3.9km, όση ήταν η απόσταση πομπού και δέκτη στη ζεύξη προσομοίωσης, και για ασύρματη μετάδοση με κανάλι στη συχνότητα 3.4GHz οι απώλειες ελευθέρου χώρου είναι 114.6dB. Για ίδια απόσταση και κανάλι στη συχνότητα 682MHz (συχνότητα που αντιστοιχεί σε WS στην περιοχή της Αττικής) οι απώλειες ελευθέρου χώρου είναι 100.7dB.

Στην εργασία με θέμα τη μετάδοση και συλλογή ειδήσεων πραγματοποιήθηκαν πολλές δοκιμές ώστε να γίνει ένας εξαντλητικός έλεγχος της επίδοσης της ζεύξης στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούταν πρωτόκολλο HTTP, RTP ή UDP για αποστολή video με μεταβλητό bitrate (VBR)[2] και για αποστολή video με σταθερό bitrate (CBR)[3]. Το σύνολο των δοκιμών επαναλήφθηκε δύο φόρες, μια υπό ευνοϊκές συνθήκες μετάδοσης και μια υπό λιγότερο ευνοϊκές. Το video που έφθανε στο δέκτη αποθηκευόταν και ύστερα γινόταν σύγκριση με το πρωτότυπο αρχείο αποστολής. Για τη σύγκριση της ποιότητας των αρχείων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MSU VQMT – Moscow State University Video Quality Measurment Tool. Το εργαλείο αυτό εξετάζει τα αποτελέσματα πολλών δοκιμών, μεταξύ άλλων την τιμή PSNR και το δείκτη SSIM, για να πραγματοποιήσει μια

[1] Τα πρωτόκολλα εφαρμογής καθώς και τα πρωτόκολλα μεταφοράς ορίζονται στο παράρτημα Α.

[2] Ο ρυθμός αποστολής δεδομένων άλλαζε σύμφωνα με τις απαιτήσεις του video για να αποδώσει τις αλλαγές στην εικόνα.

[3] Ο ρυθμός αποστολής παρέμενε σταθερός. Έτσι, ακόμα και όταν το video δεν απαιτούσε μεγάλο bitrate, είχε γίνει bit padding (γέμισμα με bit) ώστε να διατηρείται ο ρυθμός σταθερός.



Σχήμα 4.1: Η διάταξη της προσομοίωσης [24].

αξιολόγηση όσο το δυνατό περισσότερο αντιπροσωπευτική της πραγματικής ποιότητας του video. Τα video που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κωδικοποιημένα με H.264 και είχαν ανάλυση 640×480 με ρυθμό εναλλαγής πλαισίων 25fps.

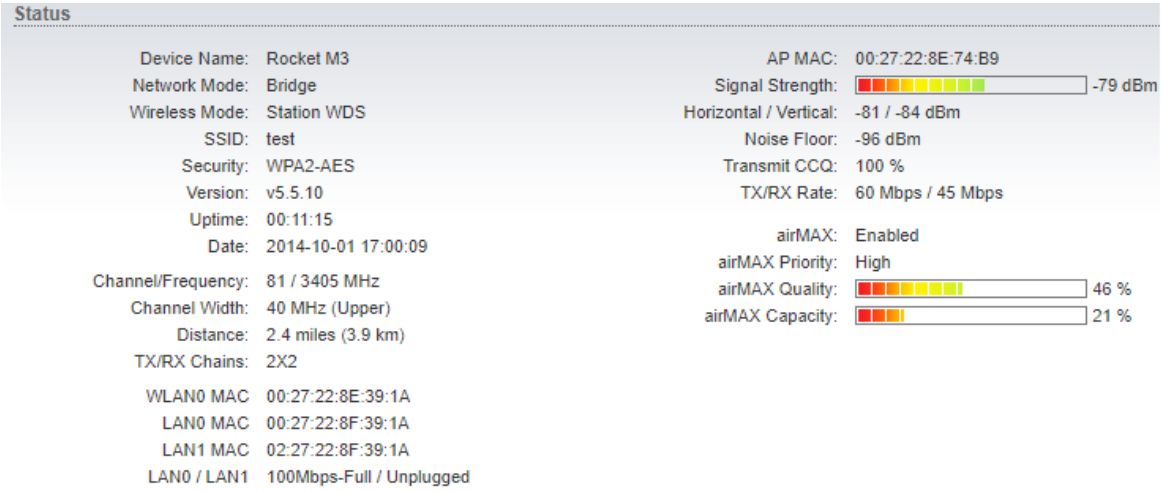
Στα Σχ.4.2 και Σχ.4.3 φαίνονται οι παράμετροι της ασύρματης μετάδοσης για τις δυο περιπτώσεις δοκιμών, αντίστοιχα με την ευνοϊκότητα των συνθηκών. Το εύρος ζώνης καναλιού ήταν 40MHz και το SNR 17 και 9dB για τις δυο περιπτώσεις αποστολής.

Στις δοκιμές με ισχύ σήματος λήψης -79dBm το video καλύτερης ποιότητας στο δέκτη προέκυψε από την αποστολή CBR video με το πρωτόκολλο HTTP. Πολύ καλή εικόνα έδωσαν και οι υπόλοιπες δοκιμές με το CBR video. Οι δοκιμές με video VBR έδωσαν χειρότερο αποτέλεσμα όταν χρησιμοποιήθηκαν τα πρωτόκολλα HTTP και UDP συγκριτικά για τις αντίστοιχες που προέκυψαν για αποστολή CBR video. Αντίθετα, η αποστολή VBR video με το πρωτόκολλο RTP έδωσε πολύ καλό αποτέλεσμα, συγκρίσιμο με αυτό της καλύτερης δοκιμής (CBR – HTTP).

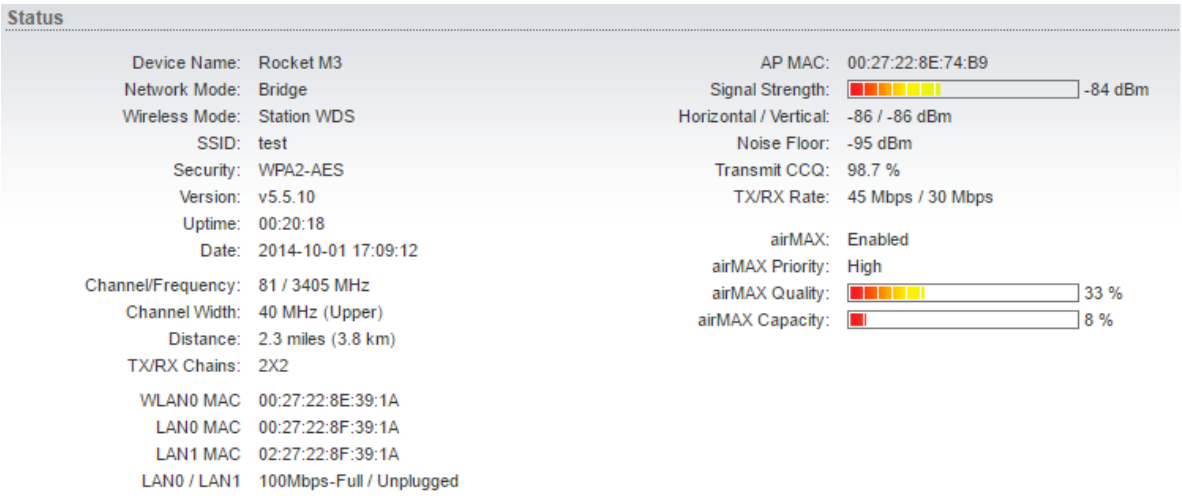
Στην επανάληψη των δοκιμών με ισχύ σήματος λήψης -84 dBm, όπως ήταν αναμενόμενο, η ποιότητα της εικόνας χειροτέρευσε, με εξαίρεση την αποστολή CBR video με HTTP και την αποστολή VBR με RTP. Ακόμα και σε αυτές τις δοκιμές όμως, σε ένα μπλοκ από frames οι δείκτες έδειξαν μείωση στην ποιότητα της εικόνας.

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών έγιναν κάποιες παρατηρήσεις που δεν αποτυπώνονται στις τιμές των δεικτών ποιότητας. Συγκεκριμένα, σε κάποιες από τις δοκιμές αποστολής με HTTP το video που έφθανε στο δέκτη δεν είχε ήχο. Η αιτία αυτού του προβλήματος δεν ταυτοποιήθηκε και ενδεχομένως να οφείλεται σε κολλήματα των προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν και όχι σε λάθη λόγω της μετάδοσης. Επίσης, κατά την αποστολή με HTTP σε αρκετές δοκιμές χάνονταν αρκετά frames στην αρχή της ροής. Αυτό οφείλεται στο ότι το HTTP χρησιμοποιεί ως πρωτόκολλο μεταφοράς το TCP το οποίο πριν την αποστολή δεδομένων απαιτεί της εγκατάσταση σύνδεσης, διαδικασία που απαιτεί ορισμένο χρονικό διάστημα. Το γεγονός αυτό είναι προβληματικό για την εφαρμογή της ηλεκτρονικής συλλογής ειδήσεων, καθώς, αν η σύνδεση διακοπεί λόγω δυσμενών συνθηκών στο δίαυλο μετάδοσης, θα απαιτείται νέα εγκατάσταση σύνδεσης με συνέπεια την απώλεια πρόσθετων πλαισίων από το video.

Λαμβάνοντας υπόψη τη χαμηλή ανάλυση των video που αποστάλθηκαν, το διαθέσιμο εύρος



Σχήμα 4.2: Οι παράμετροι της δοκιμής υπό ευνοϊκές συνθήκες [24].



Σχήμα 4.3: Οι παράμετροι της δοκιμής υπό λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες [24].

ζώνης και το SNR που επιτεύχθηκε, όπως αυτά τα στοιχεία αποτυπώνονται στα Σχ.4.2 και Σχ.4.3, γίνεται αντιληπτό ότι οι συνθήκες μετάδοσης ήταν αρκετά καλύτερες από αυτές που θα επικρατούσαν για μετάδοση πάνω από WS[4]. Το πρωτόκολλο HTTP εκμεταλλεύεται τις καλές συνθήκες μετάδοσης για να κάνει διόρθωση λαθών. Για το λόγο, αυτό είναι πιθανό η καλή επίδοση του στις ζεύξεις προσομοίωσης να μην επαναληφθεί σε ζεύξεις στο φάσμα των WS με χειρότερες συνθήκες μετάδοσης. Συμπερασματικά, σε συνδυασμό με αρχείο video VBR, το πρωτόκολλο RTP, είναι πιθανότατα η προτιμητέα επιλογή για εφαρμογή ηλεκτρονικής συλλογής ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο. Από την άλλη πλευρά, το πρωτόκολλο HTTP είναι η καλύτερη επιλογή αν οι συνθήκες μετάδοσης είναι ευνοϊκές.

[4]Ανάλυση των αναμενόμενων συνθηκών για μετάδοση πάνω από WS γίνεται στο κεφάλαιο 5

Κεφάλαιο 5

ENG ΠΑΝΩ ΑΠΟ WS. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Κεντρικός στόχος της εργασίας είναι η σχεδίαση μιας ζεύξης πάνω από το φάσμα των WS με σκοπό την ηλεκτρονική συλλογή ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο εντός της περιοχής της Αττικής. Η προσέγγιση που προτείνεται βασίζεται στην εγκατάσταση ενός πομποδέκτη σε σταθερή τοποθεσία στον Υμηττό από τον οποίο θα γίνεται η λήψη της είδησης και η χρήση ενός φορητού πομποδέκτη από τον οποίο θα γίνεται η αποστολή της είδησης. Η επικοινωνία των τερματικών προτείνεται να είναι αμφίδρομη ώστε να μπορούν να αντιμετωπιστούν καλύτερα ενδεχόμενες δυσμενείς συνθήκες μετάδοσης. Σε μια αμφίδρομη ζεύξη μπορούν να υλοποιηθούν προσαρμοστικοί μηχανισμοί για αντιμετώπιση απωλειών δεδομένων. Για παράδειγμα, μπορεί ένα τερματικό να κάνει αίτηση για επαναποστολή χαμένων πακέτων, ή να προτείνει χρήση περισσότερο εύρωστου σχήματος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης για αποφυγή λαθών κατά τη μετάδοση.

Για την επιλογή του καναλιού που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία λήφθηκαν υπόψη ορισμένοι αποτρεπτικοί παράγοντες. Τα κανάλια που χρησιμοποιούνται για την τηλεοπτική κάλυψη της Αττικής εξ ορισμού δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από συσκευές WS στην περιοχή αυτή. Τα διαθέσιμα WS στην Αττική παρουσιάζονται στον Πιν.5.1. Κανάλια με κεντρική συχνότητα μεγαλύτερη από 690MHz εξαιρέθηκαν και δεν συμπεριλαμβάνονται στον πίνακα, καθώς αυτό το τμήμα του φάσματος στο μέλλον θα παραχωρηθεί σε άλλη υπηρεσία αντί της τηλεόρασης και δεν θα είναι διαθέσιμο για συσκευές WS. Κανάλια τα οποία είναι WS στην Αττική αλλά χρησιμοποιούνται από δίκτυα γειτονικών νομών είναι ενδεχόμενο να μην είναι κατάλληλα για ηλεκτρονική συλλογή ειδήσεων, καθώς ενδέχεται το επίπεδο των παρεμβολών που θα προκαλείται στις συσκευές WS να είναι αποτρεπτικό. Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους:

i. Η αποστολή video σε πραγματικό χρόνο είναι απαιτητική ως προς το μέγιστο ανεκτό ποσοστό σφαλμάτων.

ii. Η λήψη του video θα γίνεται από τον πομποδέκτη στην κορυφή του Υμηττού. Κατά συνέπεια, λόγω του μεγάλου υψομέτρου, είναι πιθανό να μην παρεμβάλλονται εμπόδια στην ακτίνα οπτικής επαφής μεταξύ του πομποδέκτη και σταθμών ευρυεκπομπής από allotment γειτονικά στην Αττική. Έτσι, ενδέχεται η στάθμη των παρεμβαλλόντων σημάτων σε κάποιο κανάλι όπου δεν χρησιμοποιείται από τα δίκτυα της Αττικής να είναι υψηλή στο σημείο που σχεδιάζεται να γίνεται λήψη της ροής video.

