



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ  
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

---

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
& ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

---

**Διερεύνηση δυνατοτήτων αξιοποίησης των whitespaces  
στη ζώνη UHF παρουσία τηλεοπτικού σήματος.  
Εφαρμογή με πραγματικά δεδομένα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κουτάντος Γρηγόριος

Επιβλέπων

Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2015





## ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΥΛΙΚΩΝ

### **Διερεύνηση δυνατοτήτων αξιοποίησης των whitespaces στη ζώνη UHF παρουσία τηλεοπτικού σήματος. Εφαρμογή με πραγματικά δεδομένα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κουτάντος Γρηγόριος

Επιβλέπων

Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την εξεταστική επιτροπή τον Ιούνιο 2015

-----  
Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

-----  
Παναγιώτης Κωπτής

Καθηγητής Ε.Μ.Π

-----  
Γεώργιος Φικιώρης

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούνιος 2015

Κουτάντος Γρηγόριος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Υπολογιστών ΕΜΠ

Copyright Γρηγόριος Κουτάντος 2015

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 στον 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

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χρήστο Καψάλη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τη βοήθειά του στη εκπόνηση της εργασίας και τις χρήσιμες συμβουλές τις οποίες έδωσε που χωρίς αυτές δεν θα μπορούσε να είχε εκτελεστεί με το ίδιο αποτέλεσμα η διπλωματική. Επίσης, τον υποψήφιο διδάκτορα του Εργαστηρίου Ασυρμάτου & Επικοινωνίας Μεγάλων Αποστάσεων Ανδριανό Κατσούρη, για το ενδιαφέρον και τη βοήθειά του, οποτεδήποτε και αν χρειάστηκε καθώς και το χρήσιμο υλικό που μου έδινε σε κάθε στάδιο της διπλωματικής που έκανε το έργο μου ευκολότερο. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συμφοιτητές και φίλους μου στάθηκαν δίπλα μου όλη αυτή τη περίοδο, με τους οποίους περάσαμε μαζί δυσκολίες και χαρές, εντός και εκτός Πολυτεχνείου, τα τελευταία πέντε χρόνια και να τους ευχηθώ υγεία και επιτυχία σε οτιδήποτε και αν κάνουν. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω, ίσως, περισσότερο από όλους, την οικογένειά μου για την συμπαράσταση και την στήριξη, ηθική και υλική, που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και για τη μέριμνά τους για τη σωστή διαμόρφωση του χαρακτήρα μου.

Κουτάντος Γρηγόριος, Ιούνιος 2015

## περίληψη

Η τηλεόραση στις μέρες μας αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής ζωής. Από την εποχή του τηλεγράφου και τις πρώτες πειραματικές εκπομπές τηλεόρασης στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα, έχουμε οδηγηθεί στη ψηφιακή τηλεόραση και στο DVB-T. Η ψηφιακή τηλεόραση προσδίδει πλέον ευκρίνεια, μεγαλύτερη ποιότητα εικόνας/ήχου και μεγαλύτερη διαδραστικότητα. Το DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial) μεταδίδει συμπιεσμένο ψηφιακό ήχο, ψηφιακό βίντεο και άλλα δεδομένα σε ένα ρεύμα μεταφοράς MPEG (MPEG 2/ MPEG 4) χρησιμοποιώντας πολυπλεξία COFDM/OFDM. Το προς μετάδοση σήμα οργανώνεται σε πλαίσια και ανάλογα με τη μέθοδο διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται, ποικίλει και ο ρυθμός μετάδοσης. Η δομή ενός πομπού DVB-T αποτελείται από έναν πολυπλέκτη, εσωτερικό/εξωτερικό κωδικοποιητή, έναν εσωτερικό/εξωτερικό διεμπλοκέα, έναν mapper, έναν διαχωριστή και έναν DAC. Εκτός από το DVB-T έχουμε και το πρότυπο DVB-H που αναπτύχθηκε για να υποστηρίξει εκπομπή ψηφιακού βίντεο σε κινητούς δέκτες. Είναι μια προέκταση του DVB-T το οποίο παρέχει την ίδια υπηρεσία αλλά σε σταθερές και φορητές τερματικές συσκευές. Επιπλέον έχουμε το σύστημα DVB-C για την καλωδιακή εκπομπή που έχει σχεδιασθεί για να τροφοδοτείται από συνδυασμό σημάτων από δορυφόρους και από τοπικά προγράμματα που προέρχονται από άξονες διανομής. Τέλος τεχνολογική εξέλιξη μεγάλης σημασίας αποτελεί η δημιουργία του προτύπου DVB-T2. Πρόκειται για μια εξέλιξη του υφιστάμενου προτύπου της επίγειας πλατφόρμας DVB-T, το οποίο χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή στη χώρα μας για τη ψηφιακή ευρυεκπομπή. Όμως, για να εφαρμοστούν όλα αυτά στη πράξη θα πρέπει να υπάρχουν οι απαραίτητες προδιαγραφές και οι αδειοδοτήσεις για να χρησιμοποιηθούν συχνότητες σε μια ψηφιακή τηλεόραση. Στην παρούσα εργασία εισάγεται η έννοια των whitespaces, που αφορούν τις κενές περιοχές του φάσματος UHF, που προέκυψαν από τη μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση. Για να έχει αξία οποιαδήποτε μελέτη σχετικά με τη χρήση των whitespaces, είναι αναγκαίος ο υπολογισμός του τελικά διαθέσιμου ποσού φάσματος που μπορεί να αξιοποιηθεί πρακτικά. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που καθορίζουν το εύρος του διαθέσιμου φάσματος όπως, η τεχνολογία των συσκευών whitespace (WSDs), η τοπολογία της περιοχής, η προστασία των τηλεοπτικών εκπομπών κ.α. Σαν παράδειγμα χρησιμοποιείται μια περιοχή στη Δράμα, στην οποία εφαρμόζεται ένα πραγματικό σενάριο, που στοχεύει στη μελέτη της αύξησης της εκμετάλλευσης του φάσματος συχνοτήτων, για την λειτουργία δευτερευόντων υπηρεσιών (π.χ. LTE).

Λέξεις κλειδιά: κενή ζώνη συχνοτήτων, διαθέσιμο φάσμα, επίγεια ψηφιακή τηλεόραση, UHF συχνοτήτες

## abstract

Television nowadays is a vital part of the every day life. Starting from the telegraph and the first experimental television transmissions at the midth of the 20<sup>th</sup> century, we are now heading to the digital television and DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) standard. Digital television offers higher resolution picture, better quality of image/video and more interactivity. DVB-T carries compact digital sound, digital video and other data in a stream called MPEG (MPEG 2/MPEG 4) using COFDM/OFDM multiplexing. The delivered signal is formed in frames and according to the modulation employed, the bit rate varies. A DVB-T transmitter is composed of a multiplexer, inner/outer decoder, inner/outer interleaver, mapper, splitter and a DAC (Digital-to-Analog Converter). Apart from DVB-T, DVB-H (Digital Video Broadcasting – Handheld) standard has been developed to support digital video emission to mobile receivers. DVB-H acts as an extension to DVB-T, providing television services in steady and portable terminal devices. Additionally, DVB-C (Digital Video Broadcasting – Cable) standard for cable broadcasting has been designed to be fed by combination of signals from satellites and local programs derived from distribution channels. Finally, a significant technological advance is the creation of DVB-T2 standard, as an evolution of the recent model of DVB-T. Implementing the aforementioned technologies, however, depends on the study of the necessary requirements and authorizations, regarding the frequencies affecting digital television emissions. In the present thesis, the term white space is introduced, referring to the unoccupied UHF frequencies that emerged from the transition to digital television. In order to use these frequencies as effectively as possible, it is necessary to evaluate the final available spectrum which can be practically utilized. The amount of the available spectrum is affected by many factors, such as the technology of the white space devices (WSD's), the topology of the region, the protection of digital television emission etc. As a case study, a realistic scenario is realized, involving an appropriate area in Drama, Greece, in order to examine possible increase of the aggregate spectrum exploitation (e.g. LTE services).

Key words: Whitespaces, LTE, available spectrum, DVB-T, UHF frequencies

# περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	12
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
2. Ψηφιακή Τηλεόραση.....	13
2.1 Γενικά .....	13
2.2 Αρχές Ψηφιακής Εποχής.....	17
2.2.1 Πλεονεκτήματα ψηφιακής έναντι αναλογικής τεχνολογίας.....	17
2.2.2 Ψηφιακή τηλεόραση στην Ελλάδα (κέντρα εκπομπής) .....	19
3. Το σύστημα DVB-T.....	21
3.1 Ιστορική αναδρομή.....	21
3.2 Το πρότυπο MPEG-2 .....	22
3.3 Το πρότυπο MPEG-4 .....	24
3.4 Δομή πλαισίου .....	25
3.5 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά του εκπεμπόμενου σήματος .....	30
3.6 Χώρες και εδάφη που χρησιμοποιούν το DVB-T .....	32
4. Δομικό διάγραμμα πομπού DVB-T .....	33
4.1 Πολυπλέκτης (MUX).....	33
4.2 Εξωτερικός κωδικοποιητής (outer decoder).....	34
4.3 Εσωτερικός κωδικοποιητής (inner decoder).....	34
4.4 Εσωτερικός διεμπλοκέας (inner interleaver).....	34
4.5 Εξωτερικός διεμπλοκέας (outer interleaver).....	35
4.6 Διαχωριστής (splitter).....	35
4.7 Mapper και προσαρμογή πλαισίου .....	35
4.8 Pilot and TPS signals .....	36
4.9 DAC and front end.....	36



5. Τεχνική περιγραφή του δέκτη .....	36
6. Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (DTTV) .....	39
6.1 Γενικά .....	39
6.2 Πλεονεκτήματα .....	40
6.3 Λήψη.....	41
6.4 Μετάδοση .....	41
6.5 Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση στην Ελλάδα .....	42
6.6 Περιοχές ψηφιακής μετάβασης.....	43
6.7 Ψηφιακή τηλεόραση σε κινητούς δέκτες .....	45
7. Το σύστημα DVB-H.....	46
7.1 Σύνομη περιγραφή-Βασικά Χαρακτηριστικά.....	46
7.2 Γενική άποψη του συστήματος.....	47
7.3 Τμηματοποίηση χρόνου (time slicing) .....	49
7.4 Προστασία άνισων λαθών (Unequal Error Protection).....	50
7.5 Παράμετροι φυσικού στρώματος.....	50
7.6 Χρόνος συγχρονισμού στο δέκτη .....	51
8. Η τεχνολογία DVB-C και DVB-C2.....	52
9. Μελλοντικές εξελίξεις στη ψηφιακή τηλεόραση.....	53
9.1 Ψηφιακή εξέλιξη .....	53
9.2 Η τεχνολογία DVB-T2.....	54
10. Whitespace.....	56
10.1 Γενικά .....	56
10.2 Προστασία ήδη υπαρχόντων υπηρεσιών .....	58
10.2.1 Ανίχνευση του φάσματος (spectrum sensing) .....	59
10.2.2 Γεωεντοπισμός .....	60
10.2.3 Φάροι (beacons).....	61
10.3 Αδειοδοτούμενες υπηρεσίες .....	61

10.4 Χαρακτηριστικά υπηρεσιών.....	62
10.4.1 Προστασία των ραδιοηλεκτρικών υπηρεσιών στη ζώνη 470-790 MHz .....	62
10.4.2 Προστασία των PMSE στη ζώνη 470-790 MHz .....	66
10.4.3 Προστασία της Ραδιοαστρονομίας στη ζώνη 608-614 MHz .....	69
10.4.4 Προστασία κινητών/σταθερών υπηρεσιών στις ζώνες γειτονικά των 470-790 MHz.....	72
10.5 Δυνατότητες και χαρακτηριστικά των WSDs .....	72
10.6 Εφαρμογές που μπορούν να επωφεληθούν από WSDs.....	75
10.7 Απόπειρες χρήσης κενών συχνοτήτων.....	76
11. Ασύρματο σύστημα Long Term Evolution (LTE).....	78
11.1 Επισκόπηση .....	78
11.2 Χαρακτηριστικά.....	79
11.3 Συχνότητες λειτουργίας .....	81
11.4 Αρχιτεκτονική δικτύου LTE.....	81
11.5 Τοπολογία δικτύου LTE .....	82
11.6 Απόδοση δικτύου LTE.....	83
11.7 Φάσεις εξέλιξης του LTE.....	85
11.8 Η εφαρμογή του LTE στην τηλεόραση .....	88
11.9 Σημερινές εξελίξεις του LTE .....	89
11.10 Η ιδιομορφία του LTE στην Ελλάδα .....	91

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Δίκτυα Πολλών Συχνοτήτων (Multi Frequency Networks-MFN).....	92
2. Δίκτυα Μονής Συχνότητας (Single Frequency Networks-SFN).....	93
2.1 Ανοικτά/Κλειστά SFNs Δίκτυα.....	95
2.2 Χαρακτηριστικά Πομπών .....	95
2.3 Αποδοτικότητα φάσματος .....	96
2.4 Αποδοτικότητα ισχύος.....	97

2.5 Απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνότητας.....	97
2.6 Περιορισμοί χρήσης SFNs.....	98
2.6.1 Συγχρονισμός συχνότητας .....	98
2.6.2 Συγχρονισμός χρόνου .....	98
2.6.3 Συγχρονισμός των ψηφιακών σημάτων ενός SFN.....	100
3. Allotments .....	101
4. Καλύψεις ανά κέντρα εκπομπής .....	107
5. Συντονισμός με γειτονικές χώρες.....	113
6. Παρεμβολή SFN δικτύου.....	114
6.1 Ενδο-παρεμβολή (self-interference) SFN δικτύου.....	114
6.2 Εξερχόμενη παρεμβολή SFN δικτύου .....	115
7. Παρουσίαση αποτελεσμάτων με χρήση του υπολογιστικού προγράμματος matlab.....	130
8. Συμπεράσματα-Μελλοντικές επεκτάσεις.....	143
9. Βιβλιογραφία.....	144

## Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς των φαινομένων της ψηφιακής τηλεόρασης. Ζούμε στην εποχή όπου η ψηφιακή τηλεόραση βρίσκεται σε διαρκή εξέλιξη. Το DVB-T αποτελεί το πρότυπο επίγειας μετάδοσης που έχει αναπτυχθεί με ιδιαίτερο τρόπο σε σύγκριση με τα προηγούμενα πρότυπα για δορυφορική μετάδοση. Με το DVB-T επιτυγχάνονται καλύτερες επιδόσεις απ' ό,τι με την αναλογική και προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στην επίγεια μετάδοση αλλά και λήψη του σήματος. Επίσης είναι δυνατή η εισαγωγή νέων, καινοτόμων εφαρμογών. Επίσης αναλύονται τα βήματα ψηφιοποίησης και οι τεχνικές συμπίεσης του σήματος κατά τα πρότυπα MPEG. Στη συνέχεια ορίζουμε την έννοια του whitespacεπου είναι η περιοχή που μου επιτρέπει να ενεργοποιήσουμε ένα κανάλι. Αυτό αποτελεί και το πειραματικό μέρος της διπλωματικής που είναι η μελέτη του αν μια περιοχή είναι διαθέσιμη ή όχι για εγκατάσταση whitespace. Έχοντας τις καλύψεις και τα κέντρα εκπομπής των περιοχών που θέλουμε να μελετήσουμε θα εξάγουμε ορισμένα συμπεράσματα.

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 2. Ψηφιακή Τηλεόραση

#### 2.1 Γενικά

Το 1844 ο Samuel Morse έκανε μια ανακάλυψη που άλλαξε τα δεδομένα των τηλεπικοινωνιών στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Δημιούργησε τον τηλέγραφο, μία μηχανή που μπορούσε να μεταδώσει συνδυασμούς κωδικοποιημένων λέξεων και γραμμάτων μέσω των ηλεκτρικών παλμών κατά μήκος των καλωδίων.

Τηλέγραφος morse



Αυτή ήταν η βασική ιδέα πάνω στην οποία στηρίχτηκε η δημιουργία της τηλεόρασης, καθώς αντίστοιχα κάτι παρόμοιο θα μπορούσε να γίνει και με την μετάδοση εικόνων. Πρακτικά το φως θα μπορούσε να μετατραπεί σε ηλεκτρικούς παλμούς, κάνοντας έτσι δυνατή τη μεταβίβαση των παλμών αυτών σε απόσταση και την μετατροπή τους πάλι σε φως. Οι οραματιστές και μηχανικοί της εποχής, όμως, αδυνατούσαν να καταλήξουν σε κάποια μέθοδο για την ποιοτική ανάλυση της εικόνας.

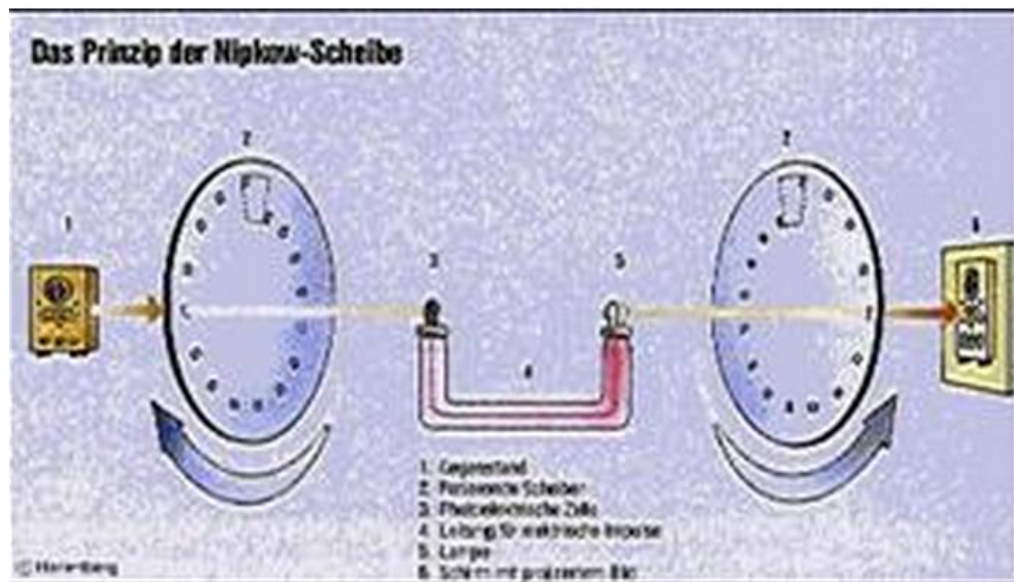
Συνοπτικά υπάρχουν τρία είδη τηλέγραφων.

- Ο **οπτικός τηλέγραφος** (με φωτιά) που ήταν σε μεγάλη χρήση στην Αρχαία Ελλάδα. Για τη μετάδοση των μηνυμάτων χρησιμοποιούνταν το σύστημα της πυρσείας, δηλαδή η χρήση φωτεινών αναμεταδοτών που ήταν τοποθετημένοι στις βουνοκορφές. Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας με τα φωτεινά σήματα, που εξελίχθηκε αργότερα, ήταν γνωστός σαν φρυκτωρία και αναφέρεται από τους Ευριπίδη, Αριστοφάνη και Θουκυδίδη.
- Ο **υδραυλικός τηλέγραφος** (με την χρήση πανομοιότυπων δεξαμενών νερού). Στους σηματοδοτικούς σταθμούς υπήρχαν δύο πανομοιότυποι κάδοι κυλινδρικής μορφής γεμάτοι με νερό μέχρι το ίδιο επίπεδο. Στην βάση τους είχαν και από μια βρύση ίδιας διαμέτρου, ώστε όταν έτρεχε το νερό η ροή του να ήταν η ίδια και στους δύο κάδους. Πάνω στο νερό του κάθε κάδου επέπλεε ένα ξύλινο ραβδί που ήταν κάθετα στηριγμένο σε έναν κυλινδρικό φελλό, που είχε διάμετρο λίγο μικρότερη από την αντίστοιχη των δοχείων. Το ραβδί ήταν χωρισμένο σε παράλληλους κύκλους που είχαν απόσταση περίπου 6 εκατοστών μεταξύ τους. Στα κενά αυτών των κύκλων ήταν σημειωμένες διάφορες κωδικοποιημένες πληροφορίες, στρατιωτικής κυρίως φύσης, οι ίδιες και στους δύο κάδους. Όταν επρόκειτο να μεταδοθεί ένα μήνυμα, ειδοποιούσαν για την πρόθεσή τους τον επόμενο σταθμό υψώνοντας έναν πυρσό. Μόλις ο απέναντι σταθμός απαντούσε ότι έλαβε το σήμα, υψώνοντας κι αυτός πυρσό, ο πομπός ύψωνε τον πυρσό του και πάλι και άνοιγαν και οι δύο, τις βρύσες να τρέξουν ταυτόχρονα. Όταν το ραβδί, καθώς κατέβαινε, έφθανε στο μήνυμα που ήθελαν να μεταδώσουν στα χείλη του κάδου, τότε ο πομπός χαμήλωνε τον πυρσό και έκλεινε τη βρύση του. Ο λήπτης έκλεινε κι αυτός τη δική του βρύση. Τα μηνύματα έφθαναν και στους δύο σταθμούς στο ίδιο σημείο.
- Ο **ηλεκτρικός τηλέγραφος**. Με την ανακάλυψη του ηλεκτρισμού εμφανίζεται ο τηλέγραφος του Morse. Είναι ένα μέσο που έφερε επανάσταση στις τηλεπικοινωνίες γιατί ήταν πολύ ταχύτερο και πολύ πιο αξιόπιστο από όλα τα προηγούμενα. Ο τηλέγραφος δημιουργεί ηλεκτρικές μεταβολές που προκαλούνται από τον αποστολέα. Οι μεταβολές μεταφέρονται στον αποδέκτη όπου και μετατρέπονται σε κατανοητά σήματα.

Η μεταβίβαση κινούμενων εικόνων σε απόσταση έγινε για πρώτη φορά δυνατή όταν επιτεύχθηκε η μετατροπή της φωτεινής ροής σε ηλεκτρομαγνητικά σήματα. Το 1879, ο

Γάλλος Senlec διατύπωσε τη θεμελιώδη αρχή της διαδοχικής μετάδοσης των στοιχείων της εικόνας. Η συσκευή αυτή είχε μόνο ένα καλώδιο, με το οποίο μεταδίδονταν διαδοχικά όλα τα τμήματα της εικόνας, σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα (της τάξης των msec) και έτσι ο θεατής είχε την εντύπωση της συνεχούς προβολής της εικόνας.

Το 1884 ο Paul Nipkow βασιζόμενος στο ερέθισμα που του έδωσε η παρουσίαση του τηλεφώνου από τον Alexander Graham Bell, το 1876 επινόησε το πρώτο ηλεκτρομαγνητικό σύστημα λήψης εικόνας. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιούσε μια διάταξη περιστρεφόμενων δίσκων με μικρές τρύπες διατεταγμένες σπειροειδώς κοντά στην περιφέρεια του δίσκου, γνωστού και ως "δίσκος του Nipkow".



