



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΖΕΥΞΗ ENG ΣΕ TV WHITE SPACES

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θεόδωρος Νικολαΐδης

Επιβλέπων: Παναγιώτης Γ. Κωπτής Ιουνίου 2020

Εγκρίθηκε απο τη τριμελή επιτροπή

Παναγιώτης Κωπτής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Γεώργιος Φικιώρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2020



Θεόδωρος Νικολαΐδης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Νικολαΐδης Θεόδωρος, 2020

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.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέψαντα καθηγητή κ.Κωπή για την πολύτιμη βοήθειά και τις υποδείξεις του στην εργασία μου .Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Κουρεντζή για τήν παροχή τεχνολογικού εξοπλισμού και την βοήθεια του στο κατασκευστικό μέρος της εργασίας μου.Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου στην οποία ωφείλω τα πάντα.

Περίληψη

Η μετάβαση (switchover/transition) απ' την αναλογική στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (digital terrestrial television, DTT) στην Ευρώπη είναι συνδεδεμένη με το πρότυπο DVB (Digital Video Broadcasting). Το σύστημα μετάδοσης του DVB-T ορίζεται ως η διαδικασία που προσαρμόζει το σήμα βασικής ζώνης που προέρχεται από την έξοδο του MPEG-2 πολυπλέκτη στα χαρακτηριστικά του επίγειου καναλιού. Πιο πρόσφατα καθιερώνεται και η χρήση της τεχνικής συμπίεσης H.264/MPEG-4 AVC, καθώς και νέες κωδικοποιήσεις ήχου. Το πρότυπο DVB-T προδιαγράφει μία συγκεκριμένη δομή πλαισίου (frame), κωδικοποίηση διαύλου για διόρθωση λαθών και διαμόρφωση του σήματος για την επίγεια τηλεοπτική ψηφιακή ευρυεκπομπή.

Ως αποτέλεσμα της χρήσης των τεχνικών συμπίεσης αυτών, εξοικονομείται αισθητά μεγάλη χωρητικότητα σε κάθε δίαυλο εκπομπής, γεγονός το οποίο επιτρέπει τη μετάδοση πλήθους τηλεοπτικών προγραμμάτων και υπηρεσιών οι οποίες κάνουν χρήση του εύρους ζώνης το οποίο θα καταλάμβανε μόνη της η εκπομπή ενός αναλογικού τηλεοπτικού σήματος. Στη χρήση του προτύπου αυτού, οφείλεται η απόλυτη ευκρίνεια των μεταδιδόμενων εικόνων συνοδευόμενη από ήχο άριστης ποιότητας.

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 και να πραγματοποιηθεί πειραματική εκπομπή τηλεοπτικού σήματος με δέκτη σε σταθερή τοποθεσία στον Υμηττό. Η εκπομπή έγινε από διαφορετικά σημεία με LOS στον Υμηττό. 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 της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης και αναφορά στο πρότυπο μετάδοσης DVB –T/T2. Επίσης παρουσιάζονται τα 34 allotments με τους αντίστοιχους διαύλους. Στο κεφάλαιο 2 αναφερόμαστε στα white spaces μέθοδοι αποφυγής παρεμβολών και πρωτόκολλα μετάδοσης. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται οι τρόποι μεταδόσεις ειδήσεων , τα tv white spaces στην Ελλάδα και οι εφαρμογές τους. Στο κεφάλαιο 4 αναφέρονται η ανεύρεση πιθανών tv white spaces,μετρήσεις επιπέδου παρεμβολών,εκτίμηση διαθέσιμης ισχύος στον δέκτη,και εκτίμηση του ελαχίστου αποδεκτού σηματοθορυβικού λόγου.

Στο κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται πειραματική εκπομπή από δύο διαφορετικά σημεία με σημείο λήψης το κέντρο εκπομπής του Υμηττού. Το κεφάλαιο 6 αναφέρεται σε ορισμένα τελικά συμπεράσματα.

Λέξεις κλειδιά

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

Abstract

The switchover / transition from analogue to digital terrestrial television (DTT) in Europe is linked to the DVB (Digital Video Broadcasting) standard. The DVB-T transmission is defined as the process that adapts the baseband signal from the MPEG-2 multiplexer output to the terrestrial channel characteristics. More recently, the use of the H.264 / MPEG-4 AVC compression technique has been introduced, as well as new audio encodings. The DVB-T standard specifies a specific frame structure, channel coding for error correction, and signal modulation for terrestrial television digital broadcasting.

As a result of the use of these compression techniques, a considerable capacity is saved in each broadcast channel, which allows the transmission of a number of television programs and services that make use of the bandwidth that would be occupied by the transmission of an analog television signal alone. The use of this standard is due to the absolute clarity of the transmitted images accompanied by excellent quality sound.

The purpose of this dissertation is to study whether it is possible to electronically collect news in real time over the WS phase and to carry out an experimental TV signal broadcast with a receiver at a fixed location on Hymettus. The broadcast was done from different points with LOS in Hymettus. The motivation for this study is that the news collection techniques used today are accompanied by high costs.

Chapter 1 provides a brief overview of digital terrestrial television and reports on DVB – T / T2 transmission standards. Also presented are the 34 allotments with the corresponding channels. In Chapter 2 we refer to white spaces, methods of avoiding interference and transmission protocols. Chapter 3 presents the ways of news broadcasting, tv white spaces in Greece and their applications. Chapter 4 reports the detection of possible tv white spaces, interference level measurements, estimation of available power to the receiver, and estimation of the minimum acceptable signal-to-noise ratio.

In chapter 5 an experimental broadcast is carried out from two different points with the point of reception being the broadcast center of Ymittos. Chapter 6 refers to some final conclusions.

Key words

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

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΠΙΓΕΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ	9
1.1 Πρότυπο DVB-T/T2	9
1.2 Δίκτυα SFN	16
1.2.1 Δίκτυα MFN με τοπικά πυκνά δίκτυα SFN	21
1.2.2 Gap-fillers	21
1.3 Ψηφιακό μέρισμα	22
1.4 Περιοχές κάλυψης	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: TV WHITE SPACES	31
2.1 Εισαγωγή.....	31
2.2 Προστατευόμενες υπηρεσίες στο φάσμα 470-690MHz	33
2.3 Μέθοδοι αποφυγής παρεμβολών	35
2.3.1 Spectrum Sensing	36
2.3.2 Χρήση Βάσης δεδομένων	37
2.3.2 Αξιοποίηση Σημάτων beacons (φάρων)	38
2.4 Πρωτόκολλα	38
2.4.1 IEEE 802.22.....	38
2.4.2 IEEE 802.11af	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ELECTRONICS NEWS GATHERING	44
3.1 Συνήθεις τεχνολογίες Electronic News Gathering	45
3.2 Ενσύρματη συλλογή ειδήσεων	45
3.3 Συλλογή ειδήσεων μέσω δορυφόρου	45
3.4 Συλλογή ειδήσεων μέσω επίγειας μικροκυματικής ζεύξης	46
3.5 Συλλογή ειδήσεων μέσω κυψελωτών δικτύων	47
3.6 ENG πάνω από white spaces.....	48
3.7 Εφαρμογές.....	49
3.8 TVWS στην Ελλάδα.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ENG ΠΑΝΩ ΑΠΟ WS	53
4.1 Εισαγωγή.....	53
4.2 Ανεύρεση πιθανών WS.....	54
4.3 Μετρήσεις επιπέδου παρεμβολών.....	60
4.4 Εκτίμηση της διαθέσιμης ισχύος στους δέκτες.....	64
4.5 Εκτίμηση του ελάχιστου SNR	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ ΣΗΜΑΤΟΣ VIDEO	68
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	76
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	77
ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	77
A'.1 Ψηφιακή διαμόρφωση	77
A'.1.1 MPAM.....	79
A'.1.2 MPSK.....	80
A'.1.3 MQAM.....	81
A'.1.4 Πιθανότητα λάθους.....	82
A'.2 Διαμόρφωση OFDM	84
A'.3 Κωδικοποίηση	85
A'.4 Σχήματα πολλαπλής πρόσβασης	87
B'.ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ TCP/IP	89
Γ'.ΔΙΚΤΥΑ ΕΥΡΕΙΑΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	90
Δ'.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	92

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: ΣΥΓΚΡΙΣΗ DVB-T ΚΑΙ DVB-T2	15
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2: GUARD INTERVAL ΚΑΙ FFT	19
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3 : ΤΑ 34 ALLOTMENTS ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΠΟΥ ΤΟΥΣ ΕΧΟΥΝ ΑΠΟΔΟΘΕΙ.	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4 : ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟ ΤΗ ΣΥΝΘΗΚΗ GE06	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.22-2011	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2: ΡΥΘΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ 802.22-2011 ΓΙΑ CP=1/16	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3: ΩΦΕΛΙΜΟΙ ΡΥΘΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ 802.11AF ΓΙΑ ΚΑΝΑΛΙΑ 8ΜΗΖ.....	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΕΛΕΥΘΕΡΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΑΝΑ ALLOTMENT	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: WS ΣΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΠΙΘΑΝΟΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΚΑΙ ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΑ WS.....	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: ΠΙΘΑΝΟΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΚΑΙ ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΑ WS ΜΕΤΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΕΡΙΣΜΑ 2.....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ ΛΗΨΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΣΤΟΝ ΥΜΗΤΤΟ.....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ ΛΗΨΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΣΤΟΝ ΥΜΗΤΤΟ.....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6: ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ ΛΗΨΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΜΕ ΕΥΡΟΣ 100 ΚΗΖ.....	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7: ΡΥΘΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΒΙΔΕΟ (ΜΒΙΤ/Σ) ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΥΜΗΤΤΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ ΣΤΟΥ ΠΑΠΑΓΟΥ.....	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΥΜΗΤΤΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ ΣΤΑ Ν.ΛΙΟΣΙΑ.....	76

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1.1: MFN NETWORKS	16
ΣΧΗΜΑ 1.2: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ MFN	17
ΣΧΗΜΑ 1.3 :SFN NETWORKS	18
ΣΧΗΜΑ 1.4 :ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ SFN.....	20
ΣΧΗΜΑ 1.5 :GAP FILLERS.....	21
ΣΧΗΜΑ 1.5 :ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ GAP- FILLERS.	22
ΣΧΗΜΑ 1.6 : ΤΑ 34 ALLOTMENTS ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	25
ΣΧΗΜΑ 2.1 : TVWS ΔΙΑΣΠΑΡΜΕΝΑ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΤΩΝ UHF	31
ΣΧΗΜΑ 2.2 : ΚΑΛΥΨΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΚΕΝΩΝ ΑΠΟ WSDs	32
ΣΧΗΜΑ 2.3: ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ	35
ΣΧΗΜΑ 2.4: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΡΥΦΟΥ ΚΟΜΒΟΥ.....	36
ΣΧΗΜΑ 2.4: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΚΤΥΟΥ 802.11AF	41
ΣΧΗΜΑ 3.1: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΖΕΥΞΗΣ DSNG.....	46
ΣΧΗΜΑ 3.2: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ENG ΜΕ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟ ΩΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΣΤΑΘΜΟ.....	47
ΣΧΗΜΑ 3.3 WORKFLOW ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΕΙΔΗΣΕΩΝ ΜΕΣΩ ΚΥΨΕΛΩΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	48
ΣΧΗΜΑ 4.1: ΚΑΛΥΨΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗΣ ΔΑΡΔΙΤΣΑΣ (ΝΑΥΠΛΙΟ).....	55
ΣΧΗΜΑ 4.2: ΚΑΛΥΨΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗΣ ΔΟΛΙΑΝΑ (ΤΡΙΠΟΛΗ)	56
ΣΧΗΜΑ 4.3: ΚΑΛΥΨΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗΣ ΧΛΩΜΟΥ(ΛΑΜΙΑ).....	56
ΣΧΗΜΑ 4.4: ΚΑΛΥΨΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗΣ ΣΥΡΟΥ	57
ΣΧΗΜΑ 4.5: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΕΡΑΙΑΣ.....	60
ΣΧΗΜΑ 4.6: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ BODE.....	61
ΣΧΗΜΑ 4.7: ΔΙΣΚΟΙ ΑΚΤΙΝΑΣ 15 ΚΑΙ 30ΚΜ ΜΕ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΝ ΥΜΗΤΤΟ.....	64
ΣΧΗΜΑ 4.8: ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΝ 16-QAM, 8-PSK ΚΑΙ QPSK	67
ΣΧΗΜΑ 5.1 :ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ ΟΠΟΥ ΕΓΙΝΕ Η ΛΗΨΗ.....	68
ΣΧΗΜΑ 5.2 :Η ΚΕΡΑΙΑ ΛΗΨΗΣ	69
ΣΧΗΜΑ 5.3 :ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΦΙΛΡΟΥ CAVITY	69
ΣΧΗΜΑ 5.4 :ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ	70
ΣΧΗΜΑ 5.5 :ΦΙΛΤΡΟ CAVITY.....	70

ΣΧΗΜΑ 5.6: ΤΟ ΠΕΔΙΟΜΕΤΡΟ	71
ΣΧΗΜΑ 5.7 :Η ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΜΗΤΤΟ ΗΤΑΝ 3.23ΚΜ.	71
ΣΧΗΜΑ 5.8 :Η ΚΕΡΑΙΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΜΕ ΚΕΡΔΟΣ 6DB.....	72
ΣΧΗΜΑ 5.9 :ΠΡΟΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ UHF.....	72
ΣΧΗΜΑ 5.10: DVB-T MODULATOR.....	73
ΣΧΗΜΑ 5.11 :ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ DVB-T MODULATOR.....	74
ΣΧΗΜΑ 5.12 :Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	75
ΣΧΗΜΑ 5.13:Η ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	75
ΣΧΗΜΑ Α΄.1: ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΣ 8ΡΑΜ.....	79
ΣΧΗΜΑ Α΄.2: ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΣ 4ΡSΚ ΚΑΙ 8ΡSΚ	80
ΣΧΗΜΑ Α΄.3: ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΣ 16QΑΜ.....	82

Κατάλογος συντμήσεων

DVB=Digital Video Broadcasting
 DTT=Digital terrestrial television
 HDTV= High Definition television
 SDTV= Standard-definition television
 ETSI= European Telecommunications Standards Institute
 EBU= European Broadcasting Union,
 CENELEC =Comité Européen de Normalisation ELECtrotechnique
 DVB-T=Digital Video Broadcasting- Terrestrial
 DVB-S=Digital Video Broadcasting Satellite
 DVB-C=Digital Video Broadcasting - Cable
 DVB-H=Digital Video Broadcasting - Handheld
 MPEG-2 =Moving Picture Experts Group
 ITU= International Telecommunication Union
 AVC= Advanced Video Coding
 OFDM= Orthogonal Frequency Division Multiplexing
 FFT=fast Fourier transform
 IFFT=Inverse fast Fourier transform
 QPSK=quadrature phase-shift keying
 QAM=Quadrature amplitude modulation
 HP=high priority
 LP =low priority
 DTMB=Digital Terrestrial Multimedia Broadcast
 ATSC=Advanced Television Systems Committee
 ISDB-T=Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial
 BCH =Bose-Chaudhuri- Hocquengham
 LDPC=Low Density Parity Check
 SFN= Single Frequency Networks
 PAPR=Peak Average Power Ratio
 MFN =Multi Frequency Networks
 COFDM= Code Orthogonal Frequency Division Multiplexing
 GI=Guard Interval
 BER=bit error ratio
 UHF=Ultra High Frequency
 VHF=very high frequency
 TVWS=TV White Spaces

WS= White Spaces
PMSE =Programme Making and Special Events
WSD =White Space Device
FCC =Federal Communication Commission
RF =Radio Frequency
ISM =Industrial Scientific and Medical
CR =Cognitive Radio
IEEE= Institute of Electrical and Electronics Engineers
WRAN= Wireless Regional Area Network,
WLAN=Wireless Local Area Network
DTT= Digital Terrestrial Television
WSD= white space device
EIRP=effective isotropic radiated power
CEPT=The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
FCC=Federal Communications Commission
NLOS=non line of sight
GPS=Global Positioning System
CPE =Customer Premises Equipment
GDB =Ge- olocation Database
RLSS =Registered Location Secure Server
GDD= Geolocation- Database-Dependent
WSM= White Space Management
TVHT= TV High Throughput
ENG= Electronic News Gathering
DSNG =Digital Satellite News Gathering
LOS= Line Of Sight
WISP =Wireless Internet Service Provider
QoS=quality of service
M2M = machine-to-machine
SNR=signal to noise
HEVC=High Efficiency Video Coding
AWGN=Additive White Gaussian Noise
HTTP = Hyper Text Transfer Protocol
RTP = Real Time Protocol
UDP=User Datagram Protocol
TCP=Transmission Control Protocol

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΠΙΓΕΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ

1.1 Πρότυπο DVB-T/T2

Η μετάβαση (switchover/transition) απ' την αναλογική στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (digital terrestrial television, DTT) στην Ευρώπη είναι συνδεδεμένη με το πρότυπο DVB (Digital Video Broadcasting). Το 1993 ιδρύεται μία κοινοπραξία από κρατικούς και ιδιωτικούς φορείς που δραστηριοποιούνται στον τομέα της εκπομπής τηλεοπτικών προγραμμάτων. Διανομείς υπηρεσιών ευρυεκπομπής (broadcasting), παροχείς δικτυακών υπηρεσιών, εταιρίες ανάπτυξης λογισμικού, βιομηχανίες, κατασκευαστές, κ.ά. συστήνουν μία ομάδα εργασίας με σκοπό την προτυποποίηση ενός συστήματος που θα εξασφαλίζει :

- Μετάδοση τηλεοπτικής εικόνας υψηλής ευκρίνειας (high definition TV, HDTV)
- Μετάδοση τηλεοπτικής εικόνας τυπικής ευκρίνειας (standard definition TV, SDTV) σε διαύλους στενής ζώνης
- Λήψη τηλεοπτικού προγράμματος από φορητούς, χαμηλού κόστους δέκτες
- Λήψη τηλεοπτικού προγράμματος από δέκτες τοποθετημένους σε οχήματα, ακόμα κι αν αυτά κινούνται με υψηλή ταχύτητα
- Σταθερή ποιότητα υπηρεσίας ακόμα και σε διαύλους με έντονες διαλείψεις και υπό την παρουσία παρεμβολών
- Σταθερή ποιότητα υπηρεσίας σε μία καλά ορισμένη περιοχή κάλυψης
- Δυνατότητα διανομής του περιεχομένου από υφιστάμενα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα

Το αποτέλεσμα των εργασιών αυτών είναι η δημιουργία του προτύπου DVB και η καθιέρωσή του μέσω επίσημων οργανισμών, όπως το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standards Institute, ETSI), η Ένωση Ευρωπαίων Παρόχων (European Broadcasting Union, EBU) και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (Comité Européen de Normalisation ELECTrotechnique, CENELEC). Οι οργανισμοί αυτοί με από κοινού επιτροπές (joint technical committee, JTC) πιστοποιούν και τις επικαιροποιήσεις του DVB.

Ήδη απ' τα τέλη της δεκαετίας του 1990 οι νέοι στόχοι που έθεσε το DVB ήταν :

- Πολλαπλασιασμός των τηλεοπτικών προγραμμάτων που θα μπορούν να μεταδοθούν, στο ίδιο εύρος συχνοτήτων που διατίθεται για εκπομπή ενός προγράμματος αναλογικής τηλεόρασης
- Υποστήριξη εκπομπής ραδιοφωνικού προγράμματος
- Υποστήριξη δυνατότητας μεταφοράς δεδομένων
- Υποστήριξη δυνατότητας μεταβαλλόμενης ποιότητας ήχου και εικόνας
- Υποστήριξη συνδρομητικών υπηρεσιών
- Υποστήριξη διαδραστικών υπηρεσιών
- Πρόσβαση στο διαδίκτυο μέσω της τηλεοπτικής συσκευής

Έτσι το DVB μετεξελίσσεται σε ένα ολοκληρωμένο πρότυπο επίγειας τηλεοπτικής ευρυεκπομπής ψηφιακού πολυμεσικού περιεχομένου, που καθορίζει ποιοτικά χαρακτηριστικά για το εκπεμπόμενο σήμα, τεχνικές παραμέτρους πομποδεκτών και προδιαγραφές συμβατότητας των πομπών, ενώ τα λεπτομερή τεχνικά χαρακτηριστικά των δεκτών καθορίζονται απ' τους κατασκευαστές. Ανάλογα με το μέσο μετάδοσης κατηγοροποιούνται σε DVB-T (terrestrial) για την επίγεια ασύρματη μετάδοση, DVB-C (cable) για την καλωδιακή, σε DVB-S (satellite) για τη δορυφορική, ενώ για τη μετάδοση σε τερματικές συσκευές χειρός έχουμε το DVB-H (handheld).

Για το DVB και τα παράγωγα πρότυπά του, αποφασίστηκε ότι για την κωδικοποίηση των τηλεοπτικών και ηχητικών σημάτων καθώς και για την πολυπλεξία τους θα χρησιμοποιείτο το ήδη παγκοσμίως αποδεκτό πρότυπο MPEG-2 (Moving Picture Experts Group), όπως προδιαγράφεται από την Παγκόσμια Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union, ITU). Πρόκειται ουσιαστικά για αποδοτική τεχνική συμπίεσης που αποσκοπεί στη μετάδοση μόνον της ωφέλιμης πληροφορίας η οποία απαιτείται για την παρουσίαση εικόνας και ήχου στο δέκτη. Η αποτελεσματική χρήση της συμπίεσης προσδίδει την ικανότητα στο κανάλι να μεταδίδει επιπλέον υπηρεσίες.

Ως αποτέλεσμα της χρήσης των τεχνικών συμπίεσης αυτών, εξοικονομείται αισθητά μεγάλη χωρητικότητα σε κάθε δίαυλο εκπομπής, γεγονός το οποίο επιτρέπει τη μετάδοση πλήθους τηλεοπτικών προγραμμάτων και υπηρεσιών οι οποίες κάνουν χρήση του εύρους ζώνης το οποίο θα καταλάμβανε μόνη της η εκπομπή ενός αναλογικού τηλεοπτικού σήματος. Στη χρήση του προτύπου αυτού, οφείλεται η απόλυτη ευκρίνεια των μεταδιδόμενων εικόνων συνοδευόμενη από ήχο άριστης ποιότητας.