Μια τακτική που θα μπορούσε να εφαρμοστεί με στόχο να αποφασιστεί αν κάποιο κανάλι είναι κατάλληλο για τη ζεύξη που σχεδιάζεται είναι να μετρηθεί το επίπεδο σημάτων στο κανάλι αυτό, στα σημεία από όπου θα εκπέμπουν και θα λαμβάνουν οι πομποδέκτες. Η τακτική όμως αυτή δεν είναι εφικτή για πρακτικούς λόγους. Αρχικά, το ένα άκρο της ζεύξης είναι φορητό,

	Κανάλι	Κεντρική συχνότητα(MHz)
1	25	506
2	26	514
3	29	538
4	33	570
5	35	586
6	37	602
7	39	618
8	41	634
9	42	642
10	43	650
11	44	658
12	46	674
13	47	682
14	48	690

Πίνακας 5.1: WS στην Αττική [12]

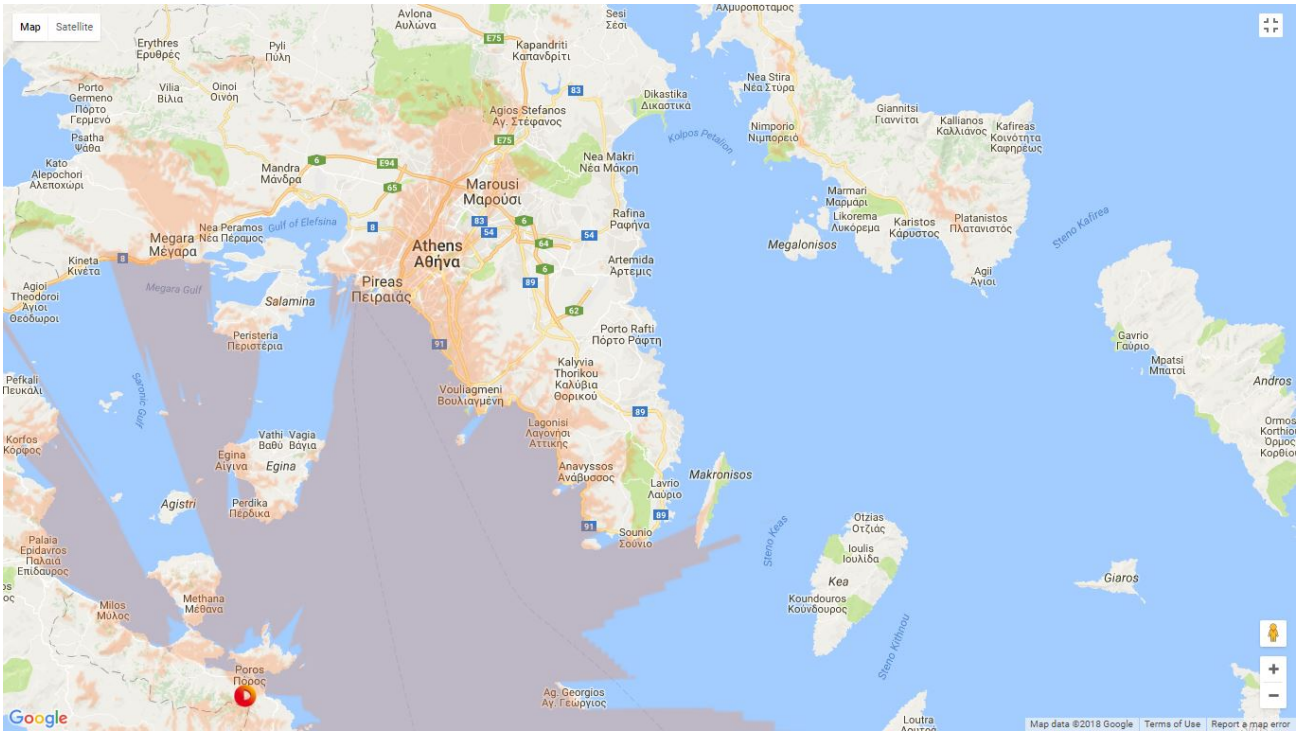
οπότε οποιαδήποτε μέτρηση πρέπει να γίνει σε σημεία προσεκτικά επιλεγμένα που να αποδίδουν εικόνα της χειρότερης περίπτωσης πού πρέπει να αντιμετωπιστεί. Επίσης, για κάθε κανάλι που μετράται απαιτείται πρόσθετος εξοπλισμός[1]. Κατά συνέπεια, η τακτική που ακολουθήθηκε ήταν να μελετηθούν αρχικά τα διαθέσιμα δεδομένα στο διαδίκτυο, ώστε να βρεθούν τα WS τα οποία είναι πιθανότερο να έχουν επαρκώς χαμηλό επίπεδο σημάτων παρεμβολών. Στη συνέχεια, μετρήθηκε το επίπεδο σημάτων στα κανάλια αυτά στον Υμηττό και σε άλλα δύο σημεία στην περιοχή της Αττικής.

Αφού ανευρεθεί το καταλληλότερο κανάλι για την εφαρμογή, πρέπει να εκτιμηθεί η τιμή σηματοθορυβικού λόγου που μπορεί να επιτευχθεί. Για το σκοπό αυτό, πρέπει να υπολογιστεί η διαθέσιμη ισχύς και το επίπεδο παρεμβολών στην πλευρά του δέκτη. Με βάση την ανάλυση του εδαφίου Α.1.4, δεδομένου ενός μέγιστου αποδεκτού BER, μπορεί να γίνει εκτίμηση και του ελάχιστου SNR για το οποίο η ζεύξη είναι επιτυχής για διάφορα σχήματα διαμόρφωσης και ρυθμούς κώδικα FEC. Φυσικά, το σχήμα διαμόρφωσης και ο ρυθμός κώδικα πρέπει να μπορούν να πετύχουν φασματική απόδοση αρκετά μεγάλη για να μεταδοθεί καλής ποιότητας video σε κανάλι εύρους 8MHz.

5.1 Ανεύρεση πιθανών WS για ηλεκτρονική συλλογή ειδήσεων

Στον Πιν.5.1 περιέχονται όλα τα WS της Αττικής. Για την ανεύρεση καναλιού με χαμηλό επίπεδο παρεμβολών, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη τα κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται από περιοχές γειτονικές της Αττικής. Μια πρώτη έρευνα για αποκλεισμό κάποιων WS που δεν είναι είναι κατάλληλα για αποστολή ροής video με δέκτη στον Υμηττό βασίστηκε στους χάρτες κάλυψης που παρέχονται από τον πάροχο επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης Digea. Οι χάρτες κάλυψης ενός σταθμού ευρυεκπομπής μίας υπηρεσίας εμφανίζουν την περιοχή στην οποία η στάθμη του σήματος είναι αρκετά υψηλή ώστε να είναι εφικτή η παροχή της υπηρεσίας. Για την περίπτωση της επίγειας

[1] Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις του επιπέδου σημάτων παρουσιάζεται στο εδάφιο 5.2



Σχήμα 5.1: Κάλυψη σταθμού ευρυεκπομπής Δάρδιτσας (Ναύπλιο)

ψηφιακής τηλεόρασης το κατώφλι σήματος λήψης είναι $54dB\mu V/m$.

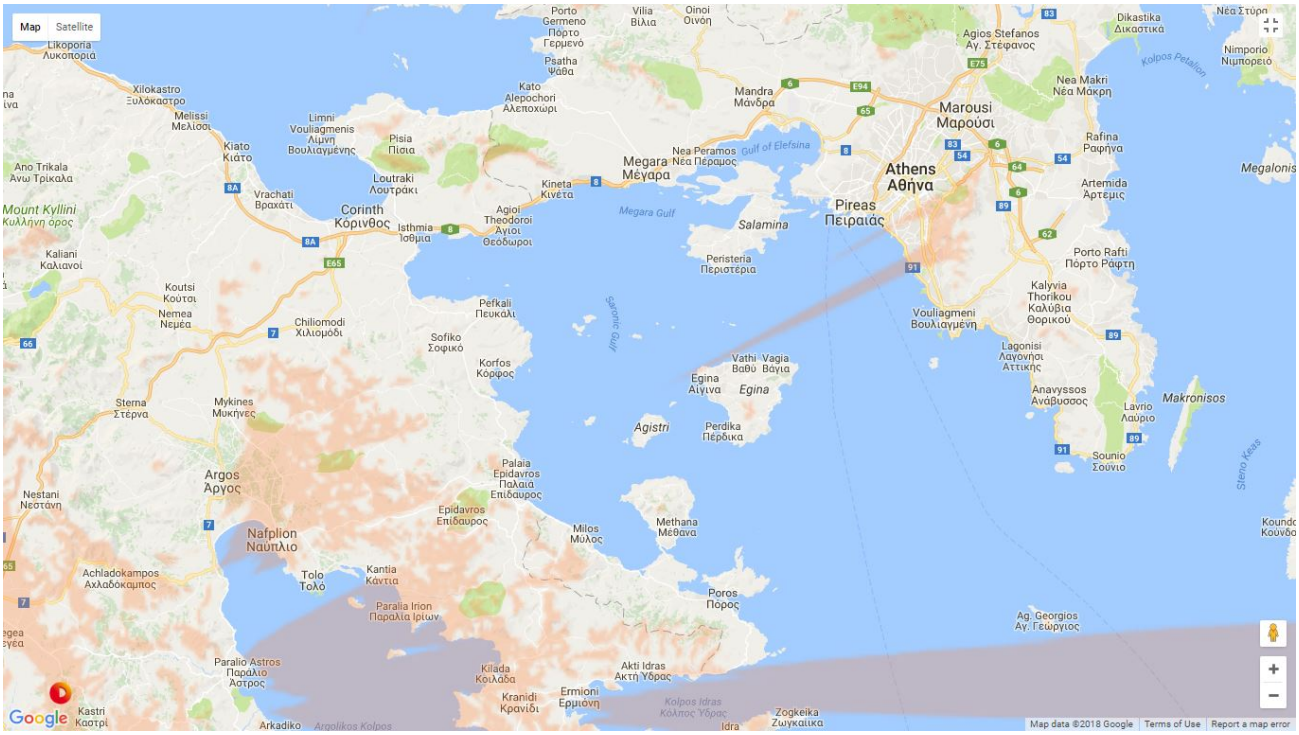
Οι χάρτες κάλυψης των κέντρων εκπομπής που φαίνεται ότι αποκλείουν τη χρήση ορισμένων WS της Αττικής λόγω της υψηλής στάθμης του σήματος που προκαλούν στον Υμηττό παρουσιάζονται στα Σχ.5.1-5.3. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκε πιθανή παρεμβολή εξαιτίας των κέντρων:

i. “Δάρδιτσα”, του allotment 24 (“ NAFPLIO”).

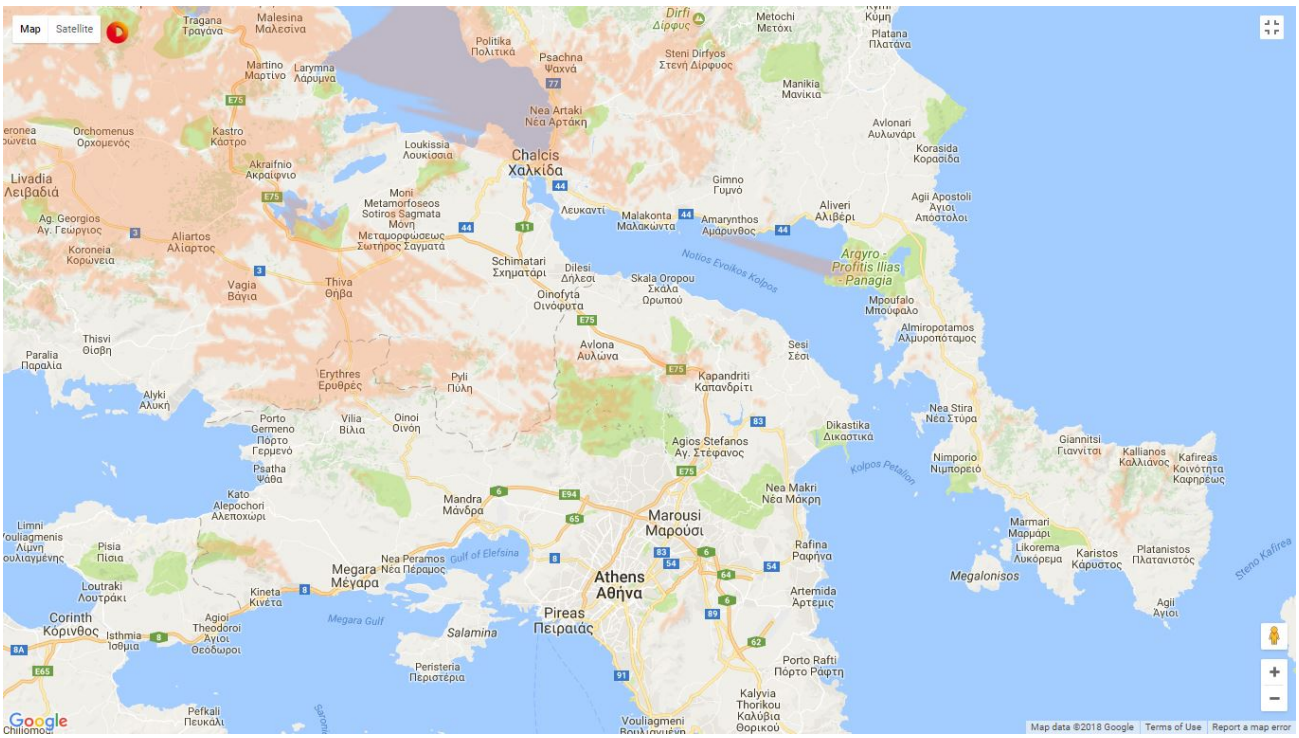
ii. “Δολιανά”, του allotment 23 (“TRIPOLI”).

iii. “Χλωμό”, του allotment 15 (“LAMIA”).