-Δίσκος Nipkow

Η διάταξη αυτή επέτρεπε σ' ένα φωτοκύτταρο να βλέπει διαδοχικά τη φωτεινότητα των σημείων της εικόνας. Έτσι επιτυγχανόταν η μετατροπή της φωτεινότητας του κάθε σημείου σε ηλεκτρικό σήμα. Η αντίστροφη διαδικασία εφαρμογής του ηλεκτρικού σήματος σε μία λυχνία της οποίας η φωτεινότητα ήταν ανάλογη του σήματος επέτρεπε την αναπαραγωγή της εικόνας. Με άλλα λόγια ο Nipkow κατόρθωσε να αναλύσει, έστω και πρόχειρα, την εικόνα.

Αργότερα το 1925 ο Charles Jenkins κατασκευάζει ένα πρωτόγονο τηλεοπτικό σύστημα που είχε τη δυνατότητα να δείχνει είδωλα σε μία οθόνη ενός δέκτη και χρησιμοποιεί το σύστημα αυτό για να εκπέμπει τηλεοπτικές εικόνες μέσω ραδιοφώνου. Τον Ιανουάριο του 1926 ο βρετανός John Logie Baird καταφέρνει με τη βοήθεια των δίσκων του Nipkow να μεταδώσει είδωλα σε απόσταση τριών μέτρων και πραγματοποιεί έτσι

μετάδοση με καλώδια. Ο Baird θεωρήθηκε πρωτοπόρος στην κατασκευή του νέου μέσου, όμως το μηχανικό σύστημα ανάλυσης της εικόνας που χρησιμοποίησε ο Baird στηρίχτηκε στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και όπως αποδείχθηκε η μέθοδος αυτή δεν ήταν η καταλληλότερη για τη νέα συσκευή. Πάντως, με την επινόηση του Baird αρχίζει μία νέα περίοδος στην ιστορία του μέσου που σηματοδοτείται από την εγκατάλειψη του μηχανικού συστήματος ανάλυσης της εικόνας και τη στροφή στη χρήση της ηλεκτρονικής.

Η διάδοση της τηλεόρασης, ήταν κατακόρυφη μετά την περίοδο του δεύτερου παγκόσμιου πολέμου, κυρίως εξαιτίας της αποδεδειγμένης της βιομηχανίας ηλεκτρονικών από την πολεμική παραγωγή και της εκμεταλλεύσεως των ανακαλύψεων της περιόδου του πολέμου. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι, ενώ το 1946 υπήρχαν στην Αμερική 6 σταθμοί εκπομπής με μερικές χιλιάδες δέκτες, μετά από 20 χρόνια υπήρχαν 560 σταθμοί με 56 εκατομμύρια δέκτες. Σ' αυτό συνέβαλε και η πτωτική τάση της βιομηχανίας του κινηματογράφου. Το BBC ξανάρχισε το 1946 να εκπέμπει τηλεοπτικό σήμα και τρία χρόνια αργότερα κατασκεύασε με εξαιρετική επιτυχία έναν πάρα πολύ ισχυρό, τον ισχυρότερο θα λέγαμε σταθμό αναμετάδοσης ανά την υδρόγειο. Μαζί με την ολοκλήρωση των οκτώ επιπλέον σταθμών αναμετάδοσης το έτος 1952, καθίσταται δυνατή η παρακολούθηση του ραδιοτηλεοπτικού προγράμματος από ένα ποσοστό του πληθυσμού, το οποίο αγγίζει το 80%, στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Στην Ελλάδα οι πρώτες πειραματικές εκπομπές της τηλεόρασης άρχισαν το 1965. Την καθυστερημένη αυτή εισαγωγή της τηλεόρασης ακολούθησε διάδοση μεγάλης εκτάσεως, που επέδρασε ουσιαστικά στη διαμόρφωση της σύγχρονης ζωής μας. Το πρώτο σύστημα έγχρωμης τηλεόρασης για το κοινό προτάθηκε στην Αμερική περί το 1950 από τον οργανισμό Columbia Broadcasting System (CBS). Το σύστημα αυτό αντιμετώπισε ζωνή αντίδραση από το κοινό και τους κατασκευαστές, κυρίως γιατί δεν ήταν προσαρμοσμένο στο σύστημα της ασπρόμαυρης τηλεόρασης και για το λόγο αυτό αντικαταστάθηκε το 1953 από το σύστημα NTSC, που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα στην Αμερική. Το σύστημα πήρε το όνομά του από τα αρχικά του οργανισμού που ερεύννησε σε έκταση το θέμα και δημιούργησε το σύστημα που έγινε αποδεκτό από τη βιομηχανία και το κοινό. Ο οργανισμός αυτός καλείται National Television System Committee. Το σύστημα NTSC έχει καθιερωθεί και χρησιμοποιείται στην Αμερική, τον Καναδά και την Ιαπωνία, αποτελεί δε τη βάση στην οποία στηρίχθηκαν όλα τα άλλα συστήματα που αναπτύχθηκαν μεταγενέστερα. Στην Ευρώπη έχουν καθιερωθεί και έχουν γίνει αποδεκτά τα συστήματα PAL και SECAM.



## 2.2 Αρχές ψηφιακής εποχής



Η ψηφιακή τηλεόραση βγαίνει από τα επιστημονικά εργαστήρια το 1972. Από τότε η τεχνολογική πρόοδος ήταν ραγδαία και σήμερα η διαδικασία της ψηφιοποίησης (της μετατροπής δηλαδή, του ήχου και της εικόνας στο δυαδικό σύστημα) υπόσχεται να μπει σε κάθε τηλεοπτικό δέκτη και να μεταμορφώσει τη μικρή οθόνη μας κι εμάς από παθητικούς δέκτες τηλεοπτικών προγραμμάτων σε ενεργούς χρήστες προγραμμάτων, αλλά και υπηρεσιών. Η ψηφιακή ραδιοτηλεοπτική μετάδοση (Digital Video Broadcasting– DVB) είναι το νέο αγγλοσαξονικό αρκτικόλεξο που φιλοδοξεί να μπει στη ζωή μας. Τα αρχικά θυμίζουν, όχι τυχαία, το DVD. Και οι δύο στοχεύουν στο να μεταφέρουν στις οθόνες μας άριστης ποιότητας εικόνα, που θα συνοδεύεται από κρυστάλλινο στερεοφωνικό ήχο. Το DVB όμως φιλοδοξεί να μας προσφέρει ακόμα περισσότερες καινοτομίες και να αλλάξει τις τηλεοπτικές μας συνήθειες.

### 2.2.1 Πλεονεκτήματα ψηφιακής έναντι αναλογικής τεχνολογίας

Τα βασικά πλεονεκτήματα της νέας ψηφιακής τεχνολογίας έναντι της αναλογικής είναι:

- Βελτιωμένη ποιότητα εικόνας και ήχου
- Απόλυτη ευκρίνεια
- Δυνατότητα λήψης μέσω φορητών και κινητών συσκευών
- Αποθήκευση και επεξεργασία του περιεχομένου

- Ο τηλεθεατής μπορεί να επιλέξει τι θα παρακολουθήσει μέσα από μια ευρεία γκάμα προγραμμάτων.
- Η νέα ψηφιακή τεχνολογία προσφέρει καλύτερους και φθηνότερους τρόπους ευρυεκπομπής.
- Εκπομπή περισσότερων προγραμμάτων στον ίδιο δίαυλο
- Εξοικονόμηση φάσματος
- Μεγαλύτερη ανοχή στις παρεμβολές
- Εισαγωγή περισσότερων υπηρεσιών
- Ηλεκτρονικός οδηγός προγράμματος
- Υπηρεσίες για ΑΜΕΑ
- Διαδραστική τηλεόραση

Επίσης, χάρη στην ψηφιακή τεχνολογία, ο τηλεθεατής θα έχει τη δυνατότητα να παραλάβει την καρέκλα του σκηνοθέτη και να επιλέξει, για παράδειγμα, την κάμερα από την οποία θα παρακολουθήσει ένα στιγμιότυπο ποδοσφαιρικού αγώνα ή τότε θα δει το σκορ, τα στατιστικά και ένα replay. Ο τομέας προγραμματισμού των καναλιών θα αδυνατίσει, καθώς ο τηλεθεατής θα είναι πλέον εκείνος που θα επιλέγει πότε θα δει μία εκπομπή. Η τεχνολογία παρέχει τη δυνατότητα προβολής 72 διαφορετικών ταινιών μέσα σε μια ημέρα ή μιας ταινίας 48 φορές μέσα στην ίδια ημέρα, με έναρξη προβολής κάθε μισή ώρα. Οι επιλογές του θεατή θα γίνονται με τη βοήθεια ενός τηλεχειριστηρίου που θα θυμίζει το σημερινό, αλλά θα έχει πολλές επιπλέον δυνατότητες. Τον ρόλο του βοηθού σε κάθε επιλογή θα παίζει ο Ηλεκτρονικός Οδηγός Προγράμματος (EPG), ένα είδος εξελιγμένης τηλεκειμενογραφίας (Teletext) με εικόνες και πολλές δυνατότητες αμφίδρομων λειτουργιών.



## 2.2.2 Ψηφιακή τηλεόραση στην Ελλάδα (κέντρα εκπομπής)



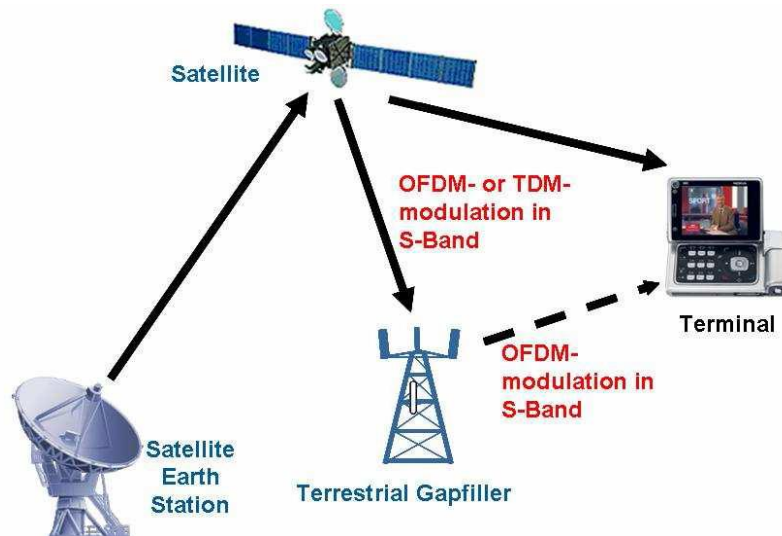
Την προκειμένη στιγμή, η πλατφόρμα της Digea διαθέτει 156 κέντρα εκπομπής σε περιοχές ανά την Ελλάδα, προκειμένου να διασφαλίσει έτσι ότι το ψηφιακό σήμα φτάνει σε όσο το δυνατόν περισσότερους τηλεθεατές.

Στο πλαίσιο της περιοχικής διάσκεψης της Παγκόσμιας Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (**International Telecommunication Union – I.T.U**) για την ψηφιοποίηση του τηλεοπτικού σήματος, το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων σε συνεργασία με το Υπουργείο Επικρατείας, προχώρησε στη διαμόρφωση του ψηφιακού χάρτη της Ελλάδος, ο οποίος αναφέρεται στην Κοινή Υπουργική Απόφαση 42800/5-10-2012, Φ.Ε.Κ. 2704/Β'/5-10-2012, με βάση και την [Κ.Υ.Α. 21161/12-8-2008](#), [Φ.Ε.Κ. 1680/Β'/20-8-2008](#) σε συνδυασμό με το άρθρο 14 του [Νόμου 3592/18-7-2007](#), [Φ.Ε.Κ. 161/Α'/19-7-2007](#).

Σύμφωνα με τον χάρτη συχνοτήτων, για την ολοκλήρωση της μετάβασης από το αναλογικό στο ψηφιακό σήμα θα χρειαστεί να ενεργοποιηθούν συνολικά 156 κέντρα εκπομπής ανά την Ελλάδα. Τα κέντρα εκπομπής παρουσιάζονται εκτενώς στα κομμάτια 7 και 8 της βιβλιογραφίας.

### 3 Το σύστημα DVB-T

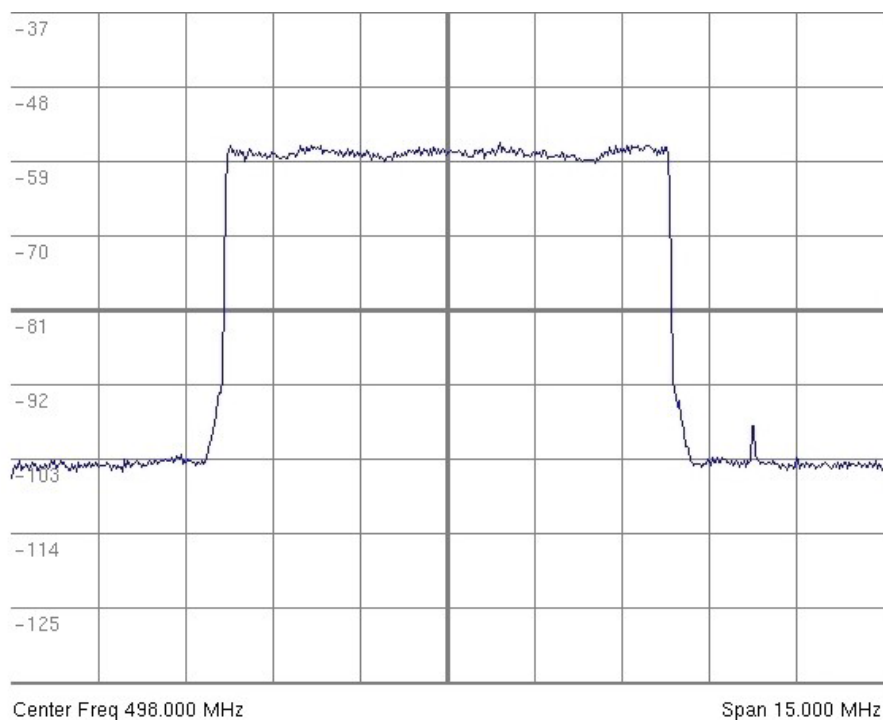
#### 3.1 Ιστορική αναδρομή



Ο όρος DVB-T είναι μια συντομογραφία του όρου “Digital Video Broadcasting-Terrestrial” που είναι το DVB ευρωπαϊκό πρότυπο με βάση τη κοινοπραξία για τη μετάδοση εκπομπής της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης που εκδόθηκε για πρώτη φορά το 1997. Η πρώτη εκπομπή ήταν στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1998. Το σύστημα αυτό, χρησιμοποιώντας διαμόρφωση με κωδικοποιημένα ορθογώνια με πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (COFDM or OFDM).

Το πρότυπο επίγειας ψηφιακής ευρείας εκπομπής video (DVB-T) σχεδιάστηκε αρχικά για να παρέχει υπηρεσίες σε ακίνητους δέκτες, με κεραία λήψης τοποθετημένη στις οροφές των κτιρίων, όπως συμβαίνει και με την αναλογική τηλεόραση. Ωστόσο, από τις πρώτες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στη Γερμανία το 1997, φάνηκε ότι το σύστημα μπορεί να παρέχει υπηρεσίες σε φορητούς δέκτες, σε εσωτερικούς χώρους αλλά και σε κινητούς δέκτες, σε οχήματα εν κινήσει. Το DVB-T αναπτύχθηκε για την εξυπηρέτηση των αναγκών αρκετών χωρών και για αυτό το λόγο είναι ένα ευέλικτο πρότυπο πάνω στο οποίο μπορούν να εφαρμοστούν αρκετές παραλλαγές. Το DVB-T μπορεί να λειτουργήσει με εύρος ζώνης 6, 7 και 8 MHz με τη χρήση COFDM πολυπλεξίας με 1705 φέροντα (σύστημα 2K) ή 6817 φέροντα (σύστημα 8K). Οι ρυθμοί μετάδοσης κυμαίνονται μεταξύ 4,98 και 31,67 Mbps. Η μετάδοση SDTV επιτρέπει την εκπομπή μέχρι και 6 τηλεοπτικών προγραμμάτων στο ίδιο κανάλι. Το DVB-T όπως κι

όλη η οικογένεια DVB για κωδικοποίηση/συμπίεση εικόνας και ήχου υιοθετεί τα πρότυπα MPEG-2 και MPEG-4 (Motion Picture Experts Group).



Φάσμα ενός DVB-T σήματος σε λειτουργία 8K

### 3.2 Το πρότυπο MPEG-2

Πριν το MPEG-2 είχαμε το πρότυπο MPEG-1. Οι εφαρμογές του MPEG-1 περιορίζονται σε μορφές οπτικού σήματος χωρίς αλληλοδιαδοχή πεδίων και υποστηρίζει ρυθμούς μέχρι 1,5 Mbit/s. Το 1990 έγιναν μελέτες για ένα άλλο πρότυπο το οποίο θα υποστήριζε ρυθμούς από 2 ως 10 Mbit/s και θα είχε τη δυνατότητα κωδικοποίησης οπτικού σήματος με αλληλοδιαδοχή πεδίων. Το 1994 δημοσιεύτηκε το νέο πρότυπο το οποίο ονομάστηκε MPEG-2 και έγινε διεθνές πρότυπο το 1995. Το πρότυπο MPEG-2, το οποίο σήμερα υποστηρίζει ρυθμούς μέχρι 30 Mbit/s, έτυχε γενικής αποδοχής και αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία στηρίζονται όλες οι προσπάθειες για τη δημιουργία συστημάτων ψηφιακής τηλεόρασης. Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας για την επιτυχία του MPEG-2 είναι η ικανότητα του να κωδικοποιεί την πληροφορία με μεταβλητό ρυθμό δεδομένων (VBR –Variable Bit Rate).

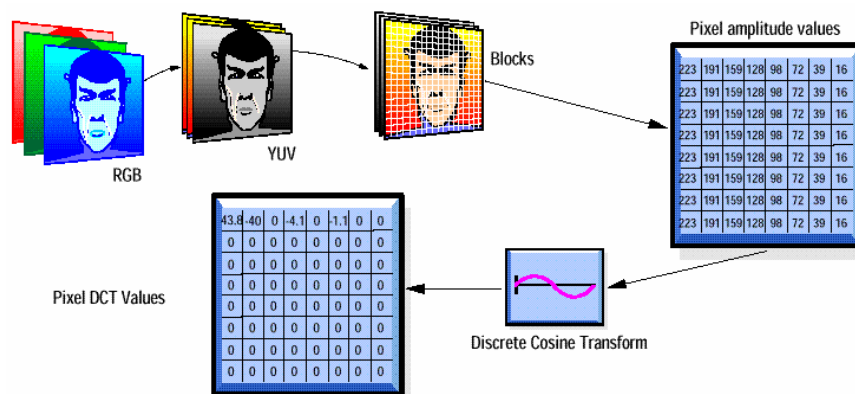
Το πρότυπο MPEG αποτελείται από τρία μέρη:

- ❖ **Το σύστημα:** Περιγράφει το συγχρονισμό ήχου και εικόνας την πολυπλεξία και άλλες λειτουργίες σχετικά με το σύστημα.
- ❖ **Την εικόνα:** Περιλαμβάνει την κωδικοποιημένη παρουσίαση των δεδομένων video και τη διαδικασία της αποκωδικοποίησης.
- ❖ **Τον ήχο:** Περιλαμβάνει την κωδικοποιημένη παρουσίαση των δεδομένων ήχου και τη διαδικασία της αποκωδικοποίησης.

Βασικό χαρακτηριστικό της κωδικοποίησης είναι ο εντοπισμός της επαναλαμβανόμενης πληροφορίας, ώστε αυτή να μην κωδικοποιείται περισσότερο από μια φορά αλλά να περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο αυτή η πληροφορία επαναλαμβάνεται. Αυτή η πληροφορία, που ουσιαστικά πλεονάζει, μπορεί το σύστημα να τη συμπίεσει χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές.

Μια από τις πιο σημαντικές τεχνικές είναι αυτή της συμπίεσης. Η διαδικασία της συμπίεσης πραγματοποιείται με τα εξής στάδια:

- Το στάδιο της διαίρεσης της εικόνας σε macroblock.
- Το στάδιο του διακριτού μετασχηματισμού συνημίτονου (DCT).
- Το στάδιο κβαντοποίησης και κωδικοποίησης.



### 3.3 Το πρότυπο MPEG-4

Όπως αναφέρθηκε, τα πρότυπα MPEG-1 και MPEG-2 έχουν ευρέως υιοθετηθεί σε εμπορικές εφαρμογές ψηφιακών επικοινωνιών όπως στην ψηφιακή μετάδοση ήχου, στην ψηφιακή τηλεόραση, στο CD-interactive και στις προσπάθειες για video on demand video. Μετά τα πρότυπα αυτά, ο διεθνής οργανισμός προτυποποίησης ISO προχωράει στον ορισμό του προτύπου MPEG-4. Αρχικά το MPEG-4 αναφερόταν μόνο σε κωδικοποίηση χαμηλού ρυθμού μετάδοσης. Αν και στους μελλοντικούς στόχους του συμπεριλαμβάνονται τόσο οι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης όσο και η μεγάλη συμπίεση, το MPEG-4 έρχεται να καλύψει τις νέες απαιτήσεις σε περιβάλλοντα πολυμέσων όπου οπτικοακουστική πληροφορία ανταλλάσσεται σε ψηφιακή μορφή. Το πρότυπο MPEG-4 αφορά τους τρόπους που το οπτικοακουστικό υλικό παράγεται, διανέμεται και καταναλώνεται. Και στα τρία αυτά στάδια υπεισέρχονται συνεχείς βελτιώσεις όσον αφορά στο χρησιμοποιούμενο υλικό (hardware) και λογισμικό (software). Στην παραγωγή οπτικοακουστικής πληροφορίας έχουμε σημαντικές εξελίξεις, ενώ στο παρελθόν ο μόνος τρόπος να παραχθεί τέτοια πληροφορία ήταν με τη χρήση κάμερας και μικροφώνου, σήμερα το μεγαλύτερο μέρος της παράγεται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Το MPEG-4 αποτελεί το νέο πρότυπο περιγραφής και κωδικοποίησης εφαρμογών πολυμέσων προσφέροντας πολλές νέες δυνατότητες. Αναμένεται να είναι το μελλοντικό πρότυπο εφαρμογών πολυμέσων. Για να είναι δυνατή όμως η χρησιμοποίηση και η εκμετάλλευση αυτών των δυνατοτήτων απαιτούνται εξωτερικοί αλγόριθμοι, που δεν περιλαμβάνονται στο πρότυπο. Για παράδειγμα, ενώ το πρότυπο υποστηρίζει την κωδικοποίηση διαφορετικών αντικειμένων, η εξαγωγή των αντικειμένων αυτών δεν αποτελεί μέρος του προτύπου. Ο στόχος του είναι η επίτευξη ρυθμών δεδομένων της τάξης των 5 με 64 Kbit/s για κινητές εφαρμογές και μέχρι 4 Mbit/s για τηλεοπτικές εφαρμογές. Η φιλοσοφία του βασίζεται στην ιδέα του τεμαχισμού της οπτικοακουστικής πληροφορίας σε οπτικοακουστικά αντικείμενα (AVOs –Audio Visual Objects) τα οποία μπορούν να πολυπλεχθούν και να μεταδοθούν πάνω από ετερογενή δίκτυα. Παρέχει ένα σύνολο δυνατοτήτων που το κάνει πολύ ελκυστικό για χρήση σε εφαρμογές πολυμέσων.