Οι εικόνες μπορούν να είναι ορατές στην τυποποίηση που έχει αναλογία ανάλυσης εικόνας ίση με 4x3 και στην τυποποίηση ευρείας οθόνης, η οποία έχει αντίστοιχη αναλογία ανάλυσης ίση με 16x9, ενώ ο ήχος μπορεί να είναι μονοφωνικός, πολυφωνικός ή στερεοφωνικός. Επιπροσθέτως, η καθιέρωση του προτύπου MPEG-2 σε παγκόσμιο επίπεδο συνέβαλε στη αβίαστη μετάδοση των σημάτων DVB ανάμεσα σε διαφορετικά μέσα, ανάγκη επιτακτική στο σημερινό περιβάλλον τηλεπικοινωνιών.

Χάρη στη χρήση των πακέτων μεταφοράς MPEG-2 ως γενικευμένων «μεταφορέων δεδομένων» (data containers), ένας MPEG-2 συρμός μεταφοράς (transport stream, TS) – και συνεπώς ένα σύστημα DVB - μπορεί να μεταφέρει σχεδόν οτιδήποτε ψηφιοποιείται, από τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV) και πολλαπλά κανάλια SDTV μέχρι υψηλής ταχύτητας υπηρεσίες πολυμέσων και δεδομένων.

Το σύστημα μετάδοσης του DVB-T ορίζεται ως η διαδικασία που προσαρμόζει το σήμα βασικής ζώνης που προέρχεται από την έξοδο του MPEG-2 πολυπλέκτη στα χαρακτηριστικά του επίγειου καναλιού. Πιο πρόσφατα καθιερώνεται και η χρήση της τεχνικής συμπίεσης H.264/MPEG-4 AVC, καθώς και νέες κωδικοποιήσεις ήχου. Το πρότυπο DVB-T προδιαγράφει μία συγκεκριμένη δομή πλαισίου (frame), κωδικοποίηση διαύλου για διόρθωση λαθών και διαμόρφωση του σήματος για την επίγεια τηλεοπτική ψηφιακή ευρυεκπομπή. Στα δεδομένα εφαρμόζονται οι παρακάτω διεργασίες :

- αναδιάταξη των bits του ψηφιακού ρεύματος και τυχαιοποίηση για διασπορά ενέργειας (transport multiplex adaption and randomization for energy dispersal)
- εξωτερική κωδικοποίηση (αλγόριθμος Reed – Solomon, outer coding)
- εξωτερική αναδιάταξη των bytes για προστασία από ριπές λανθασμένων bytes (convolutional interleaving)
- εσωτερική κωδικοποίηση (συνελικτική, inner coding)
- εσωτερική αναδιάταξη των bytes
- διαμόρφωση βασικής ζώνης
- διαμόρφωση OFDM και μετάδοση

Οι διαφορετικοί ρυθμοί κώδικα (code rates) που μπορούν να επιτευχθούν είναι 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 και 7/8. Ανάλογα με το μέγεθος του FFT/IFFT της OFDM διαμόρφωσης, δηλαδή των αριθμό των υποφερόντων, έχουμε δύο τρόπους (modes) μετάδοσης. Τον 2k-mode που αντιστοιχεί σε χρήση 1705 υποφερόντων και τον 8k-mode που αντιστοιχεί σε χρήση 6817 υποφερόντων. Η ψηφιακή διαμόρφωση κάθε υποκαναλιού της OFDM μπορεί να είναι QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

Η διάρκεια του διαστήματος φύλαξης εκφράζεται ως ποσοστό της ωφέλιμης διάρκειας συμβόλου και οι πιθανές τιμές είναι 1/4, 1/8, 1/16, 1/32.

Ανάλογα με τον mode μετάδοσης (8k ή 2k), το σχήμα ψηφιακής διαμόρφωσης, το ρυθμό κώδικα και τη διάρκεια του διαστήματος φύλαξης ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μεταβάλλεται. Το σύστημα λειτουργεί προσαρμοστικά ως προς τις εκάστοτε συνθήκες του καναλιού, λαμβάνοντας υπόψη επίπεδα παρεμβολών, διαλείψεων και θορύβου, ώστε στο δέκτη να υπάρχει η απαραίτητη τιμή σηματοθορυβικού λόγου για αποδιαμόρφωση.

Ως γενικός κανόνας ισχύει ότι ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας και η “ευρωστία” του σήματος είναι αντιστρόφως ανάλογα μεγέθη. Βελτίωση της επίδοσης στον ένα τομέα αποβαίνει αναγκαστικά σε βάρος του άλλου.

Σε δυσμενείς συνθήκες, οπότε και θα πρέπει να θωρακίσουμε το σήμα, δεν μπορούμε να έχουμε υψηλό ρυθμό μετάδοσης. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί είναι 31.67 Mbps.

Στο σύστημα DVB-T προβλέπεται επίσης η υποστήριξη ιεραρχικής διαμόρφωσης με την οποία δύο ανεξάρτητες ροές δεδομένων διαμορφώνονται από κοινού. Η μία καλείται ροή δεδομένων υψηλής προτεραιότητας (high priority, HP) και ενσωματώνεται στην άλλη, που καλείται χαμηλής προτεραιότητας (low priority, LP). Όταν οι συνθήκες λήψης του DVB-T είναι καλές, ο δέκτης μπορεί να αποδιαμορφώσει και να αποκωδικοποιήσει και τις δύο ροές. Σε δυσμενείς όμως συνθήκες λήψης, μόνο η HP λαμβάνεται επιτυχώς. Οι δύο ροές μπορεί να αντιστοιχούν σε διαφορετικές υπηρεσίες ή στην ίδια. Για παράδειγμα μπορεί ένας σταθμός να εκπέμπει HDTV στην LP και SDTV, με το ίδιο περιεχόμενο, στην HP, οπότε, όταν οι συνθήκες λήψης το επιτρέπουν, ο τηλεθεατής παρακολουθεί το πρόγραμμα σε HDTV, ενώ σε δυσμενείς συνθήκες λήψης, παρακολουθεί το ίδιο πρόγραμμα σε SDTV. Η LP έχει προφανώς υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης αλλά μεγαλύτερη ευαισθησία σε σφάλματα και παρεμβολές, ενώ η HP μεταδίδεται με χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης είναι όμως περισσότερο ανθεκτική.

Εκτός από τα δεδομένα, ένα πλαίσιο DVB-T περιλαμβάνει σύμβολα πιλότους που χρησιμοποιούνται για το συγχρονισμό και την εκτίμηση διαύλου και μπορεί να είναι συνεχόμενα ή διασπαρμένα, καθώς και πληροφορίες για τις παραμέτρους μετάδοσης (transmission parameter signaling, TPS).

Η εξέλιξη του DVB-T είναι η δεύτερη γενιά, το DVB-T2. Το DVB-T2 αποτελεί ένα παγκόσμιο πρότυπο που έχει ήδη υιοθετηθεί σχεδόν σε όλη την υφήλιο – 166 χώρες – εκτός απ’ την Κίνα όπου το αντίστοιχο πρότυπο επίγειας ψηφιακής τηλεοπτικής ευρυεκπομπής είναι το DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast), τη βόρεια Αμερική όπου εφαρμόζεται το ATSC (Advanced Television Systems Committee), και την Ιαπωνία και τη Λατινική Αμερική όπου εφαρμόζεται το ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial).

Η κωδικοποίηση διαύλου για διόρθωση λαθών πραγματοποιείται σε δύο στάδια όπως και στο DVB-T. Η εξωτερική κωδικοποίηση είναι BCH (Bose-Chaudhuri- Hocquengham) και η εσωτερική LDPC (Low Density Parity Check).

Ο συνδυασμός τους προσφέρει μεγαλύτερη προστασία απ' το συνδυασμό Reed-Solomon – συνελικτική κωδικοποίηση του DVB-T. Σε σχέση με το DVB-T οι διαφορές είναι:

- Περισσότεροι ρυθμοί κωδικοποίησης : 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
- Περισσότερες τιμές διαστημάτων φύλαξης : 1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32, 1/128
- Περισσότερα μεγέθη FFT, πλήθος υποφερόντων, modes : 1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
- Περισσότερα σχήματα ψηφιακής διαμόρφωσης κάθε υποκαναλιού της OFDM : QPSK, 16-QAM, 64-QAM και 256-QAM
- Το DVB-T καταλαμβάνει ολόκληρη την κλασσική μπάντα των 8 MHz (ή 6 ή 7) του αναλογικού τηλεοπτικού σήματος. Στο DVB-T2 υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί μπάντα 1,7 , 5, 6, 7, 8 ή 10 MHz

Έχουμε επιπροσθέτως κάποιες νέες τεχνικές που εισάγονται στο DVB-T2 :

- **Multiple Physical Layer Pipes**

Τεχνική που επιτρέπει ξεχωριστή προσαρμοστικότητα της ευρωστίας κάθε μεταδιδόμενης υπηρεσίας μέσα στο ίδιο κανάλι, ικανοποιώντας τις απαιτούμενες συνθήκες λήψης (για παράδειγμα εσωτερική κεραία ή όχι). Επιτρέπει επίσης στους δέκτες να εξοικονομήσουν ενέργεια αποκωδικοποιώντας μόνο μία συγκεκριμένη υπηρεσία που είναι επιθυμητή και όχι ολόκληρη την πολυπλεγμένη υπηρεσία.

- **Κωδικοποίηση Alamouti**

Διαφορική μέθοδος εκπομπής που βελτιώνει την κάλυψη σε μικρής κλίμακας μονοσυχνοτικά δίκτυα (single frequency networks, SFN)

- **Constellation Rotation**

Τεχνική που για χαμηλής τάξης σηματοστερισμούς παρέχει επιπρόσθετη ευρωστία στο σήμα

- **Extended interleaving**

Τεχνικής διεμπλοκής πολλαπλών επιπέδων – διεμπλοκή σε επίπεδο bit, σε επίπεδο OFDM συμβόλου, σε επίπεδο χρόνου, σε επίπεδο συχνότητας

- **Future Extension Frames**

Για μελλοντική εξέλιξη και συμβατότητα του DVB-T2

- **Τεχνικές μείωσης του λόγου PAPR**

Αποτέλεσμα αυτών των νέων δυνατοτήτων είναι μεγαλύτερη ευελιξία και ικανότητα προσαρμοστικότητας στις συνθήκες του καναλιού, σήμα πιο εύρωστο και ανθεκτικό στις διαλείψεις, το θόρυβο και τις παρεμβολές και δυνατότητα επίτευξης ακόμα μεγαλύτερων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων, μέχρι τα 50 Mbps. Ένα αναλογικό τηλεοπτικό πρόγραμμα μπορεί αντικατασταθεί με ταυτόχρονη μετάδοση πολλαπλών προγραμμάτων SDTV (ή HDTV), πολύ περισσότερα σε σχέση με το DVB-T.

Ανάλογα με τις συνθήκες διάδοσης επιλέγεται το σχήμα διαμόρφωσης, το μέγεθος του FFT, το ρυθμό κώδικα, το διάστημα φύλαξης και ρυθμίζεται η χωρητικότητα και η μετάδοση πολλαπλών SDTV ή HDTV προγραμμάτων. Για παράδειγμα με σχήμα διαμόρφωσης 256-QAM, μέγεθος FFT 32k, ρυθμό κώδικα 2/3, διάστημα φύλαξης 1/16, επιτυγχάνεται χωρητικότητα 37 Mbps και μετάδοση 20 SDTV ή 4 HDTV προγραμμάτων, χρησιμοποιώντας MPEG-4 πολυπλέκτη.

Αν χρησιμοποιηθεί το DVB-T2 στον 32k mode μετάδοσης σημαίνει ότι υπάρχουν περίπου 32.000 υποφέροντα OFDM. Αυτό μεταφράζεται σε μεγάλη – τη μεγαλύτερη δυνατή – διάρκεια συμβόλου OFDM. Το διάστημα φύλαξης ως γνωστόν μετριέται ως ποσοστό επί της διάρκειας συμβόλου OFDM. Αυτό σημαίνει ότι με μεγάλη διάρκεια συμβόλου θα υπάρχει και μεγάλο διάστημα φύλαξης που μεταφράζεται σε δυνατότητα κάλυψης μίας περιοχής από κέντρα εκπομπής ενός SFN με μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Θα ήταν αρκετό, σε αυτή την περίπτωση, να προτιμηθεί διάστημα φύλαξης 1/8 π.χ και όχι 1/4, εφόσον το διάστημα φύλαξης μειώνει τον ωφέλιμο ρυθμό μετάδοσης. Με DVB-T2 λοιπόν, με 32k mode και διάστημα φύλαξης 1/8, το διάστημα που δημιουργείται για αντιμετώπιση της διασυμβολικής παρεμβολής, είναι σίγουρα μεγαλύτερο απ' την περίπτωση χρήσης του DVB-T με διάστημα φύλαξης 1/4. Στον παρακάτω πίνακα 1.1 γίνεται μια σύγκριση μεταξύ DVB-T και DVB-T2 για διαφορετικούς παραμέτρους.

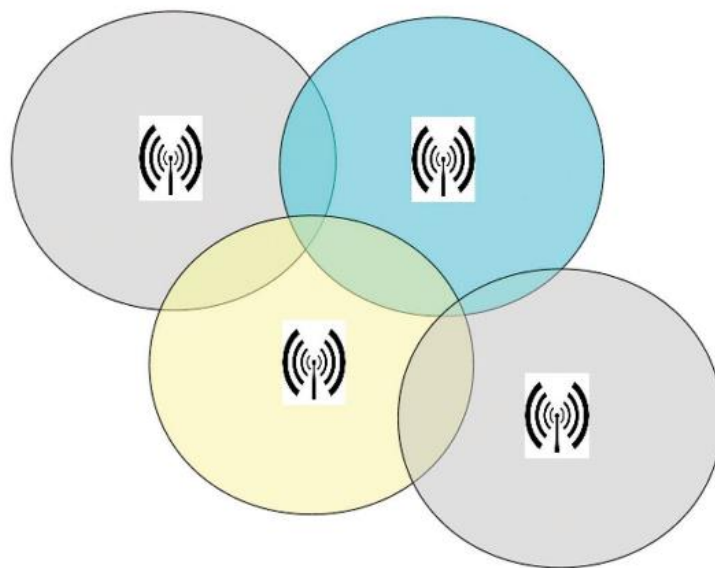
	DVB-T	DVB-T2 same E _{min}	DVB-T2 same data rate
Modulation	16-QAM	64-QAM	16-QAM
FFT Size	8K	16K	16K
Guard Interval	1/4	1/8	1/8
Code Rate	2/3	2/3	3/5
Carrier Mode	Normal	Extended	Extended
Capacity	13.3 Mbit/s	25.0 Mbit/s	15.0 Mbit/s
Number of Programs (MPEG4)	6 SD 1 HD	14 SD 2 HD	6 SD 1 HD
E _{min} (500 MHz; 1.5 m)	68.4 dBμV/m	68.6 dBμV/m ¹	62.4 dBμV/m ¹
	DVB-T	DVB-T2	
Modulation	64-QAM	256-QAM	
FFT Size	8K	32K	
Guard Interval	1/4	1/16	
Code Rate	2/3	2/3	
Carrier Mode	Normal	Extended	
Capacity	19.9 Mbit/s	37.0 Mbit/s	
Number of Programs (MPEG4)	9 SD 2 HD	20 SD 4 HD	
E _{min} (500 MHz; 10 m)	52.5 dBμV/m	51.8 dBμV/m ¹	
	DVB-T	DVB-T2	
Modulation	16-QAM	64-QAM	
FFT Size	8K	16K	
Guard Interval	1/4	1/8	
Code Rate	2/3	2/3	
Carrier Mode	Normal	Extended	
Capacity	13.3 Mbit/s	25.0 Mbit/s	
Number of Programs (MPEG4)	6 SD 1 HD	14 SD 2 HD	
E _{min} (500 MHz; 1.5 m)	56.4 dBμV/m	56.8 dBμV/m ¹	

Πιν .1.1. Σύγκριση DVB-T και DVB-T2 0 1

1.2 Δίκτυα SFN

Προκειμένου να καλύψουν την περιοχή ενδιαφέροντός τους, τα συμβατικά – αναλογικά – δίκτυα ευρυεκπομπής χρησιμοποιούν πολλούς πομπούς με διαφορετικές συχνότητες. Τα δίκτυα αυτά αναφέρονται ως δίκτυα πολλών συχνοτήτων (Multi Frequency Networks, MFN).

Για την εγκατάσταση ενός τέτοιου δικτύου και αφού γίνουν οι αρχικές μελέτες ραδιοκάλυψης, επιλέγονται οι κατάλληλες θέσεις για την εγκατάσταση των σταθμών εκπομπής, με στόχο να εξασφαλίζεται η όσο το δυνατό καλύτερη κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος. Στο πλαίσιο των δικτύων MFN λειτουργίας, γειτονικοί σταθμοί εκπέμπουν σε διαφορετικές συχνότητες, ώστε σε κοινές περιοχές κάλυψης να μην προκαλούνται παρεμβολές. (βλ. σχ1.1)

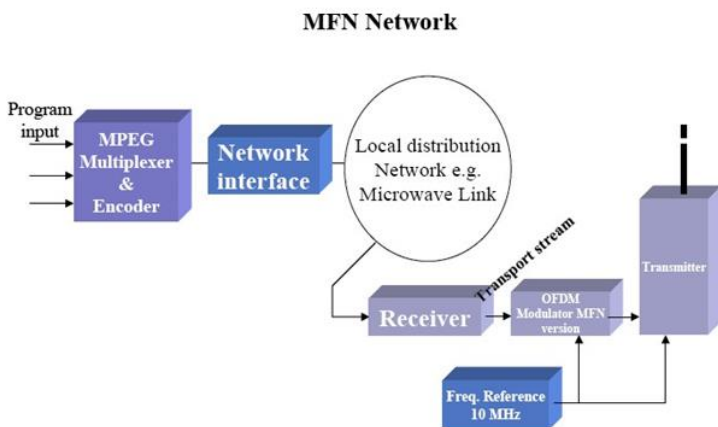


Σχ. 1.1 MFN networks

Απαιτείται, λοιπόν, μελέτη για την ορθή αξιοποίηση του ραδιοφάσματος, ώστε οι συχνότητες που χρησιμοποιεί ο σταθμός εκπομπής κάθε δικτύου να είναι εναρμονισμένες με τις συχνότητες των σταθμών εκπομπής των άλλων δικτύων που λειτουργούν στην ίδια γεωγραφική περιοχή, αλλά και με σταθμούς του ίδιου δικτύου που λειτουργούν σε τηλεπικοινωνιακά όμορους νομούς.

Αυτό καθιστά τη σχεδίαση και ανάπτυξη των MFN δικτύων μία πολύπλοκη διαδικασία, αφού προϋποθέτει από κοινού σχεδιασμό και διαχείριση συχνοτήτων για όλα τα δίκτυα που συνυπάρχουν σε μια περιοχή.

Επιπλέον, προκειμένου να επεκταθεί το δίκτυο ή να βελτιωθούν οι συνθήκες λήψης του ραδιοσήματος σε περιοχές όπου υπάρχουν έντονα φαινόμενα σκίασης, απαιτείται η εγκατάσταση πρόσθετων πομπών και επανασχεδιασμός απόδοσης συχνοτήτων. Στο παρακάτω σχήμα (σχ.1.2) φαίνεται η αρχιτεκτονική του δικτύου MFN.

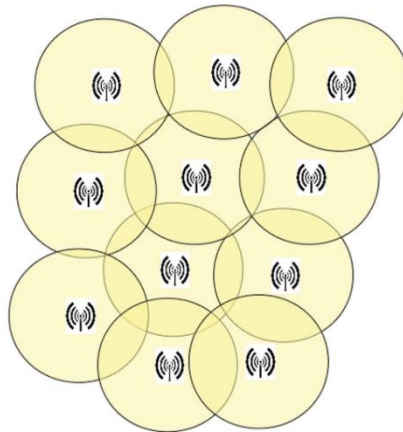


Σχ. 1.2 Αρχιτεκτονική του MFN

Επίσης, όσον αφορά τη λήψη σήματος από κινητά τερματικά ή δέκτες προκειμένου να λαμβάνουν το ίδιο πρόγραμμα από εναλλακτικούς πομπούς του ίδιου δικτύου που, όμως, εκπέμπουν σε διαφορετική συχνότητα, οι κινούμενοι δέκτες πρέπει να επανασυντονίζονται κάθε φορά σε διαφορετική συχνότητα.

Στη σύγχρονη ψηφιακή ευρυεκπομπή, τα προβλήματα του από κοινού σχεδιασμού και διαχείρισης συχνοτήτων για όλα τα δίκτυα που συνυπάρχουν σε μια περιοχή αντιμετωπίζονται με τη χρήση δικτύων απλής συχνότητας, μονοσυχνοτικών δικτύων (Single Frequency Networks, SFN).

Όλοι οι πομποί ενός τέτοιου δικτύου εκπέμπουν στην ίδια φέρουσα ραδιοσυχνότητα σε όλη την περιοχή κάλυψης.(βλ. Σχ.1.3)



Σχ.1.3 SFN networks

Κατ' αυτόν τον τρόπο, δεν υπάρχουν απαιτήσεις κοινού σχεδιασμού και εναρμόνισης συχνοτήτων, αφού εκχωρείται μόνο ένα κανάλι σε ένα δίκτυο για όλη την περιοχή κάλυψης, οπότε όλοι οι δέκτες εντός της περιοχής κάλυψης παραμένουν συντονισμένοι σε μία μόνο συχνότητα. Για την απρόσκοπτη λειτουργία των δικτύων αυτών επιβάλλονται συγκεκριμένες προδιαγραφές στο στρώμα δικτύου, που αντιμετωπίζονται με τη χρήση σύγχρονων τεχνικών.

Η COFDM ενσωματώνει διάστημα φύλαξης συμβόλου (Guard Interval, GI) ίσο με 1/4, 1/8, 1/16 ή 1/32 της διάρκειας του προς μετάδοση συμβόλου. Το διάστημα συμβόλου δίδεται από το άθροισμα T_u (ενεργό διάστημα) και G_I , ο λόγος ύπαρξης του οποίου είναι η αντιμετώπιση των επιδράσεων που προκύπτουν από τα σήματα που λαμβάνονται σε διάστημα λιγότερο του G_I .