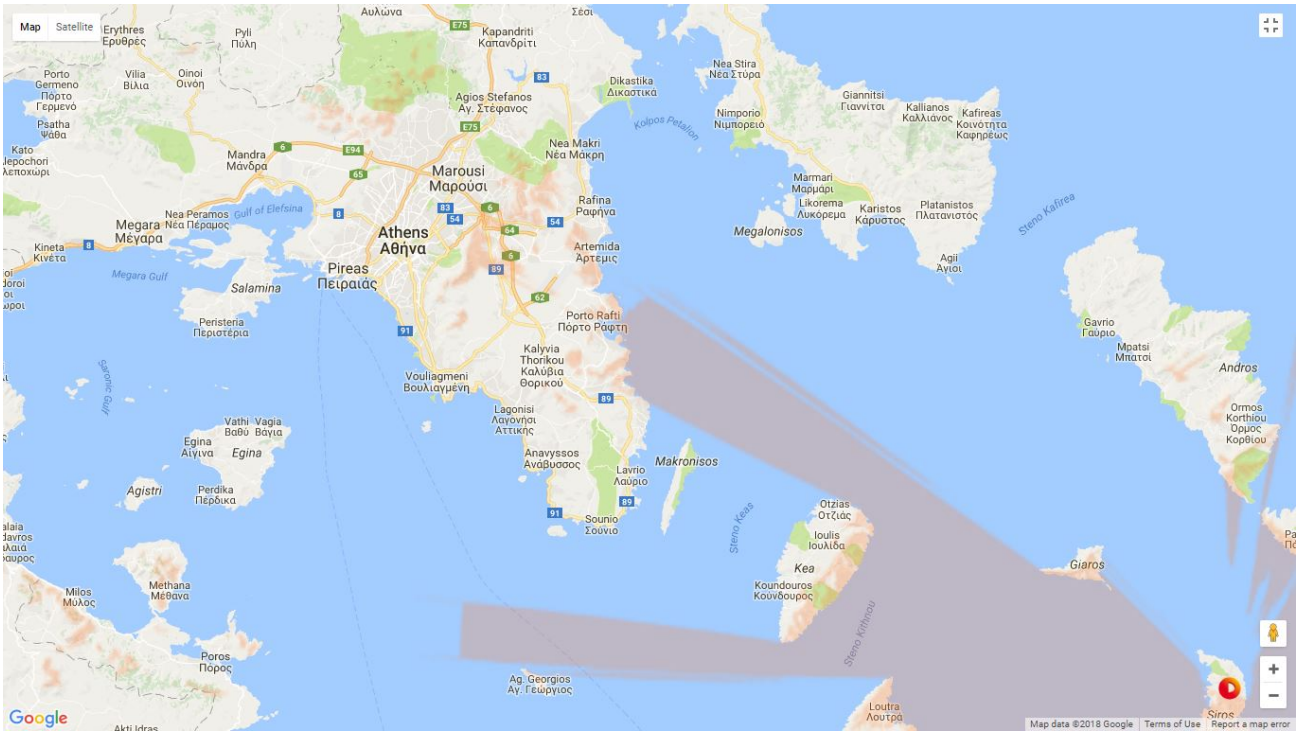
Από τους αντίστοιχους χάρτες κάλυψης των κέντρων εκπομπής του allotment 31 (“ SFN-2 KYKLADES”) προκύπτει πως αυτά πιθανότατα δεν θα προκαλούν παρεμβολή σε δέκτη που βρίσκεται στον Υμηττό και λαμβάνει σήμα σε κανάλι που χρησιμοποιείται από αυτά τα κέντρα. Όπως φαίνεται από το Σχ.5.4, το κέντρο εκπομπής “Σύρος” του allotment 31 (“ SFN-1 KYKLADES”) καλύπτει μέρος της Αττικής στα παράλια του Σαρωνικού κόλπου και την περιοχή του Υμηττού. Ωστόσο, ενδέχεται η στάθμη των παρεμβαλλόντων σημάτων στην είσοδο ενός δέκτη στον Υμηττού σε συχνότητες που χρησιμοποιεί αυτό το κέντρο να είναι αρκετά χαμηλή, ανάλογα με τον προσανατολισμό της ζεύξης. Συγκεκριμένα, αν το τερματικό στον Υμηττό λαμβάνει με κατευθυντική κεραία, και ο προσανατολισμός αυτής είναι τέτοιος που το κέντρο εκπομπής της Σύρου δεν είναι στον κύριο λοβό της, ενδέχεται να επιτυγχάνεται ικανοποιητική καταπίεση του παρεμβάλοντος σήματος. Δεδομένου ότι μια ζεύξη από τον Υμηττό προς το κέντρο των Αθηνών, όπου είναι συγκεντρωμένο και το μεγαλύτερο τμήμα του πληθυσμού της Αττικής, μπορεί να προστατεύεται από παρεμβολές από το κέντρο εκπομπής στη Σύρο λόγω προσανατολισμού, αξίζει να υπολογιστεί η στάθμη σημάτων στην



Σχήμα 5.2: Κάλυψη σταθμού ευρυεκπομπής Δολιανά (Τρίπολη)



Σχήμα 5.3: Κάλυψη σταθμού ευρυεκπομπής Χλωμού (Λαμία)



Σχήμα 5.4: Κάλυψη σταθμού ευρυεκπομπής Σύρου

Αττική και σε WS που χρησιμοποιούνται από αυτό το κέντρο εκπομπής της Σύρου. Τελικά, από τον Πιν.5.1 και τη μελέτη των χαρτών κάλυψης προκύπτει ο Πιν.5.2, στον οποίο περιλαμβάνονται τα WS που είναι πιθανότερο να έχουν χαμηλή στάθμη παρεμβολής στην Αττική.

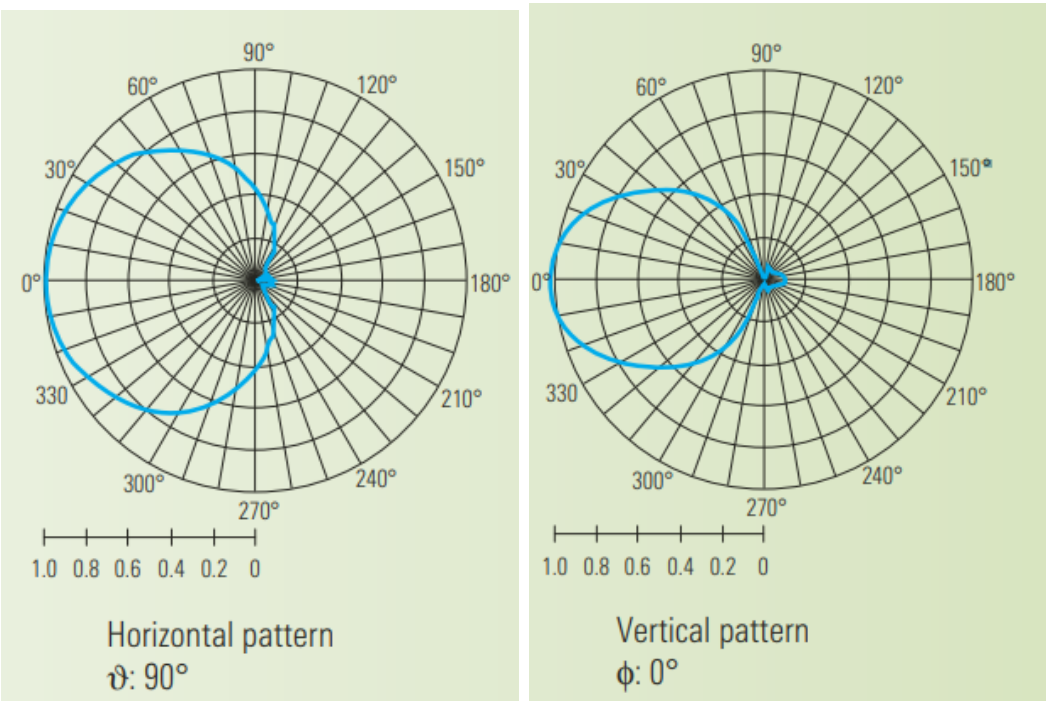
5.2 Μετρήσεις επιπέδου παρεμβολών

Η μέτρηση του επίπεδου θορύβου στα κανάλια που ταυτοποιήθηκαν ως πιθανώς κατάλληλα για ασύρματη μετάδοση ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο πραγματοποιήθηκε στον Υμηττό, στα Τουρκουβούνια και στην Πεντέλη. Οι μετρήσεις στον Υμηττό ήταν απαραίτητες καθώς εκεί σχεδιάζεται να εγκατασταθεί τερματικό από το οποίο θα γίνεται η λήψη της ροής video. Η Πεντέλη επιλέχθηκε ως σημείο μετρήσεων καθώς είναι το υψηλότερο βουνό της Αττικής που δεν έχει κέντρα ευρυεκπομπής, ενώ τα Τουρκοβούνια επιλέχθηκαν καθώς είναι ένας υψηλός λόφος πολύ κοντά στο κέντρο της Αθήνας.

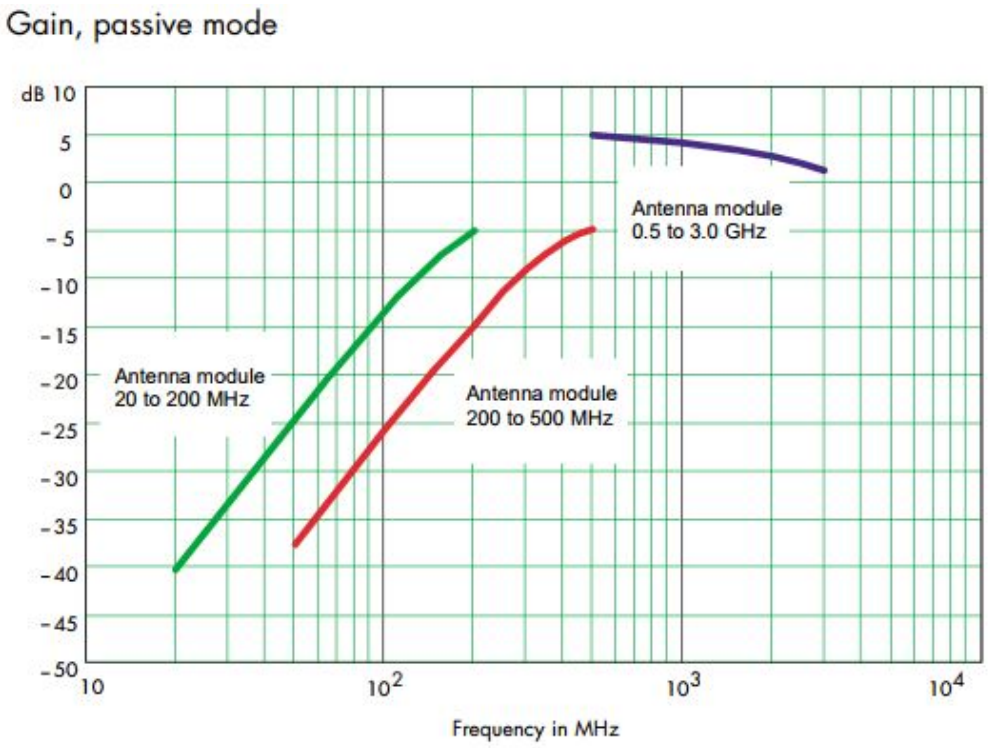
Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε περιλάμβανε κεραία κέρδους 5dBi, ζωνοπερατό φίλτρο και spectrum scope. Για κάθε κανάλι, λήφθηκε μέτρηση με κεντρική συχνότητα αυτή του καναλιού και εύρος συχνοτήτων στο spectrum scope 40 MHz. Αν το κανάλι φαινόταν μη κατειλημμένο διεξαγόταν λήψη δεύτερης μέτρησης με στενότερο εύρος (100 ή 200 kHz ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του spectrum scope που χρησιμοποιήθηκε κάθε φορά). Τα διαγράμματα ακτινοβολίας της κεραίας που χρησιμοποιήθηκε (R&S®HE200, 0.5-3GHz module) φαίνονται στο Σχ.5.5 ενώ το διάγραμμα bode φαίνεται στο Σχ.5.6. Για κάθε κανάλι του οποίου η στάθμη σημάτων μετρήθηκε, είχε ρυθμιστεί ένα φίλτρο με κεντρική συχνότητα ίδια με αυτή του εξεταζόμενου καναλιού και εύρος ζώνης διάβασης 8MHz. Το ζωνοπερατό φίλτρο ήταν απαραίτητο για να μη μεταβεί το spectrum analyzer

	Κανάλι	Κεντρική συχνότητα(MHz)	Σημείωση
1	26	514	
2	29	538	
3	37	602	
4	41	634	
5	43	650	
6	47	682	
7	48	690	
~~8~~	~~25~~	~~506~~	Χρησιμοποιείται στο allotment Λαμίας
~~9~~	~~33~~	~~570~~	Χρησιμοποιείται στα allotment Ναυπλίου και Λαμίας
~~10~~	~~35~~	~~586~~	Χρησιμοποιείται στα allotment Ναυπλίου και Λαμίας
~~11~~	~~39~~	~~618~~	Χρησιμοποιείται στα allotment Ναυπλίου και Λαμίας
~~12~~	~~42~~	~~642~~	Χρησιμοποιείται στα allotment Τρίπολης και Λαμίας
~~13~~	~~44~~	~~658~~	Χρησιμοποιείται στο allotment Ναυπλίου
~~14~~	~~46~~	~~674~~	Χρησιμοποιείται στο allotment Λαμίας

Πίνακας 5.2: Πιθανόν κατάλληλα και ακατάλληλα WS



Σχήμα 5.5: Διαγράμματα ακτινοβολίας



Σχήμα 5.6: Διάγραμμα Bode

σε κατάσταση υπερφόρτωσης (overload).Ένας δέκτης μεταβαίνει στην κατάσταση υπερφόρτωσης όταν το σήμα εισόδου έχει μεγαλύτερη ισχύ από μια ανεκτή τιμή. Σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας, παράγονται προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης λόγω μη γραμμικών στοιχείων στο δέκτη, όπως είναι ένας ενισχυτής που δουλεύει κοντά στον κόρο. Στον Υμηττό και στα Τουρκοβούνια υπάρχουν κέντρα εκπομπής, νόμιμα και μη, με ισχύ εκπομπής ικανή ώστε να οδηγήσουν το δέκτη σε κατάσταση υπερφόρτωσης. Με τα ζωνοπερατά φίλτρα επιχειρήθηκε να αξιοποιηθεί η φασματική απόσταση μεταξύ των συχνοτήτων στις οποίες γινόταν η μέτρηση επιπέδου παρεμβολών και των συχνοτήτων στις οποίες γίνονται οι μεταδόσεις από τα κέντρα εκπομπής. Δηλαδή, να γίνει εξασθένηση των ανεπιθύμητων σημάτων πριν οδηγηθούν στην είσοδο του spectrum analyzer. Τελικά η εξασθένηση των φίλτρων δεν ήταν αρκετή και από το spectrum analyzer προστέθηκε εξασθενητής 10dB ο οποίος επιδρούσε σε όλο το φάσμα συχνότητων.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον Υμηττό παρουσιάζονται στους Πιν.5.3 και 5.4. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ανιχνεύθηκε πειρατική εκπομπή στο κανάλι 48 με αποτέλεσμα οι μετρήσεις να αποκλίνουν από τις αναμενόμενες τιμές.