### 3.4 Δομή πλαισίου

Το προς μετάδοση σήμα πληροφορίας οργανώνεται σε πλαίσια (frames) και τα πλαίσια ανά τέσσερα, σχηματίζουν ένα υπερπλαίσιο (super frame), όπως αναφέραμε και παραπάνω. Κάθε πλαίσιο έχει διάρκεια  $T_F$  και περιλαμβάνει 68 σύμβολα OFDM. Κάθε OFDM σύμβολο εμπεριέχει  $K=6817$  υπο-κανάλια στο 8K-mode ή  $K=1705$  στο 2K-mode και η χρονική του διάρκεια είναι  $T_s$ . Διακρίνεται σε δύο μέρη: το χρήσιμο μέρος διάρκειας  $T_u$  και το διάστημα φύλαξης που έχει διάρκεια  $\Delta$ . Το εύρος του κάθε υπο-καναλιού είναι  $\Delta f=1/T_u$  και το συνολικό εύρος ζώνης για όλο το OFDM σύμβολο ( $K$  υπο-κανάλια OFDM) είναι  $(K-1)/T_u$ . Οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Το διάστημα φύλαξης προηγείται του χρήσιμου μέρους και είναι κυκλική περιοδική επέκταση του χρήσιμου μέρους, γι' αυτό ονομάζεται και κυκλικό πρόθεμα (cyclic prefix), όπως επισημάναμε και προηγουμένως. Η διάρκεια  $\Delta$  του διαστήματος φύλαξης εκφράζεται ως ποσοστό της διάρκειας του χρήσιμου μέρους και οι πιθανές τιμές του λόγου  $\Delta/T_u$  είναι 1/4, 1/8, 1/16 και 1/32. Αναλυτικές πληροφορίες δίνονται στον πίνακα παρακάτω. Όλα τα χρονικά διαστήματα εκφράζονται ως πολλαπλάσια της βασικής χρονικής περιόδου, που για δίαυλο 8MHz είναι  $T=7/64 \mu\text{sec}$ .

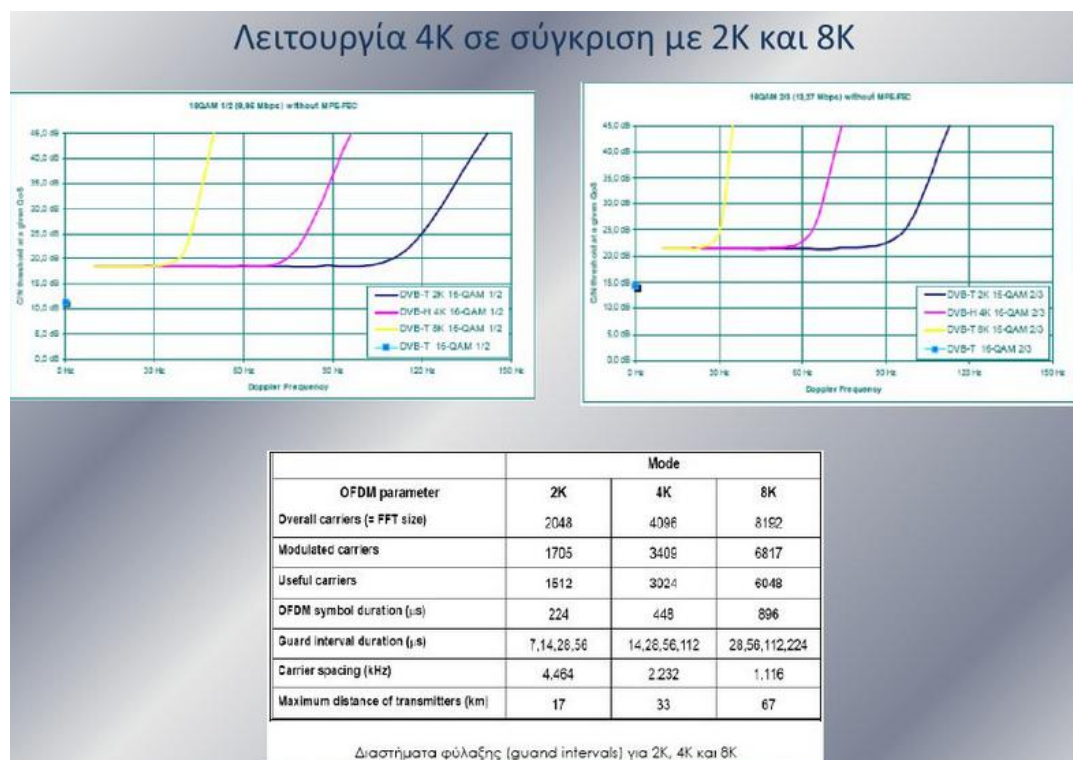
Λειτουργία	Λειτουργία 8K				Λειτουργία 2K			
Διάστημα φρουρός $\Delta\epsilon/T_u$	1/2	1/8	1/16	1/32	1/2	1/8	1/16	1/32
Διάρκεια Συμβόλου εκτός $T_u$	8 192 $\times T$ 896 $\mu\text{s}$ (Σημείωση)				2 048 $\times T$ 224 $\mu\text{s}$ (Σημείωση)			
Διάρκεια Διαστήματος Φρουρού $\Delta$	2 048 $\times T$ 224 $\mu\text{s}$	1 024 $\times T$ 112 $\mu\text{s}$	512 $\times T$ 56 $\mu\text{s}$	256 $\times T$ 28 $\mu\text{s}$	512 $\times T$ 56 $\mu\text{s}$	256 $\times T$ 28 $\mu\text{s}$	128 $\times T$ 14 $\mu\text{s}$	64 $\times T$ 7 $\mu\text{s}$
Διάρκεια Συμβόλου $T_s = \Delta + T_u$	10 240 $\times T$ 1120 $\mu\text{s}$	9 216 $\times T$ 1008 $\mu\text{s}$	8 704 $\times T$ 952 $\mu\text{s}$	8 448 $\times T$ 924 $\mu\text{s}$	2 560 $\times T$ 280 $\mu\text{s}$	2 304 $\times T$ 252 $\mu\text{s}$	2 176 $\times T$ 238 $\mu\text{s}$	2 112 $\times T$ 231 $\mu\text{s}$
Σημείωση: Τιμές για κανάλια 8 MHz								

Διάρκεια συμβόλου για τα επιτρεπόμενα διαστήματα φρουρούς στα 8 MHz

Παράμετρος	Λειτουργία 8K	Λειτουργία 2K
Αριθμός Φερόντων	6 817	1 705
Τιμή του Φερόντος με αριθμό $K_{min}$	0	0
Τιμή του Φερόντος με αριθμό $K_{max}$	6 816	1 704
Διάρκεια Συμβόλου TU	896 $\mu s$	224 $\mu s$
Απόσταση Φερόντων $1/TU$	1 116 Hz	4 464 Hz
Απόσταση μεταξύ φερόντων $K_{min}$ και $K_{max}$ ( $K-1$ )/TU	7,61 MHz	7,61MHz
Σημ.1: Οι τιμές με τους πλάγιους χαρακτήρες είναι προσεγγιστικές		
Σημ.2: Οι τιμές είναι για κανάλια 8MHz		

Αριθμητικές τιμές των OFDM παραμέτρων

Για την λειτουργία σε 4K παρουσιάζουμε τα παρακάτω διαγράμματα:



Ανάλογα με το ρυθμό μετάδοσης (2K ή 8K), τη μέθοδο ψηφιακής διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται, το ρυθμό κωδικοποίησης και τη διάρκεια του διαστήματος φύλαξης, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μπορεί να μεταβάλλεται από 4.98 έως 31.67 Mbps. Ακριβείς τιμές για όλους τους συνδυασμούς των παραμέτρων δίνονται στον παρακάτω πίνακα. Στο σημείο αυτό, πρέπει να επισημάνουμε ότι οι ρυθμοί μετάδοσης που παρουσιάζονται αφορούν τη μέγιστη (θεωρητική) χωρητικότητα του συστήματος, ενώ στην πράξη υποβιβάζονται λόγω σφαλμάτων, παρεμβολών κτλ.

Available bitrates (Mbit/s) for a DVB-T system in 8 MHz channels					
Modulation	Coding rate	Guard interval			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4.976	5.529	5.855	6.032
	2/3	6.635	7.373	7.806	8.043
	3/4	7.465	8.294	8.782	9.048
	5/6	8.294	9.216	9.758	10.053
	7/8	8.709	9.676	10.246	10.556
16-QAM	1/2	9.953	11.059	11.709	12.064
	2/3	13.271	14.745	15.612	16.086
	3/4	14.929	16.588	17.564	18.096
	5/6	16.588	18.431	19.516	20.107
	7/8	17.418	19.353	20.491	21.112
64-QAM	1/2	14.929	16.588	17.564	18.096
	2/3	19.906	22.118	23.419	24.128
	3/4	22.394	24.882	26.346	27.144
	5/6	24.882	27.647	29.273	30.160
	7/8	26.126	29.029	30.737	31.668

Τα OFDM σύμβολα μέσα σε ένα πλαίσιο είναι αριθμημένα από το 0 έως το 67. Εκτός από τα δεδομένα, ένα πλαίσιο περιλαμβάνει σύμβολα πιλότους (pilots) που χρησιμοποιούνται για το συγχρονισμό και την εκτίμηση του διαύλου και μπορεί να είναι συνεχόμενα ή διεσπαρμένα, καθώς και πληροφορίες για τις παραμέτρους μετάδοσης (Transmission Parameter Signaling – TPS). Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται η δομή ενός πλαισίου μετάδοσης.

Όλα τα σύμβολα πιλότοι έχουν αυξημένη ισχύ (boosted power level) σε σχέση με τα σύμβολα που αντιστοιχούν σε δεδομένα. Αν η κανονικοποιημένη μέση ισχύς των συμβόλων-δεδομένων είναι 1, η κανονικοποιημένη μέση ισχύς των συμβόλων πιλότων είναι 16/9. Το διεσπαρμένο σύμβολο πιλότος του OFDM συμβόλου, με αριθμό 1, τοποθετείται στα υπο-κανάλια που ο αριθμός τους (k) ανήκει στο σύνολο:

$$\{k = K_{min} + 3 * (l \bmod 4) + 12 | p \text{ ακέραιος} \geq 0, k \text{ ανήκει } [K_{min}, K_{max}]\}$$

δηλαδή p είναι όλοι οι θετικοί ακέραιοι για τους οποίους ο αριθμός k παίρνει τιμές μεταξύ  $K_{min}$  και  $K_{max}$ .

Όπως προαναφέρθηκε, εκτός από τα διασπαρμένα σύμβολα-πιλότους, υπάρχουν και συνεχή σύμβολα-πιλότοι, που τοποθετούνται στο ίδιο υπο-κανάλι για όλα τα OFDM σύμβολα. Χρησιμοποιούνται 177 (45) συνεχή σύμβολα-πιλότοι στο ρυθμό 8K (2K), τοποθετημένα σε θέσεις που ορίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Θέσεις συνεχών συμβόλων-πιλότων (index number $k$ )								
2K mode								
0	48	54	87	141	156	192	201	255
279	282	333	432	450	483	525	531	618
636	714	759	765	780	804	873	888	918
939	942	969	984	1050	1101	1107	1110	1137
1140	1146	1206	1269	1323	1377	1491	1683	1704
8K mode								
0	48	54	87	141	156	192	201	255
279	282	333	432	450	483	525	531	618
636	714	759	765	780	804	873	888	918
939	942	969	984	1050	1101	1107	1110	1137
1140	1146	1206	1269	1323	1377	1491	1683	1704
1752	1758	1791	1845	1860	1896	1905	1959	1983
1986	2037	2136	2154	2187	2229	2235	2322	2340
2418	2463	2469	2484	2508	2577	2592	2622	2643
2646	2673	2688	2754	2805	2811	2814	2841	2844
2850	2910	2973	3027	3081	3195	3387	3408	3456
3462	3495	3549	3564	3600	3609	3663	3687	3690
3741	3840	3858	3891	3933	3939	4026	4044	4122
4167	4173	4188	4212	4281	4296	4326	4347	4350
4377	4392	4458	4509	4515	4518	4545	4548	4554
4614	4677	4731	4785	4899	5091	5112	5160	5166
5199	5253	5268	5304	5313	5367	5391	5394	5445
5544	5562	5595	5637	5643	5730	5748	5826	5871
5877	5892	5916	5985	6000	6030	6051	6054	6081
6096	6162	6213	6219	6222	6249	6252	6258	6318
6381	6435	6489	6603	6795	6816			

*Υποκανάλια που περιέχουν συνεχή σύμβολα πιλότους*

Η δομή του εκπεμπόμενου πλαισίου, μετά την εισαγωγή των συμβόλων πιλότων, φαίνεται κατωτέρω:



Δομή εκπεμπόμενου πλαισίου

### 3.5 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά του εκπεμπόμενου σήματος

Το εκπεμπόμενο OFDM σήμα μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση:

$$s(t') = \text{Re} \left\{ e^{j2\pi f_c t'} \sum_{k=k_{\min}}^{k=k_{\max}} c_{m,l-1,k} e^{j2\pi k'(t'-\Delta)/T_U} \right\}$$

Όπου  $t'$  είναι ο χρόνος κατά τον οποίον ξεκινά η περίοδος εκπομπής των συμβόλων,  $T$  είναι η στοιχειώδης περίοδος. Το  $k$  δηλώνει τον αριθμό της εκάστοτε φέρουσας, το 1 είναι ο αριθμός του OFDM συμβόλου, το  $m$  είναι ο αριθμός του εκπεμπόμενου πλαισίου, το  $K$  είναι ο αριθμός των μεταδιδόμενων φερόντων (1705 για τη 2K λειτουργία και 6817 για την 8K λειτουργία),  $T_U$  είναι η χρήσιμη διάρκεια του OFDM συμβόλου. Το  $\Delta$  είναι η διάρκεια του διαστήματος φύλαξης, που προστατεύει το σήμα από διασυμβολική παρεμβολή.

Το  $T_s = T_U + \Delta$  είναι η συνολική διάρκεια του OFDM συμβόλου,  $f_c$  είναι η κεντρική συχνότητα του RF σήματος,  $K_{\min}$  είναι ο δείκτης της φέρουσας με τη χαμηλότερη συχνότητα (0 και στις δύο λειτουργίες), αντίστοιχα το  $K_{\max}$  είναι ο δείκτης της φέρουσας με τη μεγαλύτερη συχνότητα (1704 για τη λειτουργία 2K και 6816 για τη λειτουργία 8K). Το  $k'$  είναι ο αριθμός της φέρουσας κανονικοποιημένος ως προς την κεντρική συχνότητα και δίνεται από τον τύπο:

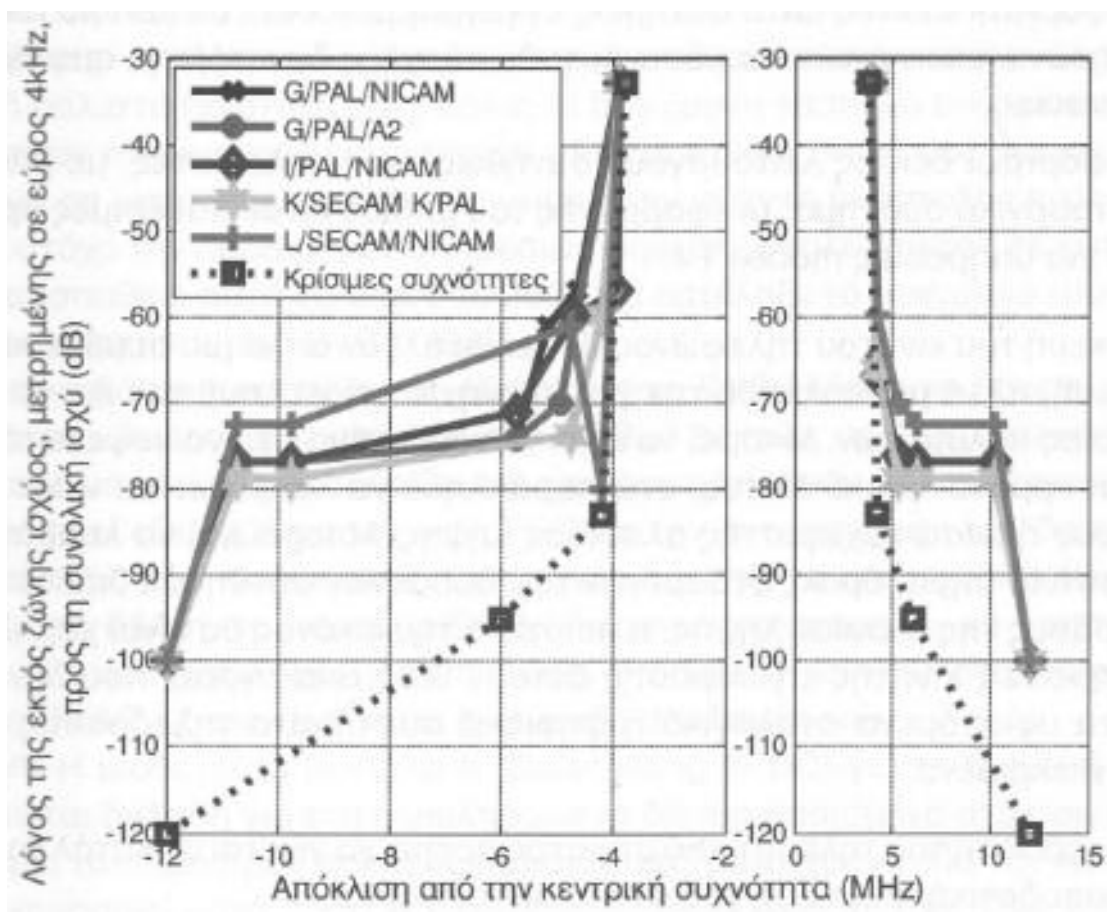
$$k' = k - \left( \frac{K_{\max} - K_{\min}}{2} \right)$$

Τέλος το  $c_{m,i-1,k}$  είναι το μιγαδικό σύμβολο που μεταδίδεται στο  $k$ -οστό φέρον, στο σύμβολο με αριθμό  $i$ , του πλαισίου με αριθμό  $m$ . Το κάθε φέρον μπορεί να διαμορφωθεί είτε με QPSK, 16-QAM είτε με 64-QAM. Λόγω του ότι η συνολική διάρκεια του OFDM σήματος είναι μεγαλύτερη από το αντίστροφο της απόστασης  $\Delta f$  των κεντρικών συχνοτήτων δύο διαδοχικών υπο-καναλιών, το εύρος του κύριου λοβού για κάθε κανάλι είναι διπλάσιο του  $\Delta f$ , οπότε φασματική πυκνότητα ισχύος δεν είναι σταθερή σε όλο το εύρος ζώνης. Το συνολικό διαθέσιμο εύρος ζώνης μπορεί να είναι 6, 7 ή 8 MHz.