Η ύπαρξη του G_I δίνει τη δυνατότητα στο δέκτη να συσχετίσει δύο ή περισσότερα όμοια σήματα που έχουν ληφθεί με κάποια χρονική καθυστέρηση, και να ενισχύσει το προς αποδιαμόρφωση σήμα. Επειδή το σήμα που εκπέμπουν όλοι οι πομποί είναι ακριβώς το ίδιο, το εξασθενημένο και καθυστερημένο σήμα που φτάνει στο δέκτη από τον πιο απομακρυσμένο πομπό, ο δέκτης το αντιλαμβάνεται σαν echo του πρώτου σήματος που έφτασε σε αυτόν μέσω πολυδιαδρομικής διάδοσης.

Ειδικότερα, το G_I προηγείται καθενός OFDM συμβόλου και όσες αντηχήσεις προηγούμενων συμβόλων φτάσουν στο δέκτη μέσα στα όριά του, δεν προκαλούν παρεμβολές, ενώ σε αντίθετη περίπτωση αυξάνουν το BER.

Αυτή η ιδιότητα διευκολύνει τη σχεδίαση δικτύων στα οποία όλοι οι πομποί λειτουργούν στην ίδια συχνότητα (Single Frequency Network, SFN).

Υπάρχουν τέσσερα είδη SFN δικτύων, τα οποία είναι:

- **Large area SFN**, με πολλούς πομπούς μεγάλης ισχύος, σε μεγάλη μεταξύ τους απόσταση.
- **Regional SFN**, με λίγους πομπούς μεγάλης ισχύος, σε μεγάλη απόσταση.

- **MFN, με τοπικά SFN** γύρω από κάθε πομπό δικτύου MFN.
- **SFN gap fillers**, με πομπούς μικρής ισχύος, για να καλύπτουν τα κενά των δικτύων MFN.

Όσον αφορά τη σχεδίαση SFN δικτύων, έχει αποδειχθεί ότι η απόσταση μεταξύ δύο προσκείμενων πομπών καθορίζει άμεσα τη διάρκεια του GI. Ειδικότερα, οι προσομοιώσεις έχουν δείξει ότι για *large area SFN*, είναι απαραίτητο ένα guard interval τουλάχιστον της τάξης των 200 μsec . Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τα ακριβή GIs που πρέπει να εφαρμοστούν αναλόγως του FFT (Fast Fourier Transform) που χρησιμοποιείται:

proportion to the length of the useful interval	Length of the guard interval	
	8k-mode	2k-mode
1/4	224 μs	56 μs
1/8	112 μs	28 μs
1/16	56 μs	14 μs
1/32	28 μs	7 μs

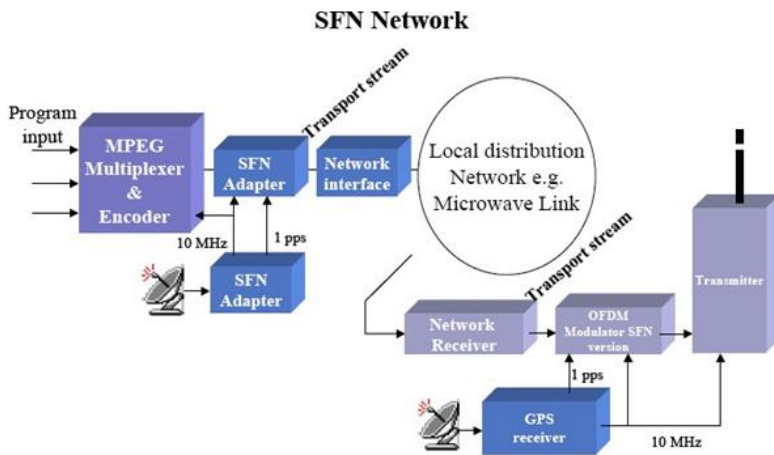
Πιν .1.2 guard interval και fft

Η προσέγγιση της χρήσης μονοσυχνοτικών δικτύων SFN έχει το σχεδιαστικό πλεονέκτημα ότι χρειάζεται τα λιγότερα σε πλήθος κανάλια συχνοτήτων από οποιαδήποτε άλλη προσέγγιση, χαρακτηριστικό που την καθιστά ιδιαίτερα ελκυστική για χώρες όπως η Ελλάδα που εμφανίζουν μεγάλο βαθμό πληρότητας του τηλεοπτικού φάσματος.

Τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας ενός δικτύου SFN είναι:

- Η αποδοτικότητα του φάσματος
- Η μικρότερη απόσταση αναχρησιμοποίησης συχνότητας
- Η δυνατότητα επέκτασης της περιοχής κάλυψης.

Με χρήση SFN δικτύων, ευρείες περιοχές μπορούν να εξυπηρετηθούν με χρήση ενός πολυπλέκτη σε κοινή φέρουσα συχνότητα. Η αρχιτεκτονική των δικτύων SFN φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. (σχ.1.4)



Σχ.1.4 Αρχιτεκτονική SFN

Τα οποιαδήποτε κενά κάλυψης που προκύπτουν στη περιοχή κάλυψης καλύπτονται εύκολα με την προσθήκη ενός πρόσθετου πομπού χωρίς την ανάγκη για νέα κανάλια. Η αποδοτικότητα φάσματος είναι ιδιαίτερα επιθυμητό χαρακτηριστικό όταν το φάσμα είναι περιορισμένο.

Τα SFN δίκτυα δεν είναι μόνο αποδοτικά ως προς τη συχνότητα αλλά και ως προς την αξιοποίηση της ισχύος εκπομπής. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό αν ληφθούν υπόψη οι έντονες διακυμάνσεις της ισχύος λήψης ενός οποιουδήποτε σταθμού.

Όπως συμβαίνει συνήθως, προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητική κάλυψη σε υψηλό γεωγραφικό ποσοστό, αυξάνεται σημαντικά η ισχύς εκπομπής. Στα SFN δίκτυα με ομοιοκατευθυντική λήψη δεν απαιτείται η αύξηση της ισχύος, καθώς στο σήμα λήψης συμβάλλουν επιμέρους σήματα που καταφθάνουν από διαφορετικούς πομπούς, οι διακυμάνσεις ισχύος των οποίων είναι ελάχιστα συσχετισμένες.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η εξασθένηση του σήματος από κάποιο πομπό να αντισταθμίζεται από το σήμα λήψης από άλλο πομπό. Έτσι τα SFN δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιούν πομπούς χαμηλής ισχύος εκπομπής. Η αποδοτικότητα ισχύος αυτή των SFN δικτύων καλείται κέρδος δικτύου (network gain) και είναι πολύ σημαντική, ιδιαίτερα στα όρια γεωγραφικής κάλυψης των πομπών.

Όλοι οι πομποί ενός δικτύου SFN θα πρέπει να εκπέμπουν το ίδιο σήμα, στην ίδια συχνότητα, την ίδια χρονική στιγμή, άρα θα πρέπει να είναι τέλεια συγχρονισμένοι.

Οι ραδιοσυχνότητες εκπομπής δεν πρέπει να αποκλίνουν από την ονομαστική τους τιμή περισσότερο από 1% του εύρους των OFDM υποκαναλιών, ενώ το μέγιστο χρονικό σφάλμα δε θα πρέπει να υπερβαίνει το 3-5% της διάρκειας του διαστήματος φύλαξης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πιθανή χρονική απόκλιση μεταξύ των πομπών υπερτίθεται στην καθυστέρηση διάδοσης και – ισοδύναμα – επιμηκύνεται η φαινομενική μέγιστη χρονική διασπορά καθυστέρησης διάδοσης.

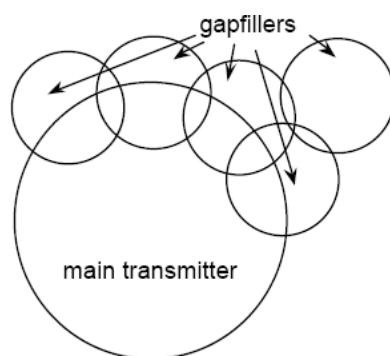
Έτσι, ουσιαστικά είναι σαν να μειώνεται το μήκος του διαστήματος φύλαξης, άρα και η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση μεταξύ των πομπών του SFN. Επομένως, το σφάλμα συγχρονισμού των πομπών, χρονικού και συχνοτικού, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό του δικτύου SFN. Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται, συνήθως, χρησιμοποιώντας ως αναφορά το δορυφορικό σύστημα πλοήγησης GPS (Global Positioning System), το οποίο παρέχει αρκετή ακρίβεια για το σκοπό αυτό. (σχ.1.4)

1.2.1 MFN με τοπικά πυκνά SFN

Σε ένα δίκτυο MFN, βασισμένο σε μια υπάρχουσα δομή πομπών, μία δομή συστήματος με λειτουργία δικτύου SFN μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα σημαντική, καθώς επιτρέπει την μελλοντική σταδιακή βελτίωση της κάλυψης, αλλά και την φορητή κάλυψη χωρίς να χρειάζεται νέα ανάθεση συχνοτήτων. Ένα πυκνό SFN δίκτυο δημιουργείται με την προσθήκη μερικών μεσαίας με υψηλής ισχύος πομπών δικτύων SFN γύρω από έναν κύριο πομπό. Γενικά γι' αυτού του είδους την εφαρμογή χρειάζεται λειτουργία 8k, εκτός αν η απόσταση διαχωρισμού των σταθμών είναι γύρω στα 15km, όπου λειτουργία 2k με 56 μs GI είναι δυνατή.

1.2.2 Gap-fillers

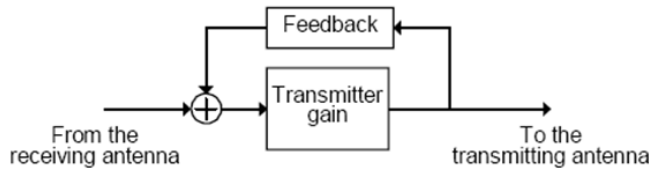
Σε περιοχές όπου υπάρχουν κενά στην κάλυψη, όπως σε κοιλάδες, σήραγγες ή μέσα σε σπίτια, η πολυδιαρομική διάδοση του DVB-T καθιστά δυνατό να γεμίσουν τα κενά αυτά με έναν πολύ αποδοτικό τρόπο. Είναι επίσης δυνατό να επεκταθεί η περιοχή κάλυψης με πομπούς που επανεκπέμπουν το σήμα που λαμβάνουν από αέρος από τον κύριο πομπό, χωρίς επιπλέον κόστος για πρωταρχική διανομή και διαμορφωτές. (σχ.1.5)



Σχ.1.5 gap fillers

Η αρχή λειτουργίας τους έχει ως εξής: έξω από την υποπεριοχή που δεν καλύπτεται, το DVB-T σήμα λαμβάνεται από μια κατευθυντική κεραία. Μετά από φιλτράρισμα και επανενίσχυση το σήμα επανεκπέμπεται στην ακάλυπτη περιοχή.

Η πιο σημαντική συνθήκη που πρέπει να ισχύει στην περίπτωση των gap- fillers, είναι η επαρκής απομόνωση μεταξύ των κεραιών(σχ.1.6). Για να αποφευχθεί η ταλάντωση του πομπού που επανεκπέμπει, πρέπει το κέρδος του να είναι μικρότερο από το feedback.



Σχ.1.5 Διάγραμμα λειτουργίας gap- fillers.

1.3 Ψηφιακό μέρισμα

Η ψηφιακή μετάβαση προσφέρει μία σημαντική ευκαιρία για την επανεξέταση της συνολικής χρήσης της ζώνης Υπερουψηλών Συχνοτήτων (Ultra High Frequency, UHF) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στα 470 – 862MHz. Η ζώνη UHF αποτελείται από 49 κανάλια, έκαστο των οποίων έχει 8 MHz εύρος ζώνης. Δηλαδή τα κανάλια αριθμούνται από το 21 έως το 69. Η συγκεκριμένη ζώνη έχει αποδοθεί στην Ευρώπη για την εκπομπή επίγειας αναλογικής τηλεόρασης.

Καθώς η ψηφιακή τεχνολογία επιτρέπει οι υπάρχουσες υπηρεσίες ευρυεκπομπής να εξυπηρετούνται αξιοποιώντας λιγότερο φάσμα, προσφέρεται η δυνατότητα χρήσης μέρους του UHF φάσματος για άλλες εφαρμογές.

Το εξοικονομούμενο φάσμα είναι ευρύτερα γνωστό ως Ψηφιακό Μέρισμα (Digital Dividend) και αποκαλείται έτσι λόγω των οφελών που αναμένεται να προσφέρει στην κοινωνία είτε υπό τη μορφή της άμεσης οικονομικής εκμετάλλευσης είτε υπό τη μορφή εμμέσων οφελών συνδεδεμένων με την παροχή νέων υπηρεσιών σε αυτό το φάσμα.

Η ύπαρξη Ψηφιακού Μέρισματος οφείλεται στη μείωση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που απαιτείται για την επίγεια τηλεοπτική ευρυεκπομπή όταν αυτή πραγματοποιείται με χρήση ψηφιακής τεχνολογίας. Η μείωση αυτή οφείλεται στη δυνατότητα της ψηφιακής τεχνολογίας να εξυπηρετεί αισθητά μεγαλύτερο πλήθος τηλεοπτικών προγραμμάτων σε δεδομένο εύρος ζώνης σε σύγκριση με την αναλογική τεχνολογία.

Σε αντίθεση με την αναλογική τεχνολογία, που απαιτεί εύρος ζώνης 8MHz για τη μετάδοση ενός τηλεοπτικού προγράμματος, περισσότερα τηλεοπτικά προγράμματα μπορούν να μεταδοθούν στο ίδιο εύρος αξιοποιώντας τη δυνατότητα πολύπλεξης που προσφέρει η ψηφιακή μετάδοση.

Ενας πολυπλέκτης επίγειας τηλεόρασης με σύστημα DVB-T2 μπορεί να περιλαμβάνει πολλαπλά προγράμματα υψηλής ευκρίνειας (high definition, HD) και ακόμα περισσότερα προγράμματα κανονικής ευκρίνειας (standard definition, SD) που μπορούν να μεταδοθούν ταυτόχρονα στη θέση του ενός πάλαι ποτέ αναλογικού τηλεοπτικού προγράμματος.

Ως εκ τούτου, χρησιμοποιώντας την ψηφιακή τεχνολογία για κάθε πομπό είναι απαραίτητο μικρότερο εύρος ζώνης για τη μετάδοση συγκεκριμένου πλήθους τηλεοπτικών καναλιών σε σύγκριση με τη χρήση αναλογικής τεχνολογίας.

Κατά τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον για χρήση του Ψηφιακού Μερίσματος προς υποστήριξη διαφόρων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών έχει αυξηθεί σημαντικά.

Η Ε.Ε. καταβάλλει ιδιαίτερη προσπάθεια για την εναρμόνιση των πολιτικών που υιοθετούν οι διάφορες ευρωπαϊκές χώρες ως προς το Ψηφιακό Μέρισμα με στόχο να αναπτυχθεί μία πανευρωπαϊκή αγορά που θα επιτρέψει την ελαχιστοποίηση του κόστους για την παροχή των σχετικών υπηρεσιών. Η πρόταση της Ε.Ε. για την εναρμόνιση της πολιτικής μεταξύ των κρατών-μελών αφορά την εκκαθάριση του τμήματος του φάσματος 790–862MHz και την απόδοσή του για τις ανάγκες του Ψηφιακού Μερίσματος.

Πράγματι, η ζώνη 790–862MHz (κανάλια 61-69) έχει εκκαθαριστεί και έχει αποδοθεί στις εταιρίες κινητών επικοινωνιών.

Αυτή είναι η πρώτη φάση του Ψηφιακού Μερίσματος και της απελευθέρωσης και ανακατανομής του τηλεοπτικού φάσματος. Με τη δεύτερη φάση του ψηφιακού μερίσματος θα έχουμε επιπλέον απελευθέρωση φάσματος και συγκεκριμένα της ζώνης 694-790 MHz (κανάλια 49-60), καθώς και πιθανή ανακατανομή (allocation) των υπολοίπων καναλιών της ζώνης UHF.

1.4 Περιοχές κάλυψης

Η Ελλάδα χωρίζεται σε 34 allotments, περιοχές κάλυψης. Σε κάθε allotment καταχωρείται ένα σύνολο δεσμευμένων καναλιών. Τα κανάλια αυτά είναι προφανώς από τη ζώνη των υπερυψηλών συχνοτήτων (Ultra High Frequency, UHF) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στα 470 – 862MHz (κανάλια 21-69), αλλά και από τη ζώνη των πολύ υψηλών συχνοτήτων (Very High Frequency, VHF - 174-230MHz, κανάλια 7-13). Σε κάθε κανάλι αντιστοιχεί ένα assignment. Το assignment καθορίζει επίσης τεχνικά χαρακτηριστικά όπως ισχύ εκπομπής, όλο το κεραιόσυστημα, ύψος ιστού κλπ. Με την ολοκλήρωση της πρώτης φάσης του ψηφιακού μερίσματος έχουμε όπως είπαμε απελευθέρωση των καναλιών 61-69 και απόδοσή τους στις εταιρίες κινητών επικοινωνιών.

Με τη δεύτερη φάση του ψηφιακού μερίσματος θα υπάρχει επιπλέον απελευθέρωση φάσματος και συγκεκριμένα της ζώνης 694-790 MHz (κανάλια 49-60), καθώς και πιθανή ανακατανομή (allocation) των υπολοίπων καναλιών της ζώνης UHF. Στον πιν.1.2 φαίνονται τα 34 allotments με τις τοποθεσίες των κέντρων εκπομπών για τον κάθε νομό καθώς και τους αντίστοιχους διαύλους .

Σε κάθε allotment έχουμε ένα μονοσυχνοτικό δίκτυο SFN, εκτός απ' το allotment "Κυκλάδες" όπου έχουμε δύο δίκτυα SFN.

Το δίκτυο SFN δημιουργείται από ένα σύνολο κέντρων εκπομπής. Στο δίκτυο SFN όπως γνωρίζουμε εκπέμπεται κοινό σήμα. Άρα τα κέντρα εκπομπής που συνιστούν το SFN δίκτυο εκπέμπουν κοινό σήμα. Σε κάθε allotment έχουμε όπως είπαμε απόδοση ενός συνόλου καναλιών. Άρα τα κέντρα εκπομπής ουσιαστικά εκπέμπουν ταυτόχρονα ένα σύνολο από συχνοτήτες, κοινό για κάθε δίκτυο SFN, για κάθε allotment.

Δηλαδή ουσιαστικά τα κέντρα εκπομπής του allotment εκπέμπουν ταυτόχρονα τις κεντρικές συχνότητες των αντίστοιχων δεσμευμένων καναλιών που του έχουν αποδοθεί.

Ως προς την επιλογή των κέντρων εκπομπής έχουμε και σε σχέση με την προηγούμενη πραγματικότητα της αναλογικής τηλεόρασης :

•Θέσεις του αναλογικού πλάνου

•Θέσεις εκπομπής που εξυπηρετούν σημαντική έκταση ή πληθυσμό

•Θέσεις εκπομπής που λόγω χαρακτηριστικών (υψόμετρο, ισχύς) αλληλεπιδρούν με γειτονικές

•Θέσεις εκπομπής που χρησιμοποιούνται από σημαντικό αριθμό τηλεοπτικών δικτύων σήμερα

•Εξυπηρέτηση περιοχών ειδικού ενδιαφέροντος (σύνορα, τουριστικές περιοχές)

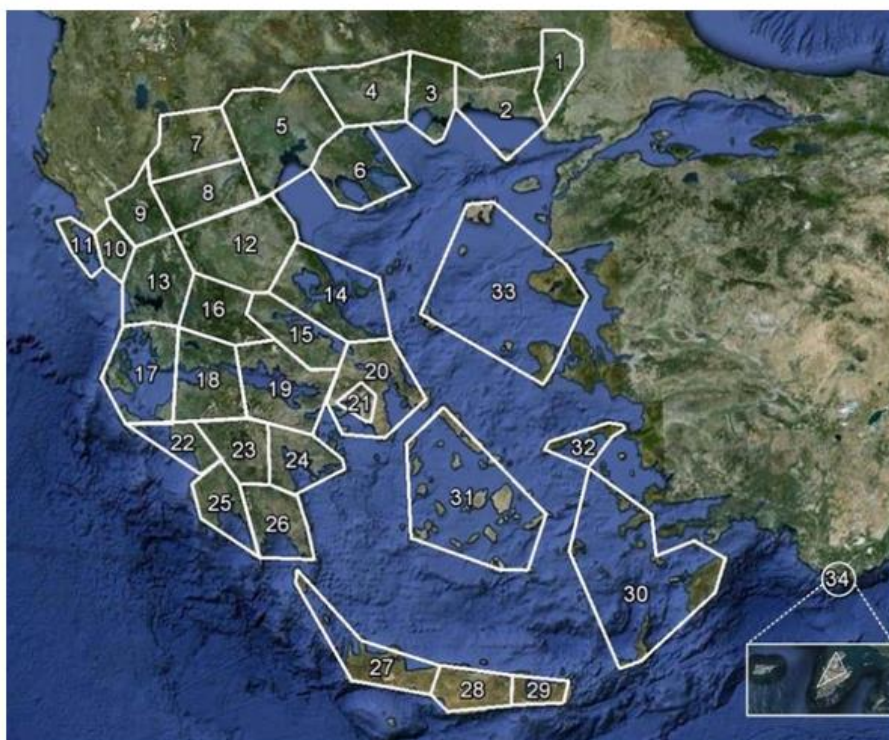
•Θέσεις εκπομπής που έχει κατοχυρώσει η χώρα στην ITU στο παρελθόν

•Απορρίπτονται θέσεις εκπομπής που η λειτουργία τους δημιουργεί προβλήματα παρεμβολών δυσανάλογα με τα οφέλη τους

Η Συνθήκη της Γενεύης ορίζει τα ελάχιστα όρια σηματοθορυβικού λόγου (C/N) και ελάχιστης μέσης έντασης ηλεκτρομαγνητικού πεδίου (E_{min}) που είναι αναγκαία για την επαρκή κάλυψη ενός σημείου με σήμα ψηφιακής τηλεόρασης.

Η διαμόρφωση ως γνωστόν επιλέγεται με βάση τον επιθυμητό ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας. Για την εκπομπή τεσσάρων τηλεοπτικών προγραμμάτων SDTV (DVB-T) είναι απαραίτητο να επιτυγχάνεται ρυθμός μετάδοσης τουλάχιστον 16Mbit/s.