Από τις μετρήσεις ισχύος P, η αντίστοιχη φασματική πυκνότητα ισχύος SD δίδεται από τη σχέση

$$SD = P - 10log_{10}(RBW) \tag{5.1}$$

όπου RBW – Resolution Bandwidth το παράθυρο διακριτικής ευχέρειας του spectrum scope. Έτσι, από τον Πιν.5.4, προκύπτει ο Πιν.5.5 με τις αντίστοιχες φασματικές πυκνότητες ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε Πεντέλη και Τουρκοβούνια παρουσιάζονται στους Πιν.5.6

	Ισχύς λήψης σε RBW=1MHz και συνολικό εύρος 40MHz, σε dBm			
Κανάλι	Βορειοδυτικά	Νοτιοδυτικά	Νοτιοανατολικά	Βορειοανατολικά
26	-110	-100	-85	-85
29	-100	-100	-80	-80
37	-100	-100	-70	-70
41	-105	-105	-105	-105
43	-105	-95	-100	-100
47	-105	-105	-105	-105
48	–	-80	-75	-75

Πίνακας 5.3: Μετρήσεις ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών στον Υμηττό

	Ισχύς λήψης σε RBW=3kHz και συνολικό εύρος 100kHz, σε dBm			
Κανάλι	Βορειοδυτικά	Νοτιοδυτικά	Νοτιοανατολικά	Βορειοανατολικά
26	-125	-115	–	–
29	-125	-125	–	–
37	-125	-125	–	–
41	-130	-130	-135	-135
43	-135	-120	-135	-135
47	-135	-135	-135	-135
48	–	–	–	–

Πίνακας 5.4: Μετρήσεις ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών στον Υμηττό

	Φασματική πυκνότητα ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών σε dBm/Hz			
Κανάλι	Βορειοδυτικά	Νοτιοδυτικά	Νοτιοανατολικά	Βορειοανατολικά
26	-159.7	-149.7	–	–
29	-159.7	-159.7	–	–
37	-159.7	-159.7	–	–
41	-164.7	-164.7	-169.7	-169.7
43	-169.7	-154.7	-169.7	-169.7
47	-169.7	-169.7	-169.7	-169.7
48	–	–	–	–

Πίνακας 5.5: Φασματική πυκνότητα ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών από μετρήσεις σε εύρος 100 kHz

	Ισχύς λήψης σε dBm	
Κανάλι	Εύρος 40MHz, RBW=233kHz	Εύρος 100kHz, RBW=1kHz
26	-114.9	-138.8
29	-116.8	-138.7
37	-114.4	-137
41	-112.7	-138.7
43	-112.9	-137.5
47	-114.2	-139.2
48	-114.6	-139.6

Πίνακας 5.6: Μετρήσεις ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών στην Πεντέλη

	Ισχύς λήψης σε dBm	
Κανάλι	Εύρος 40MHz, RBW=233kHz	Εύρος 100kHz, RBW=1kHz
26	-111.2	-138.9
29	-114.8	-137.4
37	-115.5	- 138.4
41	-114.1	-139.5
43	-115	-139
47	-118.4	-137.7
48	-112.4	-137.3

Πίνακας 5.7: Μετρήσεις ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών στα Τουρκοβούνια

και 5.7, ενώ η μετατροπή σε φασματική πυκνότητα ισχύος από τις μετρήσεις με εύρος συχνοτήτων στο spectrum scope 100kHz παρουσιάζεται στον Πιν.5.8. Όπως φαίνεται από τον Πιν.5.8, το επίπεδο των σημάτων παρεμβολής όλων των εξεταζόμενων καναλιών είναι χαμηλό στις περιοχές αυτές.

Οι τιμές ισχύος που προκύπτουν από τις ανωτέρω μετρήσεις των σημάτων λήψης αποτελούνται από το άθροισμα (σε γραμμική κλίμακα) της ισχύος των παρεμβαλλόντων σημάτων και του θορύβου. Η πυκνότητα θορύβου σε ένα σημείο του δέκτη ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος δίνεται από τη σχέση

$$n_0 = k(T_a + T_{eq}) \tag{5.2}$$

όπου T_a η θερμοκρασία θορύβου της κεραίας και T_{eq} η ισοδύναμη θερμοκρασία του κυκλώματος του δέκτη μέχρι το σημείο όπου υπολογίζεται η πυκνότητα του θορύβου. Η θερμοκρασία θορύβου της κεραίας ορίζεται ως η φυσική θερμοκρασία μιας ωμικής αντίστασης που δημιουργεί ίση διαθέσιμη ισχύ θορύβου με αυτή που λαμβάνει η κεραία στο ίδιο εύρος ζώνης. Η θερμοκρασία θορύβου μιας κεραίας εξαρτάται και από τους σκεδαστές στο περιβάλλον της. Ως σκεδαστής, η επιφάνεια της γης έχει θερμοκρασία θορύβου $T = 290^oK$.

Το κατώφλιο ισχύος θορύβου για οποιονδήποτε ηλεκτρικό δέκτη είναι το επίπεδο του θερμικού θορύβου του οποίου η φασματική πυκνότητα δίνεται από τη σχέση

$$n_{th} = kT_\phi \tag{5.3}$$

	Φασματική πυκνότητα ισχύος σε dBm/Hz	
Κανάλι	Πεντέλη	Τουρκοβούνια
26	-168.8	-168.9
29	-168.7	-167.4
37	-167	- 168.4
41	-168.7	-169.5
43	-167.5	-169
47	-169.2	-167.7
48	-169.6	-167.3

Πίνακας 5.8: Φασματική πυκνότητα ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών σε Πεντέλη και Τουρκοβούνια

όπου T_ϕ η φυσική θερμοκρασία του κυκλώματος του δέκτη. Σε θερμοκρασία 300^oK ο θερμικός θόρυβος που παράγεται στο κύκλωμα του δέκτη είναι

$$n_{300^oK} = -173.83dBm/Hz \tag{5.4}$$

Ορισμένες μετρήσεις ισχύος παρεμβαλλόντων σημάτων έδωσαν επίπεδο ισχύος πολύ κοντά σε αυτό του θερμικού θορύβου, από όπου εξάγεται το συμπέρασμα πως το επίπεδο ισχύος των παρεμβαλλόντων σημάτων πολύ χαμηλό. Είναι πιθανό μάλιστα η υπέρβαση του κατωφλίου θορύβου να οφείλεται σε θόρυβο που παράχθηκε στο δέκτη και όχι σε σήματα παρεμβολής που έλαβε η κεραία από το ηλεκτρομαγνητικό της περιβάλλον. Συγκεκριμένα, τα φίλτρα και το ομοαξονικό καλώδιο που συνέδεε την κεραία με τα φίλτρα, και τα φίλτρα με το spectum analyzer, ως παθητικά στοιχεία εισήγαγαν θόρυβο στην είσοδο του spectum analyzer.

5.3 Εκτίμηση της διαθέσιμης ισχύος στους δέκτες

Η διαθέσιμη ισχύς λήψης σε κάθε δέκτη P_r προκύπτει από την απλή εξίσωση

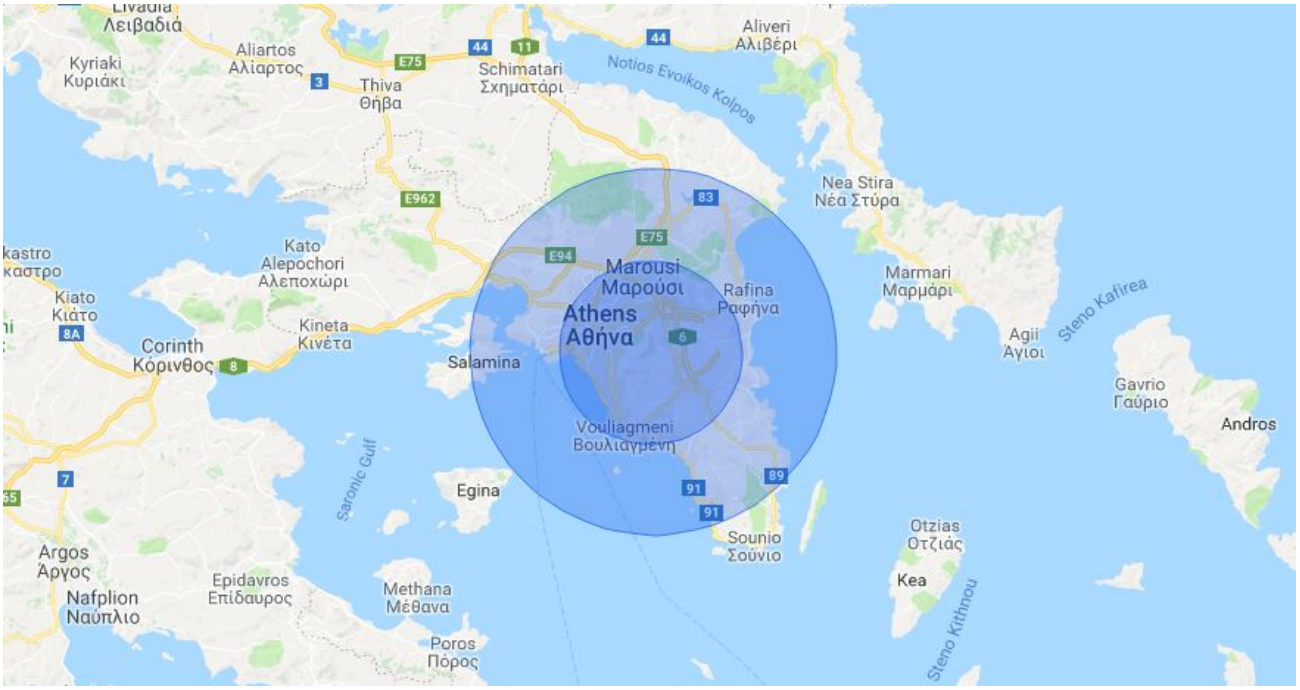
$$P_r = P_t + G_t + G_r - L \tag{5.5}$$

όπου P_t η ισχύς εκπομπής σε dBm, G_t και G_r το κέρδος των κεραιών εκπομπής και λήψης αντίστοιχα εκφρασμένα σε dBi, και L το άθροισμα όλων των απωλειών της ζεύξης σε dB. Σε μια ζεύξη που υλοποιείται πάνω από το φάσμα των WS πρέπει να ληφθούν υπόψη οι απώλειες ελευθέρου χώρου και οι απώλειες περίθλασης.

Οι απώλειες ελευθέρου χώρου L_{fs} (σε dB) μιας ζεύξης που πραγματοποιείται σε συχνότητα f προκύπτουν από την εξίσωση

$$L_{fs} = 20\log(\frac{4\pi d}{\lambda}) \tag{5.6}$$

όπου d η απόσταση πομπού και δέκτη, και $\lambda = c/f$ το μήκος κύματος. Σύμφωνα με την περιγραφή στην αρχή του Κεφ.5, μελετάται μια ζεύξη μέσω της οποίας ένας φορητός σταθμός εντός της Αττικής αποστέλλει live video το οποίο λαμβάνει ένας σταθερός σταθμός στην κορυφή του Υμηττού. Προκειμένου να γίνει αυτό εφικτό, πρέπει η ζεύξη να είναι επιτυχής ακόμα και για αποστάσεις



Σχήμα 5.7: Δίσκοι ακτίνας 15 και 30km με κέντρο τον Υμηττό

30km από τον Υμηττό όπως φαίνεται στο Σχ.5.7. Από τον Πιν.5.5 φαίνεται ότι το κανάλι 47 έχει το χαμηλότερο επίπεδο παρεμβολών. Έτσι, για τη συχνότητα 682MHz που αντιστοιχεί στο κανάλι 47 και απόσταση d=30km οι απώλειες ελευθέρου χώρου είναι

$$L_{fs} = 118.66dB \tag{5.7}$$

Οι απώλειες λόγω περίθλασης από μεμονωμένα εμπόδια δεν είναι δυνατό να υπολογιστούν για την προς υλοποίηση ζεύξη, καθώς το ένα άκρο της δεν είναι σταθερό αλλά κινούμενο (φορητός πομπός ENG).