Επειδή τα κανάλια ψηφιακής τηλεόρασης λειτουργούν σε συχνότητες όπου ήδη υπάρχουν αναλογικές εκπομπές, η εκπεμπόμενη ισχύς, εκτός του ονομαστικού εύρους ζώνης, πρέπει να είναι περιορισμένη. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός

φίλτρου-μάσκα, το οποίο καθορίζεται από το πρότυπο και απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί. Οι τιμές που απεικονίζονται εξαρτώνται από το πρότυπο τηλεοπτικής εικόνας που χρησιμοποιείται, ενώ υποθέτουμε ότι οι πομποί ψηφιακής και αναλογικής τηλεόρασης είναι τοποθετημένοι στον ίδιο χώρο και εκπέμπουν την ίδια ισχύ, ενώ δεν χρησιμοποιούν διαφορετική πόλωση για διαχωρισμό των σημάτων τους. Στο σχήμα απεικονίζεται επίσης κι προδιαγραφή που ισχύει για κρίσιμες συχνότητες, δηλαδή για περιπτώσεις όπου σε γειτονικές συχνότητες υπάρχουν άλλες υπηρεσίες με χαμηλή ισχύ, οπότε κι η προδιαγραφή για τις εκτός ζώνης εκπομπές είναι πολύ αυστηρότερη. Οι κεντρικές ραδιοσυχνότητες εκπομπής για κανάλια επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης εύρους 8MHz δίνονται από τη σχέση:

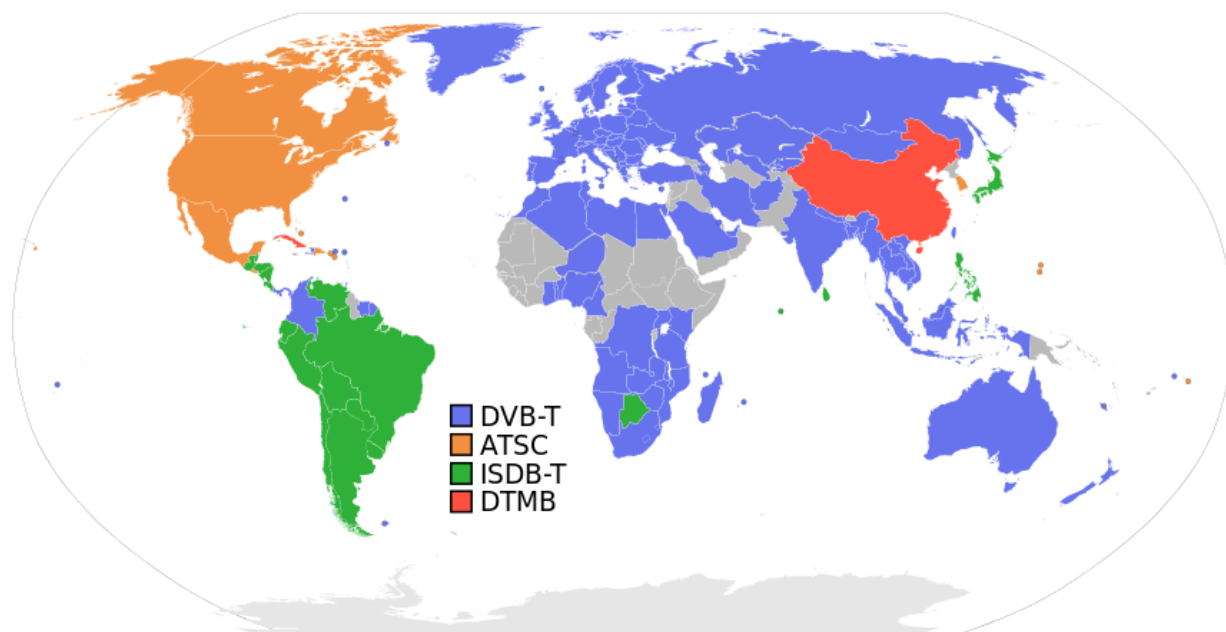
$$f_c^{(1)} = 470 \text{ MHz} + 4 \text{ MHz} + i_1 * 8 \text{ MHz}, \quad i_1=0,1,2,\dots$$



Φασματική "μάσκα" για εκπομπές επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης

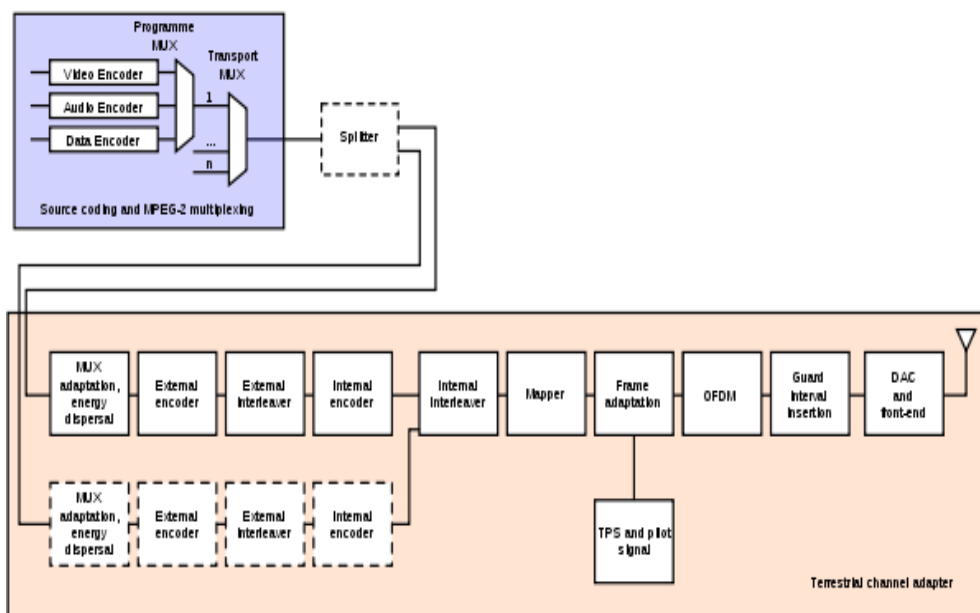
### 3.6 Χώρες και εδάφη που χρησιμοποιούν DVB-T

Το DVB-T έχει προταθεί για την ψηφιακή τηλεοπτική μετάδοση από πολλές χώρες χρησιμοποιώντας κυρίως κανάλια VHF 7 MHz UHF και 8 MHz, ενώ στη Ταϊβάν, την Κολομβία, τον Παναμά, το Τρινιντάντ & Τομπάγκο και τις Φιλιππίνες χρησιμοποιούν κανάλια των 6 MHz. Το DVB-T έχει αναπτυχθεί περαιτέρω σε νεότερα πρότυπα όπως το DVB-H (Handheld), το οποίο ήταν μια εμπορική αποτυχία και δεν είναι πλέον σε λειτουργία, και το DVB-T2 το οποίο είχε αρχικά τελειοποιηθεί τον Αύγουστο του 2011.





#### 4.Τεχνική περιγραφή του πομπού DVB-T



##### 4.1 Πολυπλέκτης (MUX)

Αρχικά, ένας πολυπλέκτης (MUX) δεδομένων σχηματίζει το σήμα βασικής ζώνης, που είναι μια ροή μεταφοράς (Transport Stream – TS), πολυπλεγμένη και κωδικοποιημένη κατά το πρότυπο MPEG-2. Το DVB δίνει τη δυνατότητα ιεραρχικής μετάδοσης, οπότε μπορεί να υπάρχει ροή δεδομένων υψηλής προτεραιότητας (High Priority – HP) και χαμηλής προτεραιότητας (Low Priority – LP). Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας του σήματος βασικής ζώνης είναι η διασπορά ενέργειας (energy dispersal) που γίνεται, προκειμένου το σήμα να αποκτήσει επίπεδη φασματική πυκνότητα ισχύος. Η διασπορά δημιουργείται με συνδυασμό του σήματος με μια τυχαία ακολουθία (σήμα θορύβου), που δημιουργείται από έναν καταχωρητή ολίσθησης με ανάδραση. Η γεννήτρια της τυχαίας ακολουθίας αρχικοποιείται κάθε όγδοο πακέτο TS. Από τη διαδικασία αυτή δεν επηρεάζεται το byte συγχρονισμού του TS, ώστε να διατηρηθεί ο συγχρονισμός. Ο αποκωδικοποιητής του δέκτη προσδιορίζει το σημείο έναρξης της ακολουθίας δεδομένων, με βάση ένα ανεστραμμένο byte συγχρονισμού.

#### 4.2 Εξωτερικός κωδικοποιητής (outer decoder)

Η κωδικοποίηση για διόρθωση σφαλμάτων (Forward Error Correction – FEC) υλοποιείται σε δύο στάδια: τον εξωτερικό (outer) και τον εσωτερικό (inner) κωδικοποιητή. Ο εξωτερικός κωδικοποιητής είναι ένας μπλόκ κώδικας Reed – Solomon. Για κάθε πακέτο TS, που έχει μήκος 188 bytes, προστίθενται άλλα 51 μηδενικά bytes και στο πακέτο των 239 πλέον bytes προσαρτώνται από τον κωδικοποιητή επιπλέον 16 bytes, ουσιαστικά δηλαδή χρησιμοποιείται ένας (204,186) Reed – Solomon κώδικας. Οι Reed – Solomon κώδικες είναι οι ισχυρότεροι μπλόκ κώδικες, δηλαδή έχουν τη μεγαλύτερη δυνατότητα διόρθωσης σφαλμάτων για δεδομένο ρυθμό κωδικοποίησης. Ο συγκεκριμένος κώδικας που χρησιμοποιείται από το πρότυπο DVB-T μπορεί να διορθώσει μέχρι 8 bytes ανά πακέτο δεδομένων, μπορεί δηλαδή να βελτιώσει ένα ρυθμό σφαλμάτων της τάξης των  $2 \times 10^{-4}$  σε  $10^{-11}$ .

#### 4.3 Εσωτερικός κωδικοποιητής (inner decoder)

Ο εσωτερικός κωδικοποιητής είναι ένας συνελκτικός κωδικοποιητής με ρυθμό κωδικοποίησης 1/2, δηλαδή για κάθε bit πληροφορίας ο κωδικοποιητής παράγει δύο bits στην έξοδο του. Υλοποιείται με έναν καταχωρητή ολίσθησης, στην είσοδο του οποίου τροφοδοτούνται τα bits πληροφορίας, ενώ τα κωδικοποιημένα bits προκύπτουν από συγκεκριμένες θέσεις του καταχωρητή ολίσθησης. Ο ρυθμός κωδικοποίησης 1/2 προσφέρει αρκετά ισχυρή προστασία από σφάλματα αλλά εισάγει μεγάλο όγκο επιπρόσθετων δεδομένων, μειώνοντας το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στο 50%. Για το λόγο αυτό με χρήση τεχνικών διάτρητης κωδικοποίησης (punctured coding) μπορούν να προκύψουν διαφορετικοί ρυθμοί κωδικοποίησης από τον ίδιο καταχωρητή ολίσθησης. Αν για παράδειγμα, για κάθε 3 bits που προκύπτουν στην έξοδο του κωδικοποιητή, το 1 bit δεν μεταδίδεται, τότε ο ρυθμός κωδικοποίησης γίνεται 3/4. Οι διαφορετικοί ρυθμοί κωδικοποίησης που μπορούν να επιτευχθούν με τον τρόπο αυτό σύμφωνα με το πρότυπο DVB-T είναι 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 και 7/8.

#### 4.4 Εσωτερικός διεμπλοκέας (inner interleaver)

Στον εσωτερικό interleaver οι ακολουθίες δεδομένων αναδιατάσσονται εκ νέου, με σκοπό να μειωθεί η επίδραση των λαθών (burst errors). Ο ισχυρός πλεονασμός που εισάγεται, (100%, καθώς ο συνελκτικός κωδικοποιητής παράγει δύο ροές εξόδου, καθεμιά με τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης όπως η ροή εισόδου) επιτρέπει μια πολύ ισχυρή διόρθωση λαθών. Αυτό μπορεί να είναι αναγκαίο για σήματα με πολύ χαμηλό λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR, signal to noise ratio) στην είσοδο του δέκτη, αλλά έχει ως αποτέλεσμα τον υποδιπλασιασμό της φασματικής απόδοσης του καναλιού. Ωστόσο, αυτού του τύπου η συνελκτική κωδικοποίηση επιτρέπει την μείωση του πλεονασμού που εισάγεται διαμέσου της διάτρησης (puncturing) της εξόδου του συνελκτικού

κωδικοποιητή. Αυτός καθιστά δυνατή τη μη λήψη όλων των διαδοχικών bitsτων ακολουθιών εξόδου, αλλά μόνο ένα από τα δύο ταυτόχρονα bits με ένα συγκεκριμένο λόγο διάτρησης (puncturing ratio). Η εσωτερική κωδικοποίηση των bytes χωρίζεται σε δύο μέρη. Αρχικά έχουμε αναδιάταξη bitκαι στη συνέχεια αναδιάταξη συμβόλου.

#### 4.5 Εξωτερικός διεμπλοκέας (outer interleaver)

Ο εξωτερικός διεμπλοκέας (outer interleaver) αναδιανέμει τα bytes έτσι ώστε να αποφεύγονται τα σφάλματα ριπής (burst errors). Στο DVB χρησιμοποιείται συνελκτικός διεμπλοκέας, με βάθος διεμπλοκής  $I = 12$  και βασική καθυστέρηση  $M = 17$ . Υλοποιείται με 12 καταχωρητές ολίσθησης που έχουν μήκη  $M, 2*M, \dots, (I-1)*M$ . Οπότε ανάμεσα από διαδοχικά bytes ο διεμπλοκέας τοποθετεί τουλάχιστον 204 bytes και η συνολική καθυστέρηση είναι  $M*(I-1)*I$ , για όλα τα σύμβολα.

#### 4.6 Διαχωριστής (splitter)

Δύο διαφορετικά σήματα μπορούν να μεταδοθούν ταυτόχρονα, χρησιμοποιώντας μια τεχνική που ονομάζεται Ιεραρχική Μετάδοση. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποστολή ενός σήματος SDTV και ενός σήματος HDTV μέσα από τον ίδιο φορέα. Γενικότερα, ένα SDTV σήμα προστατεύεται καλύτερα από ένα HDTV σήμα. Ο δέκτης, ανάλογα με την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος, μπορεί να είναι σε θέση να αποκωδικοποιήσει τα σήματα δεδομένων HDTV. Σε περίπτωση που το σήμα δεν είναι αρκετά δυνατό, οι δέκτες μπορούν να μεταπηδήσουν στο SDTV. Κατ' αυτόν τον τρόπο, όλοι οι δέκτες που βρίσκονται στην περιοχή μετάδοσης του σήματος μπορούν να κλειδώσουν το σήμα HDTV, ενώ όλοι οι άλλοι, ακόμα και ο πιο μακρινός, μπορούν να είναι σε θέση να λάβουν και να αποκωδικοποιήσουν ένα σήμα SDTV.

#### 4.7 Mapper και προσαρμογή πλαισίου

Αναδιατάσσοντας τα bit, η είσοδος αποπολυπλέκεται σε  $v$  υπο-ρεύματα όπου  $v=2$  για QPSK,  $v=4$  για 16 QAM και  $v=6$  για 64 QAM. Μετά από μια διαδικασία, κάθε σύμβολο στην έξοδο του bit interleaver αποτελείται από  $v$  bits, ένα bitαπό κάθε υπο-ρεύμα. Στην αναδιάταξη συμβόλου, σκοπός είναι να αντιστοιχίσουμε τις λέξεις των  $v$  bits στα 1512 (2K OFDM) ή 6048 (8K OFDM) ενεργά φέροντα κάθε συμβόλου OFDM. Κάθε πλαίσιο έχει

διάρκεια  $T_f$  και αποτελείται από ένα σύνολο  $K=6817$  φερόντων στο 8K OFDM και  $K=1705$  φερόντων στο 2K OFDM και μεταδίδεται με διάρκεια  $T_s$ . Αποτελείται από δύο μέρη: ένα χρήσιμο μέρος με διάρκεια  $T_u$  και ένα διάστημα εμπιστοσύνης με διάρκεια  $\Delta$ . Τα σύμβολα σε ένα πλαίσιο OFDM παίρνουν τιμές από 0 έως 67. Όλα τα σύμβολα περιέχουν δεδομένα και πληροφορία αναφοράς. Αφού κάθε ένα σύμβολο OFDM αποτελείται από διαφορετικά διαμορφωμένα φέροντα, τότε κάθε σύμβολο μπορεί να θεωρηθεί ότι χωρίζεται σε κύτταρα καθένα από τα οποία αντιστοιχεί στο αντίστοιχο διαμορφωμένο φέρον.

#### 4.8 Pilot and TPS signals

Τα Pilot Signals (σήματα πιλότοι) χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της φάσης του συγχρονισμού και της εξισορρόπησης ενώ τα TPS Signals (transmission parameters signaling) στέλνουν τις παραμέτρους του σήματος και προσδιορίζουν με βεβαιότητα το κελί μετάδοσης. Ο δέκτης πρέπει να είναι σε θέση να συγχρονίσει, εξισώσει αλλά και να αποκωδικοποιήσει το σήμα προκειμένου να είναι σε θέση να αποκτήσει πρόσβαση στις πληροφορίες που κατέχονται από τα TPS σήματα. Έτσι, ο δέκτης πρέπει να γνωρίζει αυτή την πληροφορία εκ των προτέρων. Τα δεδομένα TPS χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπως στις αλλαγές παραμέτρων, επανασυγχρονισμούς, κλπ.

#### 4.9 DAC and front-end

Το ψηφιακό σήμα μετατρέπεται σε αναλογικό με ένα μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό (DAC- Digital Analog Converter), και στη συνέχεια διαμορφώνεται με ραδιοσυχνότητες (VHF,UHF) από το RF front end. Το διαθέσιμο εύρος ζώνης έχει σχεδιαστεί για να στεγάζει κάθε μεμονωμένο σήμα DVB-T σε 5, 6, 7, ή 8 Mhz κανάλια. Το ποσοστό του δείγματος βασικής ζώνης που προβλέπεται στην είσοδο του μετατροπέα εξαρτάται από το εύρος ζώνης του καναλιού και ορίζεται ως:  $f_s=B$  δείγματα/s όπου  $B$  είναι το εύρος ζώνης του καναλιού εκφρασμένο σε Hz.

#### 5. Τεχνική περιγραφή του δέκτη

Το λαμβανόμενο STB σήμα υιοθετεί τεχνικές οι οποίες είναι παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση.

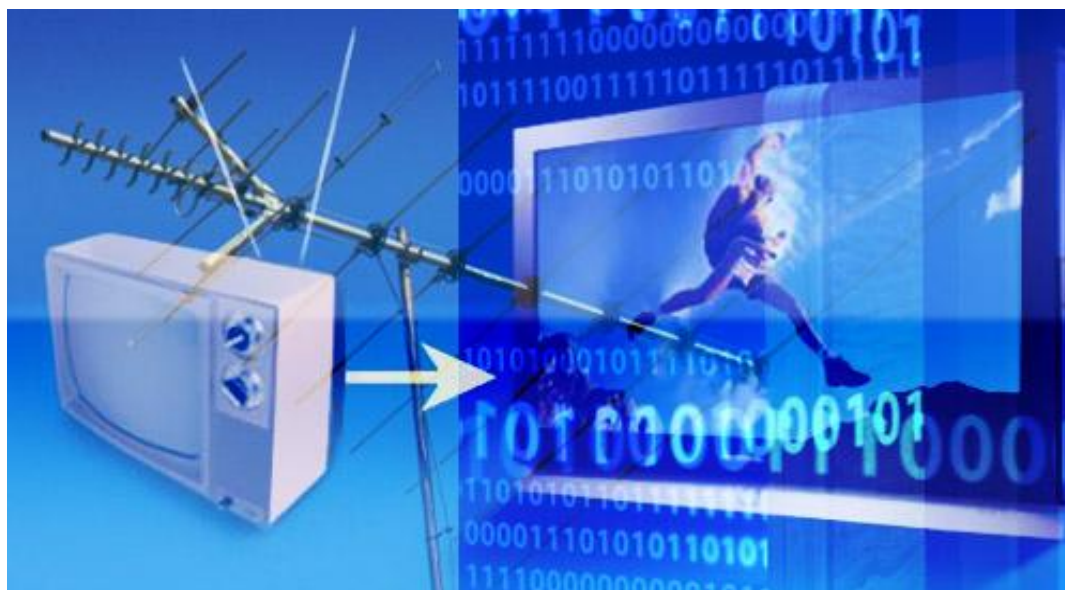
- Front-end and ADC: Το αναλογικό RF σήμα μετατρέπεται στη συχνότητα βασικής ζώνης και μετά σε ψηφιακό σήμα, με τη χρήση ενός μετατροπέα ADC (Analog-Digital Converter).

- Ο χρόνος και η συχνότητα συγχρονισμού: Το ψηφιακό σήμα στη συχνότητα βασικής ζώνης επεξεργάζεται για να προσδιοριστεί η αρχή των πλαισίων και των μπλοκ. Τα προβλήματα με τη συχνότητα των συνιστωσών του σήματος διορθώνονται επίσης. Το γεγονός ότι το διάστημα ασφαλείας στο τέλος του συμβόλου τοποθετείται επίσης στην αρχή αξιοποιείται για να βρούμε την αρχή ενός νέου OFDM συμβόλου. Από την άλλη πλευρά, τα Pilot Signals (πιλοτικά σήματα), η θέση των οποίων προσδιορίζεται από το πρότυπο και έτσι είναι γνωστή από τον δέκτη, καθορίζουν την συχνότητα αντιστάθμισης που προκλήθηκε από το σήμα. Αυτή η αντιστάθμιση συχνότητας μπορεί να έχει προκληθεί είτε από το φαινόμενο Doppler είτε από ανακρίβειες στο πομπό - δέκτη. Γενικώς, ο συγχρονισμός γίνεται σε δύο στάδια: Πριν και μετά την FFT, με τέτοιο τρόπο ώστε να επιλύσουν τα προβλήματα περί χρονισμού και σφαλμάτων συχνότητας.
- Διάθεση διαστήματος ασφαλείας: Το κυκλικό πρόθεμα αφαιρείται.
- OFDM αποδιαμόρφωση: Επιτυγχάνεται με ένα FFT.
- Εξισορρόπηση συχνότητας : Τα Pilot Signals (πιλοτικά σήματα) χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση της λειτουργίας του διαύλου μεταφοράς (CTF) κάθε τρία υποφέροντα σήματα. Ο δίαυλος CTF χρησιμοποιείται για να εξισώσει τα λαμβανόμενα δεδομένα για κάθε υποφέρον, χρησιμοποιώντας γενικά τη μέθοδο Zero Forcing. Ο CTF επίσης χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει την αξιοπιστία της απεικόνισης των δεδομένων όταν παρέχονται στον αποκωδικοποιητή Viterbi.
- Αποχαρτογράφηση: Δεδομένου ότι υπάρχουν αστερισμοί που χρησιμοποιούν διαμόρφωση Gray η αποχαρτογράφηση γίνεται με ένα τρόπο χρησιμοποιώντας μη γραμμικούς κανόνες που απεικονίζουν κάθε bit σε ένα διάστημα μεταξύ -1 και 1.
- Εσωτερική κωδικοποίηση (internal decoding): Χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο Viterbi , με μήκος συμβόλων μεγαλύτερο από εκείνο που χρησιμοποιείται συνήθως για τον βασικό ρυθμό κώδικα  $\frac{1}{2}$ .
- External deinterleaving (εξωτερική διεμπλοκή)

- External decoding (εξωτερική αποκωδικοποίηση)
- MUX adaptation (πολυπλεξία)
- MPEG-2 demultiplexing and source decoding (αποπολυπλεξία με βάση το πρότυπο MPEG-2 και πηγαία κωδικοποίηση)

## 6. Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (DTTV)

### 6.1 Γενικά



Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (Digital terrestrial television – DTTV ή DTT) θεωρείται η εξέλιξη της εκπεμπόμενης, αναλογικής τηλεόρασης. Σε αντίθεση με άλλες πλατφόρμες, όπως τη δορυφορική εκπομπή σήματος όπου απαιτείται κάτοπτρο (πιάτο) ή την IPTV που προϋποθέτει σύνδεση στο διαδίκτυο, η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση εκπέμπεται σε ραδιοσυχνότητες μέσω επίγειου χώρου. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι, όπως και με την αναλογική τηλεόραση, το σήμα συνεχίζει να λαμβάνεται με μια απλή κεραία (aerial), όμως η μεγάλη διαφορά είναι η διαδικασία της πολυπλεξίας (multiplexing) που δίνει τη δυνατότητα για λήψη πολλαπλών καναλιών (προγραμμάτων) στον ίδιο δίαυλο συχνοτήτων (π.χ. ένα UHF κανάλι). Με απλά λόγια, σε κάθε συχνότητα μπορούν πλέον να εκπέμψουν περισσότερα από ένα τηλεοπτικά κανάλια και μάλιστα μαζί με συνοδευτικές υπηρεσίες, όπως τον ηλεκτρονικό οδηγό προγράμματος (EPG).

Ως αποτέλεσμα συναπόφασης όλων των εμπλεκόμενων φορέων προκειμένου η χώρα μας να διαθέτει μία σύγχρονη ψηφιακή πλατφόρμα, η τεχνολογία που επιλέχθηκε είναι το DVB-TMPEG-4 ή H.264 και αφορά τόσο στο πρότυπο όσο και στο το πρωτόκολλο κωδικοποίησης.

Το DVB-T είναι ένα πρότυπο για τη λήψη επίγειου ψηφιακού σήματος τηλεόρασης. Χρησιμοποιεί τα γνωστά από τις αναλογικές εκπομπές κανάλια UHF και η λήψη ψηφιακών εκπομπών γίνεται επίγεια μέσω κεραιών.

Σε αντίθεση με την αναλογική μετάδοση, μέσω ψηφιακής αναμετάδοσης τα κανάλια UHF, οι συχνότητες δηλαδή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο αποτελεσματικά,

καθότι ψηφιακά μπορούν να αναμεταδίδονται περισσότερα προγράμματα ανά συχνότητα. Η μέθοδος διαμόρφωσης στο συγκεκριμένο πρότυπο είναι η COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex).