Ο πιν.1.3 περιέχεται στη συνθήκη GE06 και περιλαμβάνει τους ρυθμούς μετάδοσης για κάθε διάστημα φύλαξης και διαμόρφωση. Σε αυτόν έχουν χρωματιστεί τα κελιά με ρυθμό μετάδοσης μεγαλύτερο από 16Mbit/s και οι διαμορφώσεις που ικανοποιούν αυτήν την απαίτηση είναι οι 16-QAM με ρυθμό κώδικα από 2/3 έως και 7/8 και 64-QAM με ρυθμό κώδικα από 1/2 έως και 7/8.



Σχ. 1.6 : Τα 34 allotments της Ελλάδας

Ιδιωτικοί τηλεοπτικοί σταθμοί εθνικής εμβέλειας
Δημόσιοι τηλεοπτικοί σταθμοί εθνικής εμβέλειας
Ιδιωτικοί τηλεοπτικοί σταθμοί περιφερειακής εμβέλειας

allotment		Κέντρα εκπομπής	Δίαυλοι							
1	Έβρος	Πύθιο Κήποι Πεντάλοφος Διδυμότειχο Σουφλί	25	32	35	46	47	50	51	54
2	Πλάκα	Πλάκα	24	27	30	31	33	36	43	48

3	Θάσος	Θάσος Βασιλάκι Ξάνθη	22 23 37 39 41 44 47 51
4	Παγγαίο	Σέρρες	26 28 32 35 40 45 52 53
4		Κορύλοβος Λιθότοπος Νευροκόπι	
5	Θεσσαλονίκη	Χορτιάτης Φιλίππειο Αριδαία Μουριές	24 27 30 36 43 48 55 56
6	Χαλκιδική	Πολύγυρος	25 31 34 38 46 49 50 54
7	Φλώρινα	Κέλλη Κλεισούρα Άγιος Αθανάσιος Πύλη	23 26 32 35 40 44 47 52
8	Μεταξάς	Μεταξάς Υδατόπυργος Τσοτύλι Βουνάσα	25 28 29 33 39 41 50 54
9	Ιωάννινα	Λιγγιάδες Βασιλικό Πολύγυρος Δελβινάκι Κατάρρα Ασπράγγελοι Γρανιτσοπούλα Φαρμακοβούνι	24 25 30 31 34 49 52 54
10	Θεσπρωτία	Ηγουμενίτσα Ψάκα	21 22 26 33 41 45 48 59
11	Κέρκυρα	Παντοκράτορας Παλαιοκαστρίτσα Ρόδα	29 30 34 37 42 53 54 56
12	Λάρισα	Δοβρούτσι Ελασσόνα Καλαμπάκα	22 35 38 40 42 45 52
13	Ακαρνανικά	Ακαρνανικά Καναλάκι Κορφοβούνι Λάκκα Σούλι Αμφιλοχία	23 27 28 32 39 43 46 51

14	Βόλος	Πήλιο Σωρός Σκιάθος Σκόπελος Σκύρος	21 26 29 37 41 44 47
15	Λαμία	Χλωμό Λιχάδα Δαμάστα Αταλάντη	25 33 35 39 42 46 53
16	Καρπενήσι	Κρίκελο Φραγκίστα Δομνίστα Ποταμιά	24 26 29 30 36 37 47
17	Αίνος	Αίνος Ιθάκη Φυτείες	21 22 33 36 45 57 59 60
18	Πάτρα	Αρόη Καλάβρυτα	24 25 31 34 35 42 44 53
19	Κόρινθος	Ξυλόκαστρο Κατσικάς Όσιος Πατάπιος Λιδωρίκι	26 29 41 43 47 48 51 56
20	Αττική [SFN-1]	Υμηττός Αίγινα Οχθωνιά Πράσινο Χαλκίδα Αυλώνας Βάρη	21 22 27 28 30 40 45 52 54
21	Αττική [SFN-2]	Πάρνηθα Στύρα Λαύριο Ανάβυσσος Σούνιο Νέα Μάκρη	23 24 31 32 34 36 38 49 50
22	Πύργος	Φραγκαπήδημα Σμέρνα	26 30 38 40 47 49 52 56
23	Τρίπολη	Δολιανά Ασέα Λεβίδι	21 23 24 28 42 45 50 60
24	Ναύπλιο	Δίδυμα Ναύπλιο Δαρδίτσα	33 35 39 44 53 55 58 59

--	--	--	--

25	Καλαμάτα	Πεταλίδι Αετός	29	31	32	37	43	44	48	51
26	Σπάρτη	Ρειχέα Αναβρυτή Κύθηρα	22	25	27	30	36	40	52	57
27	Δυτική Κρήτη	Μαλάξα Πλακάλωνα Βίγλα Κοτσουφιανά	21	31	34	38	46	49	54	
28	Κεντρική Κρήτη	Αχενδριάς Ρογδιά Πόμπια Αμάρι Λιβαδιά	24	25	37	39	41	44	55	
29	Ανατολική Κρήτη	Φανερωμένη Λιθίνες Περιστεράς Σητεία Σταυρός-Νεαπόλεως	27	28	31	35	36	38	40	
30	Δωδεκάνησα	Άξονας Μόντε Σμιθ Γέρακας Κέφαλος Σύμπετρο Άγιοι Πάντες Αρχάγγελος Αστυπάλαια Βαθύ [Κάλυμνος] Βίγλα [Κάλυμνος] Βίγλα [Ρόδος] Βίγλα [Σύμη] Καλυθιές Κλειδί Προφήτης Ηλίας [Πάτμος] Φούρκες Φαληράκι [Ρόδος] Κάρπαθος Νίσυρος	21	24	26	32	37	39	41	
31	Κυκλάδες [Βόρειο SFN-1]	Σύρος Άνδρος	26	29	37	41	43	46	48	

		Εξώμβουργο Άνω Μερά Φοίνικας	
	Κυκλάδες [Νότιο SFN-2]	Αμοργός Πάρος Αρτεμώνας Φιλότει Βαθύ [Σίφνος] Θήρα Ίος Καμάρες Μήλος	25 33 39 42 47 51 53
32	Σάμος	Παγώνδας Ικαρία Σάμος [Βαθύ] Καρλόβασι Φούρνοι	27 31 34 35 36 38 44
33	Λέσβος	Όλυμπος Μυτιλήνη Θυμιανά [Χίος] Θολοποτάμι Λήμνος Μεστά Μόλυβος Μύρινα	21 25 33 39 42 46 53
34	Καστελόριζο	Καστελόριζο	25 27 33 35 41 49 51

πιν. 1.3 : Τα 34 allotments με τα αντίστοιχα κανάλια που τους έχουν αποδοθεί.

			Net bit rate (Mbit/s) For different guard intervals (GI)			
System variant	Modulation	Code rate	GI = 1/4	GI = 1/8	GI = 1/16	GI = 1/32
A1	QPSK	1/2	4.98	5.53	5.85	6.03
A2	QPSK	2/3	6.64	7.37	7.81	8.04
A3	QPSK	3/4	7.46	8.29	8.78	9.05
A5	QPSK	5/6	8.29	9.22	9.76	10.05
A7	QPSK	7/8	8.71	9.68	10.25	10.56
B1	16-QAM	1/2	9.95	11.06	11.71	12.06
B2	16-QAM	2/3	13.27	14.75	15.61	16.09
B3	16-QAM	3/4	14.93	16.59	17.56	18.10
B5	16-QAM	5/6	16.59	18.43	19.52	20.11
B7	16-QAM	7/8	17.42	19.35	20.49	21.11
C1	64-QAM	1/2	14.93	16.59	17.56	18.10
C2	64-QAM	2/3	19.91	22.12	23.42	24.13
C3	64-QAM	3/4	22.39	24.88	26.35	27.14
C5	64-QAM	5/6	24.88	27.65	29.27	30.16
C7	64-QAM	7/8	26.13	29.03	30.74	31.67

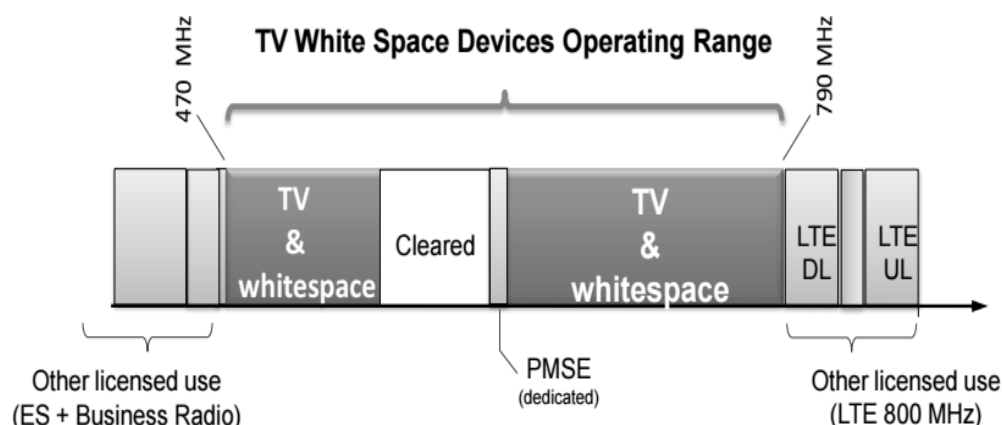
Πιν. 1.4 : Πίνακας από τη συνθήκη GE06 – τουλάχιστον 16Mbit/s απαιτούνται για εκπομπή 4 SDTV προγραμμάτων με το DVB-T

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: TV WHITE SPACES

2.1 Εισαγωγή

Με την ψηφιακή μετάβαση εξοικονομείται φάσμα ευρύτερα γνωστό ως Ψηφιακό Μέρισμα (Digital Dividend). Το ψηφιακό μέρισμα 1 αφορά στην εκκαθάριση της ζώνης 790–862MHz (κανάλια 61-69) και απόδοσή της στις εταιρίες κινητών επικοινωνιών. Με το ψηφιακό μέρισμα 2 θα έχουμε επιπλέον απελευθέρωση φάσματος και συγκεκριμένα της ζώνης 694-790 MHz (κανάλια 49-60), καθώς και πιθανή ανακατανομή (allocation) των υπολοίπων καναλιών της ζώνης UHF.

Επιπροσθέτως, με την ψηφιακή μετάβαση ανακύπτουν, διασπαρμένα στη ζώνη UHF, κάποια φασματικά κενά. Αυτά τα τηλεοπτικά κενά διαστήματα είναι γνωστά ως TV White Spaces (TVWS). Αποτελούν τμήματα της τηλεοπτικής ζώνης που δεν χρησιμοποιούνται από αδειοδοτημένες υπηρεσίες. Οι αδειοδοτημένες αυτές υπηρεσίες μπορεί να αναφέρονται είτε σε τηλεοπτικούς σταθμούς είτε άλλες αδειοδοτημένες υπηρεσίες όπως είναι τα ασύρματα μικρόφωνα (Programme Making and Special Events, PMSE).

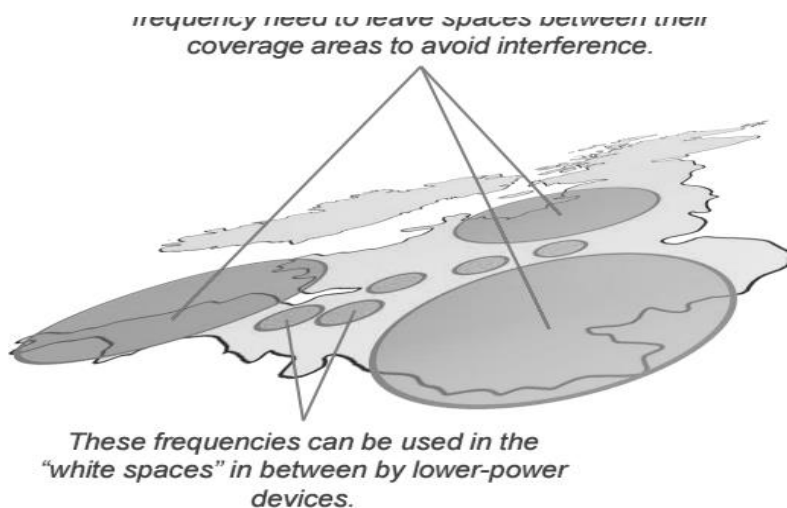


Σχ. 2.1 : TVWS διασπαρμένα στη ζώνη των UHF

Υπάρχουν πολλά τηλεοπτικά κανάλια στις ζώνες των πολύ υψηλών συχνοτήτων VHF και των υπερυψηλών συχνοτήτων UHF, η χρησιμοποίηση των οποίων σε ορισμένες γεωγραφικές περιοχές δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή.

Υπάρχουν γεωγραφικές περιοχές που μένουν κενές από τη ραδιοκάλυψη των τηλεοπτικών πομπών, για αντιμετώπιση ζητημάτων παρεμβολών.

Ένας μη αδειοδοτημένος χρήστης (μία White Space Device (WSD) μπορεί να ανιχνεύσει το κενό και να εκπέμψει, αυξάνοντας έτσι τη συνολική φασματική απόδοση, με την προϋπόθεση της προστασίας της δειοδοτημένης τηλεοπτικής υπηρεσίας εκπέμπει σε χαμηλή ισχύ.



Σχ. 2.2 : Κάλυψη γεωγραφικών κενών από WSDs

Ρυθμιστικοί οργανισμοί, όπως η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (Federal Communication Commission, FCC) στις ΗΠΑ, αναπτύσσουν κανονισμούς για να επιτρέψουν σε ασύρματα δίκτυα να αποκτήσουν πρόσβαση στις αχρησιμοποίητες φασματικές ζώνες ενώ, παράλληλα, διασφαλίζουν ότι τα ασύρματα αυτά δίκτυα δεν θα προκαλούν επιβλαβείς παρεμβολές στις αδειοδοτημένες υπηρεσίες.

Καθώς το φάσμα των TVWS, τόσο στην VHF όσο και στην UHF, βρίσκεται χαμηλότερα του 1GHz, αναμένεται να προσφέρει πολύ καλή διάδοση ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency, RF) σε σχέση με τα ασύρματα συστήματα που έχουν ήδη αναπτυχθεί στις ζώνες Βιομηχανικών, Επιστημονικών και Ιατρικών (Industrial Scientific and Medical, ISM) εφαρμογών (13.553 έως 13.567 MHz, 26.957 έως 27.283 MHz, 40.660 έως 40.700 MHz, 2.400 έως 2.500 GHz, 5.725 έως 5.875 GHz και 24 έως 24.250 GHz).

Αυτό θα επιτρέψει την περισσότερο αξιόπιστη, μικρότερου κόστους και μεγαλύτερης κάλυψης παροχή υπηρεσιών σε αγροτικές περιοχές όπως η έξυπνη μετακίνηση, διαχείριση εκτάκτων αναγκών και δημόσιας ασφάλειας.

Η ανάγκη για πρόσθετο φάσμα προς παροχή ασύρματων υπηρεσιών αυξάνεται συνεχώς. Η χρήση έξυπνων τηλεφώνων (smartphones) έχει εκτιναχθεί και καταδεικνύει ότι η κάλυψη της ζήτησης για ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες αποτελεί σημαντική πρόκληση. Ένα από τα βασικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπισθούν αποτελεί προφανώς η σπανιότητα του φάσματος προς κάλυψη των υπηρεσιών αυτών. Προς αυτή την κατεύθυνση, τα TVWS που ανακλύπτουν απ' την ψηφιακή μετάβαση είναι μία μεγάλη πρόκληση.

Οι γνωστικές ραδιοεπικοινωνίες (Cognitive Radio, CR) αποτελούν μία πολλά υποσχόμενη νέα τεχνολογία για την αξιοποίηση του διαθέσιμου ραδιοφάσματος των TVWS.

Δεδομένου ότι η απελευθέρωση φάσματος από υπάρχουσες υπηρεσίες καθίσταται όλο και δυσκολότερος στόχος για τις ρυθμιστικές αρχές, είναι πολύ πιθανό ότι κάθε είδους γνωστικές τεχνολογίες θα χρησιμοποιηθούν εκτενώς στο μέλλον για να επιτρέψουν την αποδοτική χρήση του ραδιοφάσματος από νέα ασύρματα και υπάρχοντα συστήματα ευρυεκπομπής. Τα TVWS αποτελούν ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αντικειμένου της πιθανής ρυθμιστικής πολιτικής και δομής του μέλλοντος. Πρότυπα που αφορούν ακριβώς στη χρήση CR τεχνολογίας για αξιοποίηση των TVWS είναι το IEEE 802.22 (WRAN) και το IEEE 802.11af (WLAN).

2.2 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 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(συσσκευή 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:

- **Program 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.

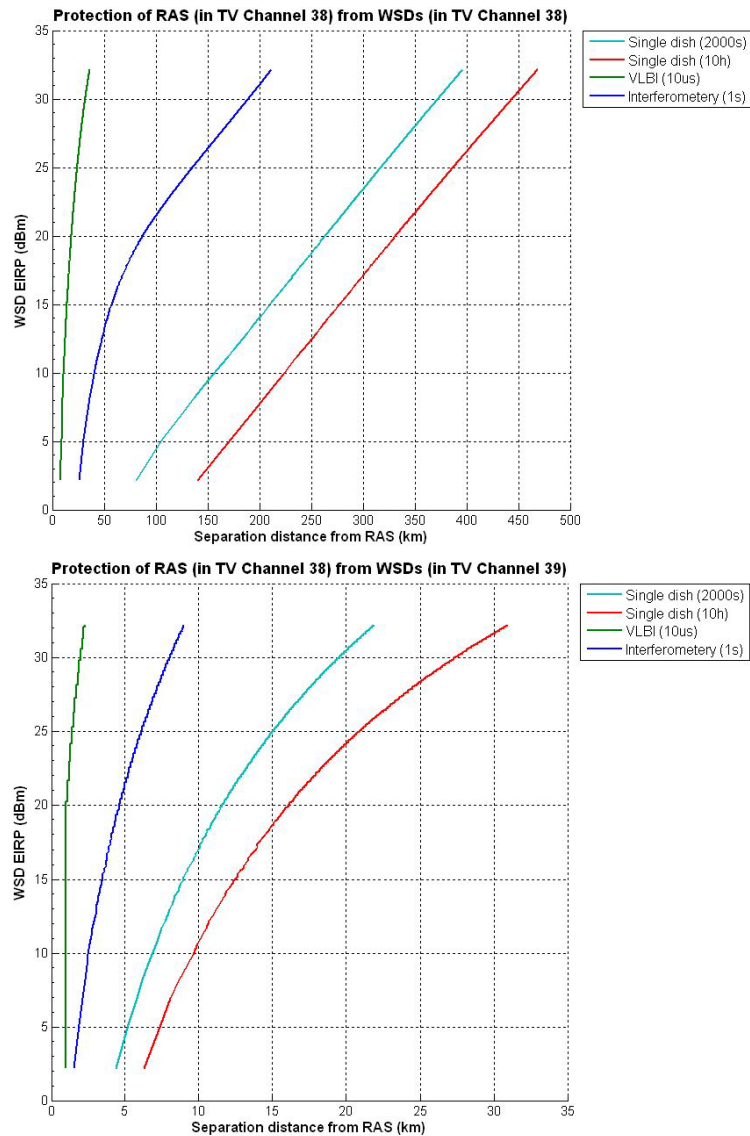
- **Αεροναυτικής ραδιοπλοήγησης στις συχνότητες 645–790 MHz.**

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 . Τα χαρακτηριστικά αυτά καθιστούν τις ζεύξεις αεροναυτικής ραδιοπλοήγησης εύκολα ανιχνεύσιμες από τις συνήθεις μεθόδους αποφυγής παρεμβολών.

- **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.2.3 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 μετρείται η ισχύς εκπομπής των συσκευών WS ενώ στον οριζόντιο η απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των συσκευών WS και των σταθμών ραδιοαστρονομίας. Από το αυτό το σχήμα φαίνεται πως ύπαρξη σταθμών ραδιοαστρονομίας αποκλείει τη χρήση του καναλιού 38 από συσκευές WS ακόμα και αν αυτές βρίσκονται σε πολύ μεγάλη απόσταση.



Σχ. 2.3: Προστασία σταθμών ραδιοαστρονομίας από συσκευές WS στα κανάλια 38 και 39.

2.3 Μέθοδοι αποφυγής παρεμβολών

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

- 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.

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

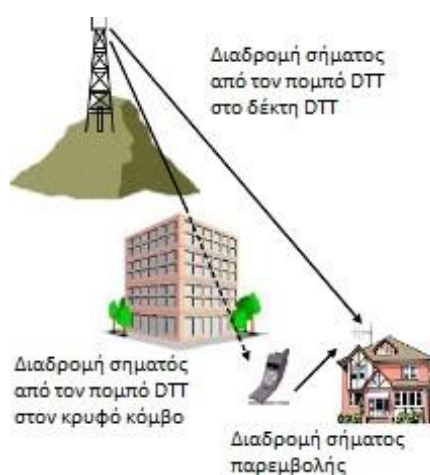
Η πρώτη μέθοδος έχει γίνει αποδεκτή από την FCC , ενώ η δεύτερη προτείνεται από τη CEPT.

2.3.1 Spectrum Sensing

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:

- Το κατώφλιο ανίχνευσης.
- Τη συχνότητα νέας ανίχνευσης καναλιών που είχαν θεωρηθεί διαθέσιμα.
- 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 αλλά 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.2.4.



Σχ. 2.4: Παράδειγμα κρυφού κόμβου.

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.

2.3.2 Χρήση Βάσης δεδομένων

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο αποφυγής παρεμβολών, οι συσκευές WS προσδιορίζουν τη γεωγραφική θέση τους και συμβουλευονται 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. Κστόσο, 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 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 γνωρίζει τα εξής :

- 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.
- Ένα κριτήριο για να προσδιορίζεται η μέγιστη παρεμβολή σε δέκτη επίγειας ψηφιακής που θεωρείται ανεκτή.
- Συγκεκριμένες τοπολογίες αναφοράς παρεμβολέα-παρεμβαλλόμενου για τις οποίες τα όρια.
- EIRP δίνουν την καθορισμένη ανεκτή παρεμβολή.
- Κατάλληλες τιμές λόγου προστασίας συσκευής WS σε DTT ως συνάρτηση της φασματικής απόστασης των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται από κάθε υπηρεσία.
- 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 αρκούτως μικρή. Αντίστοιχα δεδομένα απαιτούνται και για προστασία των υπόλοιπων υπηρεσιών σε αυτό το φάσμα.