Με βάση την FCC, το διαθέσιμο EIRP μια συσκευής WS είναι 30dBm . Καθώς δεν υπάρχουν όρια αυστηρώς καθορισμένα και εύκολα προσβάσιμα από τις Ευρωπαϊκές ρυθμιστικές αρχές, μπορεί να θεωρηθεί ότι αυτό είναι και το διαθέσιμο EIRP των συσκευών που θα χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή του ENG. Έτσι, η εξίσωση 5.5 γράφεται

$$P_r = 30dBm + G_r - 118.66 - L_d = -88.66dBm - L_d + G_r \tag{5.8}$$

όπου L_d οι απώλειες περίθλασης και G_r το κέρδος της κεραίας του δέκτη. Από τον ορισμό του σηματοθορυβικού λόγου και από τα αποτελέσματα των εδαφίων 5.2 και 5.3 η τιμή του C/N στην είσοδο του δέκτη στον Υμηττό προκύπτει

$$C/N = -88.66dBm - L_d + G_r + 169.7 - 10\log(8 \times 10^6) = 12.01 - L_d + G_r \tag{5.9}$$

5.4 Εκτίμηση του ελάχιστου αποδεκτού σηματοθορυβικού λόγου

Ο σηματοθορυβικός λόγος SNIR ορίζεται ως ο λόγος του επιθυμητού σήματος προς τη στάθμη θορύβου σε κάποιο σημείο κάποιας ζεύξης. Για κάθε ψηφιακή ζεύξη, υπάρχει μια ελάχιστη τιμή

του SNR στην είσοδο του κυκλώματος απόφασης για την οποία το ποσοστό σφαλμάτων (bit error ratio – BER) στην έξοδο του κυκλώματος είναι ικανοποιητικά μικρό[2]. Η ελάχιστη τιμή του SNR που είναι αποδεκτή εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από:

i. Το μέγιστο αποδεκτό ποσοστό σφαλμάτων. Για την εφαρμογή ηλεκτρονικής συλλογής ειδήσεων, ένα ποσοστό λαθών $BER = 10^{-6}$ θεωρείται αποδεκτό.

ii. Την ψηφιακή διαμόρφωση που χρησιμοποιείται.

iii. Την κωδικοποίηση FEC.

Η εφαρμογή που μελετάται έχει στόχο την αποστολή ροής (stream) live video. Το video θα είναι κωδικοποιημένο είτε με H.264 είτε με HEVC. Για τις κωδικοποιήσεις αυτές απαιτείται ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας 6.8-8.8Mbps ή 4.3-4.4Mbps αν το video είναι ποιότητας 1080p & 50 fps και είναι κωδικοποιημένο με H.264 ή HEVC, αντίστοιχα. Αν το video είναι ποιότητας 720p & 50fps οι αντίστοιχοι απαιτούμενοι ρυθμοί μετάδοσης πληροφορίας είναι 6.8Mbps και 3.6-4.3Mbps αντίστοιχα [25]. Δεδομένου του διαθέσιμου φάσματος των 8MHz, γίνεται σαφές ότι σχήματα διαμόρφωσης με φασματική απόδοση μεγαλύτερη από $1bps/Hz$ πιθανότατα μπορούν να καλύψουν την απαίτηση ως προς τον ωφέλιμο ρυθμό μετάδοσης[3] από 3.6 έως 8.8Mbps.

Η φασματική απόδοση E ενός ψηφιακού σχήματος διαμόρφωσης με M επίπεδα δίνεται από την εξίσωση

$$E = R/B \tag{5.10}$$

όπου R είναι ο ρυθμός μετάδοσης σε bps και B το εύρος ζώνης. Για τα R και B ισχύουν οι σχέσεις

$$R = \frac{log_2 M}{T_s} \tag{5.11}$$

και

$$B = k_g/T_s \tag{5.12}$$

όπου T_s η διάρκεια συμβόλου και k_g είναι παράμετρος που εξαρτάται από τον παλμό μορφοποίησης για την οποία ισχύει $0.5 \leq k_g \leq 2$. Λόγω των 5.11 και 5.12, η 5.10 γίνεται

$$E = R/B = log_2 M/k_g \tag{5.13}$$

Συνεπώς, ψηφιακά σχήματα διαμόρφωσης με $M \geq 4$ ικανοποιούν την απαίτηση για $E > 1bps/Hz$

Η απόδοση των σχημάτων διαμόρφωσης 16–QAM, 8–PSK και QPSK σε δίαυλο AWGN(Additive White Gaussian Noise) φαίνεται στο Σχ.5.8[4]. Λύνοντας τις συναρτήσεις πιθανότητας λάθους για διαμόρφωση 16–QAM, 8–PSK και QPSK (εξισώσεις (A.24) και (A.25)) ως προς το λόγο $\gamma_b = E_b/n_0$ για $P_b = 10^{-6}$ προκύπτει

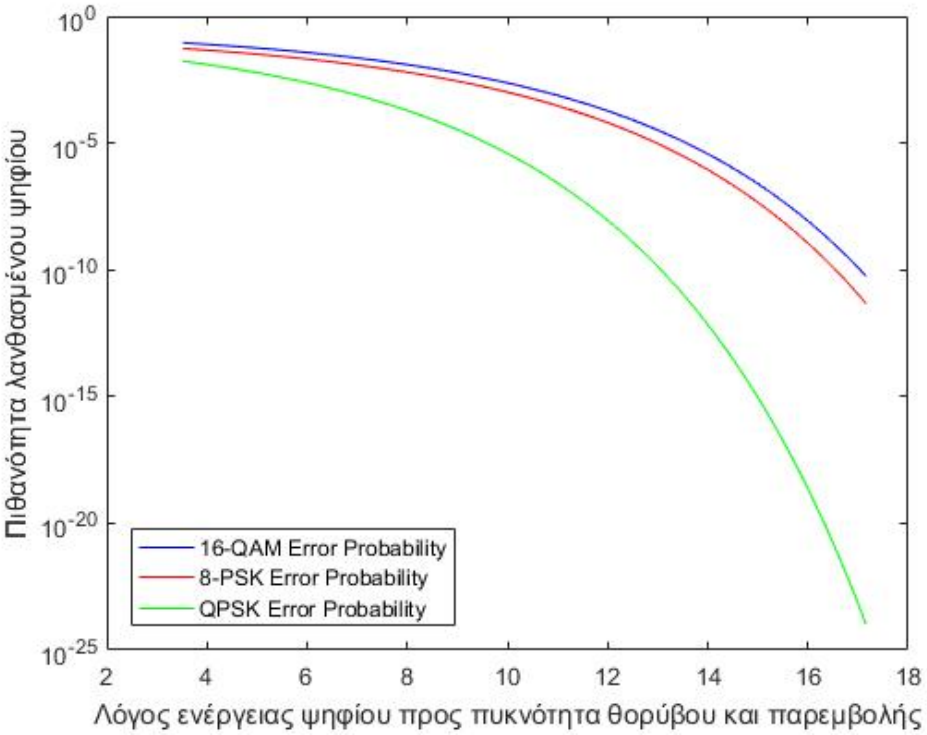
$$\gamma_{b-16QAM} = 14.51dB \tag{5.14}$$

$$\gamma_{b-8PSK} = 13.95dB \tag{5.15}$$

[2]Η πιθανότητα λάθους, το ποσοστό σφαλμάτων, ο σηματοθορυβικός λόγος καθώς και η εξίσωση που τα συνδέει περιγράφονται στο παράρτημα A.

[3]Είναι απαραίτητο να είναι μεγαλύτερη από 1, καθώς δεν μεταδίδονται μόνο ψηφία πληροφορίας.

[4]Οι συναρτήσεις από όπου προέκυψαν οι γραφικές παραστάσεις περιγράφονται στο εδάφιο A.1.4



Σχήμα 5.8: Απόδοση σχημάτων 16-QAM, 8–PSK και QPSK

$$\gamma_{b-QPSK} = 10.53dB \tag{5.16}$$

Ο λόγος C/N σχετίζεται με το λόγο γ_b μέσω της εξίσωσης (σε γραμμική κλίμακα)

$$(C/N) = \gamma_b(R/B) \tag{5.17}$$

Λόγω της 5.13 προκύπτει η σχέση (σε dB)

$$C/N = \gamma_b + 10\log_{10}\frac{\log_2 M}{k_g} \tag{5.18}$$

Έτσι, από τις σχέσεις 5.14-5.16 και 5.18 δεδομένου ότι $0.5 \leq k_g \leq 2$ προκύπτει

$$17.53 \leq (C/N)_{16QAM} \leq 23.53dB \tag{5.19}$$

$$15.72 \leq (C/N)_{8PSK} \leq 21.72dB \tag{5.20}$$

$$10.54 \leq (C/N)_{QPSK} \leq 16.54dB \tag{5.21}$$

Οι σχέσεις 5.19-5.21 δίνουν τον ελάχιστο απαιτούμενο σηματοθορυβικό λόγο για κάθε σχήμα διαμόρφωσης προκειμένου να επιτυγχάνεται $P_b < 10^{-6}$. Στην ανάλυση αυτή δεν λήφθηκε υπόψη η χρήση κωδικοποίησης FEC. Αυτό ισοδυναμεί με κέρδος κωδικοποίησης $G_c = 0$. Αν στην υλοποίηση του συστήματος μετάδοσης ειδήσεων που μελετάται από την παρούσα εργασία χρησιμοποιηθεί κωδικοποίηση FEC, τότε οι απαιτήσεις που δίνουν οι σχέσεις 5.19-5.21 θα μειωθούν κατά το αντίστοιχο κέρδος κωδικοποίησης.

Κεφάλαιο 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αξιοποίηση των ΩΣ είναι σήμερα περιορισμένη. Η χρήση τους για ηλεκτρονική συλλογή ειδήσεων θα μπορούσε να αποτελέσει μια εναλλακτική μέθοδο για την παροχή αυτής της υπηρεσίας. Συγκριτικά με τις συνήθεις μεθόδους ENG, η ηλεκτρονική συλλογή ειδήσεων πάνω από WS θα μπορούσε να επιτευχθεί με μικρότερο κόστος. Επιπλέον, θα επιτυγχανόταν αποδοτικότερη αξιοποίηση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων.

Από την ανάλυση της παρούσας εργασίας προκύπτει ότι η είναι εφικτή η ηλεκτρονική συλλογή ειδήσεων πάνω από το φάσμα των ΩΣ στην Αττική. Οι σχέσεις (5.21) και (5.9) για $k_g = 1$ δείχνουν ότι, εφόσον σε μια ζεύξη επιτυγχάνεται η απαίτηση

$$0.53 \leq L_d + G_r + G_c \tag{6.1}$$

όπου L_d οι απώλειες περίθλασης, G_r το κέρδος της κεραίας του δέκτη και G_c το κέρδος κωδικοποίησης, το ποσοστό σφαλμάτων μπορεί να είναι επαρκώς μικρό ώστε να μπορεί να γίνει η συλλογή ειδήσεων. Σημαντικό είναι ότι η σχέση (5.9) λαμβάνει υπόψη τις πραγματικές συνθήκες υπό τις οποίες θα γινόταν η λήψη των ειδήσεων στον Υμηττό ως προς την ισχύ των σημάτων παρεμβολής και του θορύβου.

Με βάση τη μελέτη της φασματικής απόδοσης σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, καθώς και του ρυθμού ροής ψηφίων στην έξοδο των κωδικοποιητών ιδεο που λήφθηκαν υπόψη, προκύπτει ότι το εύρος ζώνης των 8MHζ αρκεί για λιε μετάδοση ροής ιδεο. Επιπλέον, είτε το ιδεο είναι κωδικοποιημένο με H.264 είτε με HEVC, η μετάδοση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας στενότερο εύρος ζώνης για να περιοριστούν τα σήματα παρεμβολής και ο θερμικός θόρυβος σε ακόμα χαμηλότερα επίπεδα. Η μεγαλύτερη απόδοση συμπίεσης του HEVC μπορεί να φανεί χρήσιμη αν είναι επιθυμητό το εύρος ζώνης να περιοριστεί όσο το δυνατό περισσότερο. Ωστόσο, οι ςοδες που υποστηρίζουν το πρωτόκολλο HEVC είναι ακριβότεροι από αυτούς που υποστηρίζουν το H.264.

Παρά τα συνολικά ενθαρρυντικά ευρήματα, πρέπει να σημειωθεί ότι ανιχνεύθηκαν πειρατικές εκπομπές σε WS από τον Υμηττό. Αυτές είχαν ισχύ εκπομπής αρκετά μεγαλύτερη από την διαθέσιμη για συσκευές ΩΣ και θα προκαλούσαν καταστροφική παρεμβολή σε ένα δέκτη ENG.

Παράρτημα Α΄

ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Α΄.1 Ψηφιακή διαμόρφωση

Ψηφιακή διαμόρφωση είναι η διαδικασία κατά την οποία μια ομάδα ψηφίων πληροφορίας αντιστοιχίζεται σε ένα αναλογικό σήμα. Η ομάδα ψηφίων ονομάζεται σύμβολο. Η παραπάνω διαδικασία προηγείται της μετάδοσης πληροφορίας μέσω ενός δίαυλου. Στην πλευρά του δέκτη το σήμα αποδιαμορφώνεται πάλι σε σύμβολο. Αν δεν συμβεί λάθος κατά τη μετάδοση τα σύμβολα στον πομπό και στο δέκτη είναι ίδια. Στη γενική περίπτωση η αντιστοίχηση ροής πληροφορίας σε αναλογικό σήμα μεταφράζεται σε αλλαγή πλάτους και φάσης ενός διαμορφωμένου σήματος.