Η ψηφιακή τηλεόραση (DVB-T) μπορεί να είναι Standard Definition (SD) ή High Definition (HD), εφόσον υποστηρίζεται. Οι ψηφιακοί πάροχοι (π.χ. Digea) έχουν την υποδομή για να μεταφέρουν σήμα υψηλής ευκρίνειας, όμως πρέπει το περιεχόμενο που λαμβάνουν να είναι σε HD. Δηλαδή, ο εκάστοτε πάροχος περιεχομένου (τηλεοπτικός σταθμός) θα πρέπει να στέλνει το πρόγραμμά του στον πάροχο σε High Definition.

Εναλλακτικά συστήματα χρησιμοποιούνται ανά τον κόσμο, όπως το ISDB-T στην Ιαπωνία (παρόμοιο του DVB-T), παραλλαγή αυτού στις περισσότερες χώρες της Νοτίου Αμερικής, το σύστημα DMB-T/H στην Κίνα, ενώ η Βόρεια Αμερική αντικατέστησε το αναλογικό NTSC με το ATSC.

## 6.2 Πλεονεκτήματα

Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (Digital terrestrial television - DTT ή DTTV) αποτελεί την εξέλιξη της εκπεμπόμενης, αναλογικής τηλεόρασης. Είναι μια καινοτομική υπηρεσία που αναδεικνύει την τεχνολογική πρόοδο της «μικρής οθόνης» έπειτα από την έγχρωμη εικόνα τη δεκαετία του πενήντα.

Τα πλεονεκτήματα που φέρει αυτή η τεχνολογία στην τηλεόραση είναι άμεσα, πολλαπλά και απευθύνονται σε όλους, χωρίς μάλιστα να απαιτούνται περίπλοκες ενέργειες από την πλευρά σας ως τηλεθεατής.

- Το τελικό αποτέλεσμα είναι ποιοτικότερο της αναλογικής, τόσο σε επίπεδο εικόνας όσο και ήχου. Ο ψηφιακός δέκτης λειτουργεί ως ένας έξυπνος μικρός υπολογιστής, θωρακίζοντας έτσι το σήμα ώστε να διατηρείται σταθερή η ποιότητα της εικόνας. Δεν υπάρχει πλέον το πρόβλημα κακής ή μέτριας λήψης και παρεμβολών, που εμφανίζονταν έως σήμερα σε πολλές περιοχές. Επομένως, τέλος στα 'χιόνια' (λόγω αδύναμου σήματος ή μορφολογίας εδάφους), τα είδωλα που εμφανίζονται στο περίγραμμα των μορφών των ανθρώπων ή των πραγμάτων που περιορίζουν την ευκρίνεια της εικόνας.
- Δεν χρειάζεται αλλαγή στην κεντρική εγκατάσταση διότι το σήμα συνεχίζει να εκπέμπεται σε ραδιοσυχνότητες και να λαμβάνεται με μια απλή κεραία (aerial). Για σωστή λήψη, μόνη προϋπόθεση είναι η σωστή εγκατάσταση της κεραίας και των υπόλοιπων συνδέσεων με τον δέκτη της τηλεόρασης.



- Περισσότερα τηλεοπτικά κανάλια μπορούν να εκπέμψουν μέσα από την ίδια συχνότητα και όλα με άριστη ποιότητα εικόνας και ήχου καθότι απαιτείται λιγότερος χώρος για τη μεταφορά του σήματος.
- Υπάρχει δυνατότητα ενσωμάτωσης πρόσθετων υπηρεσιών όπως ο ηλεκτρονικός οδηγός προγράμματος (EPG) σε ελληνικά και αγγλικά, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για ενημέρωση σχετικά με το τηλεοπτικό πρόγραμμα ενός καναλιού σε βάθος μιας εβδομάδας, άμεση ή προγραμματισμένη εγγραφή ενός προγράμματος, το κλείδωμά του, υπενθύμιση έναρξης, κ.ά.
- Μπορούν να υποστηριχθούν διαδραστικές υπηρεσίες.
- Υπάρχει δυνατότητα και για τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (High Definition), λόγω του διαθέσιμου χώρου ανά συχνότητα.
- Τα προγράμματα των ελεύθερων τηλεοπτικών σταθμών παραμένουν ελεύθερα για όλους.

### 6.3 Λήψη

Η λήψη της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης DTTV γίνεται μέσω σχετικού δέκτη. Αυτός μπορεί να έχει τη μορφή μιας μικρής επιτραπέζιας συσκευής ή να είναι ενσωματωμένος (στην τηλεόραση). Ο ψηφιακός δέκτης αποκωδικοποιεί το σήμα που λαμβάνεται μέσω μιας συμβατικής κεραίας. Εντούτοις, λόγω τεχνικών ζητημάτων, μια ειδική κεραία (συνήθως ευρείας ζώνης) μπορεί να απαιτηθεί εάν η πολυπλεξία του DTV σήματος βρίσκεται εκτός εύρους ζώνης της εγκατεστημένης κεραίας (όπως π.χ. στο Ηνωμένο Βασίλειο)

### 6.4 Μετάδοση

Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση DTTV μεταδίδεται στις ραδιοσυχνότητες που είναι παρόμοιες με την τυπική αναλογική τηλεόραση, με την κύρια διαφορά να είναι η πολυπλεξία του σήματος στον πομπό, κάτι που επιτρέπει τη λήψη πολλαπλάσιων καναλιών σε ένα ενιαίο φάσμα συχνότητας (όπως ένα κανάλι UHF ή VHF). Η ποσότητα δεδομένων που μπορεί να διαβιβαστεί (και επομένως ο αριθμός καναλιών) επηρεάζεται άμεσα από τη μέθοδο διαμόρφωσης του καναλιού. Η μέθοδος διαμόρφωσης στο DVB-T είναι η COFDM με εγκάρσια διαμόρφωση εύρους (QAM) 64 ή 16. Γενικά ένα κανάλι 64QAM είναι σε θέση να εκπέμπει με μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης (bitrate), αλλά είναι πιο ευαίσθητο σε παρεμβολές. Και τα δυο βασικά συστήματα (DVB-T και ATSC) χρησιμοποιούν τα πρότυπα μετάδοσης mpeg-2 και mpeg-4, ενώ διαφέρουν σημαντικά στο πώς κωδικοποιούνται σχετικές υπηρεσίες

(όπως ο πολυκάνναλος ήχος, οι υπότιτλοι, και ο ηλεκτρονικός οδηγός προγράμματος EPG).

## 6.5 Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση στην Ελλάδα

Το πρότυπο για την επίγεια ψηφιακή τηλεόραση στην Ελλάδα, όπως και στην υπόλοιπη Ευρώπη, είναι το DVB-T. Στην Ελλάδα η επίγεια ψηφιακή μετάδοση ξεκίνησε από το ΤΕΙ Κρήτης από το εργαστήριο Έρευνας και Ανάπτυξης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων Pasirhae το Σεπτέμβριο του 2001 με δοκιμαστική εκπομπή σε όλο το Ηράκλειο Κρήτης και ακολούθησε η ΕΡΤ στις 6 Ιανουαρίου 2006 με δοκιμαστική εκπομπή. Μεταξύ Μαρτίου και Μαΐου 2006 έγινε η σταδιακή έναρξη εκπομπής των τριών βασικών καναλιών που αποτελούν την πιλοτική πλατφόρμα εκπομπής της ΕΡΤ, την ΕΡΤ Ψηφιακή.

Μέχρι και το τέλος του καλοκαιριού 2009 η ψηφιακή τηλεόραση στην Ελλάδα περιοριζόταν στη πλατφόρμα της ΕΡΤ που αποτελούταν από: Το σινε+ με ταινίες, το σπορ+ με αθλητικά, και το πρίσμα+ κανάλι γενικού ενδιαφέροντος και σαφή προσανατολισμό/υποστήριξη σε άτομα με αναπηρίες (βλ. υπότιτλοι, νοηματική γλώσσα σε κάποια προγράμματα κ.ο.κ.). Τα παραπάνω κανάλια διέκοψαν όμως τη λειτουργία τους το Μάρτιο του 2012. Επίσης αναμεταδίδεται και το δορυφορικό ΡΙΚ.

Στις 24 Ιουνίου 2009 παρουσιάστηκε η εταιρία Digea A.E., νομικό πρόσωπο που συστήθηκε από κοινού από τα κανάλια Alpha, Alter, Antenna, Makedonia Tv, Mega, Skai, και Star και η οποία έχει αναλάβει την ψηφιακή εκπομπή των τηλεοπτικών προγραμμάτων τόσο των ιδιωτικών σταθμών εθνικής εμβέλειας καθώς και όποιων άλλων σταθμών προτιμήσουν τις υπηρεσίες της.

## 6.6 Περιοχές ψηφιακής μετάβασης

Η μετάβαση των ελληνικών ιδιωτικών καναλιών εθνικής εμβέλειας σε ψηφιακό σήμα έγινε:

- **24 Σεπτεμβρίου 2009:** Έναρξη εκπομπής ψηφιακού σήματος στο κέντρο εκπομπής: «Ξυλόκαστρο»
- **14 Ιανουαρίου 2010:** Έναρξη εκπομπής ψηφιακού σήματος στα κέντρα εκπομπής: «Χορτιάτης» & «Φιλίππειο» (στο «Φιλίππειο» διακόπηκε η αναλογική μετάδοση των τηλεοπτικών προγραμμάτων, ενώ στον «Χορτιάτη» διατηρήθηκε η παράλληλη μετάδοση των δύο σημάτων).
- **18 Ιουνίου 2010:** Έναρξη εκπομπής ψηφιακού σήματος στα κέντρα εκπομπής: «Υμηττός» & «Αίγινα» (Στην «Αίγινα» διακόπηκε η αναλογική μετάδοση των τηλεοπτικών προγραμμάτων, ενώ στον «Υμηττό» διατηρήθηκε η παράλληλη μετάδοση των δύο σημάτων).
- **1 Σεπτεμβρίου 2010:** Έναρξη εκπομπής ψηφιακού σήματος στο κέντρο εκπομπής «Αίγινα» για τα κανάλια περιφερειακής εμβέλειας (0-6 TV, ATTICA TV, EXTRA CHANNEL 3, HIGH TV, MADTV, MTV GREECE, NICKELODEON και SPORTTV).
- **19 Νοεμβρίου 2010:** Έναρξη εκπομπής ψηφιακού σήματος στο κέντρο εκπομπής: «Πλάκα».
- **8 Φεβρουαρίου 2011:** Έναρξη εκπομπής ψηφιακού σήματος στο κέντρο εκπομπής «Αίγινα» για τα κανάλια περιφερειακής εμβέλειας (BLUESKY, CHANNEL 9, KONTRACHANNEL και ΤΗΛΕΑΣΤΥ).
- **25 Φεβρουαρίου 2011:** Έναρξη εκπομπής ψηφιακού σήματος στο κέντρο εκπομπής: «Monte Smith».
- **27 Μαΐου 2011:** Έναρξη εκπομπής ψηφιακού σήματος στο κέντρο εκπομπής: «Δοβρούτσι».
- **9 Δεκεμβρίου 2011:** Έναρξη εκπομπής ψηφιακού σήματος στο κέντρο εκπομπής: «Ακαρνανικά».
- **3 Φεβρουαρίου 2012:** Έναρξη εκπομπής ψηφιακού σήματος στο κέντρο εκπομπής: «Αρόη».
- **20 Ιουλίου 2012:** Διακοπή αναλογικού σήματος στο κέντρο εκπομπής: «Υμηττός» (Έναρξη εκπομπής του ψηφιακού σήματος για τα δεκατέσσερα περιφερειακά κανάλια της Αττικής).
- **14 Δεκεμβρίου 2012:** Διακοπή του αναλογικού σήματος στο κέντρο εκπομπής: «Χορτιάτης».

- **26 Ιουνίου 2013:** Έναρξη εκπομπής ψηφιακού σήματος στα κέντρα εκπομπής: «Ρογδιά» & «Μαλάξα».
- **27 Σεπτεμβρίου 2013:** Έναρξη εκπομπής ψηφιακού σήματος στο κέντρο εκπομπής: «Πεταλίδι»

## Ψηφιακή Μετάβαση 2014-2015

Η Ψηφιακή Μετάβαση της διετίας 2014-2015 χωρίζεται σε περιοχικά Switch Off (δηλαδή πολλά κέντρα εκπομπής τα οποία ενεργοποιούνται ταυτόχρονα). Το χρονολόγιο της μετάβασης είναι:

- **27 Ιουνίου 2014:** Περιφέρεια Πελοποννήσου | Κέντρα εκπομπής: Αρόη, Καλάβρυτα, Ξυλόκαστρο, Κατσικάς, Όσιος Πατάπιος, Λιδορίκι, Φραγκαπήδημα, Σμέρνα, Δολιανά, Ασέα, Λεβίδι, Δίδυμα, Ναύπλιο, Δαρδίτσα, Πεταλίδι, Αετός, Ρειχέα, Αναβρυτή και Κύθηρα.
- **1 Αυγούστου 2014:** Περιφέρεια Αττικής, κεντρική και νότια Εύβοια, βορειοδυτικές Κυκλάδες και Αργολοαργοναυπλιώτικος | Κέντρα εκπομπής: Υμηττός, Πάρνηθα, Αίγινα, Οχθωνιά, Πράσινο, Χαλκίδα, Αυλώνας, Βάρη, Στύρα, Λαύριο, Ανάβυσσος, Σούνιο και Νέα Μάκρη.
- **5 Σεπτεμβρίου 2014:** Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης νησιά του βορειοανατολικού Αιγαίου. | Κέντρα εκπομπής: Πύθιο, Κήποι, Πεντάλοφος, Διδυμότειχο, Σουφλί, Πλάκα, Θάσος, Βασιλάκι, Ξάνθη, Σέρρες, Κορύμβος, Λιθότοπος, Νευροκόπι, Όλυμπος, Μυτιλήνη, Θυμιανά (Χίος), Θολοποτάμι, Λήμνος, Μεστά, Μόλυβος και Μύρινα.
- **21 Νοεμβρίου 2014:** Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, Περιφέρεια Θεσσαλίας και τμήμα της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας. | Κέντρα εκπομπής: Χορτιάτης, Φιλίππειο, Αριδαία, Μουριές, Πολύγυρος, Δοβρούτσι, Ελασσόνα, Καλαμπάκα, Πήλιο, Σωρός, Σκιάθος, Σκόπελος, Σκύρος, Χλωμό, Λιχάδα, Δαμαστά, Αταλάντη, Κρίκελο, Φραγκίστα, Δομνίστα και Ποταμιά.
- **19/27 Δεκεμβρίου 2014:** Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας. | Κέντρα εκπομπής: Κέλλη, Κλεισούρα, Άγιος Αθανάσιος, Πύλη, Μεταξάς, Υδατόπυργος, Τσοτύλι και Βουνάσα.
- **19/27 Δεκεμβρίου 2014, 8/16 Ιανουαρίου 2015:** Περιφέρεια Ηπείρου, Περιφέρεια Ιονίων Νήσων και Αιτωλοακαρνανία. | Κέντρα εκπομπής: Λιγκιάδες, Βασιλικό, Πολύγυρος, Δελβινάκι, Κατάρια, Ασπράγγελοι, Γρανιτσοπούλα, Φαρμακοβούνι, Ηγουμενίτσα, Ψάξα, Παντοκράτορας, Παλαιοκαστρίτσα, Ρόδα, Ακαρνανικά, Καναλάκι, Κορφοβούνι, Λάκκα Σούλι, Αμφιλοχία, Αίνος, Ιθάκη και Φυτείες.

- **6 Φεβρουαρίου 2015:** Περιφέρεια Κρήτης, Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου και Νομός Σάμου. | Κέντρα εκπομπής: Μαλάξα, Πλακάλωνα, Βίγλα, Κοτσυφιανά, Αχενδριάς, Ρογδιά, Πόμπια, Αμάρι, Λιβαδιά, Φανερωμένη, Λιθίνες, Περιστεράς, Σητεία, Σταυρός Νεαπόλεως, Άξονας, Μόντε Σμιθ, Γέρακας, Κέφαλος, Σύμπετρο, Άγιοι Πάντες, Αρχάγγελος, Αστυπάλαια, Βαθύ, Βίγλα (Κάλυμνος/Ρόδος/Σύμη), Καλυθιές, Κλειδί, Προφήτης Ηλίας, Φούρκες, Φαληράκι, Κάρπαθος, Νίσυρος, Αιγιάλη, Σύρος, Άνδρος, Εξώμβουργο, Άνω Μερά, Φοίνικας, Πάρος, Αρτεμώνας, Φιλώτι, Βαθύ, Θήρα, Ίος, Καμάρες, Μήλος, Παγώνδας, Ικαρία, Σάμος, Καρλόβασι, Φούρνοι, Καστελόριζο.

## 6.7 Ψηφιακή τηλεόραση σε κινητούς δέκτες

Για να έχουμε σύγκλιση των τεχνολογιών ψηφιακής τηλεόρασης και των τηλεπικοινωνιών, θα πρέπει φυσικά το σύστημα της επίγεια ψηφιακής τηλεόρασης που αναφερθήκαμε, να υποστηρίζει κινούμενους δέκτες. Η κινητή λήψη, φυσικά, στο σύστημα DVB-T είναι δυνατή. Το DVB-T όπως έχουμε προαναφέρει, χρησιμοποιεί διαμόρφωση multi-carrier modulation, δηλαδή την COFDM, παρά ένα ενιαίο σύστημα με φέροντα, όπως το PAL ή NTSC. Η διαμόρφωση COFDM έχει πολύ καλή συμπεριφορά, σε περίπτωση λήψης από πολλαπλές διαδρομές (multipath reception) στο δέκτη. Αυτές οι πολλαπλές αντανακλάσεις (λήψη από πολλαπλές διαδρομές), θα δημιουργούσαν μια συγκεχυμένη εικόνα σε μια αναλογική TV, εάν υποθέταμε ότι κινούνταν, αλλά στο DVB-T, η εικόνα παραμένει σταθερή και ικανοποιητική. Όπως είδαμε, ένας δέκτης DVB-T έχει διάφορα modes (επιλογής διαμόρφωσης, coderate και περιόδου φύλαξης). Από αυτά τα modes (δηλαδή τις διάφορες επιλογές), επηρεάζεται η σχέση μεταξύ ευρωστίας της λήψης και data capacity. Ανάλογα την απαίτηση της υπηρεσίας που θέλουμε να παραχωρήσουμε, μπορούμε να αυξομειώσουμε το data capacity, σε σχέση με την ευρωστία της λήψης.

Για να προκύψει το συμπέρασμα ότι το σύστημα DVB-T συμπεριφέρεται ικανοποιητικά στην κινητή λήψη (αλλά και στη φορητή λήψη), έλαβαν χώρα αρκετά και διάφορα εργαστηριακά πειράματα και έλεγχοι, από μια ομάδα, που αποτελούταν από 17 διαφορετικά μέλη, όπως broadcasters, networkoperators και κατασκευαστές επαγγελματικού και ερευνητικού εξοπλισμού, που προωθήθηκε το Μάιο του 1998, από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Το project που αναπτύχθηκε από αυτήν την ομάδα, ονομάστηκε MOTIVATE project (Mobile Television and Innovative Receivers)

## 7. Το σύστημα DVB-H

### 7.1 Σύντομη περιγραφή-Βασικά χαρακτηριστικά

Το DVB-H είναι το πρότυπο που αναπτύχθηκε για να υποστηρίξει εκπομπή ψηφιακού βίντεο σε κινητούς δέκτες. Είναι μια προέκταση του DVB-T το οποίο παρέχει την ίδια υπηρεσία αλλά σε σταθερές και φορητές τερματικές συσκευές. Τα κινητά τερματικά απαιτούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά από το σύστημα μετάδοσης που τα εξυπηρετεί. Αρχικά ως συσκευές τροφοδοτούμενες από μπαταρία απαιτούν από το σύστημα μετάδοσης να παρέχει την δυνατότητα επαναλαμβανόμενης διακοπής της τροφοδοσίας για τη μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας της μπαταρίας. Δεύτερον αφού η υπηρεσία προορίζεται για κινητούς χρήστες πρέπει το σύστημα μετάδοσης να εξασφαλίζει ομαλή μετάβαση από κυψέλη σε κυψέλη χωρίς τη διακοπή της υπηρεσίας. Τρίτον αφού το περιβάλλον μετάδοσης αναμένεται να χαρακτηρίζεται από έντονη πολυδιαδρομική διάδοση και υψηλά επίπεδα θορύβου, πρέπει το σύστημα μετάδοσης να προσφέρει τα μέσα για τη μετρίαση της επίδρασης των φαινομένων αυτών. Ακόμη, για διάφορα σενάρια λήψης (σε εσωτερικό / εξωτερικό χώρο, μέσα σε κινούμενο όχημα) είναι απαραίτητο το σύστημα μετάδοσης να παρέχει αρκετή ελαστικότητα και να επιδέχεται κλιμακώσεις (scalability) ούτως ώστε η λήψη υπηρεσιών DVB-H να είναι δυνατή σε διάφορες ταχύτητες με παράλληλη βελτιστοποίηση κάλυψης. Παράλληλα καθώς το DVB-H προορίζεται για χρήση σε διάφορα μέρη του κόσμου το σύστημα μετάδοσης πρέπει να παρέχει ευελιξία σε ότι αφορά τις ζώνες συχνοτήτων μετάδοσης και τα εύρη ζώνης. Τέλος όλα τα παραπάνω πρέπει να επιτευχθούν με ένα σύστημα στηριγμένο στο DVB-T ούτως ώστε να έχουμε μέγιστη συμβατότητα με τα υπάρχοντα δίκτυα και υλοποιήσεις DVB-T.

Οι επεκτάσεις του DVB-H για να πληρούν τις παραπάνω απαιτήσεις εντοπίζονται στο φυσικό στρώμα και στο στρώμα ζεύξης δεδομένων.

Στο στρώμα ζεύξης δεδομένων οι προσθήκες του DVB-H είναι η λειτουργία «time slicing» και το «MPE-FEC». Το time slicing επιτρέπει στα τερματικά την επαναλαμβανόμενη διακοπή της τροφοδότησης από τη μπαταρία, μειώνοντας έτσι τη μέση κατανάλωση ενέργειας, και παράλληλα εξασφαλίζει την ομαλή μεταπομπή. Είναι υποχρεωτικό για το DVB-H. Το MPE-FEC (Forward Error Correction for Multiprotocol Encapsulated Data), το οποίο δεν είναι υποχρεωτικό, βελτιώνει την απόδοση του C/N, την απόδοση Doppler και την ανεκτικότητα σε ενδογενή παρεμβολή.