2.3.2 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 :

- Beacon ενεργοποίησης. Αν ανιχνευθεί αυτό το σήμα, το κανάλι θεωρείται διαθέσιμο.
- Beacon απενεργοποίησης. Αν ανιχνευθεί αυτό το σήμα, το κανάλι θεωρείται κατειλημμένο.
- 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.

2.4 Πρωτόκολλα

Η ιδέα για την αξιοποίηση των WS προκειμένου να γίνει αποδοτικότερη η αξιοποίηση του φάσματος υπάρχει πολλά χρόνια. 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.

2.4.1 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 αραιοκα- τοικημένων 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. Για την προστασία των πρωτεύουσών 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 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. Τα βασικά χαρακτηριστικά του IEEE 802.22 παρουσιάζονται στον Πιν.2.1. Οι ωφέλιμοι ρυθμοί μετάδοσης πληροφορίας παρέχονται για κανάλια εύρους 6MHz και αυξάνονται αναλογικά για κανάλια εύρους 7 και 8MHz.

Παράμετρος	Χαρακτηριστικά	Σημειώσεις
Εύρος ζώνης καναλιού	6, 7, ή 8MHz	Εξαρτάται από την ρυθμιστική αρχή. Στην Ελλάδα, 8MHz.
Κφελίμος ρυθμός μετάδοσης	4.54 έως 22.69Mbps	Για κανάλι 6MHz
Φασματική απόδοση	0.76-3.78Mbps	
Αιαμόρφωση	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	

Πιν. 2.1: 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 τρεις προαιρετικές μεθόδους κωδικοποίησης οι οποίες επιτυγχάνουν καλύτερη απόδοση με κόστος αυξημένη πολυπλοκότητα υλοποίησης και αυξημένο χρόνο αποκωδικοποίησης.

Στον Πιν.2. 2 δίνονται οι ωφέλιμοι ρυθμοί μετάδοσης για κάθε προφίλ μετάδοσης (mode) που υποστηρίζει το πρότυπο. 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:

$$R_i = \frac{8}{7}(1 + cp)MBR_c \frac{S_D}{S_T} \quad (2.1)$$

όπου $8/7$ ο παράγοντας διαπλάτυνσης από την OFDM κωδικοποίηση, c_p 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.

PHY mode	Διαμόρφωση	Ρυθμός κώδικα	Bitrate (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

Πιν 2.2: Ρυθμοί μετάδοσης 802.22-2011 για $c_p=1/16$

Έτσι, ενδεικτικά, για το προφίλ 10 είναι:

$$R_{10} = \frac{817}{716} 4 \times 6 \times 10^6 \times 2/3 \frac{1440}{2048} = 12.10 \text{ Mbps}$$

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

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

2.4.2 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.

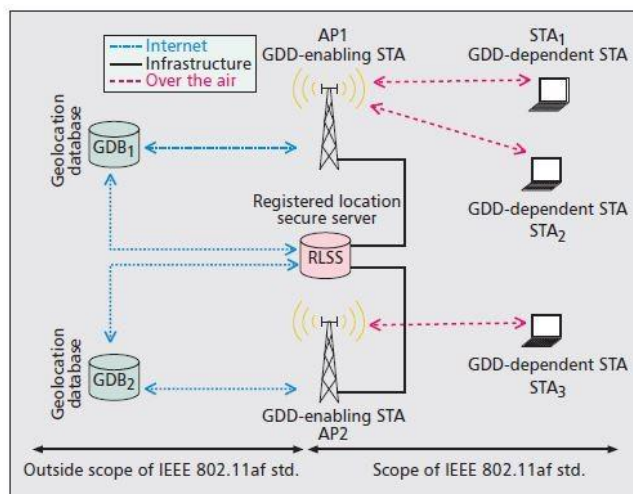
Η υλοποίηση του cognitive radio βασίζεται σε βάση δεδομένων γεωγραφικής τοποθεσίας (Geolocation Database – GDB) όπου αποθηκεύονται λειτουργικές παράμετροι των συσκευών WS.

Η βάση δεδομένων είναι υπό τον έλεγχο της αντίστοιχης ρυθμιστικής αρχής.

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 .

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



Σχ. 2.4: Παράδειγμα δικτύου 802.11af

Στο Σχ.2.4, 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:

- Όταν λήξει ο χρόνος για τον οποίο είχε ενεργοποιηθεί η συσκευή.
- Στην περίπτωση όπου το GDD-Enabling STA ενημερώσει το τερματικό για αλλαγή στη διαθεσιμότητα των καναλιών.
- Όταν ένα τερματικό μετακινηθεί εκτός της περιοχής εμβέλειας του σταθμού του.

Το Channel Schedule Management (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.

Το Contact Verification 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. 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.

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 με-γαλύτερου ρυθμού μετάδοσης. Bonding μπορεί να γίνει σε κανάλια που ικανοποιούν μια από τις ακόλουθες περιπτώσεις :

- Μεταξύ δύο μη διαδοχικών καναλιών.
- Μεταξύ δύο διαδοχικών καναλιών, σχηματίζοντας ένα ενιαίο block.
- Μεταξύ τεσσάρων διαδοχικών καναλιών.
- 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.2.4.4. Ο ρυθμός μετάδοσης πολλαπλασιάζεται με παράγοντα δύο ή τέσσερα αν χρησιμοποιείται bonding. Ο ρυθμός μετάδοσης R_i προκύπτει από την εξίσωση

$$R_i = MR_c \frac{1}{T_s} S_D \quad (2.2)$$

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

$$T_s = \frac{S_T}{B} (1 + cp) \quad (2.3)$$

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

$$T_{s7} = \frac{144}{8} (1 + 1/4) = 22.5 \mu s$$

Index	Αιαμόρφωση	Ρυθμός κώδικα	Ωφέλιμος ρυθμός μετάδοσης (Mbps), 1/4cp	Ωφέλιμος ρυθμός μετάδοσης (Mbps), 1/8cp
0	BPSK	2-Jan	2.4	2.7
1	QPSK	2-Jan	4.8	5.3
2	QPSK	4-Mar	7.2	8
3	16-QAM	2-Jan	9.6	10.7
4	16-QAM	4-Mar	14.4	16
5	64-QAM	3-Feb	19.2	21.3
6	64-QAM	4-Mar	21.6	24
7	64-QAM	6-May	24	26.7
8	256-QAM	4-Mar	28.8	32
9	256-QAM	6-May	32	35.6

Πιν 2.3: Ωφέλιμοι ρυθμοί μετάδοσης 802.11af για κανάλια 8MHz

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ELECTRONICS NEWS GATHERING

Ο όρος ηλεκτρονική συλλογή ειδήσεων (Electronic News Gathering – ENG) δηλώνει τη χρήση ηλεκτρονικών μέσων για συλλογή και μετάδοση ειδήσεων. 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.

3.1 Συνήθειες τεχνολογίες Electronic News Gathering

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

- Ενσύρματη ζεύξη μέσω οπτικών ινών.
- Δορυφορική ζεύξη.
- Ασύρματη μικροκυματική ζεύξη.
- Ασύρματη ζεύξη πάνω από το κυψελωτό δίκτυο.

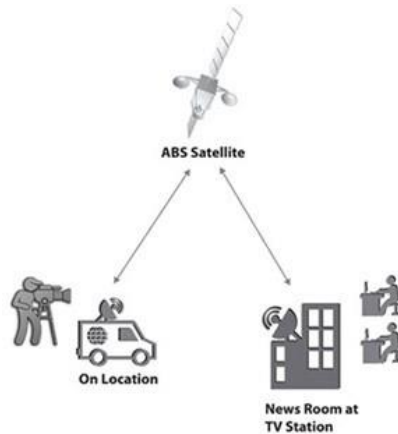
Προκειμένου να αξιολογηθούν οι διάφοροι τρόποι μετάδοσης πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος υλοποίησης και η επίδοσή τους στις ιδιαίτερες απαιτήσεις της διαδικασίας του ENG, δηλαδή του χρόνου καθυστέρησης και της διαθεσιμότητας ακόμα και από απομακρυσμένες περιοχές.

3.2 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.

3.3 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. 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.



Σχ. 3.1: Παράδειγμα ζεύξης DSNG.

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.

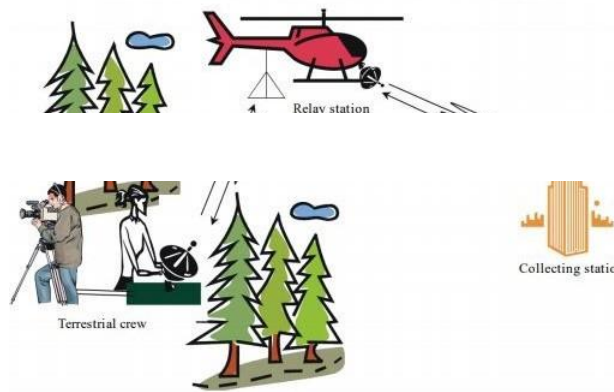
$$t = \frac{2 \times 35780 \times 10^3}{3 \times 10^8} = 238.5 \text{ msec.}$$

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.

3.4 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.

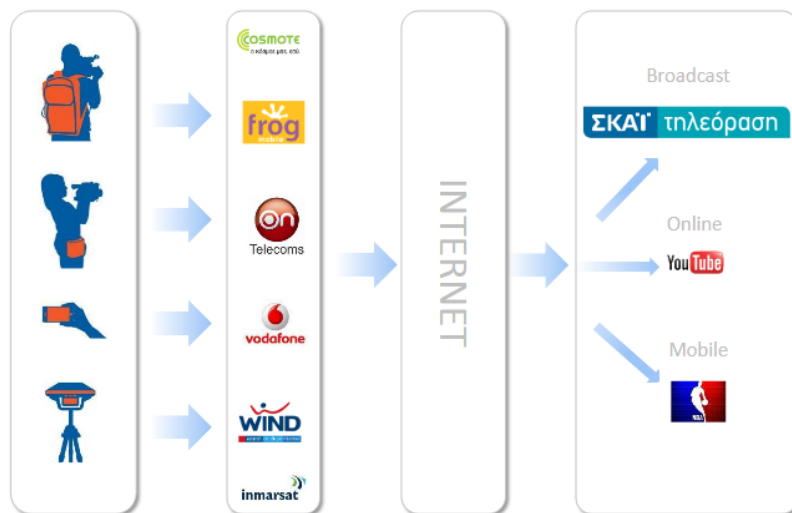


Σχ. 3.2: Παράδειγμα ENG με ελικόπτερο ως ενδιάμεσο σταθμό

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 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.3.2 . Φυσικά, αυτό ανεβάζει πολύ το κόστος.

3.5 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 μπορεί να παρέχει το απαραίτητο φάσμα για να γίνει μετάδοση υψηλής ποιότητας video σε πραγματικό χρόνο. Στο Σχ.3.3 διακρίνεται το workflow της μεταφοράς δεδομένων μέσω κυψελωτών δικτύων από το σταθμό στην βάση. Το cellular channel bonding αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία δύο ή περισσότερα cellular modem συνδυάζονται με έξυπνο τρόπο που επιτρέπει στον τελικό χρήστη να χρησιμοποιεί το συνδυασμένο εύρος ζώνης. Η σύνδεση μπορεί να συμβεί για οποιοδήποτε συνδυασμό παρόχων κυψελωτών υπηρεσιών, (wind, cosmote ή οποιοδήποτε διεθνείς μεταφορείς) και έχει σαφή πλεονεκτήματα. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί ειδικούς αλγόριθμους για Bandwidth Aggregation, Data Compression, Smart Failover, WAN Optimization, Secure Networking και άλλα. Το ειδικό λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιείται από τη συσκευή δικτύου bonding είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση της διανομής δεδομένων σε μεμονωμένες συνδέσεις στο Internet, παρέχοντας επόμενη γενιάς δρομολόγηση multi-WAN (πολλαπλών συνδέσεων), βασικό failover και εξισορρόπηση φορτίου, καθώς και άλλες προηγμένες τεχνολογίες για να είναι σε θέση να καλύψει όλες τις διαφορετικές ανάγκες του εταιρικού δικτύου.



Σχ.3.3 workflow συλλογής ειδήσεων μέσω κυψελωτών δικτύων

Ωστόσο, τέτοιες διατάξεις έχουν μεγάλο κόστος, είτε για αγορά είτε για ενοικίασή τους. Επίσης πιθανά προβλήματα μπορεί να προκύψουν από την υπερφόρτωση του δικτύου και από πιθανές εξωτερικές παρεμβολές από πεδία κοντινής συχνότητας (π.χ. ασύρματα τηλέφωνα, φούρνοι μικροκυμάτων).

Η σύνδεση είναι τόσο καλή όσο το κανάλι με τη χειρότερη απόδοση. Για παράδειγμα, αν υπάρχουν τέσσερα κανάλια (τρία που εκτελούν μια υπηρεσία 4G και μία υπηρεσία 3G) η σύνδεση θα πραγματοποιηθεί με την ταχύτητα και την καθυστέρηση της υπηρεσίας 3G.

Οι δρομολογητές 4G συνήθως προσαρμόζουν αυτόματα τις συνδεδεμένες συνδέσεις τους με προτεραιότητα στην αξιοπιστία και στην ελάχιστη απώλεια πακέτων, παρά στην απόδοση.

3.6 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. 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. Είναι αναμενόμενο η χρήση των WS για ENG να παρουσιάζει ομοιότητες συγκριτικά με συλλογή ENG πάνω από επίγεια μικροκύματη 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. Συνοπτικά, τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση των WS για ENG είναι τα εξής:

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

$$L_{fs} = 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \quad (3.1)$$

που 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.

- 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.

Συχνά, οι μικροκυματικές ζεύξεις απαιτούν ιδιαίτερα κατευθυντικές κεραιές, οι οποίες καθιστούν δύσκολο το χειρισμό του εξοπλισμού από μη 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. 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 κεραιές 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.

3.7 Εφαρμογές

Η παροχή ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών σε αγροτικές περιοχές αποτελεί μία από τις σημαντικότερες περιπτώσεις χρήσης του φάσματος των TVWS. Οι τηλεοπτικές ζώνες (κανάλια), ιδιαίτερα στο ανώτερο μέρος της ζώνης VHF και στο κατώτερο μέρος της ζώνης UHF, εμφανίζουν ιδιαίτερα καλά χαρακτηριστικά διάδοσης, λογικά μεγέθη κεραιών και σχετικά χαμηλά επίπεδα παρεμβολής από ηλεκτρικές συσκευές. Λαμβάνοντας υπόψη το κόστος παροχής ενσύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές με χαμηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, η ασύρματη προσέγγιση φαίνεται προτιμητέα. Επιπλέον, ένα σημαντικό πλεονέκτημα των αγροτικών περιοχών αποτελεί η αυξημένη διαθεσιμότητα κενών τηλεοπτικών καναλιών.

Σε μητροπολιτικές περιοχές το μεγαλύτερο μέρος του τηλεοπτικού φάσματος είναι κατειλημμένο είτε από τηλεοπτικούς σταθμούς είτε από άλλες αδειοδοτημένες υπηρεσίες όπως είναι τα ασύρματα μικρόφωνα (Programme Making and Special Events, PMSE). Αντιθέτως, στις αγροτικές περιοχές η πιθανότητα ύπαρξης αχρησιμοποίητων καναλιών είναι σαφώς μεγαλύτερη.

Προς αυτή την κατεύθυνση, ασύρματης περιφερειακής δικτύωσης (Wireless Regional Area Network, WRAN), η ομάδα εργασίας IEEE 802.22 ξεκίνησε τις εργασίες της τον Οκτώβριο του 2004. Το πρώτο παραδοτέο πρότυπο της ομάδας IEEE 802.22 καθορίζει το στρώμα της πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control layer) και το φυσικό στρώμα (PHYSical layer) ασύρματων περιφερειακών σημείου προς πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint) δικτύων WRAN με σταθερά και κινητά τερματικά χρηστών.

Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.22, τα δίκτυα είναι κυψελωτού τύπου. Η ακτίνα μιας κυψέλης κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30km, υποθέτοντας κατευθυντικές κεραίες.

Η ζώνη συχνοτήτων λειτουργίας εκτείνεται ανάμεσα στα 54 και 862 MHz. Πολύπλεξη OFDM με μεγάλο κυκλικό πρόθεμα χρησιμοποιείται για να αντιμετωπισθούν καθυστερήσεις λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης μέχρι 37 μ s. Το φυσικό στρώμα του προτύπου 802.22 προδιαγράφει 2048 κανάλια για μεγιστοποίηση της χρησιμοποίησης του εύρους ζώνης. Ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων είναι 22.69Mb/s, ενώ ο ελάχιστος 4.54Mb/s.

Οι σταθμοί βάσης σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.22 έχουν την ικανότητα να υποστηρίξουν μέχρι και 512 τερματικά χρήστη (Customer Premises Equipment, CPE). Εντούτοις, δεδομένου ότι ένα τηλεοπτικό κανάλι μπορεί να έχει εύρος μόνον 6, 7 ή 8MHz, καθώς, επίσης, και δεδομένου ότι η συγκόλληση καναλιών (channel bonding) δεν επιτρέπεται, ο διαχειριστής του δικτύου ενός ασύρματου παρόχου υπηρεσιών διαδικτύου (Wireless Internet Service Provider, WISP) πρέπει να καταλήξει στο πλήθος των χρηστών που μπορούν να υποστηριχθούν υπό την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) σε δεδομένη γεωγραφική περιοχή.

Το IEEE 802.22 WRAN έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση με ρυθμούς δεδομένων παρόμοιους με το ADSL. Ορίζει ένα ολοκληρωμένο σύνολο CR λειτουργιών. Οι γνωστικές ικανότητες περιλαμβάνουν μηχανισμούς για την προστασία των υπάρχοντων δικτύων (ψηφιακή τηλεόραση, PMSE) και τη συνύπαρξη μεταξύ των επικαλυπτόμενων σταθμών βάσης του IEEE 802.22 WRAN.

Ορίζει την ασύρματη διεπαφή για WSD με ανίχνευση φάσματος και για WSD με πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων και γεωεντοπισμό. Προσφέρει και έναν αριθμό από αλγορίθμους ανίχνευσης. Μερικοί από αυτούς μπορούν να αισθανθούν επίπεδα σήματος εγκατεστημένων χρηστών αδειοδοτημένων υπηρεσιών έως -120 dBm/8MHz.

Το πρότυπο ορίζει, επίσης, μια σειρά από μεθόδους για τον προσδιορισμό της γεωγραφικής τοποθεσίας.

Εκτός απ' την WRAN δικτύωση, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης CR τεχνολογίας για ασύρματη τοπική δικτύωση (Wireless Local Area Network, WLAN). Προς αυτή την κατεύθυνση με πρωτοβουλία της FCC έχει αναπτυχθεί το πρότυπο IEEE 802.11af. Είναι γνωστό και ως Super Wi-fi ή White-fi, ακριβώς γιατί αξιοποιεί τα TVWS. Βασίζεται στο γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά διάδοσης στις ζώνες VHF-UHF μεταξύ 54 και 790 MHz είναι πολύ καλύτερα απ' τις ζώνες των 2.4 και 5GHz.

Χαρακτηριστικά, έχουμε πολύ μικρότερη εξασθένηση κατά τη διάδοση μέσω υλικών όπως το τούβλο ή το μπετόν. Η ραδιοκάλυψη επίσης του δικτύου είναι μεγαλύτερη, με μικρότερο κόστος και κατανάλωση ισχύος. Άρα για μία ασύρματη τοπική δικτύωση – και ad-hoc – εμφανίζει προφανώς εξαιρετικό ενδιαφέρον. Το πρώτο σχετικό δίκτυο εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στο πανεπιστήμιο της West Virginia στις 9 Ιουλίου του 2013. Το πρότυπο IEEE 802.11af χρησιμοποιεί OFDM διαμόρφωση και σε ένα κανάλι 8 MHz με διάστημα φύλαξης 2.25 μs, ρυθμό κώδικα 5/6 και σχήμα 256-QAM, επιτυγχάνεται ρυθμός μετάδοσης 35.6 Mbps.

Μία άλλη εφαρμογή CR τεχνολογιών για αξιοποίηση των TVWS μπορεί να έχουμε στις επικοινωνίες machine-to-machine (M2M). Μία τέτοια περίπτωση είναι το «ευφυές» ηλεκτρικό δίκτυο Smart Grid και το Smart Metering για τηλεμετρία και παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας και όλης της ενεργειακής δραστηριότητας.

3.8 TVWS στην Ελλάδα

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα τηλεοπτικά κενά διαστήματα (TV White Spaces), που υπάρχουν μέσα στην Ελλάδα ανά allotment. Με μαύρα γράμματα είναι τα ελεύθερα προς χρήση κανάλια και με κόκκινα είναι αυτά που είναι ελεύθερα αλλά το ακριβώς επόμενο ή προηγούμενο γειτονικό του είναι δεσμευμένο.

Allotments	TV White Spaces
ΕΒΡΟΣ	21, 22, 23, 26, 28, 29, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 57, 60 συνορεύει με Πλάκα.
ΠΛΑΚΑ	26, 28, 40, 44, 45, 48, 52, 55, 57, 60 συνορεύει με Έβρος, Θάσος, Χαλκιδική, Λέσβος.
ΘΑΣΟΣ	28, 44, 45, 48, 51, 55, 57, 58 συνορεύει με Πλάκα, Παγγαίο, Χαλκιδική, Λέσβος.
ΠΑΓΓΑΙΟ	28, 44, 45, 57, 58 συνορεύει με Θάσος, Θεσσαλονίκη, Χαλκιδική, Λέσβος.
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	33, 45, 57 συνορεύει με Παγγαίο, Χαλκιδική, Φλώρινα, Μεταξάς, Λάρισα, Βόλος.
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ	28, 45, 57 συνορεύει με Πλάκα, Θάσος, Παγγαίο, Θεσσαλονίκη, Λάρισα, Βόλος, Λέσβος.
ΦΛΩΡΙΝΑ	21, 22, 33, 35, 37, 42, 45, 46, 53, 57, 58 συνορεύει με Θεσσαλονίκη, Μεταξάς, Ιωάννινα.
ΜΕΤΑΞΑΣ	21, 33, 37, 45, 57, 58 συνορεύει με Θεσσαλονίκη, Φλώρινα, Ιωάννινα, Λάρισα, Ακαρνανικά.
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	36, 37, 48, 55, 56, 57, 58 συνορεύει με Φλώρινα, Μεταξάς, Θεσπρωτία, Λάρισα, Ακαρνανικά.
ΘΕΣΠΡΩΤΙΑ	26, 35, 38, 40, 42, 44, 47, 48, 50, 55, 58 συνορεύει με Ιωάννινα, Κέρκυρα, Ακαρνανικά, Αίγιος.