Η γενική μορφή των διαμορφωμένων σημάτων μπονρεί να αναπαρασταθεί από γραμμικό συνδυασμό δύο συναρτήσεων βάσεων. Ως συναρτήσεις βάσης επιλέγονται οι

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{2}{T_s}} cos(2\pi f_c t) \tag{Α΄.1}$$

$$\phi_2 = \sqrt{\frac{2}{T_s}} sin(2\pi f_c t) \tag{Α΄.2}$$

όπου T ο χρόνος ανά τον οποίο στέλνεται ένα σύμβολο στο δίαυλο και ο παράγοντας $\sqrt{2/T_s}$ εισάγεται για να εξασφαλιστεί η συνθήκη ορθοκανονικότητας $\int_0^{T_s} {\phi_i}^2 dt = 1$ για i=1,2. Αν οι συναρτήσεις βάσεις περιλαμβάνουν και παλμό g(t) για να αποδοθούν συγκεκριμένα φασματικά χαρακτηριστικά στα διαμορφωμένα σήματα, τότε το σήμα $s_i(t)$ γράφεται

$$s_i(t) = s_{i1} g(t) cos(2\pi f_c t) + s_{i2} g(t) sin(2\pi f_c t),\ 0 \leq t \leq T_s \tag{Α΄.3}$$

όπου

$$s_{ij} = \int_0^{T_s} s_i(t) \phi_j(t) dt \tag{Α΄.4}$$

Δηλαδή s_{i1} και s_{i2} είναι η προβολές του σήματος $s_i(t)$ στις συναρτήσεις βάσης. Το σήμα $s(t)$ προκύπτει από τη διαδοχική αποστολή σημάτων $s_i(t)$ και περιγράφεται από την εξίσωση

$$s(t) = \sum_k s_i(t - kT_s) \tag{Α΄.5}$$

Δεδομένων συναρτήσεων βάσης, το διάνυσμα $\mathbf{s_i} = (s_{i1}, s_{i2})$ ορίζει αμφιμονοσήμαντα μία συνάρτηση $s_i(t)$. Η αναπαράσταση των $\mathbf{s_i}$ στο χώρο $\mathbb{R}^2$ για $i = 1, 2, ..., M$ όπου M το πλήθος των διαφορετικών σημάτων που ορίζει μια ψηφιακή διαμόρφωση, δίνει τον αστερισμό αυτής. Υποθέτοντας μετάδοση μέσω διαύλου AWGNη γενική μορφή των σημάτων στο δέκτη είναι

$$r(t) = s_i(t) + n(t),\ 0 \leq t \leq T_s \tag{Α΄.6}$$

όπου $n(t)$ η συνάρτηση του προστιθέμενου λευκού θορύβου στο πεδίο του χρόνου. Η προβολή του σήματος $r(t)$ στις συναρτήσεις βάσεις δίνονται από την εξίσωση

$$r_j = s_{ij} + n_j \tag{A΄.7}$$

όπου

$$n_j = \int_0^T n(t)\phi_j(t)dt \tag{A΄.8}$$

Καθώς τα διανύσματα $\mathbf{s_i} = (s_{i1}, s_{i2})$ και $\mathbf{r} = (r_1, r_2)$ περιγράφουν αμφιμονόσημαντα τα σήματα $s_i(t)$ και $r(t)$ η εκτίμηση του απεσταλμένου σήματος μέσω του λαμβανόμενου μπορεί να αναχθεί στην εύρεση του σημείου που ανήκει στον αστερισμό της διαμόρφωσης στο οποίο είναι κοντύτερα το (r_1, r_2). Συνήθως η αντιστοίχηση ψηφίων σε σύμβολα γίνεται με κωδικοποίηση Gray. Αυτό σημαίνει ότι κάθε σύμβολο διαφέρει από τα γειτονικά του μόνο κατά ένα ψηφίο. Έτσι, αν λόγω λάθους το λαμβανόμενο σημείο (r_1, r_2) βρίσκεται πλησιέστερα στο $(\hat{s_1}, \hat{s_2})$ το οποίο είναι γειτονικό σημείο του (s_1, s_2) που στάλθηκε, με τα σημεία (s_1, s_2) και $(\hat{s_1}, \hat{s_2})$ να ανήκουν στον αστερισμό του σχήματος διαμόρφωσης, μεταφράζεται λάθος μόνο ένα ψηφίο.

Α΄.1.1 MPAM

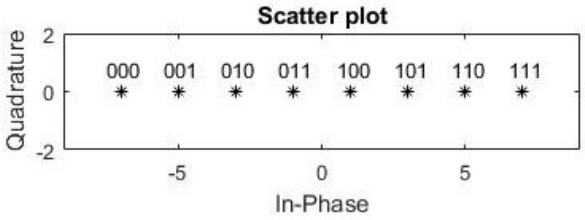
Κατά τη διαμόρφωση MPAM (Pulse Amplitude Modulation) τα ψηφία πληροφορίας αντιστοιχίζονται σε M το πλήθος στάθμες πλάτους του σήματος εκπομπής με βάση την εξίσωση

$$s_i(t) = A_i g(t) cos(2\pi f_c t + \psi_0),\ 0 \leq t \leq T_s \tag{A΄.9}$$

όπου $A_i = (2i-1)d,\ i = 1, 2, ..., M$. Κάθε σημείο του αστερισμού αντιστοιχεί σε $K = log_2 M$ ψηφία. Ενδεικτικά ο αστερισμός της διαμόρφωσης 8–PAM φαίνεται στο Σχ.Α΄.1. Η ενέργεια κάθε συμβόλου δίνεται από τη σχέση

$$E_{s_i} = \int_0^{T_s} s_i^2 dt = A_i^2 \tag{A΄.10}$$

Προφανώς, κάθε σύμβολο έχει διαφορετική ενέργεια.



Σχήμα Α΄.1: Αστερισμός 8PAM

Α΄.1.2 MPSK

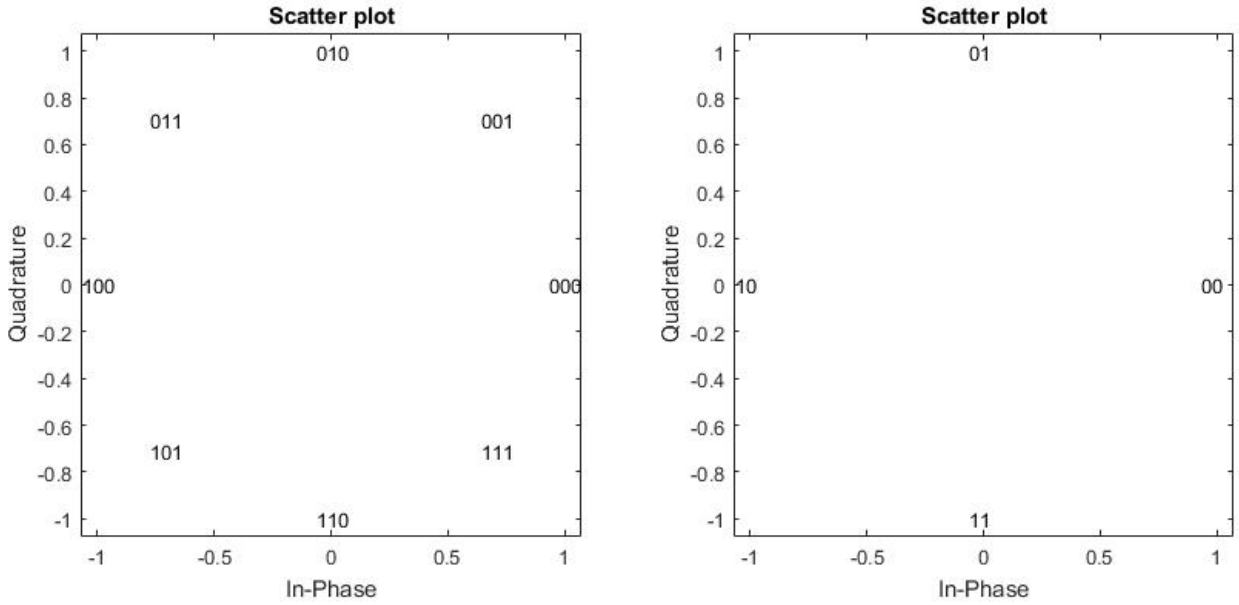
Κατά τη διαμόρφωση MPSK (Phase Shift Keying) η πληροφορία μεταφράζεται σε αλλαγές της φάσης του διαμορφωμένου σήματος με βάση την εξίσωση

$$s_i(t) = Ag(t)cos(2\pi f_c t + \psi_0 + (i-1)\frac{2\pi}{M}) \tag{Α΄.11}$$

$$= Ag(t)cos[(i-1)\frac{2\pi}{M}]cos(2\pi f_c t + \psi_0) - Ag(t)sin[(i-1)\frac{2\pi}{M}]sin(2\pi f_c t + \psi_0) \tag{Α΄.12}$$

Οι αστερισμοί των διαμορφώσεων 4–PSK και 8–PSK φαίνονται στο Σχ.Α΄.2. Η ενέργεια των συμβόλων είναι ίση και ισχύει

$$E_{s_i} = \int_0^{T_s} s_i^2 dt = A^2 \tag{Α΄.13}$$



Σχήμα Α΄.2: Αστερισμός 4PSK και 8PSK

Α΄.1.3 MQAM

Κατά τη διαμόρφωση MQAM (Quadrature amplitude modulation) τα ψηφία πληροφορίας αντιστοιχίζονται σε μεταβολές πλάτους και φάσης του σήματος εκπομπής το οποίο γράφεται

$$s_i(t) = Ag(t)cos(2\pi f_c t + \psi_0 + \theta_i) \tag{Α΄.14}$$

$$= A_i g(t)cos(\theta_i)cos(2\pi f_c t + \psi_0) - A_i g(t)sin(\theta_i)sin(2\pi f_c t + \psi_0) \tag{Α΄.15}$$

Οι δύο βαθμοί ελευθερίας που υπάρχουν κατά την MQAM σε αντίθεση με τον έναν βαθμό κατά τις MPAM και MPSK οδηγούν σε μεγαλύτερη φασματική απόδοση καθώς μεταδίδονται περισσότερα

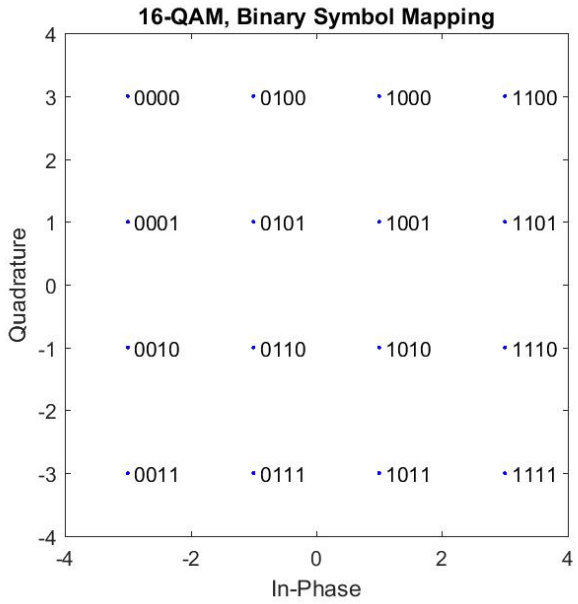
ψηφία ανά σύμβολο με την ίδια μέση ενέργεια συμβόλου. Η ενέργεια συμβόλου είναι

$$E_{s_i} = \int_0^{T_s} s_i^2 dt = A_i^2 \tag{A΄.16}$$

και η μέση ενεργεία συμβόλου είναι

$$\overline{E_{s_i}} = \frac{1}{M} \sum_1^M A_i^2 \tag{A΄.17}$$

Ενδεικτικά, στο Σχ.Α΄.3 φαίνεται ο αστερισμός του σχήματος διαμόρφωσης 16QAM.



Σχήμα Α΄.3: Αστερισμός 16QAM

Α΄.1.4 Πιθανότητα λάθους

Στο δέκτη με κατάλληλη επεξεργασία του σήματος $r(t)$ γίνεται μια εκτίμηση για το μήνυμα που περιείχε το σήμα $s_i(t)$. Το πρόβλημα αυτό στο χώρο των σημάτων αναλύεται στα παρακάτω βήματα

1. Υποδιαίρεση του χώρου των σημάτων σε περιοχές απόφασης Z_i. Κάθε μια περιοχή απόφασης είναι ένας υποχώρος στον οποίο αν ανήκει το σημείο λήψης (r_1, r_2) θεωρείται ότι στάλθηκε ένα συγκεκριμένο s_i.

2. Υπολογισμός του διανύσματος $\mathbf{r}$ από το σήμα λήψης $r(t)$.

3. Εντοπισμός της περιοχής στην οποία ανήκει το Z_i

Η πιθανότητα λάθους εξαρτάται μεταξύ άλλων και από την τιμή του σηματοθορυβικού λόγου SNR στην είσοδο του κυκλώματος απόφασης. Ο λόγος SNR περιγράφεται από τη σχέση

$$SNR = \frac{P_r}{N_0 B} \tag{Α΄.18}$$

όπου P_r η ισχύ του σήματος λήψης και N_0 η μονόπλευρη φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου στην είσοδο του κυκλώματος απόφασης. Στις πολυσταθμικές διαμορφώσεις η πιθανότητα λανθασμένου ψηφίου εξαρτάται από την πιθανότητα λανθασμένου συμβόλου και από τη μετάφραση συμβόλων σε ψηφία. Συνήθως η αντιστοίχηση αυτή γίνεται με βάση την κωδικοποίηση Gray και ισχύει η προσεγγιστική σχέση

$$P_b = \frac{P_s}{log_2 M} \tag{Α΄.19}$$

όπου P_s η πιθανότητα λανθασμένου συμβόλου και P_b η πιθανότητα λανθασμένου ψηφίου.

Οι τιμές P_b και P_s εξαρτώνται από τις ποσότητες γ_b και γ_s οπού αποτελούν τη σηματοθορυβική στάθμη ανά ψηφίο και ανά σύμβολο αντίστοιχα και προκύπτουν από το λόγο SNR μέσω των σχέσεων

$$\gamma_b = SNR \times BT_b \tag{Α΄.20}$$

$$\gamma_s = SNR \times BT_s = SNR \times K_g \tag{Α΄.21}$$

όπου K_g σταθερά που εξαρτάται από τον παλμό μορφοποίησης. Με την υπόθεση ότι η ισχύς συμβόλου διαιρείται εξίσου μεταξύ των ψηφίων του ισχύει η σχέση

$$\gamma_b = \frac{\gamma_s}{log_2 M} \tag{Α΄.22}$$

Αποδεικνύεται ότι οι πιθανότητες λάθους για τις διαμορφώσεις MPAM, MPSK, MQAM δίνονται από τις συναρτήσεις

$$MPAM: P_s = \frac{2(M-1)}{M} Q(\sqrt{\frac{6\overline{\gamma_s}}{M^2-1}}), \qquad P_b \approx \frac{2(M-1)}{M log_2 M} Q(\sqrt{\frac{6\overline{\gamma_b} log_2 M}{M^2-1}}) \tag{Α΄.23}$$

$$MPSK: P_s = 2Q(\sqrt{2\gamma_s} sin(\frac{\pi}{M})), \qquad P_b \approx \frac{2}{log_2 M} Q(\sqrt{2\gamma_b log_2 M} sin(\frac{\pi}{M})) \tag{Α΄.24}$$

$$MQAM: P_s \approx 4Q(\sqrt{\frac{3\overline{\gamma_s}}{M-1}}), \qquad P_b \approx \frac{4}{log_2 M} Q(\sqrt{\frac{3\overline{\gamma_b} log_2 M}{M-1}}) \tag{Α΄.25}$$

Α΄.2 Διαμόρφωση OFDM

Η διαμόρφωση OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing αποτελεί τεχνική πολυδιαυλικής διαμόρφωσης. Η πολυδιαυλική διαμόρφωση βασίζεται στην τεμάχιση της ροής πληροφορίας με το κάθε τμήμα να μεταδίδεται υπό διαφορετικό υποδίαυλο. Αναλυτικότερα, κάθε ροή πληροφορίας διαμορφώνει κατά MQAM ή MPSK ένα υποφέρον με συχνότητα f_n και εύρος ζώνης B_n. Θεωρώντας παλμό μορφοποίησης ανυψωμένου συνημιτόνου με παράγοντα διαπλάτυνσης β η διάρκεια συμβόλου είναι $T_n = \frac{1+\beta}{B_n}$. Το σήμα εκπομπής περιγράφεται από την εξίσωση

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} s_n p(t) cos(2\pi f_n t + \psi_n) \tag{Α΄.26}$$

Το βασικό κίνητρο για υλοποίηση τέτοιου συστήματος είναι η αντιμετώπιση της διασυμβολικής παρεμβολής (Intersymbol Interference – ISI). Είναι το είδος της παρεμβολής που συμβαίνει όταν λόγω διασποράς στην καθυστέρηση της άφιξης των συμβόλων στο δέκτη, αυτά επικαλύπτονται μεταξύ τους. Η μεγάλη διασπορά στους χρόνους άφιξης συμβόλων συμβαίνει όταν το εύρος ζώνης πάνω από το οποίο γίνεται η μετάδοση είναι μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης συνοχής του διαύλου. Το εύρος ζώνης συνοχής B_c είναι το εύρος για το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ότι ο δίαυλος είναι φασματικά επίπεδος. Με τη διαμόρφωση OFDM επιτυγχάνεται το αρχικό εύρος B να διαιρεθεί σε υποκανάλια B_n για τα οποία ισχύει $B_n \leq B_c$.