Στο φυσικό στρώμα υποχρεωτική είναι η σηματοδότηση μέσω των TPS-bits, η οποία ενισχύει και επιταχύνει τον εντοπισμό της υπηρεσίας. Επίσης, η πρόσθεση της κατάστασης λειτουργίας «4K mode» επιτρέπει τη λήψη σε μεσαίου μεγέθους SFN (Single Frequency Networks) για πολύ μεγάλες ταχύτητες, προσθέτοντας ευελιξία στη σχεδίαση του δικτύου. Τέλος είναι δυνατή η χρήση του χαρακτηριστικού «in-depth interleaving» στις καταστάσεις λειτουργίας 2K και 4K για την περαιτέρω ενίσχυση της επίδοσης σε κινητά περιβάλλοντα

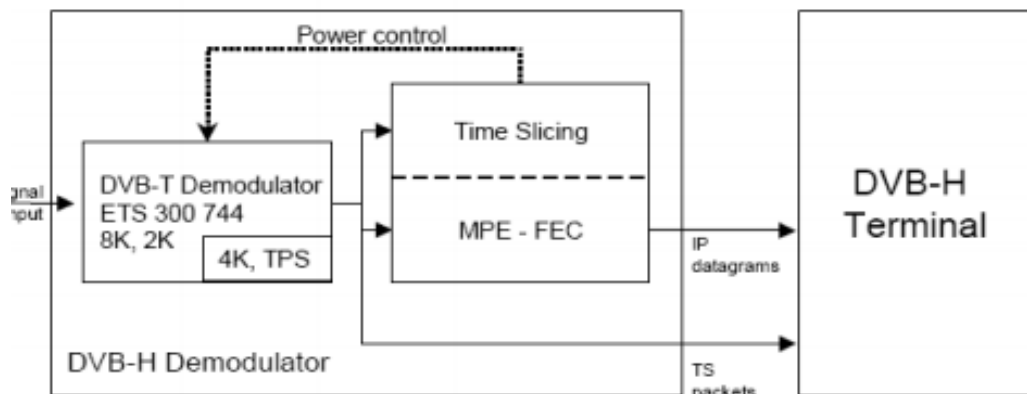
## 7.2 Γενική άποψη του συστήματος

Τα κινητά τερματικά με χαμηλή κατανάλωση ισχύος και μικρή οθόνη απαιτούν κάποια χαρακτηριστικά που το DVB-T δεν μπορεί να προσφέρει.

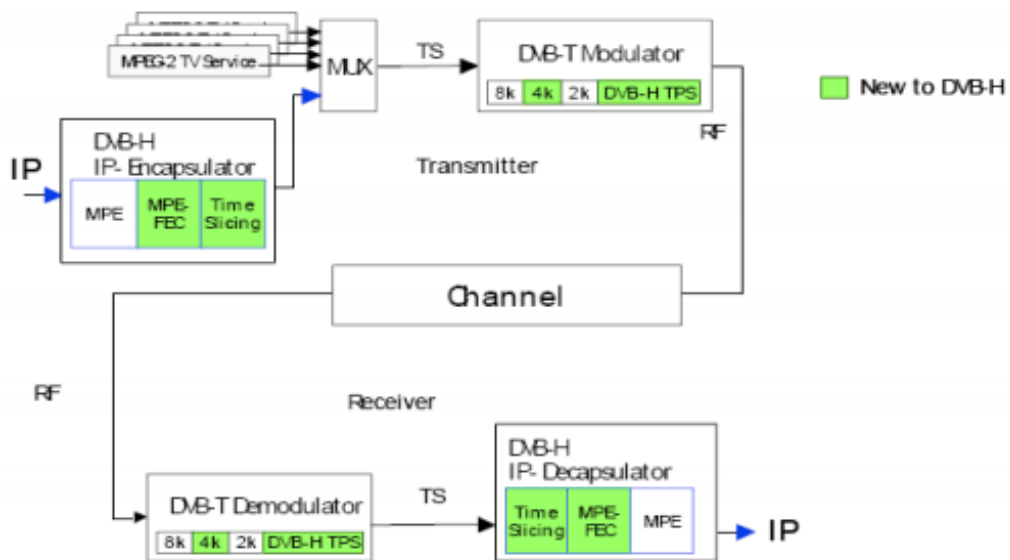
Αυτά είναι τα εξής:

- Το σύστημα μετάδοσης πρέπει να δίνει τη δυνατότητα ώστε επανειλημμένα να κλείνει η ισχύς σε κάποια σημεία της αλυσίδας λήψης. Αυτό θα μειώσει την μέση καταναλισκόμενη ισχύ του δέκτη.
- Το σύστημα μετάδοσης θα πρέπει να διασφαλίζει ότι ο δέκτης θα μπορεί να μετακινείται από μια κυψέλη σε μια άλλη χωρίς να μειώνεται η επίδοση της DVB-H υπηρεσίας.
- Για έναν αριθμό από σενάρια λήψης - εσωτερικού χώρου, εξωτερικού χώρου, pedestrian και μέσα σε κινούμενο όχημα - το σύστημα μετάδοσης θα πρέπει να παρέχει ικανοποιητική ελαστικότητα και διαβάθμιση ώστε να επιτρέπει τη λήψη DVB-H υπηρεσιών σε διάφορες ταχύτητες, ενώ θα βελτιστοποιεί την περιοχή κάλυψης.
- Καθώς οι υπηρεσίες αναμένονται να παρέχονται σε μέρη όπου υπάρχει πολύς θόρυβος που δημιουργείται από ανθρώπινες διαδικασίες, το σύστημα μετάδοσης θα πρέπει να παρέχει τα μέσα εκείνα που χρειάζονται ώστε ν' αντιμετωπίζονται αυτά τα φαινόμενα στην επίδοση των κινητών τερματικών.
- Καθώς το DVB-H σκοπεύει να γίνει το μοναδικό στάνταρ για την παροχή τηλεοπτικού σήματος σε κινητά τερματικά σε διαφορετικά μέρη του κόσμου θα πρέπει να είναι ικανό να χρησιμοποιείται σε διαφορετικές ζώνες μετάδοσης και διαφορετικά εύρη ζώνης καναλιών

Παρακάτω φαίνεται σχηματικά ένας DVB-H δέκτης και η λειτουργία ενός DVB-H συστήματος.



Σχηματική αναπαράσταση ενός DVB-H δέκτη



Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας ενός DVB-H συστήματος

Γενικά το DVB-H βασίζεται στην μέθοδο διαμόρφωσης OFDM και έχει την ίδια μέθοδο κωδικοποίησης με το DAB (Digital Audio Broadcasting). Ο συνδυασμός των δυο αυτών δίνει το σχήμα διαμόρφωσης COFDM (Coded Orthogonal Frequency Modulation).

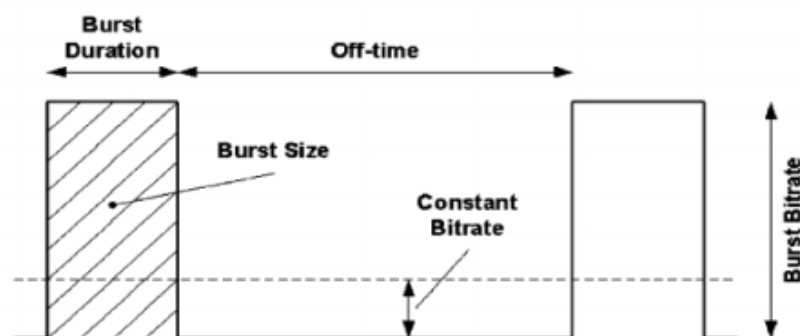


### 7.3 Τμηματοποίηση χρόνου (time slicing)

Οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται στα κινητά τερματικά απαιτούν σχετικά χαμηλά bit rates. Το μέγιστο bitrate για υπηρεσίες audio/video μεταδιδόμενες μέσω IP σε στοιχειώδη ρεύματα (ES) χρησιμοποιώντας προηγμένη τεχνολογία συμπίεσης (π.χ. MPEG-4) είναι της τάξης μερικών εκατοντάδων Kilobits ανά δευτερόλεπτο (Kbps). Κάποιες άλλες υπηρεσίες, όμως, όπως το κατέβασμα αρχείων μπορεί να χρειάζονται αρκετά μεγαλύτερα bit rates (π.χ. 10Mb/s). Συνεπώς υπάρχει ανάγκη από ευελιξία στα bit rates.

Το σύστημα μετάδοσης DVB συνήθως παρέχει bitrate των 10Mbps ή και περισσότερο. Αυτό προσφέρει τη δυνατότητα να μειωθεί σημαντικά η μέση κατανάλωση ενέργειας του δέκτη DVB εισάγοντας μια μέθοδο βασισμένη στην Πολυπλεξία Διάρθρωσης Χρόνου (Time Division Multiplexing). Αυτή η μέθοδος καλείται time slicing.

Η φιλοσοφία του time slicing βασίζεται στην αποστολή δεδομένων σε ριπές ('bursts'-data bursts) χρησιμοποιώντας ένα αρκετά μεγαλύτερο bitrate σε σχέση με αυτό που θα απαιτείτο αν η αποστολή δεδομένων ήταν συνεχόμενη. Κατά τη διάρκεια του χρόνου μεταξύ των bursts (off-time) η λήψη διακόπτεται και σταματάει η τροφοδότηση από την μπαταρία. Μέσα σε ένα burst υποδεικνύεται ο χρόνος μέχρι την επόμενη αποστολή δεδομένων από μια παράμετρο, που βρίσκεται στην επικεφαλίδα όλων των τμημάτων του burst, την 'delta\_t'. Μεταξύ των bursts τα δεδομένα του ES (Elementary Stream) δεν μεταδίδονται επιτρέποντας έτσι σε bursts από άλλα ES να μεταδίδονται. Έτσι ο δέκτης μένει ενεργός (τροφοδοτείται) για ένα μέρος του χρόνου ενώ δέχεται bursts από μια ζητούμενη υπηρεσία. Σε περίπτωση που απαιτείται χαμηλότερο συνεχόμενο bitrate από την κινητή τερματική συσκευή αυτό μπορεί να γίνει με αποθήκευση των λαμβανομένων bursts.



Σχήμα 2.18: Αρχή του time slicing

Ο χρόνος μεταξύ των bursts καθώς και το μέγεθός τους δεν είναι ανάγκη να είναι σταθερά χάρη στην ευελιξία που προσφέρει η παράμετρος delta\_t. Άρα ένα video

stream κωδικοποιημένο με μεταβλητό bitrate μπορεί να χρησιμοποιεί μεταβλητό μέγεθος burst και/ή μεταβλητό χρόνο μεταξύ των bursts. Πρέπει να τονιστεί ότι ένα burst μπορεί να περιέχει αρκετές υπηρεσίες που θα έχουν κοινό Packet Identifier (PID) αλλά μπορούν π.χ. να διακρίνονται από διαφορετικές διευθύνσεις IP.

Για να έχουμε μια επαρκή εξοικονόμηση ενέργειας το Burst Bit rate (Bb) πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 φορές το Constant bitrate της αποσταλμένης υπηρεσίας.

Η κατανάλωση ενέργειας εξαρτάται από το duty cycle του time slicing. Υποθέτουμε 10% duty cycle που σημαίνει 90% μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Οι εκτιμήσεις αυτές λαμβάνουν υπόψη το duty cycle καθώς και την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας που οφείλεται στο MPE-FEC. Τα αποτελέσματα εκτιμούν περίπου 1mW με 2mW για το MPE-FEC.

#### 7.4 Προστασία άνισων λαθών (Unequal Error Protection - UEP)

Προστασία άνισων λαθών σημαίνει ότι τα bits με τη μεγαλύτερη σημαντικότητα προστατεύονται κατά την διαδικασία της αποκωδικοποίησης καλύτερα από τα bits με τη λιγότερη σημαντικότητα. Το DVB-H δεν προβλέπει UEP όπως γίνεται στο DAB. Αυτό σημαίνει ότι τόσο τα σημαντικά bits όσο και τα λιγότερο σημαντικά bits αποκωδικοποιούνται με τον ίδιο τρόπο και τα λάθη μπορούν να συμβούν εξίσου και στα δυο είδη bits. Για τον χρήστη μπορεί αν μην τον νοιάζει αν χαθούν τα λιγότερο σημαντικά bits αλλά τον νοιάζει αν χαθούν bits που αφορούν τον συγχρονισμό του συστήματος

#### 7.5 Παράμετροι φυσικού στρώματος

Για κινητή και φορητή λήψη, η πιο χρήσιμη μέθοδος διαμόρφωσης είναι η 16-QAM με ρυθμό κωδικοποίησης 1/2 ή 2/3 απαιτώντας έναν μέσο σηματοθορυβικό λόγο (SNR) , ενώ παρέχει αρκετή χωρητικότητα για να ικανοποιήσει τις εμπορικές απαιτήσεις:

- Αστερισμός σήματος: QPSK, 16-QAM και αν και δεν προτείνεται 64-QAM
- FEC: 1/2 και 2/3 (το mode του 1/2 της υψηλότερου αστερισμού παρέχει το ίδιο ρυθμό bit αλλά παρουσιάζει καλύτερο σηματοθορυβικό λόγο σε Rayleigh κανάλι από ένα mode 3/4 π.χ. 16-QAM 1/2 είναι καλύτερο από QPSK 3/4).
- Χρόνος φύλαξης (Guard Interval-G.I.): Εξαρτάται από την τοπολογία του δικτύου, τα ίδια με το DVB-T. Το G.I. για ένα SFN είναι: για 2K->1/4, για 4K->1/4,1/8 και για 8K->1/4,1/8.

## 7.6 Χρόνος συγχρονισμού του δέκτη

Ο χρόνος συγχρονισμού του δέκτη είναι διαφορετικός για διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης. Ο χρόνος συγχρονισμού του δέκτη μπορεί να μειωθεί αν οι παράμετροι του DVB-H είναι γνωστές απ' την αρχή. Ο αρχικός συγχρονισμός χωρίς γνώση της ακριβούς κεντρικής συχνότητας στην περίπτωση χρησιμοποιούνται αντισταθμίματα και οι παράμετροι του DVB-H μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερες. Ωστόσο όταν γίνεται λήψη κατά τη διάρκεια της χρονικής σχισμής η κεντρική συχνότητα και οι παράμετροι του DVB-H παραμένουν ίδιοι. Ως εκ τούτου για τον υπολογισμό της μέσης κατανάλωσης ισχύος πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο μικρότερος χρόνος συγχρονισμού.

Ο χρόνος συγχρονισμού μπορεί να διαιρεθεί σε διάφορες φάσεις. Ο RF βρόχος κλειδώματος φάσης (Phase Lock Loop-PLL) πρέπει να σταθεροποιηθεί. Μετά ο αυτόματος έλεγχος κέρδους πρέπει να σταθεροποιηθεί πριν αρχίσει ο COFDM συγχρονισμός. Ο COFDM συγχρονισμός ήταν σ' ένα εύρος 200 με 300 ms στις DVB-T υλοποιήσεις. Εκεί η στρατηγική του συγχρονισμού βασιζόταν πρώτα στην επίτευξη προ-FFT συγχρονισμού και μετά-FFT συγχρονισμού και μετά στο κλείδωμα του TPS. 65 Συνολικά ο συγχρονισμός χρειαζόταν τουλάχιστον 100 OFDM σύμβολα που σήμαινε χρόνο 100 ms σε 8K συστήματα. Ωστόσο πολύ γρηγορότερα σχήματα συγχρονισμού έχουν παρουσιαστεί σε διάφορα συνέδρια. Σ' αυτά τα γρήγορα σχήματα ο χρόνος συγχρονισμού είναι περίπου 15 OFDM σύμβολα που σημαίνει περίπου 15 ms σε 8K συστήματα. Στα 2K και 4K συστήματα ο χρόνος συγχρονισμού είναι γρηγορότερος. Τυπικές τιμές για τον συγχρονισμό παρουσιάζονται παρακάτω. Αυτές οι τιμές είναι ωστόσο αρκετά αισιόδοξες και σε πρακτικές υλοποιήσεις ο συγχρονισμός θα μπορούσε να είναι ακόμη ταχύτερος:

-- Σταθεροποίηση RFP LL 10 ms

-- Σταθεροποίηση AGC 20 ms

--COFDM συγχρονισμός 50 ms (8K σύστημα). Σε δύσκολα SFN δίκτυα με  $\frac{1}{4}$  διάστημα φύλαξης (guard interval) ο χρόνος συγχρονισμού ίσως είναι μεγαλύτερος δηλαδή 80 ms με 90ms.

Ο συνολικός χρόνος συγχρονισμού είναι λοιπόν λιγότερο από 80 ms (120ms για  $\frac{1}{4}$  GI).

## 8. Η τεχνολογία DVB-C και DVB-C2

Το σύστημα DVB-C για την καλωδιακή εκπομπή έχει σχεδιασθεί για να τροφοδοτείται από συνδυασμό σημάτων από δορυφόρους και από τοπικά προγράμματα που προέρχονται από άξονες διανομής. Τα περιεχόμενα του προγράμματος συναρμολογούνται στην κεφαλή του συστήματος. Τα σήματα που προέρχονται από δορυφόρο συνήθως αποπολυπλέκονται στην κεφαλή πριν εισαχθούν στο πολυπλεγμένο καλωδιακό πρόγραμμα.

Βασικό χαρακτηριστικό του συστήματος DVB-C είναι η ομοιότητα του με το δορυφορικό σύστημα DVB-S όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας με μόνη ουσιαστική διαφορά τη διαμόρφωση η οποία στην περίπτωση του καλωδιακού συστήματος είναι Μ-ορθογωνική διαμόρφωση εύρους (M-quadrature amplitude modulation- MQAM). Βασικό περιοριστικό χαρακτηριστικό του συστήματος DVB-C είναι το εύρος του καλωδιακού καναλιού που είναι 7 έως 8 MHz. Παρόλα αυτά τα καλωδιακά δίκτυα θεωρούνται αποτελεσματικά και αποδοτικά μέσα για την ψηφιακή τηλεόραση. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μπορεί να φτάσει τα 64 Mbit/sec ανάλογα με τις παραμέτρους διαμόρφωσης.

Η πιο πρόσφατη προσπάθεια προτύπων DVB-C2 ακολουθεί την τυποποίηση DVB-S2 με 30-50% περισσότερη ρυθμαπόδοση σε σχέση με το DVB-C όπως επίσης επιτρέπει την ευρεία εισαγωγή των προηγμένων ψηφιακών υπηρεσιών TV μέσω του καλωδίου. Μερικές από τις απαιτήσεις μεγαλύτερης ρυθμαπόδοσης περιλαμβάνουν:

- Ανάγκη για μεγαλύτερη ικανότητα μεταφοράς δεδομένων στα καλωδιακά δίκτυα και εφαρμόσιμα στις νέες υπηρεσίες όπως η HDTV, VOD και άλλες εξατομικευμένες και διαλογικές υπηρεσίες.
- Ανάγκη για τις εταιρίες (πάροχοι καλωδιακής τηλεόρασης) να παραμείνουν ανταγωνιστικές και ευέλικτες και να είναι σε θέση να παρέχουν μια ψηφιακή προσφορά, ανταγωνιστική στις ψηφιακές αγορές της τηλεόρασης.
- Η ανάγκη των παρόχων να παραμείνουν ικανοί να αναμεταδίδουν ολόκληρη την πολύπλεξη που λαμβάνεται μέσω των δορυφορικών ή επίγειων δικτύων χρησιμοποιώντας τα ανώτερα σχέδια διαμόρφωσης.

## 9. Οι μελλοντικές εξελίξεις στην ψηφιακή τηλεόραση

### 9.1 Ψηφιακή εξέλιξη

Οι εταιρίες που φιλοδοξούν να ασχοληθούν με την ψηφιακή τηλεόραση στη χώρα μας είναι ήδη καταξιωμένες στον χώρο τους και τα σχέδιά τους φιλόδοξα, άρα το φιλοθέαμον κοινό έχει κάθε λόγο να τρέφει μεγάλες προσδοκίες για το μέλλον των ψηφιακών εκπομπών. Η Ελλάδα ανήκει στις χώρες εκείνες της Ευρώπης όπου τα δορυφορικά πιάτα σπανίζουν ακόμα. Οι δορυφορικές παραβολικές κεραίες που είναι εγκατεστημένες στην Ελλάδα, το Βέλγιο, τη Φινλανδία, τη Νορβηγία και την Ιρλανδία αποτελούν συνολικά το 2% των δορυφορικών κεραίων της Γηραιάς Ηπείρου. Παράλληλα, στη χώρα μας δεν έχουν αναπτυχθεί ούτε καλωδιακά δίκτυα. Από την άλλη πλευρά, τα επίγεια αναλογικά κανάλια ελεύθερης λήψης που εκπέμπουν σήμερα φτάνουν στο τέλος της ζωής τους. Η μετατροπή τους σε επίγεια ψηφιακά ή δορυφορικά ψηφιακά κανάλια με ή χωρίς συνδρομή αποτελεί μονόδρομο.

Όσον αφορά στον τρόπο μετάδοσης, η δορυφορική μετάδοση αναμένεται να είναι εκείνη που θα κυριαρχήσει στη χώρα μας, καθώς το μεγάλο της πλεονέκτημα είναι ότι μπορεί να προσφέρει άριστη ποιότητα εικόνας και ήχου σε όλη την επικράτεια. Η ιδιαίτερη μορφολογία του εδάφους υποχρεώνει σήμερα τους αναλογικούς σταθμούς να διαθέτουν μεγάλα ποσά για αναμεταδότες σε όλη την Ελλάδα, χωρίς να εξασφαλίζεται πάντα η καλή ποιότητα του σήματος. Την λύση φυσικά δίνει η μετάβαση στην επίγεια ψηφιακή μετάδοση του σήματος με πολύ καλά αποτελέσματα και με μικρότερη ισχύς εκπομπής.

Το μεγάλο στοίχημα της μετάβασης στην ψηφιακή τεχνολογία δεν σχετίζεται, όμως, μόνο με την τηλεθέαση, αλλά και με τις αμφίδρομες υπηρεσίες. Ειδικοί αναλυτές εκτιμούν, μάλιστα, ότι το μεγαλύτερο τμήμα του τζίρου από την ψηφιακή τηλεόραση θα προέρχεται απ' αυτές ακριβώς τις υπηρεσίες, και όχι από τα ραδιοτηλεοπτικά προγράμματα. Πολλοί είναι, εξάλλου, εκείνοι που υποστηρίζουν ότι για υπηρεσίες όπως το τηλεμπόριο, η τηλεόραση είναι σίγουρα πιο κατάλληλο μέσο απ' ό, τι το διαδίκτυο, γιατί το κοινό είναι ήδη εξοικειωμένο μ' αυτή τη μέθοδο συναλλαγών.