ΚΕΚΡΥΡΑ	24, 25, 26, 31, 35, 38, 40, 42, 44, 47, 48, 49, 50, 52, 55, 58 συνορεύει με Θεσπρωτία, Ακαρνανικά, Αίνος.
ΛΑΡΙΣΑ	45 συνορεύει με Χαλκιδική, Θεσσαλονίκη, Μεταξάς, Ιωάννινα, Ακαρνανικά, Βόλος, Λαμία, Καρπενήσι, Αίνος, Λέσβος.
ΑΚΑΡΝΑΝΙΚΑ	48, 58 συνορεύει με Μεταξάς, Ιωάννινα, Θεσπρωτία, Κέρκυρα, Λάρισα, Καρπενήσι, Αίνος, Πάτρα.
ΒΟΛΟΣ	26, 28, 45 συνορεύει με Χαλκιδική, Λάρισα, Λαμία, Αττική, Αθήνα, Λέσβος, Θεσσαλονίκη.
ΛΑΜΙΑ	28, 39, 45, 46 συνορεύει με Λάρισα, Βόλος, Καρπενήσι, Κόρινθος, Αττική, Αθήνα.
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	41, 50, 58 συνορεύει με Λάρισα, Ακαρνανικά, Λαμία, Αίνος, Πάτρα, Κόρινθος.

Πιν .3.1 τα ελεύθερα κανάλια, που υπάρχουν μέσα στην Ελλάδα ανά allotment

Μετά το πέρας του ψηφιακού μερίσματος 1, έχει λάβει χώρα η εκκαθάριση της ζώνης 790–862MHz (κανάλια 61-69) και απόδοσή της στις εταιρίες κινητών επικοινωνιών. Με το ψηφιακό μέρισμα 2, έχουμε επιπλέον απελευθέρωση φάσματος και συγκεκριμένα της ζώνης 694-790 MHz (κανάλια 49-60), καθώς και ανακατανομή (allocation) των υπολοίπων καναλιών της ζώνης UHF.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ENG ΠΑΝΩ ΑΠΟ TVWS

4.1 Εισαγωγή

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 δέκτη σε σταθερή τοποθεσία στον Υμηττό από τον οποίο θα γίνει η λήψη της είδησης και η χρήση ενός φορητού πομπού από τον οποίο θα γίνεται η αποστολή της είδησης.

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.4.1.

ΚΑΝΑΛΙ	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ(MHz)
25	506
26	514
29	538
33	570
35	586
37	602
39	618
41	634
42	642
43	650
44	658
46	674
47	682
48	690

Πιν 4.1: WS στην Αττική

Κανάλια με κεντρική συχνότητα μεγαλύτερη από 690MHz εξαιρέθηκαν και δεν συμπεριλαμβάνονται στον πίνακα, καθώς αυτό το τμήμα του φάσματος στο θα παραχωρηθεί στην κινητή τηλεφωνία. 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:

- Η αποστολή video σε πραγματικό χρόνο είναι απαιτητική ως προς το μέγιστο ανεκτό ποσοστό σφαλμάτων.
- Η λήψη του video θα γίνεται από τον δέκτη στην κορυφή του Υμηττού. Κατά συνέπεια, λόγω του μεγάλου υψομέτρου, είναι πιθανό να μην παρεμβάλλονται εμπόδια στην ακτίνα οπτικής επαφής μεταξύ του πομπού και δέκτη.

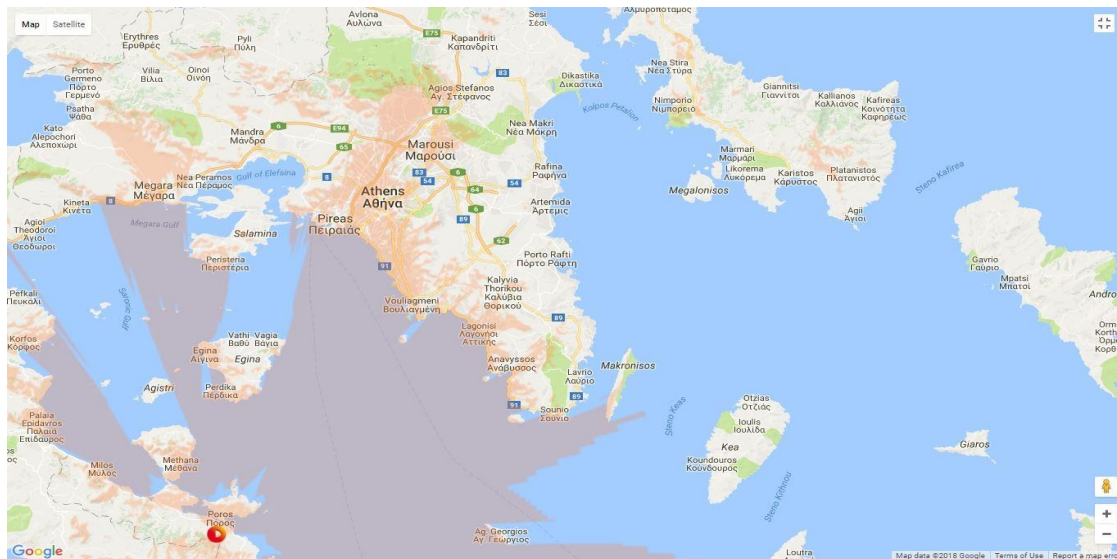
Μελετήθηκαν αρχικά τα διαθέσιμα δεδομένα στο διαδίκτυο, ώστε να βρεθούν τα WS τα οποία είναι πιθανότερο να έχουν επαρκώς χαμηλό επίπεδο σημάτων παρεμβολών. Έπειτα καταγράφηκε το επίπεδο σημάτων στα κανάλια αυτά στον Υμηττό . Αφού ανευρέθηκε το καταλληλότερο κανάλι για την εφαρμογή, εκτιμήθηκε η τιμή σηματοθορυβικού λόγου που μπορεί να επιτευχθεί. Για το σκοπό αυτό, πρέπει να υπολογιστεί η διαθέσιμη ισχύς και το επίπεδο παρεμβολών στην πλευρά του δέκτη. 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.

4.2 Ανεύρεση πιθανών WS

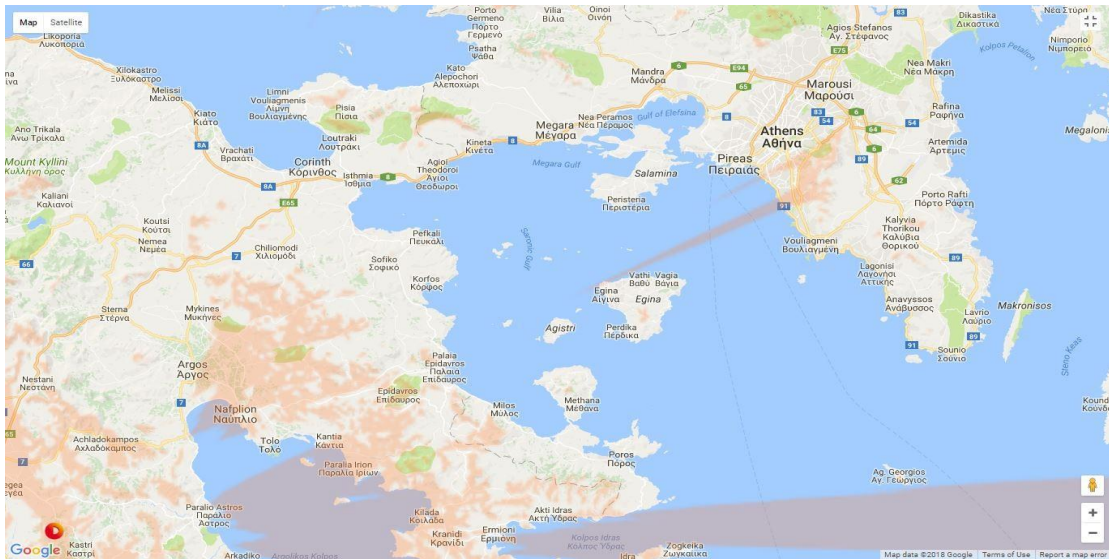
Για την ανεύρεση καναλιού με χαμηλό επίπεδο παρεμβολών, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη τα κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται από περιοχές γειτονικές της Αττικής. Μια πρώτη έρευνα για αποκλεισμό κάποιων WS που δεν είναι είναι κατάλληλα για αποστολή ροής video με δέκτη στον Υμηττό βασίστηκε στους χάρτες 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 ψηφιακής τηλεόρασης το κατώφλι σήματος λήψης είναι 54dBμV/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.4.1- 4.3. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκε πιθανή παρεμβολή εξαιτίας των κέντρων:

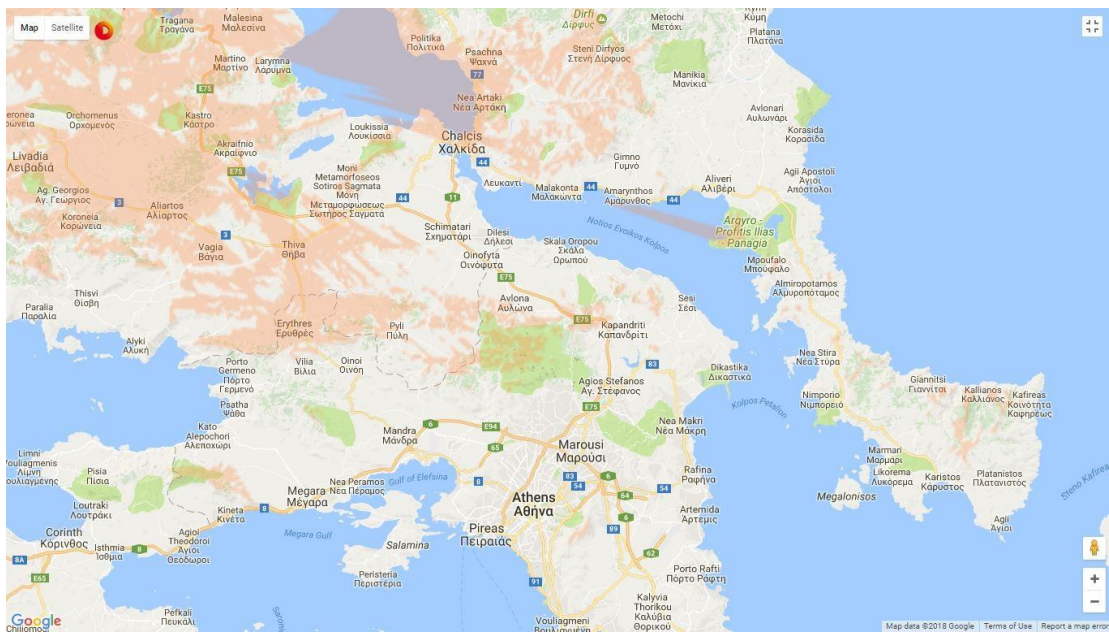
- “Δάρδιτσα”, του allotment 24 (“ NAFPLIO”).
- “Δολιανά”, του allotment 23 (“TRIPOLI”).
- “Χλωμό”, του allotment 15 (“LAMIA”).



Σχ. 4.1: Κάλυψη σταθμού ευρυεκπομπής Δάρδιτσας (Ναύπλιο)



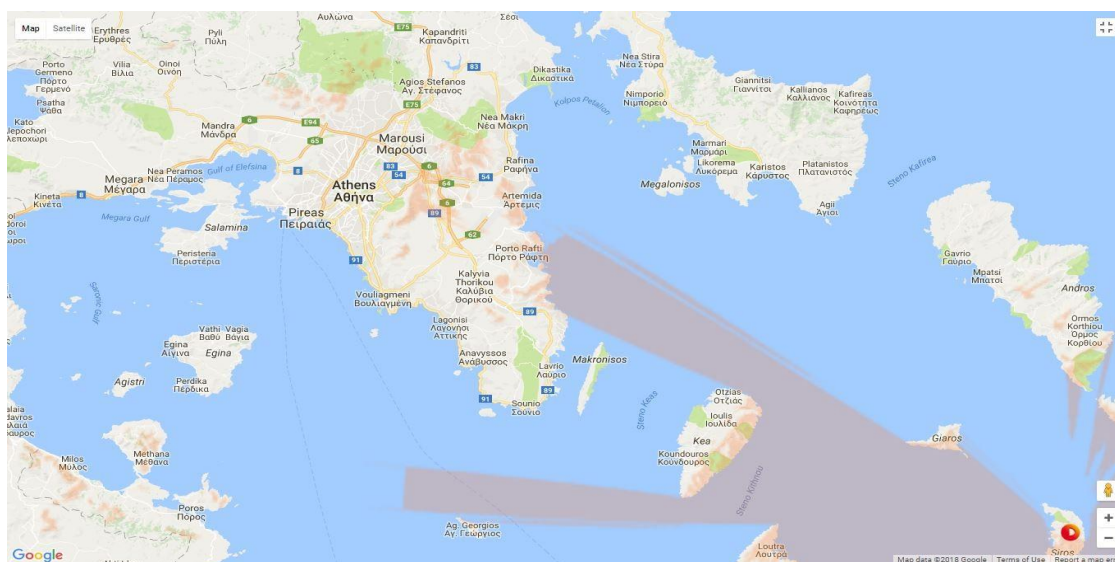
Σχ. 4.2: Κάλυψη σταθμού ευρυεκτομπής Δολιανά (Τρίπολη)



Σχ. 4.3: Κάλυψη σταθμού ευρυεκτομπής Χλωμού (Λαμία)

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.4.4, 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 Υμηττό 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 παρεμβάλλοντος σήματος.

Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η ραδιοκάλυψη του κέντρου εκπομπής της Σύρου. Τελικά, από τον Πιν.4.1 και τη μελέτη των χαρτών κάλυψης προκύπτει ο Πιν.4.2, στον οποίο περιλαμβάνονται τα WS που είναι πιθανότερο να έχουν χαμηλή στάθμη παρεμβολής στην Αττική, ενώ ο πίνακας 4.3 παρουσιάζονται τα πιθανότερα WS μετά το ψηφιακό μέρισμα 2.



Σχ. 4.4: Κάλυψη σταθμού ευρυεκπομπής Σύρου

κανάλι	Κεντρική συχνότητα(MHz)	Σημείωση
26	514	
29	538	
37	602	
41	634	
43	650	
47 48	682 690	
25	506	Χρησιμοποιείται στο allotment Λαμίας
33	570	Χρησιμοποιείται στα allotment Ναυπλίου και Λαμίας
35	586	Χρησιμοποιείται στα allotment Ναυπλίου και Λαμίας
39	618	Χρησιμοποιείται στα allotment Ναυπλίου και Λαμίας
42	642	Χρησιμοποιείται στα allotment Τρίπολης και Λαμίας
44	658	Χρησιμοποιείται στο allotment Ναυπλίου
46	674	Χρησιμοποιείται στο allotment Λαμίας

Πιν 4.2: Πιθανόν κατάλληλα και ακατάλληλα WS

Με το ψηφιακό μέρισμα 2 τα πιθανά κατάλληλα WS στην Αττική είναι :

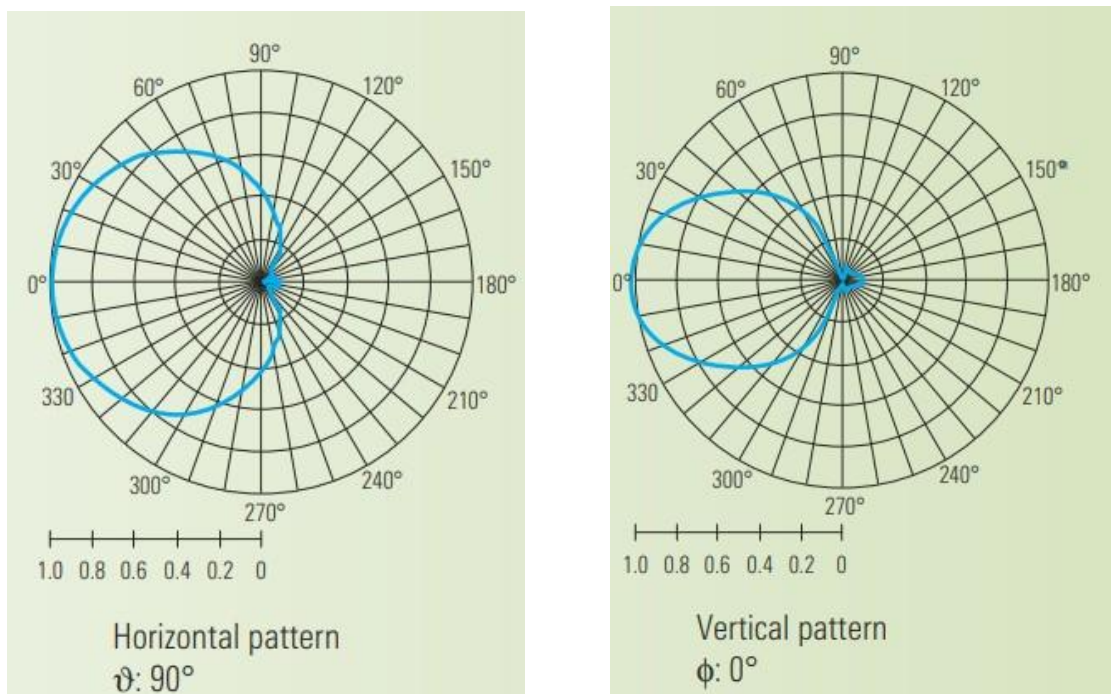
ανάλι	Κεντρική συχνότητα(MHz)	Σημείωση
23	490	Χρησιμοποιείται στο allotment Τρίπολης
25	506	Χρησιμοποιείται στο allotment Τρίπολης
26	514	Χρησιμοποιείται στο allotment Τρίπολης
29	538	Χρησιμοποιείται στο allotment Λαμίας
32	562	
33	570	Χρησιμοποιείται στο allotment Λαμίας
35	586	Χρησιμοποιείται στο allotment Λαμίας
36	594	Χρησιμοποιείται στο allotment Λαμίας
37	602	
38	610	
39	618	Χρησιμοποιείται στο allotment Λαμίας
40	626	Χρησιμοποιείται στο allotment Λαμίας
41	634	Χρησιμοποιείται στο allotment Λαμίας
42	642	Χρησιμοποιείται στο allotment Λαμίας
43	650	
44	658	
45	666	
46	674	
47	682	
48	690	

Πιν 4.3: Πιθανόν κατάλληλα και ακατάλληλα WS μετά το ψηφιακό μέρισμα 2

4.3 Μετρήσεις επιπέδου παρεμβολών

Η μέτρηση του επιπέδου θορύβου στα κανάλια που ταυτοποιήθηκαν ως πιθανώς κατάλληλα για ασύρματη μετάδοση ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο πραγματοποιήθηκε στον Υμητό. Οι μετρήσεις στον Υμητό ήταν απαραίτητες καθώς εκεί σχεδιάζεται να εγκατασταθεί τελεματικό από το οποίο θα γίνεται η λήψη της ροής video. Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε περιλάμβανε κεραία κέρδους 5dBi, ζωνοπερατό φίλτρο και spectrum scope.

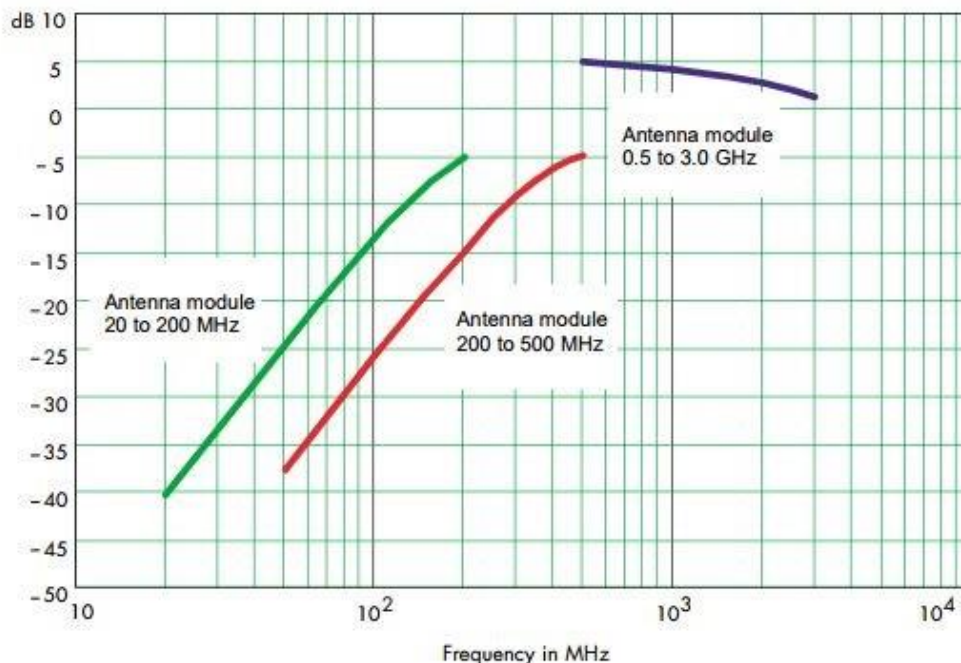
Για κάθε κανάλι, λήφθηκε μέτρηση με κεντρική συχνότητα αυτή του καναλιού και εύρος συχνοτήτων στο spectrum scope 40 MHz. Αν το κανάλι φαινόταν μη κατειλημμένο διεξαγόταν λήψη δεύτερης μέτρησης με στενότερο εύρος (100 ή 200 kHz ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του spectrum scope που χρησιμοποιήθηκε κάθε φορά). Τα διαγράμματα ακτινοβολίας της κεραίας που χρησιμοποιήθηκε (R&S R HE200, 0.5-3GHz module) φαίνονται στο Σχ.4.5 ενώ το διάγραμμα bode φαίνεται στο Σχ.4.6.



Σχ. 4.5: διαγράμματα ακτινοβολίας κεραίας

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 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.

Gain, passive mode



Σχ. 4.6: Διάγραμμα Bode

Στον Υμητό 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 γίνονταν 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 συχνοτήτων.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον Υμητό παρουσιάζονται στους Πιν.4.4 και 4.5. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ανιχνεύθηκε πειρατική εκπομπή στο κανάλι 48 με αποτέλεσμα οι μετρήσεις να αποκλίνουν από τις αναμενόμενες τιμές.