Προκειμένου να περιοριστεί περαιτέρω η διασυμβολική παρεμβολή, καθώς για λόγους απλούστερης μοντελοποίησης της συμπεριφοράς του διαύλου, στη ροή των προς αποστολή συμβόλων εισάγεται το κυκλικό πρόθεμα (cyclic prefix). Το κυκλικό πρόθεμα αποτελείται από την επανάληψη των μ τελευταίων συμβόλων στην αρχή της ροής. Ως συνέπεια η διασυμβολική παρεμβολή στα πρώτα μ δείγματα της εξόδου του διαύλου δεν προκαλεί λάθη στο δέκτη καθώς αυτά επαναλαμβάνονται στο τέλος της ροής. Αρνητική συνέπεια της εισαγωγής κυκλικού προθέματος είναι η μείωση του ωφέλιμου ρυθμού. Στα N σύμβολα εισάγονται μ, έτσι ο ωφέλιμος ρυθμός πολλαπλασιάζεται με παράγοντα $\frac{N}{N+\mu}$.

Α΄.3 Κωδικοποίηση

Η κωδικοποίηση (forward error correction – FEC) είναι μια τεχνική για διόρθωση λαθών που συμβαίνουν κατά τη μετάδοση. Βασίζεται στην εισαγωγή πλεονάζοντων δεδομένων σε μία ροή πληροφορίας πριν από τη μετάδοσή . Στο δέκτη τα επιπρόσθετα δεδομένα οδηγούν σε ανίχνευση ή και διόρθωση λαθών. Σε k ψηφία πληροφορίας προστίθενται n-k, όπου $k < n$, επιπλέον ψηφία και προκύπτει η νέα ροή n ψηφίων. Ο λόγος $R_c = k/n$ ονομάζεται ρυθμός κώδικα. Ο πλεονασμός στα ψηφία αποστολής οδηγεί είτε σε μείωση του ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας κατά παράγοντα R_c είτε σε αύξηση του απαιτούμενου εύρους ζώνης κατά παράγοντα $1/R_c$. Βασικό μέγεθος που ποσοτικοποιεί την επιτυχία ενός κώδικα σε μια εφαρμογή είναι το κέρδος κωδικοποίησης G_c που ορίζεται από τη σχέση

$$G_c = \frac{(E_b/n_0)_u}{(E_b/n_0)_c} \tag{Α΄.27}$$

όπου $(E_b/n_0)_u$ και $(E_b/n_0)_c$ οι λόγοι ενέργειας ψηφίου προς πυκνότητα θορύβου στην ακωδικοποίητη και κωδικοποιημένη λέξη αντίστοιχα ώστε να διατηρείται σταθερή η πιθανότητα λανθασμένου ψηφίου P_b και στις δύο περιπτώσεις. Γενικά το κέρδος κωδικοποίησης εξαρτάται από την ελάχιστη απόσταση μεταξύ συμβόλων στο χώρο των σημάτων. Για μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ συμβόλων το κέρδος κωδικοποίησης είναι μεγαλύτερο.

Σε μια ψηφιακή μετάδοση κωδικοποιημένης πληροφορίας η πιθανότητα στην έξοδο του κυκλώματος απόφασης του δέκτη να προκύψει bit διαφορετικό από το bit που είχε αποσταλεί, να συμβεί δηλαδή λάθος, εξαρτάται και από το είδος της αποκωδικοποίησης. Τα δύο είδη αποκωδικοποίησης είναι τα εξής:

i. Αποκωδικοποίηση σκληρής απόφασης. Κατά την αποκωδικοποίηση σκληρής απόφασης κάθε ψηφίο αποδιαμορφώνεται ανεξάρτητα από τα άλλα. Δεν λαμβάνεται δηλαδή πληροφορία από όλη την κωδική λέξη προτού ληφθεί απόφαση.

ii. Αποκωδικοποίηση ήπιας απόφασης. Στην αποκωδικοποίηση ήπιας απόφασης λαμβάνεται υπόψη όλη η πληροφορία που περιέχεται στο λαμβανόμενο σήμα προτού γίνει αποκωδικοποίηση.

Οι δύο βασικές μορφές κωδικοποίησης είναι η κωδικοποίηση συστάδας (block κωδικοποίηση) και η συνελικτική κωδικοποίηση. Η βασίκη διαφορά μεταξύ των δύο είναι ότι στην κωδικοποίηση συστάδας κάθε κωδική λέξη αντιστοιχίζεται αμφιμονοσήμαντα με μια λέξη πληροφορίας. Αντίθετα, στη συνελικτική κωδικοποίηση μια κωδική λέξη εξαρτάται από την πληροφορία που κωδικοποιεί και από τις προηγούμενες κωδικές λέξεις.

Στους κώδικες συστάδας, εκτός από τους αριθμούς k και n τα βασικά μεγέθη που τους χαρακτηρίζουν είναι τα εξής:

i. Το βάρος της κωδικής λέξης w. Ως βάρος μια κωδικής λέξης C_i ορίζεται το πλήθος των μη μηδενικών στοιχείων της. Για δυαδικούς κώδικες, δηλαδή κώδικες των οποίων οι λέξεις αποτελούνται από δυαδικά ψηφία – και όχι από σύμβολα, το βάρος μια λέξης είναι το πλήθος των 1 που περιέχει.

ii. Η ελάχιστη απόσταση των κωδικών λέξεων, d_{min}. Η απόσταση d μεταξύ δύο κωδικών λέξεων ορίζεται ως το πλήθος των ψηφίων που αυτές διαφέρουν. Δηλαδή, για δύο λέξεις C_i και C_j μήκους N είναι

$$d_{ij} = \sum_{l=1}^{N} C_{i,l} \oplus C_{j,l} \tag{A΄.28}$$

όπου $C_{i,l}$ το ψηφίο l της λέξης C_i και $\oplus$ ο τελεστής της modulo άθροισης. Η ελάχιστη απόσταση είναι

$$d_{min} = \min_{i,j}(d_{ij}) \tag{A΄.29}$$

iii. Το πλήθος e των σφαλμάτων που μπορεί να ανιχνεύσει. Αυτό αποδεικνύεται ότι είναι ίσο με

$$e = d_{min} - 1 \tag{A΄.30}$$

iv. Το πλήθος t των σφαλμάτων που μπορεί να διορθώσει. Το t προκύπτει από την ελάχιστη απόσταση d_{min} μέσω της σχέσης

$$t = \lfloor \frac{d_{min} - 1}{2} \rfloor \tag{A΄.31}$$

όπου $\lfloor a \rfloor$ ο μεγαλύτερος ακέραιος αριθμός που δεν υπερβαίνει τον a.

Όπως φαίνεται από τις εξισώσεις 2.23-2.25, η πιθανότητα λανθασμένου ψηφίου στην έξοδο του κυκλώματος απόφασης είναι συνάρτηση του λόγου $\gamma_b = E_b/n_0$. Όταν μια ροή πληροφορίας κωδικοποιείται η ενεργείας ψηφίου μειώνεται σύμφωνα με τη σχέση

$$E_c = \frac{k}{n} E_b \tag{A΄.32}$$

Μία ακωδικοποίητη λέξη λαμβάνεται σωστά με πιθανότητα

$$P_e = 1 - p^k \tag{A΄.33}$$

όπου p η πιθανότητα λανθασμένου ψηφίου. Αν η λέξη είναι κωδικοποιημένη από κώδικα που μπορεί να διορθώσει έως t λάθη τότε η πιθανότητα λανθασμένης λέξης για αποκωδικοποίηση σκληρής απόφασης φράσσεται από τη σχέση

$$P'_e \leq \binom{n}{t+1} p'^{(n-t-1)}(1-p')^{t+1} \tag{A'.34}$$

Αν ο πρώτος όρος, δηλαδή η πιθανότητα να συμβούν ακριβώς $t+1$ λάθη, είναι αρκετά μεγαλύτερος από τους υπολοίπους η ανωτέρω γράφεται προσεγγιστικά

$$P'_e \simeq \binom{n}{t+1}(1-p')^{t+1} \tag{A'.35}$$

Οπότε η πιθανότητα λάθους ανά ψηφίο κωδικοποιημένης λέξης είναι

$$P'_b \leq \sum_{i=t+1}^{n} \frac{i+t}{n}\binom{n}{i}(1-p')^i p'^{(n-1)} \leq \frac{2t+1}{n}\binom{n}{t+1}(1-p')^{t+1} \tag{A'.36}$$

Α΄.4 Σχήματα πολλαπλής πρόσβασης

Όταν ένας δίαυλος χρησιμοποιείται από πολλούς χρήστες για μετάδοση είναι απαραίτητο να υπάρχει κάποιος έλεγχος για αποφυγή παρεμβολών μεταξύ των χρηστών. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που μπορούν να προσφέρουν από πλήρη προστασία στο χρήστη, έως τυχαία πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης. Οι πόροι που μπορούν να διαμοιραστούν κατάλληλα στους χρήστες ώστε να γίνει ο συντονισμός της πρόσβασης στο δίαυλο είναι ο χρόνος, η συχνότητα, ο κώδικας και ο χώρος. Τα σχήματα πολλαπλής πρόσβασης που προκύπτουν όταν ο συντονισμός γίνεται με καθέναν από αυτούς τους πόρους είναι τα εξής:

i. TDMA – Time Division Multiple Access. Ο χρόνος διαιρείται σε πλαίσια και αυτά διαιρούνται σε σχισμές που ονομάζονται χρονοθυρίδες. Κάθε χρήστης έχει πρόσβαση στο μέσο μόνο σε συγκεκριμένες χρονοθυρίδες ανά πλαίσιο. Οι σχισμές κατά τις οποίες κάποιος χρήστης εκπέμπει στο μέσο ονομάζονται σχισμές δεδομένων. Μεταξύ σχισμών δεδομένων εισάγονται σχισμές προστασίας κατά τις οποίες δεν εκπέμπει κανείς. Αυτές επιτρέπουν καλύτερο συγχρονισμό ενός δικτύου στο οποίο πολλές συσκευές επικοινωνούν με μία βάση, ειδικά στην περίπτωση που οι φυσικές αποστάσεις μεταξύ των τερματικών και της βάσης εμφανίζουν μεγάλη διακύμανση ή ο κοινός δίαυλος εμφανίζει διαλείψεις λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης. Καθώς σε κάθε χρήστη παρέχεται μία χρονοθυρίδα η οποία δεν μπορεί να παραχωρηθεί σε άλλον στην περίπτωση που ο πρώτος δεν τη χρειάζεται, το σχήμα TDMA είναι κατάλληλο για μεταδόσεις όπως η αποστολή video που υπάρχει ανάγκη για συνεχή ροή πληροφορίας. Σε περιπτώσεις αποστολής δεδομένων, ενδεχόμενες περίοδοι σιωπής μειώνουν τη φασματική απόδοση καθιστώντας το σχήμα TDMA μη κατάλληλο.

ii. FDMA – Frequency Division Multiple Access. Σε αυτό το σχήμα πολλαπλής πρόσβασης ο συντονισμός γίνεται με βάση τη συχνότητα. Συγκεκριμένα, το κοινό εύρος συχνοτήτων στο οποίο λειτουργούν οι συσκευές που έχουν πρόσβαση στο κοινό μέσο διαιρείται σε κανάλια.