## 9.2 Η τεχνολογία DVB-T2

Τεχνολογική εξέλιξη μεγάλης σημασίας αποτελεί η δημιουργία του προτύπου DVB-T2. Πρόκειται για μια εξέλιξη του υφιστάμενου προτύπου της επίγειας πλατφόρμας DVB-T, το οποίο χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή στη χώρα μας για τη ψηφιακή ευρυεκπομπή. Το νέο αυτό πρότυπο ουσιαστικά υιοθετεί τεχνολογίες που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί στη ψηφιακή δορυφορική και καλωδιακή μετάδοση εικόνας σύμφωνα με τα εξελιγμένα τεχνικά πρότυπα 2<sup>ης</sup> γενιάς DVB-S2 και DVB-C2. Στο DVB-T2 κυρίως αλλάζει ο τρόπος διαμόρφωσης και μας δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα καθώς επίσης και μεγαλύτερο bandwidth. Επίσης, παρατηρούνται αρκετές διαφορές στο καινούριο πρότυπο DVB-T2 έναντι του DVB-T όπως, τον συνδυασμό κωδικοποίησης LDPC και BCH για την υλοποίηση του αλγορίθμου ευθέως διόρθωσης σφάλματος (Forward Error Correction-FEC). Η επιλογή αυτή για τον αλγόριθμο FEC επιτρέπει την αύξηση της φασματικής απόδοσης που προέρχεται από τη χρήση ψηφιακής διαμόρφωσης QAM 256 σημείων. Πρόσθετα οφέλη προκύπτουν και από τη μείωση των διασκορπισμένων πιλοτικών τόνων (scattered pilots). Πιο συγκεκριμένα, στο DVB-T2 μπορούμε να έχουμε μικρότερα ποσοστά διασκορπισμένων πιλοτικών τόνων (1%, 2%, 4% και 8%) έναντι του σταθερού ποσοστού 8% που προδιαγράφει το DVB-T και φυσικά λιγότερους συνεχείς πιλοτικούς τόνους που φθάνουν μόλις το 0,35% του συνολικού πλήθους των τόνων, έναντι του σταθερού ποσοστού 2,6% του DVB-T. Αναλυτικά η σύγκριση των δυο προτύπων D.T.T. όσον αφορά τα βασικά χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

	<b>DVB-T</b>	<b>DVB-T2</b>
<b>FEC</b>	<b>Convolutional Coding + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8</b>	<b>LPDC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6</b>
<b>Modes</b>	<b>QPSK, 16QAM, 64QAM</b>	<b>QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM</b>
<b>Guard Interval</b>	<b>1/4, 1/8, 1/16, 1/32</b>	<b>1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128</b>
<b>FFT size</b>	<b>2k, 8k</b>	<b>1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k</b>
<b>Scattered Pilots</b>	<b>8% of total</b>	<b>1%, 2%, 4%, 8% of total</b>
<b>Continual Pilots</b>	<b>2.6% of total</b>	<b>0.35% of total</b>

Σύγκριση χαρακτηριστικών DVB-T και DVB-T2

Το μεγάλο όφελος από την εφαρμογή του DVB-T2 είναι ότι έχουμε εξοικονόμηση του φάσματος κατά 47% όπου με τη χρήση της τεχνολογίας MPEG-4 AVC στην κωδικοποίηση θα μπορούν να εκπεμφθούν 20 κανάλια SD και μέχρι 4 HD σε κάθε δίαυλο των 8 MHz όπου είχαμε ένα μόνο αναλογικό κανάλι. Κλείνοντας, το πρότυπο DVB-T2 έχει σχεδιαστεί για λήψη από τις ήδη υπάρχουσες τοπικές κεραιές ψηφιακής τηλεόρασης καθώς και για συνύπαρξη με τις υπάρχουσες DVB-T εκπομπές.

	<i>DVB-T</i>		<i>DVB-T2</i>	
	<i>SD channels</i>	<i>HD channels</i>	<i>SD channels</i>	<i>HD channels</i>
MPEG-2	8	1	10	2
H.264/MPEG-4 AVC	16	3	20	4

Τηλεοπτικά κανάλια ανά πολυπλέκτη

## 10. WhiteSpace

# W H I T E S P A C E

### 10.1 Γενικά

#### Τι εννοούμε με τον όρο **whitespace**;

Ο όρος WhiteSpace αναφέρεται στο μέρος του αδειοδοτημένου ραδιοφάσματος που οι δικαιούχοι του δεν το χρησιμοποιούν για όλη την ώρα ή σε όλες τις γεωγραφικές τοποθεσίες. Πολλές ρυθμιστικές αρχές σε όλο τον κόσμο κινούνται προς αυτήν τη κατεύθυνση η οποία επιτρέπει την πρόσβαση σε αυτές τις συχνότητες χωρίς να χρειάζεται αδειοδότηση, με την προϋπόθεση όμως ότι οι αδειοδοτούμενες μεταδόσεις δεν θα επηρεάζονται αρνητικά. Επιτρέποντας την πρόσβαση σε αυτές τις συχνότητες, πιο αποτελεσματική και πιο αποδοτική χρήση του ραδιοφάσματος μελετάται.

Μεγάλο μέρος του ενθουσιασμού γύρω από το WhiteSpace πηγάζει από τη διακοπή της χρήσης των αναλογικών τηλεοπτικών σημάτων σε αρκετές χώρες και την αξιοποίηση του φάσματος που θα ελευθερωθεί. Μέρος αυτού του φάσματος μπορεί να αδειοδοτηθεί για άλλες χρήσεις με κανονικό τρόπο, όπως για παράδειγμα στο Ηνωμένο Βασίλειο τα 'παλιά' τηλεοπτικά κανάλια 61-69 που αντιστοιχούν σε συχνότητες 798-862 MHz έχουν ανατεθεί για κινητή χρήση LTE. Όμως με μια καλή συμφωνία που αφορούν τα κανάλια TVBand (21-60 στο Ηνωμένο Βασίλειο, που αντιστοιχούν στα 470-790 MHz), θα οριστεί 'διαστρωμένο' φάσμα, κάτι που σημαίνει ότι οι χρήστες χωρίς άδεια μπορεί να υποστούν παρεμβολές στις μεταδόσεις τους στα κενά (δηλαδή στους χώρους WhiteSpace) όπου υπάρχουν μεταδόσεις χρηστών με άδεια.





Ραδιοφωνικά σήματα σε αυτές τις τηλεοπτικές συχνότητες έχουν χαρακτηριστικά διάδοσης που τα καθιστούν κατάλληλα για να ταξιδεύουν μεγάλες αποστάσεις πάνω από λόφους ή γύρω/μέσα από κτίρια και παραδείγματα εφαρμογών που επί του παρόντος μελετώνται και περιλαμβάνουν: αγροτική διάρθρωση, δίκτυα δεδομένων σε επίπεδο πόλεων, δίκτυα δεδομένων σε πανεπιστημιακό και νοσοκομειακό επίπεδο και επικοινωνίες machine to machine.

Παρεμβολή μεταδόσεων με αυτό τον τρόπο όμως δεν γίνεται χωρίς τις τεχνικές προκλήσεις εν τούτοις. Είναι επιτακτικό ότι οι επιτρεπόμενες μεταδόσεις (κυρίες), όπως οι τηλεοπτικές μεταδόσεις δεν θα αλλοιώνονται από παρεμβολές που προκαλούνται από μεταδόσεις χωρίς άδεια (δευτερεύουσες), και είναι αναγκαίο να εξασφαλιστεί, ως εκ τούτου, ότι η πρόσβαση είναι σφιχτά ρυθμιζόμενη και ελέγξιμη. Δηλαδή με λίγα λόγια ο χώρος που διατίθεται για WhiteSpace μεταδόσεις, μπορεί να είναι μη αδειοδοτούμενος αλλά η πρόσβαση σε αυτόν θα πρέπει να ελέγχεται.

Μερικές από τις πρόωρες προτάσεις για τον έλεγχο της πρόσβασης στο φάσμα 'κενού χώρου' (WhiteSpace), συνεπάγεται τη χρήση των γνωστικών συστημάτων ραδιοεπικοινωνίας (cognitive radio). Με τον όρο Γνωστικό Σύστημα Ραδιοεπικοινωνιών (Cognitive Radio System – CRS) καλείται ένα σύστημα ραδιοεπικοινωνιών που χρησιμοποιεί τεχνολογία που του επιτρέπει να αποκτήσει γνώση του επιχειρησιακού και γεωγραφικού περιβάλλοντος, των εγκαθιδρυμένων πολιτικών και της εσωτερικής κατάστασής του, ώστε να ρυθμίζει δυναμικά και αυτόνομα τις λειτουργικές του παραμέτρους και τα πρωτόκολλα με βάση την αποκτημένη γνώση, με σκοπό να επιτυγχάνει προκαθορισμένα αντικείμενα και να μαθαίνει από τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Ωστόσο, γνωστικές τεχνικές όπως αυτές είναι εξαιρετικά δύσκολο, ιδίως όταν αφορά την ευαισθησία τηλεπισκόπησης που απαιτείται και την πιθανότητα μια WSD να έχει λανθασμένα εντοπίσει ένα κανάλι ως δωρεάν, όταν στη πραγματικότητα χρησιμοποιείται από πρωτογενείς χρήστες.

Στις τρέχουσες προτάσεις, ο κύριος μηχανισμός για τον έλεγχο της πρόσβασης θα περιλαμβάνει τη χρήση μιας βάσης δεδομένων που θα χορηγήσει την άδεια για τις WSDs να χρησιμοποιήσουν συγκεκριμένα ραδιοφωνικά κανάλια. Οι λεπτομέρειες του σχεδιασμού της βάσης δεδομένων και των μεθόδων πρόσβασης είναι επί του παρόντος υπό συζήτηση σε μια σειρά από χώρες, αλλά σε γενικές γραμμές, προβλέπεται ότι οι WSDs θα χρειάζεται να αναφέρουν τη τοποθεσία τους στη βάση δεδομένων, και η βάση δεδομένων θα χρησιμοποιήσει αυτή τη πληροφορία για να καθορίσει ποια κανάλια θα έπρεπε να είναι διαθέσιμα σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία τη δεδομένη χρονική στιγμή. Οι WSD μπορεί ακόμα να απαιτηθεί να χρησιμοποιήσουν κάποιου είδους γνωστική τεχνική όπως αισθητήρα φάσματος για να επιβεβαιώσουν ότι το κανάλι που χορηγήθηκε από τη βάση δεδομένων είναι πράγματι δωρεάν.

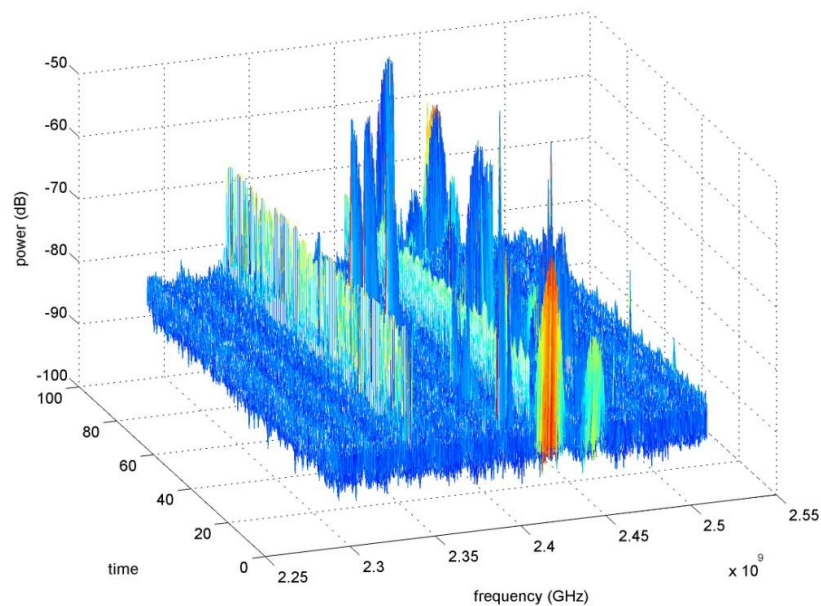
Για λόγους πληρότητας, παρατίθενται οι ορισμοί κάποιων βασικών όρων επί του θέματος, όπως τους έχει θέσει το CEPT και η ITU-R. Έτσι λοιπόν, με τον όρο whitespace υποδεικνύεται ένα μέρος του φάσματος, που είναι διαθέσιμο για μια τηλεπικοινωνιακή εφαρμογή (υπηρεσία, σύστημα) σε δεδομένο χρόνο, σε δεδομένη γεωγραφική περιοχή σε μια μη παρεμβολική/μη προστατευόμενη βάση σχετικά με άλλες υπηρεσίες μεγαλύτερης προτεραιότητας σε εθνικό επίπεδο. Ως White Space Devices (WSDs) λέγονται οι συσκευές που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα whitespaces του φάσματος χωρίς να προκαλούν επιβλαβείς παρεμβολές σε προστατευόμενες υπηρεσίες, κάνοντας χρήση γνωστικών δυνατοτήτων. Τέλος, με τον όρο υπάρχουσες ραδιο-υπηρεσίες/ραδιο-συστήματα καλούνται οι επίγειες ραδιοηλεκτρικές υπηρεσίες (Broadcasting Services), κυρίως DVB-T, τα συστήματα PMSE που περιλαμβάνουν κυρίως ασύρματα μικρόφωνα, οι υπηρεσίες RAS στην ζώνη των 608-614 MHz, οι υπηρεσίες ARNS στη ζώνη των 645-790 MHz και οι διάφορες κινητές υπηρεσίες κάτω από τα 470 MHz και πάνω από τα 790 MHz.

Όπως είναι λογικό, προτού, καταστεί εφικτή η χρήση των whitespaces, υπάρχει μια σειρά από ζητήματα που πρέπει να διευθετηθούν. Αυτά είναι η προστασία των ήδη υπαρχόντων αδειοδοτημένων υπηρεσιών (όπως είπαμε και προηγουμένως) στις συχνότητες αυτές, η κατασκευή συσκευών που μπορούν να λειτουργούν στις συχνότητες αυτές χωρίς να δημιουργούν προβλήματα και τέλος, η επιλογή των κατάλληλων υπηρεσιών για χρήση των whitespaces.

## 10.2 Προστασία ήδη υπαρχόντων υπηρεσιών

Τρεις είναι οι κύριες τεχνικές που έχουν προταθεί για την υποβοήθηση των WSDs ώστε να είναι σε θέση να εντοπίζουν μη κατειλημμένα κανάλια. Αυτές είναι η **ανίχνευση του φάσματος** (spectrum sensing), η **χρήση μιας βάσης δεδομένων γεω-εντοπισμού** (geo-locationdatabase) και η **χρήση ενός πομπού-φάρου** (beacon transmitter).

### 10.2.1 Ανίχνευση του φάσματος (spectrum sensing)



Με την τεχνική αυτή, οι WSDs προσπαθούν να ανιχνεύσουν την παρουσία προστατευμένων υπάρχοντων υπηρεσιών σε κάθε ένα από τα πιθανά διαθέσιμα κανάλια, μέσω της διεξαγωγής μετρήσεων σε κάθε υποψήφιο κανάλι. Όταν κάποιο κανάλι αναγνωριστεί ως κενό, εξετάζονται τα γειτονικά του για πιθανούς περιορισμούς στην ισχύ εκπομπής. Κάποιες όμως παθητικές υπηρεσίες (π.χ. Ραδιοαστρονομία στη ζώνη 608-614 MHz), δεν είναι δυνατόν να προστατευθούν με αυτό τον τρόπο, επομένως χρειάζεται κάποια κανάλια να εξαιρεθούν μόνιμα από την ανίχνευση. Εξελιγμένες τεχνικές χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της μεθόδου σε περιπτώσεις που τα χαρακτηριστικά των σημάτων των προς προστασία υπηρεσιών είναι γνωστά. Ευεργετικής, επίσης, σημασίας είναι η συνεργασία μεταξύ των WSDs για την εύρεση των διαθέσιμων καναλιών.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της ανίχνευσης φάσματος (όταν χρησιμοποιείται μόνο αυτή η τεχνική) είναι ότι δε βασίζεται σε καμία ήδη υπάρχουσα υποδομή (π.χ. βάση δεδομένων), πράγμα ευνοϊκό σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα. Από την άλλη, αν είναι απαραίτητη η υιοθέτηση πολύ χαμηλών κατωφλίων ανίχνευσης, θα υπάρξει αύξηση της πολυπλοκότητας και μείωση των τελικά διαθέσιμων καναλιών. Στην περίπτωση που βρεθεί κάποιο ελεύθερο κανάλι και ξεκινήσει τη λειτουργία της η WSD, θα πρέπει ανά τακτά χρονικά διαστήματα να γίνεται επανέλεγχος του καναλιού ώστε να εντοπιστεί κάποια υπηρεσία που τελικά τρέχει στο κανάλι.

Σημαντικές παράμετροι για τη μέθοδο της ανίχνευσης είναι:

- το κατώφλι ανίχνευσης,
- η περιοδικότητα επανελέγχου του καναλιού και
- η διάρκεια της δειγματοληψίας.

Γενικά υπάρχουν δύο κατηγορίες ανίχνευσης: ανίχνευση ενέργειας και ανίχνευση χαρακτηριστικών. Το κύριο πλεονέκτημα της πρώτης είναι η ανεξαρτησία από το είδος του τηλεπικοινωνιακού συστήματος που παρακολουθείται και ως εκ τούτου η δυνατότητα λειτουργίας σε κάθε νέο σύστημα. Αντίθετα, η μέθοδος αυτή απαιτεί πολύ μεγάλη ευαισθησία λόγω θορύβου και επομένως αυξάνει την πιθανότητα λανθασμένων ανιχνεύσεων.

Η δεύτερη κατηγορία αφορά την αναζήτηση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών της υπηρεσίας που ελέγχεται, όπως για παράδειγμα κάποιο φέρον σήμα πιλότο, κάποιο προοίμιο, συνεχείς ή διεσπαρμένους πιλότους σε σήματα OFDM, συγκεκριμένη περιοδικότητα ή ακολουθία στο σήμα στο πεδίο του χρόνου ή της συχνότητας κ.α. Οι ανιχνευτές αυτής της κατηγορίας δεν αποδιαμορφώνουν το σήμα και άρα δεν έχουν πρόσβαση στην πληροφορία που μεταφέρει, μπορούν όμως να αναγνωρίσουν τον τύπο του σήματος για παράδειγμα DVB-T ή DVB-T2 και να μειώσουν το ποσοστό λάθους. Ένα μειονέκτημά τους είναι η δυσκολία προσαρμογής τους σε νέα συστήματα, κάτι που μπορεί να βελτιωθεί π.χ. με updating του software.

### 10.2.2 Γεωεντοπισμός

Με αυτή την προσέγγιση, οι WSDs θα υπολογίζουν τη θέση τους και θα λαμβάνουν υπόψη τους μια βάση δεδομένων γεωεντοπισμού για να αποφασίσουν ποιες συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιήσουν. Κρίσιμες παράμετροι για αυτό είναι η ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης, η συχνότητα ερωτήσεων προς τη βάση δεδομένων και η ποιότητα αυτής. Για τη λειτουργία του συστήματος είναι απαραίτητη η πρόσβαση, με κάποιο τρόπο, στη βάση δεδομένων, προτού να επιτραπεί η χρήση των whitespaces. Σε περίπτωση που κάποια WSD συνδεθεί σε κάποιο σημείο πρόσβασης, τότε θα μπορεί να λειτουργεί ως proxy της βάσης δεδομένων για άλλες WSDs και να ελέγχει κατά πόσο αυτές δεν παραβιάζουν τους περιορισμούς της βάσης δεδομένων (τεχνική master-slave). Επίσης, στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα διαθέσιμα APs συνδεδεμένα μεταξύ τους θα μπορεί να υποβοηθείται η διαδικασία εντοπισμού της θέσης και η παροχή των κατάλληλων πληροφοριών από τη βάση δεδομένων.

### 10.2.3 Φάροι (Beacons)

Η τεχνική αυτή αναφέρεται στην αποστολή ειδικών σημάτων από φάρους (beacons) που χρησιμοποιούνται για να υποδείξουν ποια κανάλια είναι κατειλημμένα από ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες και ποια είναι ελεύθερα. Συνήθως, η μέθοδος αυτή δε χρησιμοποιείται από μόνη της, αλλά για την υποβοήθηση της τεχνικής ανίχνευσης φάσματος, αυξάνοντας όμως το κόστος του συστήματος. Τα σήματα των φάρων μπορούν να αξιοποιηθούν με τρεις συνήθως τρόπους:

- ▶ Ενεργοποιημένος φάρος: Αν ανιχνευτεί σήμα φάρου, το εξεταζόμενο κανάλι μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Απαιτείται ένα δίκτυο από beacons, ένας δέκτης beacon σε κάθε WSD και μια υποστηρικτική βάση δεδομένων.
- ▶ Απενεργοποιημένος φάρος: Αν ανιχνευτεί σήμα φάρου, το εξεταζόμενο κανάλι είναι κατειλημμένο και επομένως δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Οι απαιτήσεις είναι ίδιες με παραπάνω.
- ▶ Σήμα φάρου ως κανάλι πιλότος: Τα σήματα των φάρων χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση των τοπικά χρησιμοποιούμενων τηλεοπτικών καναλιών, δηλαδή πολλοί φάροι μαζί μπορούν να αποτελούν μια τοπική βάση δεδομένων για την αποφυγή παρεμβολών σε τηλεοπτικές υπηρεσίες.

#### 10.3 Αδειοδοτούμενες υπηρεσίες

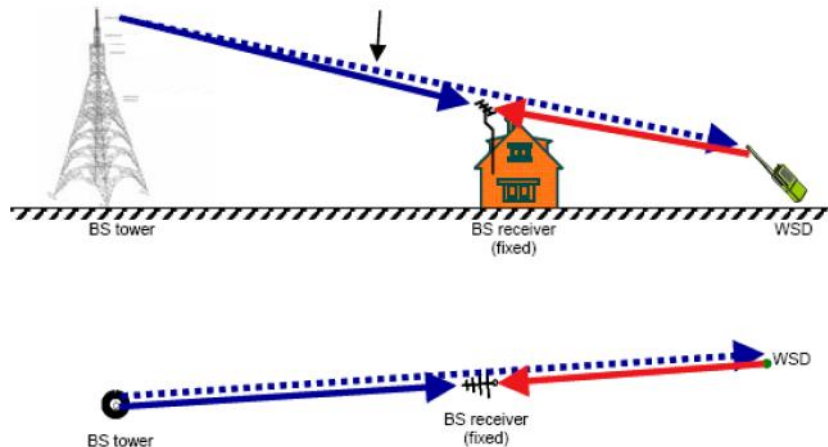
Όπως εγράφη και προηγουμένως, αυτές είναι οι τρεις κύριες τεχνικές για την προστασία των διαφόρων υπηρεσιών που λειτουργούν αδειοδοτημένες στις περιοχές συχνοτήτων που ενδιαφέρουν. Οι σημαντικότερες από αυτές τις υπηρεσίες είναι οι εξής:

- Τηλεοπτικές μεταδόσεις στη ζώνη 470-790 MHz
- Υπηρεσίες PMSE (οπτικοακουστικές παραγωγές) στη ζώνη 470-790 MHz
- Ραδιοαστρονομία (RAS) στις συχνότητες 608-614 MHz
- Αεροναυτική ραδιοπλοήγηση (ARNS) στη ζώνη 645-790 MHz
- Διάφορες κινητές/σταθερές υπηρεσίες σε συχνότητες γειτονικές των 470-790 MHz

## 10.4 Χαρακτηριστικά υπηρεσιών

Ας δούμε, πλέον, πιο αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών αυτών καθώς και τα πιθανά προβλήματα που μπορούν να εμφανιστούν από τη χρήση των whitespaces σε αυτές.