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

Πιν 4.4: 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	–	–	–	–

Πιν 4.5: Μετρήσεις ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών στον Υμηττό

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

$$SD = P - 10 \log_{10}(RBW) \quad (4.1)$$

όπου RBW – Resolution Bandwidth το παράθυρο διακριτικής ευχέρειας του spectrum score. Έτσι, από τον Πιν.4.4, προκύπτει ο Πιν.4.6 με τις αντίστοιχες φασματικές πυκνότητες ισχύος λήψης των διαφόρων καναλιών.

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	–	–	–	–

Πιν 4.6: Φασματική πυκνότητα ισχύος λήψης καναλιών με ευρος 100 kHz

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

$$n_0 = k(T_a + T_{eq}) \quad (4.2)$$

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 $T = 290^\circ K$.

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

$$n_{th} = kT_\varphi \quad (4.3)$$

όπου T_φ η φυσική θερμοκρασία του κυκλώματος του δέκτη. Σε θερμοκρασία $300^\circ K$ ο θερμικός θόρυβος που παράγεται στο κύκλωμα του δέκτη είναι:

$$n_{300^\circ K} = -173.83 \text{ dBm/Hz}$$

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 spectrum analyzer, ως παθητικά στοιχεία εισήγαγαν θόρυβο στην είσοδο του spectrum analyzer.

4.4 Εκτίμηση της διαθέσιμης ισχύος στους δέκτες

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

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L \quad (4.4)$$

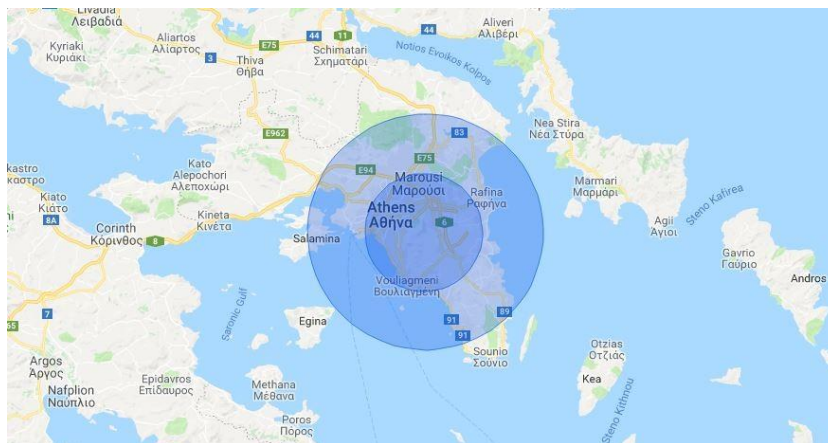
όπου P_t η ισχύς εκπομπής σε dBm, G_t και G_r το κέρδος των κεραιών εκπομπής και λήψης αντίστοιχα εκφρασμένα σε dBi, και L το άθροισμα όλων των απωλειών της ζεύξης σε dB. Σε μια ζεύξη που υλοποιείται πάνω από το φάσμα των WS πρέπει να ληφθούν υπόψη οι απώλειες ελευθέρου χώρου και οι απώλειες περίθλασης.

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

$$L_{fs} = 20 \log(4\pi d/\lambda) \quad (4.5)$$

όπου d η απόσταση πομπού και δέκτη, και $\lambda = c/f$ το μήκος κύματος. 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 30km από τον Υμηττό όπως φαίνεται στο Σχ.4.7.



Σχ. 4.7: Δίσκοι ακτίνας 15 και 30km με κέντρο τον Υμηττό

Από τον Πιν.4.5 φαίνεται ότι το κανάλι 47 έχει το χαμηλότερο επίπεδο παρεμβολών. Έτσι, για τη συχνότητα 682MHz που αντιστοιχεί στο κανάλι 47 και απόσταση $d=30\text{km}$ οι απώλειες ελευθέρου χώρου είναι:

$$L_{fs} = 118.66 \text{ dB}$$

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,

$$P_r = 30dBm + G_r - 118.66 - L_d = -88.66dBm - L_d + G_r \quad (4.6)$$

όπου L_d οι απώλειες περίθλασης και G_r το κέρδος της κεραίας του δέκτη. Από τον ορισμό του σηματοθρομβικού λόγου και από τις προηγούμενες μετρήσεις η τιμή του C/N στην είσοδο του δέκτη στον Υμηττό προκύπτει:

$$C/N = -88.66dBm - L_d + G_r + 169.7 - 10 \log(8 \times 10^6) = 12.01 - L_d + G_r \quad (4.7)$$

4.5 Εκτίμηση του ελάχιστου SNR

Ο σηματοθρομβικός λόγος SNR 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 μικρό².

Η ελάχιστη τιμή του SNR που είναι αποδεκτή εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από:

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

	H264	HEVC
720p 50fps	6.2-8.8	4.3-4.4
1080p 50fps	6.8	3.6-3.4.3

Πιν 4.7. Ρυθμοί μετάδοσης video (Mbit/s) ανάλογα με την κωδικοποίηση

Δεδομένου του διαθέσιμου φάσματος των 8MHz, γίνεται σαφές ότι σχήματα διαμόρφωσης με φασματική απόδοση μεγαλύτερη από 1brps/Hz πιθανότατα μπορούν να καλύψουν την απαίτηση ως προς τον ωφέλιμο ρυθμό μετάδοσης από 3.6 έως 8.8Mbps.

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

$$E = R/B \quad (4.8)$$

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

$$R = \frac{\log_2 M}{T_s} \quad (4.9)$$

$$\text{και } B = k_g/T_s \quad (4.10)$$

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 (4.10) και (4.9), η (4.8) γίνεται

$$E = R/B = \log_2 M / k_g \quad (4.11)$$

Αρα ψηφιακά σχήματα διαμόρφωσης με $M > 4$ ικανοποιούν την απαίτηση για $E > 1bps/Hz$.

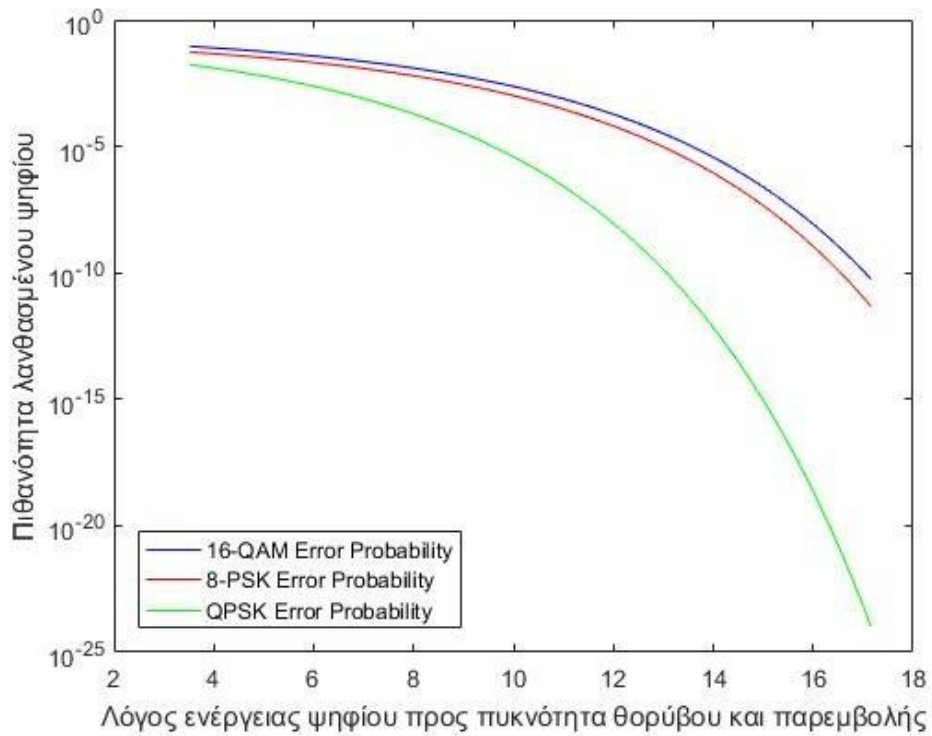
Η απόδοση των σχημάτων διαμόρφωσης 16-QAM, 8-PSK και QPSK σε δίαυλο AWGN(Additive White Gaussian Noise) φαίνεται στο Σχ.4.8.

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:

$$\gamma_{b-16QAM} = 14.51db \quad (4.12)$$

$$\gamma_{b-8PSK} = 13.95db \quad (4.13)$$

$$\gamma_{b-QPSK} = 10.53db \quad (4.14)$$



Σχ. 4.8: Απόδοση σχημάτων 16-QAM, 8-PSK και QPSK

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

$$(C/N) = \gamma_b (R/B) \quad (4.15)$$

Λόγω της (4.11) προκύπτει η σχέση (σε dB)

$$C/N = \gamma_b + 10 \log_{10} \frac{\log M}{k_g} \quad (4.16)$$

Έτσι, από τις σχέσεις (4.12) (4.13) (4.14) και (4.16) δεδομένου ότι $0.5 \leq k_g \leq 2$ προκύπτει:

$$17.53 \leq (C/N)_{16QAM} \leq 23.53dB \quad (4.17)$$

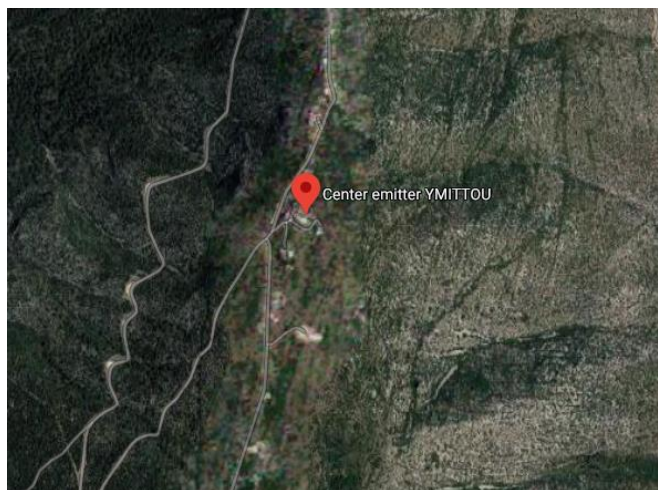
$$15.72 \leq (C/N)_{8PSK} \leq 21.72dB \quad (4.18)$$

$$10.54 \leq (C/N)_{QPSK} \leq 16.54dB \quad (4.19)$$

Οι σχέσεις (4.17) (4.18) και (4.19) 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 $G_c = 0$. Κατά την υλοποίηση του συστήματος μετάδοσης ειδήσεων που μελετάται από την παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί κωδικοποίηση FEC, οπότε οι απαιτήσεις που δίνουν οι σχέσεις (4.17) (4.18) και (4.19) θα μειωθούν κατά το αντίστοιχο κέρδος κωδικοποίησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ ΣΗΜΑΤΟΣ VIDEO

Στα πλαίσια της τεκμηρίωσης αυτής της διπλωματικής έγινε πειραματική εκπομπή απο δυο διαφορετικά σημεία στην Αττική προς τον Υμηττο. Για την σχνότητα εκπομπής επιλέχτηκε ενα κανάλι απο τα white spaces στην Αττική (το 47 (682MHz) το οποίο είχε κενά τα γειτονικά κανάλια 46 και 48 ώστε να μειωθεί στο ελάχιστο τις παρεμβολές). Η μετάδοση ήταν one way με δυο διαφορετικές κατευθυντικές κεραίες. Τα video που μεταδόθηκαν ήταν SD(1280x544) και HD(1920x1080) με κωδικοποίηση mpeg4. Ο δέκτης ήταν στον Υμηττό (37.959222N 23.818994E)



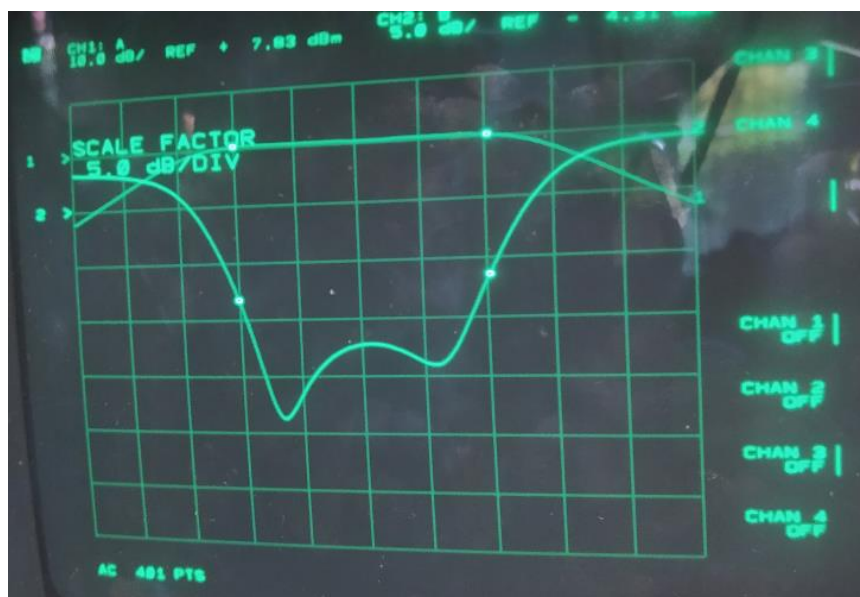
Σχ.5.1 .Το κέντρο εκπομπής Υμηττού οπου εγινε η λήψη.

Η κεραία που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη ήταν μια κατευθυντική κεραία κέρδους 13db για συχνότητες 470Mhz -790Mhz



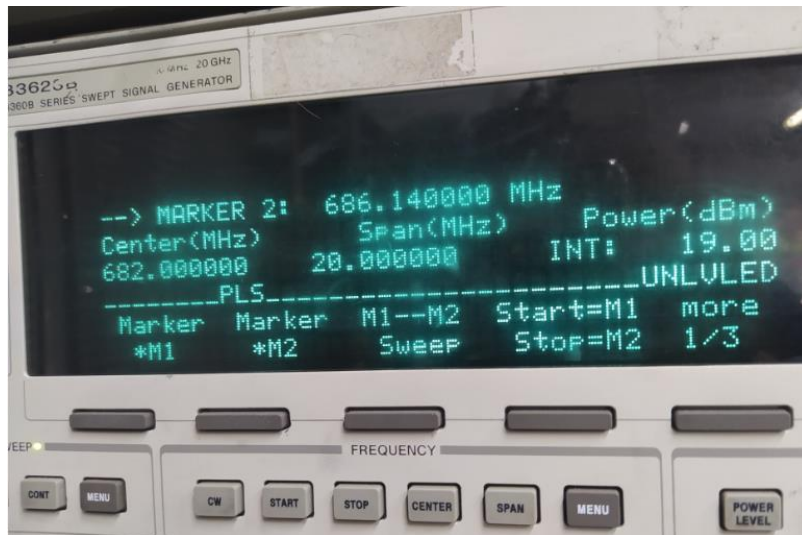
Σχ.5.2 Η κεραία λήψης

Η Κεραία λήψης συνδέθηκε με φίλτρο cavity συντονισμένο στο κανάλι 47 για να αποφευχθούν οι λανθασμένες μετρήσεις και παρεμβολές.Το φίλτρο είχε συντονιστεί στο εργαστήριο απο πριν.

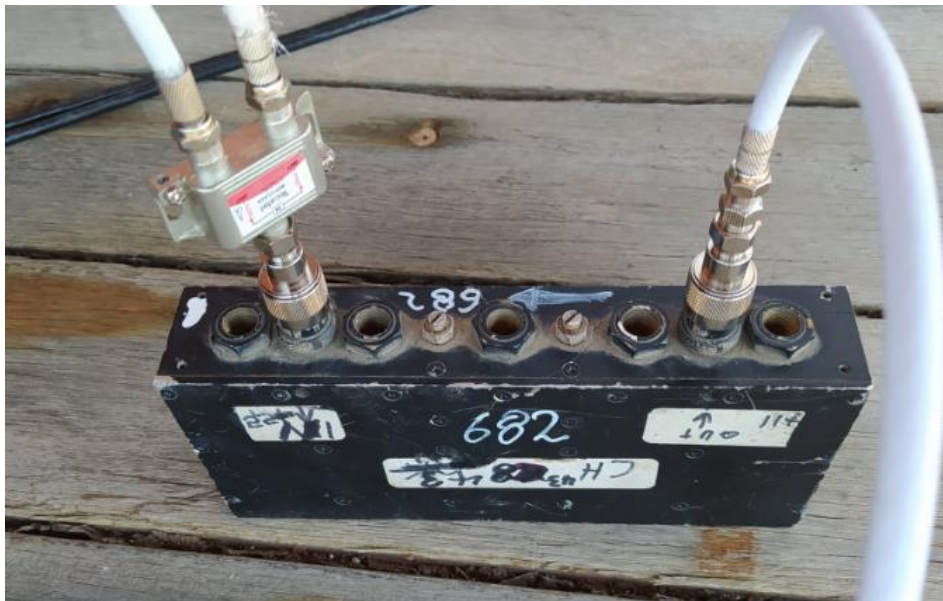


Σχ.5.3 Συντονισμός φίλτρου cavity

Οι μάρκερς δείχνουν την αρχή 678MHz και ο τέλος 686 MHz του τηλεοπτικού σήματος.Η πάνω καμπύλη μας δείχνει πόσο καλή προσαρμογή έχουμε.(εδώ είναι σταθερή σε όλο το φάσμα του καναλιού 47).Η κάτω καμπύλη είναι η απορρόφηση ισχύος απο το φίλτρο.Όσο πιο πολύ ισχύ απορροφάται τόσο καλύτερο συντονισμό έχουμε.Το φίλτρο ήταν τρίτης τάξης και δεν ήταν εύκολο να συντονιστεί.



Σχ.5.4 γεννήτρια σήματος που τροφοδότησε το φίλτρο. Το span (η εξάπλωση) ήταν 20MHz έτσι ώστε να υπάρχει πλήρη εικόνα και για την εξασθένηση προς στα διπλανά κανάλια.Εδω η εξασθένηση πέρα από το 47 κανάλι ήταν 6db/div.



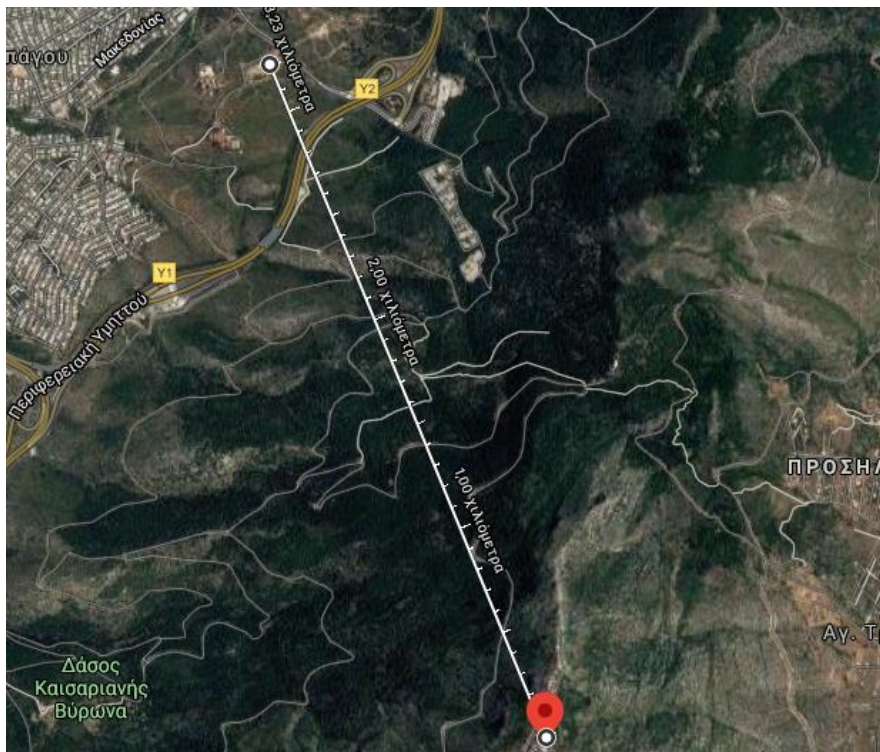
Σχ.5.5 φίλτρο cavity συντονισμένο στο 47 κανάλι.Απο το splitter συνδέθηκε μια γραμμή για τον τηλεοπτικό δέκτη και μια γραμμή για το πεδιόμετρο

Στο πεδίομετρο μετρήθηκε το CBER (πιθανότητα εσφαλμένα bits που παραμένουν μετά την διόρθωση σφάλματος) , το MER (δείκτης ποιότητας λαβανόμενου σήματος), και το πεδίο σε db/uv.Επίσης υπήρχε δυνατότητα ένδειξης του bitrate.



Σχ.5.6 Το πεδίομετρο της KWSelectronics

Το πρώτο σημείο εκπομπής ήταν απο την περιοχή του Παπάγου(N 37.98633° E 23.80505°).

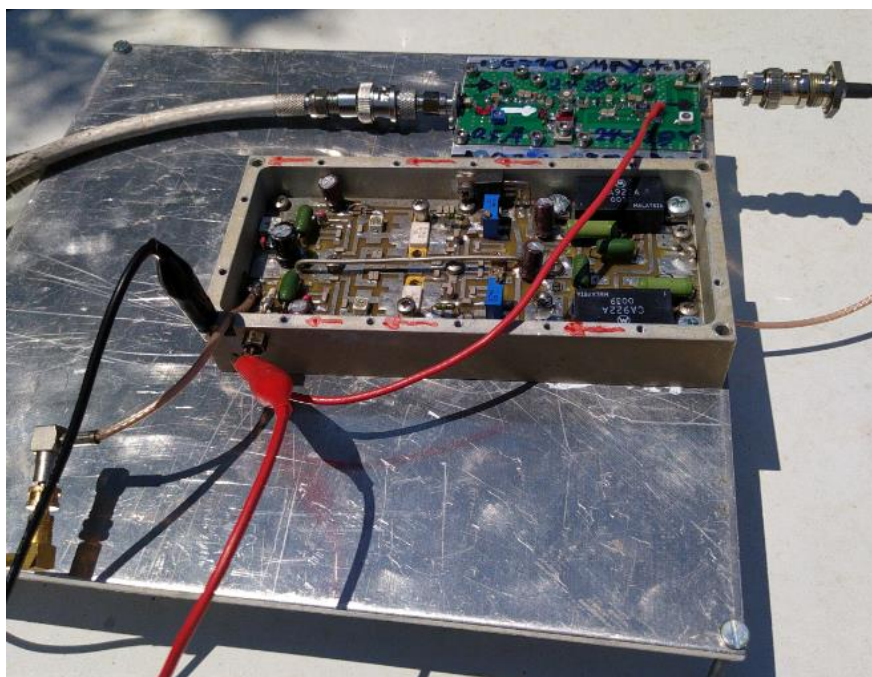


Σχ.5.7 Η απόσταση απο τον Υμηττό ήταν 3.23km.