Σε κάθε χρήστη του φάσματος παραχωρείται ένα κανάλι το οποίο χαρακτηρίζεται από την κεντρική του συχνότητα. Διαδοχικά κανάλια απέχουν φασματικά κατά ένα διάστημα φύλαξης το οποίο εξασφαλίζει την απομόνωση γειτονικών καναλιών. Όπως και το σχήμα TDMA, το FDMA δεν είναι κατάλληλο για αποστολή δεδομένων λόγω της αποκλειστικής διάθεσης των καναλιών στους χρήστες.

iii. CDMA – Code Division Multiple Access. Το σχήμα πολλαπλής πρόσβασης CDMA επιτυγχάνει αποφυγή παρεμβολών μεταξύ των χρηστών του κοινού μέσου μέσω κατάλληλων κωδίκων που διαμοιράζονται σε αυτούς. Κάθε χρήστης έχει έναν κώδικα της μορφής $p(t_i) = \pm 1$ που λειτουργεί σαν υπογραφή του με τον οποίο πολλαπλασιάζει τη ροή πληροφορίας πριν τη μεταδώσει. Στην πλευρά του δέκτη η λαμβανόμενη ροή πολλαπλασιάζεται με τον ίδιο κώδικα και έτσι προκύπτει η αρχική πληροφορία. Οι κώδικες έχουν ιδιότητες παρόμοιες με αυτές των τυχαίων ακολουθιών και έχουν πολύ ευρύ φάσμα. Έτσι καθώς η ροή πληροφορίας πολλαπλασιάζεται με τον κώδικα ευρέως φάσματος το γινόμενο είναι επίσης ευρέως φάσματος. Επειδή οι κώδικες των χρηστών είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους ακόμα και αν ένας δίαυλος χρησιμοποιείται από πολλούς χρήστες, κάθε δέκτης μπορεί να απομονώσει την πληροφορία που έχει κωδικοποιηθεί με το δικό του κώδικα. Η μέθοδος CDMA χαρακτηρίζεται από υψηλή φασματική απόδοση.

iv. SDMA – Space Division Multiple Access. Στην τεχνική αυτή γίνεται πρακτικά έλεγχος της περιοχής που διοχετεύεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κάθε εκπομπού. Ο έλεγχος επιτυγχάνεται με την χρήση κατευθυντικών κεραιών.

Σε εφαρμογές αποστολής δεδομένων, που η πληροφορία προς αποστολή εμφανίζεται κατά ριπές, οι μέθοδοι που βασίζονται στην κατανομή αποκλειστικών πόρων σε κάθε χρήστη οδηγούν σε χαμηλή φασματική απόδοση. Σε αυτές τις εφαρμογές είναι προτιμητέα η επιλογή ενός σχήματος τυχαίας πολλαπλής πρόσβασης. Καθώς η μετάδοση δεδομένων βασίζεται στη μεταγωγή πακέτου, στα σχήματα τυχαίας πολλαπλής πρόσβασης ενδιαφέρει πώς χειρίζονται οι συγκρούσεις πακέτων. Δύο σχήματα που χρησιμοποιούνται ευρέως για συντονισμό πολλών χρηστών ενός μέσου κατά τη μετάδοση δεδομένων είναι τα εξής:

i. CSMA/CoD – Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection. Αυτό το σχήμα βασίζεται στην ικανότητα των τερμάτικων να ανιχνεύουν τις συγκρούσεις. Όταν ανιχνευθεί σύγκρουση από κάποιο τερματικό τότε αυτό σταματάει τη μετάδοση και περιμένει κάποιο χρονικό διάστημα προτού επιχειρήσει να στείλει ξανά πακέτα στο μέσο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε ενσύρματα δίκτυα.

ii. CSMA/CoA – Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance. Το σχήμα αυτό χρησιμοποιείται σε ασύρματα δίκτυα μετάδοσης δεδομένων. Το τερματικό που επιθυμεί να εκπέμψει δεδομένα στέλνει ένα αίτημα RTS – request to send στο δέκτη. Αν δέκτης ανιχνεύσει διαθέσιμο δίαυλο απαντά με μήνυμα CTS – clear to send επιτρέποντας την αποστολή δεδομένων και ενημερώνει τα υπόλοιπα τερματικά του δικτύου ότι ο δίαυλος δεν είναι πια διαθέσιμος.

Παράρτημα Β΄

ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ TCP/IP

Η σουίτα πρωτοκόλλων TCP/IP αφορά γενικά σε δίκτυα υπολογιστών. Είναι ένα εννοιολογικό μοντέλο που χωρίζει σε επίπεδα την επικοινωνία τερματικών και ορίζει πρωτόκολλα σε κάθε επίπεδο. Πήρε το όνομα από τα κυρίαρχα πρωτόκολλα της σουίτας, το TCP – Trasmission Control Protocol και το IP – Internet Protocol.

Συνολικά υπάρχουν τέσσερα επίπεδα καθένα από τα οποία δίνει λύση σε διαφορετικά προβλήματα της επικοινωνίας μεταξύ των τερματικών. Τα υψηλότερα επίπεδα είναι λογικά πλησιέστερα στις εφαρμογές χρήστη ενώ τα χαμηλότερα στο δίκτυο και τη μετάδοση δεδομένων. Αναλυτικότερα, τα τέσσερα επίπεδα είναι τα εξής:

i. Το επίπεδο εφαρμογής. Σε αυτό το επίπεδο υπάρχουν όλα τα πρωτόκολλα που ορίζουν την επικοινωνία μεταξύ των εφαρμογών. Οι εφαρμογές δεν χρειάζεται να γνωρίζουν πάνω από τι είδους δίκτυο γίνεται η μεταφορά δεδομένων ή πώς φθάνουν οι πληροφορίες στον τελικό αποδέκτη. Ως εκ τούτου, τα πρωτόκολλα αυτού του επιπέδου δεν ασχολούνται με τέτοια ζητήματα. Στο επίπεδο εφαρμογής ανήκει το ευρέως χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο για περιήγηση στο διαδίκτυο, το HTTP – Hyper Text Transfer Protocol. Το HTTP είναι πρότυπο για επικοινωνία μεταξύ εξυπηρετητή και χρήστη, όπου ο χρήστης κάνει αίτηση για να λάβει δεδομένα (για παράδειγμα, τμήμα ενός video) και ο εξυπηρετητής αποκρίνεται αναλόγως. Ένα άλλο πρωτόκολλο στο επίπεδο εφαρμογής είναι το RTP – Real Time Protocol το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για αποστολή video πραγματικού χρόνου ή και ακουστικού περιεχομένου. Η βασική διαφορά των δύο είναι ότι το HTTP αποσκοπεί στην αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων ενώ το RTP στην ταχεία μεταφορά δεδομένων.

ii. Το επίπεδο μεταφοράς. Βρίσκεται κάτω από το επίπεδο εφαρμογών και αποσκοπεί στη δημιουργία διαύλων επικοινωνίας για αυτές. Τα δύο σημαντικότερα πρωτόκολλα στο επίπεδο μεταφοράς είναι το TCP και το UDP. Το TCP αποσκοπεί στην αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, χωρίς δηλαδή λάθη ή απώλεια τμήματος πληροφορίας. Εξασφαλίζει ότι η ψηφιακή πληροφορία φθάνει στον αποδέκτη με τη σειρά με την οποία στάλθηκε ενώ υπάρχει και έλεγχος ροής ώστε ένας ταχύς αποστολέας να μην κατακλύζει με μηνύματα έναν αργό αποδέκτη. Σχεδόν πάντα το HTTP τρέχει πάνω από TCP καθώς χρειάζεται την αξιοπιστία του. Το UDP είναι ένα πρωτόκολλο για μεταφορά δεδομένων με όχι εξασφαλισμένη αξιοπιστία. Δεν εξασφαλίζεται δηλαδή ότι τα δεδομένα φθάνουν στον παραλήπτη χωρίς λάθη, με τη σωστή σειρά και χωρίς να έχει χαθεί κάποιο τμήμα τους. Λόγω των λιγότερων ελέγχων στα δεδομένα που πραγματοποιούνται κατά την αποστολή με UDP, υπάρχει μικρότερη καθυστέρηση μεταξύ αποστολής και παραλαβής. Για το λόγο αυτό, εφαρμογές που ενδιαφέρονται για την ταχύτητα της παράδοσης, όπως η μετάδοση ομιλίας ή και video, το χρησιμοποιούν ευρέως. Το RTP τρέχει σχεδόν πάντα πάνω από UDP.

iii. Το επίπεδο διαδικτύου. Το επίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για την μεταφορά πακέτων μεταξύ δικτύων. Βασικό πρωτόκολλο αυτού του επιπέδου είναι το IP.

iv. Το επίπεδο συνδέσμου. Είναι το κατώτατο επίπεδο στο μοντέλο TCP/IP και αφορά στην απευθείας επικοινωνία σταθμών που ανήκουν στο ίδιο τοπικό δίκτυο.

Μέσω της ενθυλάκωσης πακέτων πληροφορίας υψηλότερων επιπέδων σε αντίστοιχα πακέτα χαμηλότερων, κρύβεται πληροφορία μεταξύ των επιπέδων. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε επίπεδο έχει πρόσβαση μόνο στην πληροφορία που είναι απαραίτητη για να εκτελεστεί η αντίστοιχη υπηρεσία.

Παράρτημα Γ΄

Δ΄ΙΚΤΥΑ ΕΥΡΕΊΑΣ ΕΚΠΟΜΠΉΣ

Η ευρεία εκπομπή είναι αναπόσπαστο τμήμα πολλών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων των τελευταίων δεκαετιών. Τα δίκτυα ευρείας εκπομπής είναι τα δίκτυα εκείνα που καλύπτουν ευρύτατες γεωγραφικές περιοχές παρέχοντας κάποια υπηρεσία, όπως είναι η ψηφιακή τηλεόραση. Στη γενική περίπτωση η κάλυψη μιας μεγάλης περιοχής δεν επιτυγχάνεται από ένα μόνο κέντρο ευρυεκπομπής αλλά απαιτούνται πολλά σταθμοί. Η συνύπαρξη πολλών κέντρων ανά δίκτυο και διαφορετικών δικτύων σε γεωγραφικά προσκείμενες καθιστά απαραίτητη τη θέσπιση ρυθμιστικών κανόνων και προτύπων.

Τα δίκτυα ευρείας εκπομπής κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη συχνότητα εκπομπής γειτονικών κέντρων. Οι δύο κατηγορίες των δικτύων είναι οι εξής

i. MFN (Δίκτυο πολλών συχνοτήτων). Στα MFN γειτονικοί σταθμοί εκπέμπουν σε διαφορετικές συχνότητες ώστε να μην προκαλείται παρεμβολή στις περιοχές αλληλοκάλυψης. Η σχεδίαση τέτοιου δικτύου είναι περίπλοκη διαδικασία. Κάθε φορά που προστίθεται κάποιος σταθμός εκπομπής απαιτείται μελέτη προκειμένου ο νέος σταθμός να εκπέμπει σε διαφορετική συχνότητα από τους γειτονικούς.

ii. SFN (Δίκτυο μίας συχνότητας). Όλοι οι σταθμοί ενός δικτύου SFN εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα. Οι δέκτες του δικτύου λαμβάνουν σήμα από πολλούς σταθμούς. Καθώς η διαδρομή που ταξιδεύει το κάθε σήμα από τον εκάστοτε σταθμό μέχρι έναν δέκτη είναι διαφορετική, τα διαφορετικά σήματα υπόκεινται σε διαλείψεις ασυσχέτιστες μεταξύ τους. Έτσι ακόμα και αν το σήμα από ένα κέντρο εκπομπής φτάνει σε έναν δέκτη εξασθενημένο, ενδέχεται ο δέκτης να μπορεί να εξυπηρετηθεί από άλλο κέντρο εκπομπής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Ασύρματες επικοινωνίες, Παναγιώτης Γ. Κωττής, Παντελής-Δανιήλ Μ. Αράπογλου

[2] Encyclopedia of Journalism, Christopher H. Sterling;

[3] ITU-R SNG.770-2 Uniform operational procedures for digital satellite news gathering (DSNG);

[4] ITU-R M.1824-1 System characteristics of television outside broadcast, electronic news gathering and electronic field production in the mobile service for use in sharing studies;

[5] ITU-R P.530-16: Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems;

[6] Richardson, I. E. H.264 and MPEG-4 video compression: video coding for next-generation multimedia. (Wiley, 2008).

[7] Wiegand, T., Sullivan, G., Bjontegaard, G. & Luthra, A. Overview of the H.264/AVC video coding standard. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology 13, 560–576 (2003).

[8] TK Tan; Marta Mrak; Vittorio Baroncini; Naeem Ramzan . "Report on HEVC compression performance verification testing" . JCT-VC.

[9] Grois, D., Marpe, D., Mulayoff, A., Itzhaky, B. & Hadar, O. Performance comparison of H.265/MPEG-HEVC, VP9, and H.264/MPEG-AVC encoders. 2013 Picture Coding Symposium (PCS) (2013). doi:10.1109/pcs.2013.6737766

[10] ECC report 24: A preliminary assessment of the feasibility of fitting new/future applications/services into non-harmonised spectrum of the digital dividend (namely the so-called "white spaces" between allotments), June 2008;

[11] ΦΕΚ 82/A/10-04-2012;

[12] ΦΕΚ 2704/B′/5-10-2012;

[13] ECC Report 159: Technical and operational requirements for the possible operation of cognitive radio systems in the 'white spaces' of the frequency band 470-790 MHz, January 2011;

[14] ITU-R M.1830: Technical characteristics and protection criteria of aeronautical radionavigation service systems in the 645-862 MHz frequency band;

[15] Electronic Code of Federal Regs., Title 47, part 15, subpart H, Television Band Devices; http://www.ecfr.gov/;

[16] ECC report 185: Complementary Report to ECC Report 159 Further definition of technical and operational requirements for the operation of white space devices in the band 470-790 MHz , January 2013;

[17] U.S. FCC, ET Docket 02-380 Notice of Inquiry, in the matter of Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900MHz and in the 3GHz Band, December 2002;

[18] IEEE P802.22/D1.0 Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22 Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands, April 2008;

[19] C. Stevenson, G. Chouinard, Z. Lei, W. Hu, S. Shellhammer, and W. Caldwell, "IEEE 802.22: The first cognitive radio wireless regional area network standard," IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 1, pp. 130–138, 2009;

[20] A. B. Flores, R. E. Guerra, E. W. Knightly, P. Ecclesine, and S. Pandey, "IEEE 802.11af: a standard for TV white space spectrum sharing," IEEE Communications Magazine, vol. 51, no. 10, pp. 92–100, 2013;

[21] IEEE 802.11 Working Group, "IEEE 802.11af Draft 5.0, Amendment 5: TV White Spaces Operation," June 2013;

[22] ETSI, "EN 301 598 White Space Devices (WSD); Wireless Access Systems Operating in the 470 MHz to 790 MHz Frequency Band," Oct. 2012;

[23] IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Television White Spaces (TVWS) Operation;

[24] Μετάδοση-Συλλογή ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο, Σταύρος Βάκαλης, Ιούλιος 2017;

[25] Handbook on Digital Terrestrial Television Broadcasting Networks and Systems Implementati on. (2016). Retrieved from https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/07/R0A0700003B0001PDFE.PDF