Το σύστημα εκπομπής αποτελούνταν από μια καταθρευτική κεραία κέρδους 6db την μονάδα προενίσχυσης και ενίσχυσης και την μονάδα παραγωγής video για την οποία χρησιμοποιήθηκε ένα pc με vlc player για το play out των video για την μετάδοση.



Σχ.5.8 Η κεραία εκπομπής με κέρδος 6db



Σχ.5.9 προενισχυτής και ενισχυτική μονάδα εκπομπής UHF.

Ο προενισχυτής και ο ενισχυτής με είσοδο -10dbm είχαμε έξοδο 30dbm(1w).Η παραμετροποίηση της εισόδου έγινε απο την μονάδα διαμόρφωσης.Στο σχημα 5.10 παρουσιάζεται ο DVB-T2 modulator,και στον πίνακα 5.1 τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

Υπήρχε δυνατότητα αύξησης στα Watt εξόδου, αυξάνοντας την στάθμη εισόδου, αλλά για την παρούσα εργασία δεν χρειάστηκε αφενός και δεν υπερβήκαμε το όριο εκπομπής για white space σύμφωνα με την ITU.



Σχ.5.10. DVB-T modulator

Modulator	
Standard	DVB-T
Constellation	QPSK / 16QAM / 64QAM
Bandwidth	6 / 7 / 8 MHz
Carriers	2K / 8K
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Code Rate	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
MER	35 DB
Frequency Range	50 ~ 860 MHz
Output Level	70 ~ 100 DBuV
Output Impedance	75Ω
Video	
Input Format	Support Multiple Format
Encoding Format	H.264
Video Resolution	576i PAL / 480i NTSC/1080p
Connector	Support Multiple Interfaces
Audio	
Input Format	Stereo L/R Channel
Connector	RCA
General	
Power Source	DC 12V / 1.5A
Operating Temperature	0 ~ +50°C
Dimensions	155mm(L) × 114mm(W) × 33mm(H)
Weight	0.5Kg

Σχ .5.11 Τα χαρακτηριστικά του DVB-T modulator

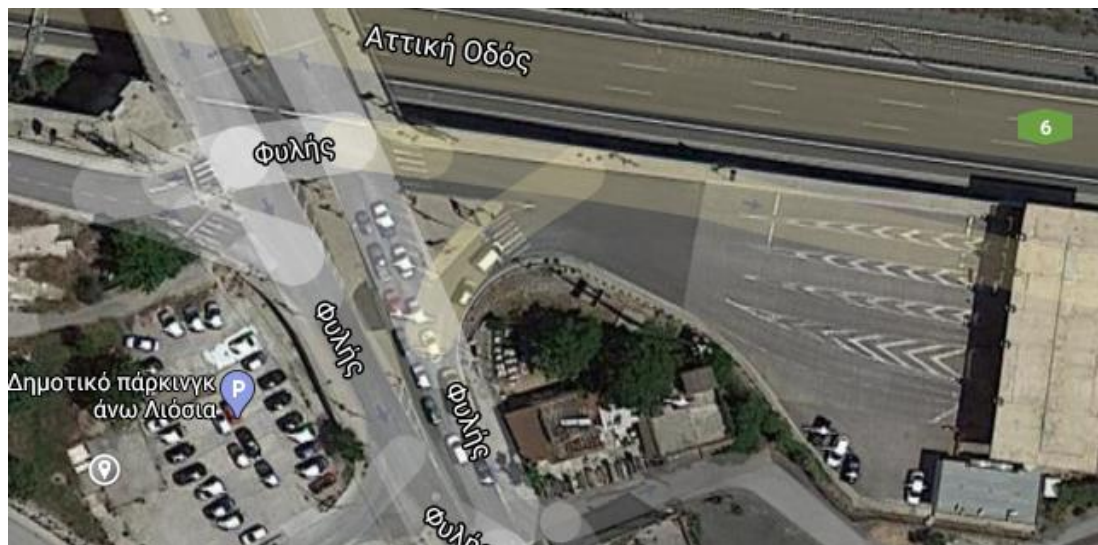
Ο παρακάτω πίνακας (πιν.5.2) δείχνει την παραμετροποίηση που έγινε στον modulator και τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον Υμηττό:

VIDEO RESOLUTION	MODULATION	CODE RATE	GUARD INTERVAL	MER	BER	FIELD(db/uv)	BIT RATE(Mbps)
SD	64QAM	5/6	1/16	30.71	9.3E-5	49.2	15
SD	16QAM	5/6	1/16	30.1	8.39E-5	48.3	14
HD	16QAM	5/6	1/16	30	29E-4	48.8	16

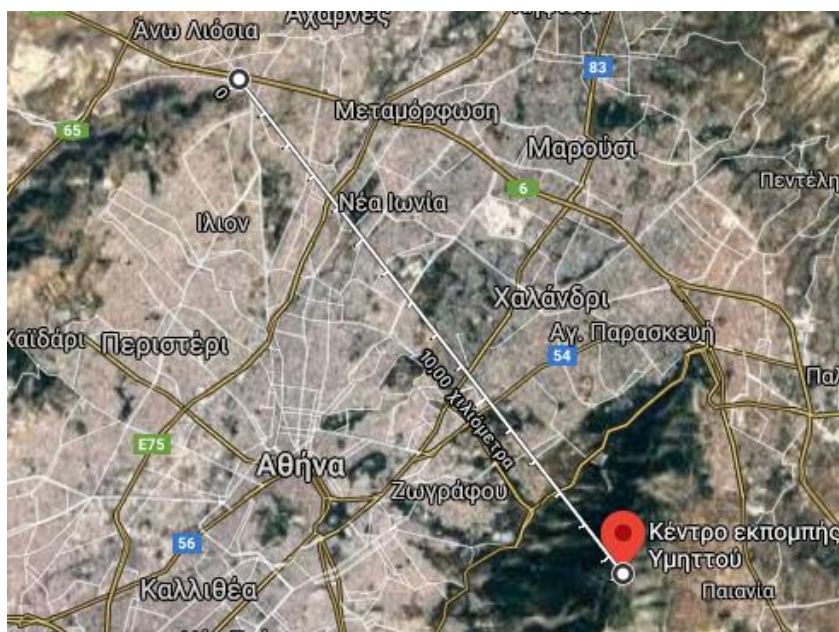
Πιν .5.1.Αποτελέσματα των μετρήσεων στον Υμηττό απο την εκπομπή στου Παπάγου.

Τα αποτελέσματα από τον πιν.5.1 ήταν αναμενόμενα.Οι απώλειες free space για αυτή την απόσταση είναι -99db το EIRP είναι 36dbm η κεραία λήψης έχει κέρδος 13db και για την μετατροπή απο db/uv σε dbm γίνεται αφαίρεση του 107. (dbuv-10log(z)-90=dbm ,z=50Ω).Για την μετάδοση HD το BER αυξήθηκε αλλά η λήψη ηταν πολύ καλή.

Το δεύτερο σημείο ήταν στα Ν.Λιόσια:



Σχ.5.12 Η δεύτερη τοποθεσία μέτρησης στο δημοτικό πάρκινγκ στα Ν.Λιόσια.



Σχ.5.13. Η απόσταση από το κέντρο εκπομπής του Υμηττού όπου βρισκόταν ο δέκτης ήταν 15,57km.

Οι μετρήσεις στο κέντρο εκπομπής Υμηττού ήταν:

VIDEO RESOLUTION	MODULATION	CODE RATE	GUARD INTERVAL	MER	BER	FIELD(db/uv)	BIT RATE(Mbps)
SD	64QAM	5/6	1/16	23	9.3E-5	42.2	14
SD	64QAM	5/6	1/16	22.01	8.7E-5	38	14
HD	16QAM	5/6	1/16	24	1.4E-4	41.68	13

Πίνακας.5.2. Αποτελέσματα των μετρήσεων στον Υμηττό απο την εκπομπή στα Ν.Λιόσια

Η ποιότητα του σήματος που μετρήθηκαν στο κέντρο εκπομπής του Υμηττού και απο τα δύο σημεία ήταν πολύ καλή και για μετάδοση SD όσο και για HD με τις συγκεκριμένες παραμέτρους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αξιοποίηση των white spaces 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 επιτυγχάνονταν 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 white spaces στην Αττική. Οι σχέσεις (4.19) και (4.7) για $k_g = 1$ δείχνουν ότι, εφόσον σε μια ζεύξη επιτυγχάνεται η απαίτηση:

$$0.53 \leq L_d + G_r + G_c$$

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 (4.7) 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 video που λήφθηκαν υπόψη, προκύπτει ότι το εύρος ζώνης των 8MHz αρκεί για λιε μετάδοση ροής video. Επιπλέον, είτε το video 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 codes που υποστηρίζουν το πρωτόκολλο HEVC είναι ακριβότεροι από αυτούς που υποστηρίζουν το H.264.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

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 αντιστοίχιση ροής πληροφορίας σε αναλογικό σήμα μεταφράζεται σε αλλαγή πλάτους και φάσης ενός διαμορφωμένου σήματος.

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

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(2\pi f_c t) \quad (A'.1)$$

$$\phi_2 = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \sin(2\pi f_c t) \quad (A'.2)$$

όπου T ο χρόνος ανά τον οποίο στέλνεται ένα σύμβολο στο δίαυλο και ο παράγοντας $\sqrt{2/T}$ 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

$$s_i(t) = s_{i1}g(t)\cos(2\pi f_c t) + s_{i2}g(t)\sin(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq T_s \quad (A'.3)$$

$$\text{Όπου} \quad s_{ij} = \int_0^{T_s} S_i(t) \phi_j(t) dt \quad (A'.4)$$

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

$$s(t) = \sum_k s_i(t - kTs) \quad (A'.5)$$

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 R^2 για $i = 1, 2, \dots, M$ όπου M το πλήθος των διαφορετικών σημάτων που ορίζει μια ψηφιακή διαμόρφωση, δίνει τον αστερισμό αυτής. Υποθέτοντας μετάδοση μέσω διαύλου AWGN η γενική μορφή των σημάτων στο δέκτη είναι:

$$r(t) = s_i(t) + n(t), \quad 0 \leq t \leq T_s \quad (A'.6)$$

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

$$r_j = s_{ij} + n_j \quad (A'.7)$$

οπου

$$n_j = \int_0^T n(t) \phi_j(t) dt$$

Καθώς τα διανύσματα $\mathbf{s}_i = (s_{i1}, s_{i2})$ και $\mathbf{r} = (r_1, r_2)$ περιγράφουν αμφιμονοσήμαντα 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 αντιστοίχιση 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.

A'.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

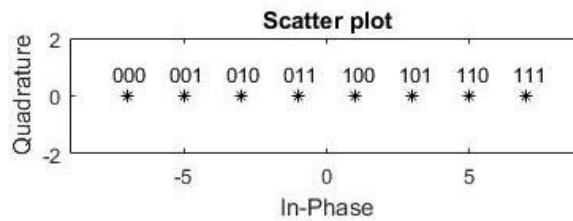
$$s_i(t) = A_i g(t) \cos(2\pi f_c t + \psi_0), \quad 0 \leq t \leq T_s \quad (A'.9)$$

όπου $A_i = (2i-1)d$, $i = 1, 2, \dots, M$. 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

$$E_{s_i} = \int_0^{T_s} s_i^2 dt = A_i^2 \quad (A'.10)$$

Προφανώς, κάθε σύμβολο έχει διαφορετική ενέργεια.



Σχήμα A'.1: Αστερισμός 8PAM

A'.1.2 MPSK

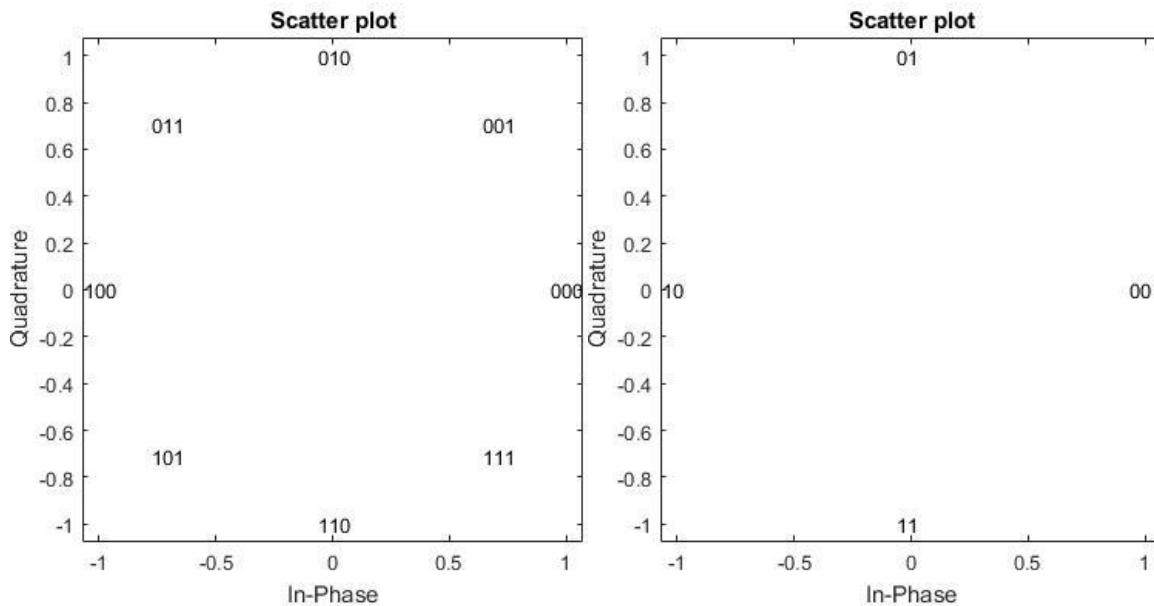
Κατά τη διαμόρφωση MPSK (Phase Shift Keying) η πληροφορία μεταφράζεται σε αλλαγές της φάσης του διαμορφωμένου σήματος με βάση την εξίσωση

$$s_i(t) = Ag(t)\cos(2\pi f_c t + \psi_0 + (i - 1)\frac{2\pi}{M}) \quad (A'.11)$$

$$= Ag(t)\cos[(i - 1)\frac{2\pi}{M}]\cos(2\pi f_c t + \psi_0) - Ag(t)\sin[(i - 1)\frac{2\pi}{M}]\sin(2\pi f_c t + \psi_0) \quad (A'.12)$$

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

$$E_{s_i} = \int_0^{T_s} s_i^2 dt = A^2 \quad (A'.13)$$



Σχήμα Α'.2: Αστερισμός 4PSK και 8PSK

A'.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

$$s_i(t) = A g(t) \cos(2\pi f_c t + \psi_0 + \theta_i) \quad (A'.14)$$

$$= A_i g(t) \cos(\theta_i) \cos(2\pi f_c t + \psi_0) - A_i g(t) \sin(\theta_i) \sin(2\pi f_c t + \psi_0) \quad (A'.15)$$

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.

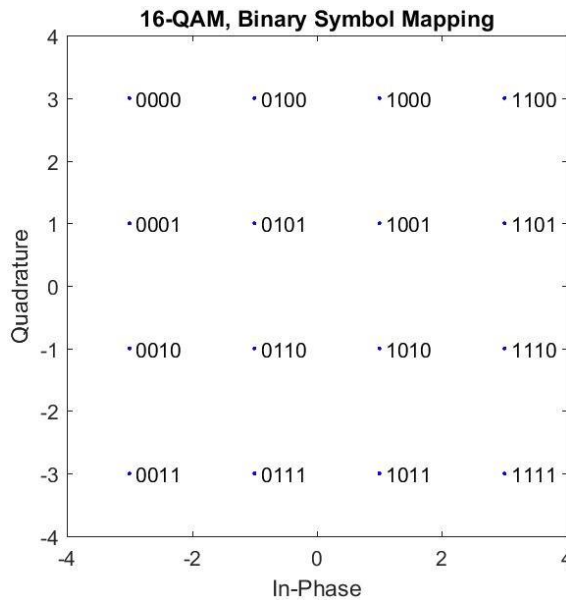
Η ενέργεια συμβόλου είναι

$$E_{s_i} = \int_0^{T_s} s_i^2 dt = A_i^2 \quad (A'.16)$$

και η μέση ενεργεία συμβόλου είναι:

$$\overline{E_{s_i}} = \frac{1}{M} \sum_1^M A_i^2 \quad (A'.17)$$

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

$$SNR = \frac{P_r}{N_0 B} \quad (A'.18)$$

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 αντιστοίχιση αυτή γίνεται με βάση την κωδικοποίηση Gray και ισχύει η προσεγγιστική σχέση

$$P_b = \frac{P_s}{\log_2 M} \quad (\text{A'.19})$$

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 όπου αποτελούν τη σηματοθορυβική στάθμη ανά ψηφίο και ανά σύμβολο αντίστοιχα και προκύπτουν από το λόγο SNR μέσω των σχέσεων

$$\gamma_b = SNR \times BT_b \quad (\text{A'.20})$$

$$\gamma_s = SNR \times BT_s = SNR \times K_g \quad (\text{A'.21})$$

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:

$$\gamma_b = \frac{\gamma_s}{\log_2 M} \quad (\text{A'.22})$$

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

$$MPAM : P_s = \frac{2(M-1)}{M} Q\left(\sqrt{\frac{6\gamma_s}{M^2-1}}\right), \quad P_b \approx \frac{2(M-1)}{M \log_2 M} Q\left(\sqrt{\frac{6\gamma_b \log_2 M}{M^2-1}}\right) \quad (A'.23)$$

$$MPSK : P_s = 2Q\left(\sqrt{2\gamma_s} \sin\left(\frac{\pi}{M}\right)\right), \quad P_b \approx \frac{2}{\log_2 M} Q\left(\sqrt{2\gamma_b \log_2 M} \sin\left(\frac{\pi}{M}\right)\right) \quad (A'.24)$$

$$MQAM : P_s \approx 4Q\left(\sqrt{\frac{3\gamma_s}{M-1}}\right), \quad P_b \approx \frac{4}{\log_2 M} Q\left(\sqrt{\frac{3\gamma_b \log_2 M}{M-1}}\right) \quad (A'.25)$$

b

A'.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 υποδιάυλο. Αναλυτικότερα, κάθε ροή πληροφορίας διαμορφώνει κατά MQAM ή MPSK ένα υποφέρων 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:

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} s_n p(t) \cos(2\pi f_n t + \psi_n) \quad (A'.26)$$

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. Κς 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

$$\frac{N}{N+\mu}$$

A'.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

$$G_c = \frac{(E_b/n_0)_u}{(E_b/n_0)_c} \quad (A'.27)$$

όπου $(E_b/n_0)_u$ και $(E_b/n_0)_c$ οι λόγοι ενέργειας ψηφίου προς πυκνότητα θορύβου στην ακωδικοποιήτη 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:

- 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.
- 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 βασική 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:

- Το βάρος της κωδικής λέξης w . Κς 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.
- 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:

$$d_{ij} = \sum_{l=1}^N C_{i,l} \oplus C_{j,l} \quad (\text{A'.28})$$

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

$$d_{min} = \min(d_{ij}) \quad (\text{A'.29})$$

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

$$e = d_{min} - 1 \quad (\text{A'.30})$$

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

$$t = \left\lfloor \frac{d_{min} - 1}{2} \right\rfloor \quad (\text{A'.31})$$

όπου $|a|$ ο μεγαλύτερος ακέραιος αριθμός που δεν υπερβαίνει τον a . 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:

$$E_c = \frac{k}{n} E_b \quad (\text{A'.32})$$

Μία ακωδικοποιήτη λέξη λαμβάνεται σωστά με πιθανότητα:

$$P_e = 1 - p^k \quad (\text{A'.33})$$

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:

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

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

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

Οπότε η πιθανότητα λάθους ανά ψηφίο κωδικοποιημένης λέξης είναι:

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

A'.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:

- **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 συγ- χρονισμό ενός δικτύου στο οποίο πολλές συσκευές επικοινωνούν με μία βάση, ειδικά στην περίπτωση που οι φυσικές αποστάσεις μεταξύ των τερματικών και της βάσης εμφανίζουν με γάλη 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 περιόδους σιωπής μειώνουν τη φασματική απόδοση καθιστώντας το σχήμα TDMA μη κατάλληλο.
- **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. Αιδοχικά 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.
- **CDMA – Code Division Multiple Access.** Το σχήμα πολλαπλής πρόσβασης CDMA επιτυγχάνει αποφυγή παρεμβολών μεταξύ των χρηστών του κοινού μέσου μέσω κατάλληλων κωδικών που διαμοιράζονται σε αυτούς. Κάθε χρήστης έχει έναν κώδικα της μορφής $r(t_i) = 1$ 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 κωδικές 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 κωδικές 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.
- **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. Αυτό σχήματα που χρησιμοποιούνται ευρέως για συντονισμό πολλών χρηστών ενός μέσου κατά τη μετάδοση δεδομένων είναι τα εξής:

- **CSMA/CoD – Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection.** Αυτό το σχήμα βασίζεται στην ικανότητα των τερματικών 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.
- **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.

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 – Transmission 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:

- **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. Κς 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.

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

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.



Γ'.ΔΙΚΤΥΑ ΕΥΡΕΙΑΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

Η ευρεία εκπομπή είναι αναπόσπαστο τμήμα πολλών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων των τελευταίων δεκαετιών. Τα δίκτυα ευρείας εκπομπής είναι τα δίκτυα εκείνα που καλύπτουν ευρύτερες 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:

- **MFN** (Αίκτυο πολλών συχνοτήτων). Στα MFN δίκτυα 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.
- **SFN** (Αίκτυο 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.

Δ'.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ασύρματες επικοινωνίες, Παναγιώτης Γ. Κωπτής, Παντελής-Ααυιήλ Μ. Αράππουλου
- [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., Mulyoff, 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 Implementation. (2016). Retrieved from https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/07/R0A0700003B0001PDFE.PDF