### 10.4.1 Προστασία των ραδιοτηλεοπτικών υπηρεσιών στη ζώνη 470-790 MHz

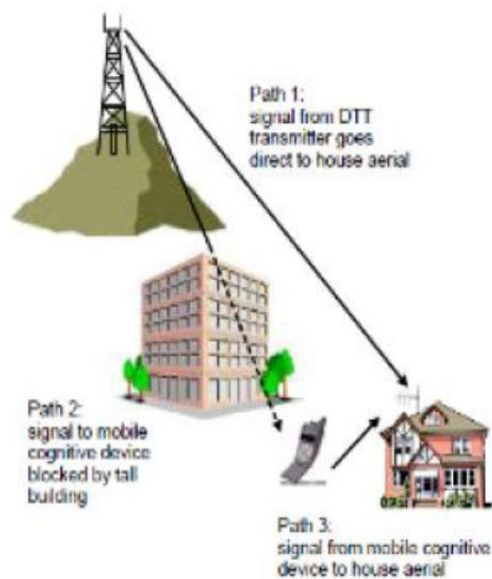


Οι ραδιοτηλεοπτικές υπηρεσίες μπορούν να είναι στατικές (αγροτικές και αστικές), φορητές και χειρός. Το συνηθέστερο πρόβλημα με τη χρήση WSDs σε εξωτερικούς χώρους είναι το ακόλουθο:

Όπως φαίνεται και στο διπλανό σχήμα, υπάρχει πιθανότητα παρεμβολής όταν ο οικιακός τηλεοπτικός δέκτης βρίσκεται ανάμεσα στο σταθμό εκπομπής και σε μια WSD. Για το λόγο αυτό, η WSD θα πρέπει να συλλέξει πληροφορίες, με βάση τις τεχνικές που προτάθηκαν προηγουμένως, ώστε να αποκλειστεί η πιθανότητα ύπαρξης στην περιοχή ενδιαφέροντος πομπών τηλεοπτικού σήματος, καθιστώντας απαραίτητη τη γνώση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των τηλεοπτικών σημάτων.

Με την τεχνική της ανίχνευσης του φάσματος είναι δυνατή η εύρεση των τηλεοπτικών σταθμών που λειτουργούν στην περιοχή. Για την ανίχνευση της παρουσίας τηλεοπτικών σημάτων πρέπει να υπολογιστεί ένα κατώφλι ανίχνευσης (detection threshold) δηλαδή το ελάχιστο επίπεδο σήματος λήψης της WSD, που σημαίνει ύπαρξη τηλεοπτικών εκπομπών. Το κατώφλι λήψης, προφανώς δεν είναι σταθερό αλλά μεταβάλλεται στατιστικά ανάλογα με τη θέση της WSD και τις χρονικές μεταβολές στη διάδοση των κυμάτων. Για τους διάφορους υπολογισμούς υιοθετείται κανονική κατανομή με μέση τιμή και τυπική απόκλιση και απαιτείται αξιοπιστία 99.99% στην ανίχνευση σημάτων DTT (Digital Terrestrial Television – Επίγεια Ψηφιακή Τηλεόραση), προκειμένου να μην υπάρξουν παρεμβολές.

Η μέθοδος της ανίχνευσης μπορεί να εφαρμοστεί και για εσωτερικούς χώρους, εντός των οποίων, τα σήματα DTT εξαρτώνται από τη μεταβολή των σημάτων εξωτερικά λόγω ανακλάσεων από εξωτερικά αντικείμενα, από τη μεταβολή των απωλειών διείσδυσης στο κτίριο (Building Penetration Loss – BPL) και τέλος, από τη μεταβολή των σημάτων εσωτερικά λόγω ανακλάσεων από εσωτερικά αντικείμενα. Έπειτα από μετρήσεις, τα αποτελέσματα για τα κατώφλια ανίχνευσης σε εσωτερικούς χώρους είναι περίπου -101 dBm για σταθερές WSDs και περίπου -140 dBm για φορητές WSDs. Όπως είναι φανερό, τα επίπεδα αυτά είναι εξαιρετικά χαμηλά, με αποτέλεσμα να δυσχεραίνει αρκετά η ανίχνευση τηλεοπτικών εκπομπών.



Ένα άλλο πρόβλημα που εμφανίζεται συχνά στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες είναι το λεγόμενο «πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου». Όπως φαίνεται και στο διπλανό σχήμα, η WSD είναι αδύνατο να ανιχνεύσει την ύπαρξη του τηλεοπτικού σήματος, διότι ανάμεσα σε αυτή και τον τηλεοπτικό πομπό παρεμβάλλεται κάποιο φυσικό εμπόδιο. Η λύση για το πρόβλημα αυτό είναι η υιοθέτηση πολύ χαμηλού κατωφλίου ανίχνευσης, δυσκολεύοντας έτσι ακόμα περισσότερο την ορθή ανίχνευση των τηλεοπτικών σημάτων.

Αφού εξασφαλιστεί η ορθή ανίχνευση των τηλεοπτικών σημάτων, θα πρέπει να υπολογιστούν τα όρια εκπομπής των WSDs, ώστε να μην προκαλούνται παρεμβολές, τόσο στις συχνότητες των τηλεοπτικών υπηρεσιών, όσο και σε γειτονικές συχνότητες. Για το ζήτημα αυτό υπάρχουν δύο γενικές προσεγγίσεις:

- Μέγιστη ισχύς εκπομπής ανάλογα με την τοποθεσία: υπολογίζεται η μέγιστη ισχύς εκπομπής για κάθε θέση λήψης ραδιοτηλεοπτικών υπηρεσιών καθώς και για κάθε τύπο/τάξη συσκευής

- Σταθερή μέγιστη ισχύς εκπομπής: κάποιες συσκευές (όπως φορητές και στατικές) μπορούν να εκπέμπουν με σταθερή μέγιστη ισχύ έξω από τις περιοχές που προστατεύονται. Αυτή η λύση έχει επιλεγεί από την FCC (Federal Communications Commission – ΗΠΑ)

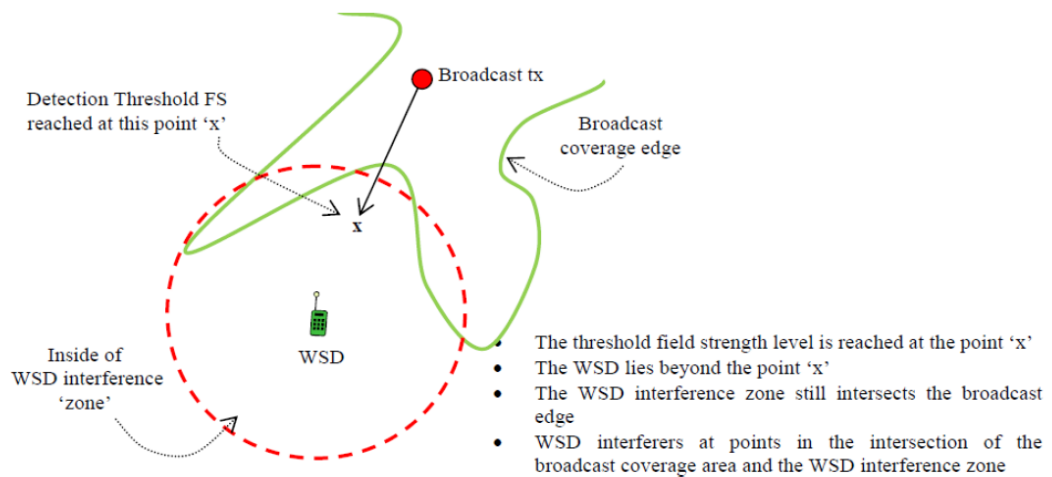
Η πρώτη επιλογή ταιριάζει περισσότερο στην τεχνική του γεω-εντοπισμού με βάση δεδομένων. Όταν εφαρμόζεται με την τεχνική της ανίχνευσης (μόνο) οδηγεί σε πολύ ανασφαλή συμπεράσματα.

Μια αυτόνομη WSD θα πρέπει να ανιχνεύει την απουσία τηλεοπτικού σήματος τόσο στην άμεσα κοντινή της περιοχή όσο και σε μια κάποια απόσταση από αυτή. Και αν για το πρώτο υπάρχουν λύσεις (π.χ. χαμηλό κατώφλι ανίχνευσης), για το δεύτερο δεν είναι τόσο απλά τα πράγματα. Γενικά, υπάρχουν δύο λειτουργικές απαιτήσεις για τις WSDs:

- Η συσκευή δεν επιτρέπεται να λειτουργεί μέσα στην περιοχή κάλυψης ενός σταθμού εκπομπής κοινού καναλιού.
- Η συσκευή μπορεί να λειτουργεί μέσα στην περιοχή κάλυψης ενός σταθμού εκπομπής μη κοινού καναλιού, με την προϋπόθεση ότι προστατεύονται τα γειτονικά κανάλια.

Οι απαιτήσεις αυτές οδηγούν στη δημιουργία ζωνών εξαίρεσης (exclusion zones), δηλαδή υπο-περιοχών στις οποίες απαγορεύεται η λειτουργία των WSDs, εντός της περιοχής κάλυψης των τηλεοπτικών σταθμών. Ακόμα, σε περίπτωση λειτουργίας, τα όρια εκπομπής μιας WSD πρέπει να καθορίζονται από την απόστασή της από τον εκάστοτε σταθμό εκπομπής τηλεοπτικών υπηρεσιών (όσο μικρότερη η απόσταση τόσο μικρότερη και η επιτρεπόμενη ισχύς εκπομπής των WSDs). Μια πιθανή λύση στο πρόβλημα των παρεμβολών είναι η υποβοήθηση με μια βάση δεδομένων γεω-εντοπισμού καθώς και η συνεργασία/ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ πολλών WSDs, ώστε να γίνεται ευκολότερα και ακριβέστερα η αναγνώριση των καναλιών που είναι κατειλημμένα. Σε περίπτωση που μια WSD βρίσκεται έξω από την ακτίνα κάλυψης εκπομπών DTT είναι, προφανώς, αρκετά δύσκολο να οριστεί σωστά το κατώφλι ανίχνευσης. Οι παρεμβολές που μπορούν να προκύψουν επηρεάζουν αρνητικά τους δέκτες, σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις από την κάθε WSD (παρακάτω σχήμα).





Η λύση είναι να αποφασιστεί (είτε αυτόνομα είτε έπειτα από συνεργασία μεταξύ των συσκευών) πότε η WSD βρίσκεται μέσα στην περιοχή κάλυψης και άρα απαγορεύεται η χρήση των τηλεοπτικών συχνοτήτων και πότε βρίσκεται εκτός της περιοχής κάλυψης, οπότε και πρέπει να υπολογιστεί η απόσταση της WSD ως τα σημεία στα όρια της περιοχής κάλυψης, ώστε να υιοθετηθούν κατάλληλοι περιορισμοί στην εκπομπή των συσκευών. Για το σκοπό αυτό απαιτείται η γνώση διαφόρων δεδομένων, όπως η θέση του πομπού DTT και των σημείων τηλεοπτικής κάλυψης, πράγμα που διευκολύνεται με τη συνεργασία μεταξύ γειτονικών WSDs.

Οδηγούμαστε, έτσι, στην υποβοήθηση μέσω της τεχνικής του γεω-εντοπισμού, που προϋποθέτει την ύπαρξη μιας βάσης δεδομένων, στην οποία διατηρούνται αυτές οι πληροφορίες. Πιο συγκεκριμένα, για να είναι εφικτή και αποδοτική η λειτουργία των WSDs σε μια περιοχή που υπάρχουν μεταδόσεις DTT είναι απαραίτητη η γνώση των εξής δεδομένων:

- Της ποιότητας κάλυψης της DTT σε εθνικό επίπεδο με μια κατάλληλη χωρική ανάλυση (π.χ. 100m · 100m).
- Ενός κατάλληλου κριτηρίου για την ποσοτικοποίηση και τον προσδιορισμό ενός ανεκτού επιπέδου παρεμβολών στις υπηρεσίες DTT.
- Της γεωμετρίας παρεμβολέα-«θύματος» για την οποία τα όρια εκπομπών ικανοποιούν τα ανεκτά επίπεδα παρεμβολών.
- Των κατάλληλων τιμών των λόγων προστασίας WSD-προς-DTT και τα κατώφλια υπερφόρτωσης που ορίζονται συναρτήσει του διαχωρισμού συχνοτήτων παρεμβολέα- «θύματος», ή συναρτήσει της επιθυμητής λαμβανόμενης ισχύος από DTT.

- Μιας μεθοδολογίας για τον υπολογισμό των κατάλληλων ρυθμιστικών ορίων εκπομπής των WSDs.

Σημαντική παράμετρος μέτρησης της ικανότητας εντοπισμού εκπομπών DTT είναι η πιθανότητα εντοπισμού DTT, δηλαδή, η πιθανότητα με την οποία ένας δέκτης DTT θα λειτουργεί σωστά σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, με άλλα λόγια η πιθανότητα με την οποία το μέσο επιθυμητό επίπεδο σήματος είναι αρκούντως μεγαλύτερο από ένα ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο. Το μέγεθος αυτό χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό δικτύων DTT και μειώνεται παρουσία παρεμβολών, με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο προσδιορισμού των κατάλληλων ρυθμιστικών ορίων εκπομπής των WSDs που λειτουργούν σε συχνότητες DTT. Οι διάφοροι υπολογισμοί που απαιτούνται θα πρέπει, όπως εγράφη και προηγουμένως, να πραγματοποιηθούν, τόσο για την παρεμβολή κοινού καναλιού, όσο και για την παρεμβολή γειτονικών καναλιών, ώστε να μη δημιουργείται κανένα απολύτως πρόβλημα στις τηλεοπτικές υπηρεσίες.

Συνοψίζοντας, είδαμε ότι η προστασία των ραδιοτηλεοπτικών υπηρεσιών απαιτεί το συνδυασμό των τεχνικών ανίχνευσης και γεω-εντοπισμού, προκειμένου να εντοπιστούν πιθανές ραδιοτηλεοπτικές εκπομπές στις περιοχές ανάπτυξης WSNs, να υπολογιστούν τα μέγιστα επίπεδα επιτρεπόμενης ισχύος εκπομπής των WSNs και με αυτό τον τρόπο να ξεπεραστούν τα όποια προβλήματα μπορεί να προκύψουν.

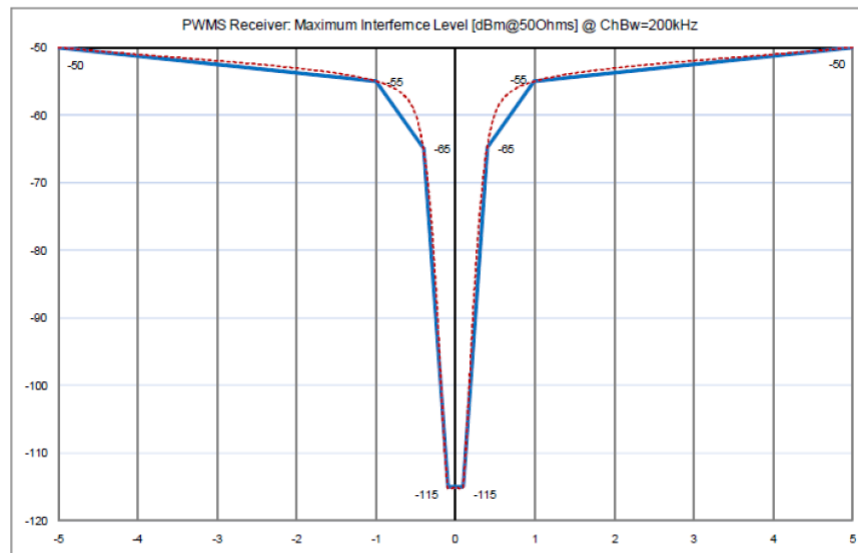
#### 10.4.2 Προστασία των PMSE στη ζώνη 470-790 MHz

Ο όρος PMSE καλύπτει πολλά διαφορετικά ασύρματα συστήματα παραγωγής οπτικοακουστικών εκδηλώσεων (συναυλίες, συνεντεύξεις, θεατρικές παραστάσεις κ.λπ.) που λειτουργούν σε ένα πλήθος ζωνών συχνότητας. Για θέματα προστασίας παρεμβολών ενδιαφέρουν, κυρίως, οι συσκευές που χρησιμοποιούν τη ζώνη 470-862 MHz (PWMS – Professional Wireless Microphone Systems), στις οποίες περιλαμβάνονται τα ασύρματα μικρόφωνα (συνήθως χειρός ή σώματος), συστήματα In-Ear Monitoring (IEM) και άλλα συστήματα ήχου συμπεριλαμβανομένων σταθερών σημείου-προς-σημείο ζεύξεων για συνεισφορά στην τροφοδοσία των προγραμμάτων. Τα σημερινά συστήματα αυτού του τύπου χρησιμοποιούν αναλογική διαμόρφωση FM, προκειμένου να μεταδοθεί με αξιοπιστία υψηλής ποιότητας ήχος, με τη χρήση κεραιών, φορητών ή σταθερών, ύψους 1.5m – 10m ή ακόμα και 30m κατά περίπτωση.

Ένας τυπικός αναλογικός FM δέκτης PMSE έχει ευαισθησία περίπου -110 dBm και επίπεδο RF σιγής (RF squelch threshold – ο ήχος δεν ακούγεται) περίπου -95 dBm. Το ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο σήματος για ήχο υψηλής ποιότητας είναι συνήθως -95 dBm με απαιτούμενο λόγο C/I 20 dB για τον σημερινό αναλογικό FM εξοπλισμό (εύρος ζώνης 50-200 kHz). Τα ψηφιακά συστήματα (με RF εύρος ζώνης μέχρι και 600 kHz) μπορούν να λειτουργούν με χαμηλότερα επίπεδα σήματος ανάλογα με το σχήμα

διαμόρφωσης. Η παρεμβολή που επιτρέπεται από τις WSDs θα πρέπει να είναι κάτω από τα -115 dBm στο δέκτη PMSE, όπως προτείνεται στη σύσταση ETSI TR 102 546.

Ακόμη, στη σύσταση ETSI TR 103 058 δίδεται η παρακάτω μάσκα για τα μέγιστα επίπεδα παρεμβολής σε ένα δέκτη PMSE εύρους ζώνης 200 kHz.



Για τον καθορισμό των μέγιστων επιτρεπόμενων επιπέδων της ισχύος εκπομπής των WSDs που λειτουργούν σε μια περιοχή, χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα στις επικοινωνίες PMSE θα πρέπει να εξεταστούν τρία κύρια στοιχεία. Αυτά είναι το ποσοστό προστασίας του εκάστοτε συστήματος PMSE, οι απώλειες ισχύος μεταξύ μιας WSD και ενός δέκτη PMSE (του «θύματος», δηλαδή, των παρεμβολών) καθώς και η απομόνωση των κεραιών λόγω της διαφοράς στην κατευθυντικότητα και την πόλωση μεταξύ τους.

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η τεχνική της ανίχνευσης, αυτό που θα πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα είναι ότι μια WSD μπορεί μόνο να ανιχνεύσει τον πομπό PMSE και όχι τον δέκτη, που είναι και το «θύμα» που χρειάζεται προστασία. Για το πρόβλημα αυτό έχουν προταθεί δύο λύσεις, η πρώτη αφορά στον εμπειρικό προσδιορισμό του κατωφλίου ανίχνευσης χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία επίλυσης του προβλήματος του κρυμμένου κόμβου, ενώ η δεύτερη αφορά στο θεωρητικό υπολογισμό του κατωφλίου, χρησιμοποιώντας τη φυσική γεωμετρία της εκάστοτε εφαρμογής PMSE.

Ανάλογα με το σενάριο εφαρμογής PMSE, προκύπτει μεγάλη διαφοροποίηση στα αποτελέσματα που εξάγονται σχετικά με το κατώφλι ανίχνευσης (διατηρώντας σταθερά τα μέγιστα επίπεδα παρεμβολής στα -115 dBm), αυτό, όμως, που παίζει μεγάλο ρόλο είναι η διαφορά των απωλειών διάδοσης ανάμεσα στη ζεύξη παρεμβολής (από την WSD προς το δέκτη PMSE) και στη ζεύξη ανίχνευσης (από τον πομπό PMSE προς την WSD). Αν ληφθούν υπόψη παροδικές διαλείψεις Rayleigh, τότε

το κατώφλι ανίχνευσης πρέπει να είναι πάρα πολύ χαμηλό, χαμηλότερο και από το επίπεδο θορύβου των WSDs, κάτι που κάνει αυτή την τεχνική της ανίχνευσης πρακτικά ανέφικτη. Σημειώνεται, τέλος, ότι είναι απαραίτητος και ο τακτικός επανέλεγχος του περιβάλλοντος (κάθε 2 δευτερόλεπτα, όπως προτείνει η FCC), μιας και είναι πολύ διαφορετική η ανίχνευση σημάτων PMSE από σήματα DTT, διότι τα δεύτερα βασίζονται σε δέκτες ευρείας ζώνης και για την ανίχνευσή τους συνήθως αναζητείται κάποιο χαρακτηριστικό τους, ενώ τα σήματα PMSE είναι απλά, αναλογικά διαμορφωμένα κατά FM και ανιχνεύεται είτε η στενής ζώνης ενέργειά τους, είτε ένα σήμα πιλότος.

Για τη εφαρμογή της τεχνικής του γεω-εντοπισμού με πρόσβαση σε μια βάση δεδομένων τα πιθανά σενάρια εφαρμογών PMSE μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Σταθερές εγκαταστάσεις: θέατρα, στούντιο κ.α. Οι εφαρμογές PMSE χρησιμοποιούνται πολύ συχνά ή και καθημερινά.
- Προσωρινές εγκαταστάσεις: εκθέσεις, αθλητικά γεγονότα, συνεντεύξεις.

Γίνεται αντιληπτό ότι μόνο στην πρώτη κατηγορία είναι δυνατή η εφαρμογή της τεχνικής του γεω-εντοπισμού, με δημιουργία περιοχών προστασίας γύρω από τις εφαρμογές PMSE, στις οποίες απαγορεύεται η λειτουργία των WSDs.

Η τεχνική του φάρου εκπομπής, μπορεί, επίσης, να δώσει κάποια βοήθεια στην αποφυγή παρεμβολών. Πιο συγκεκριμένα, με την τεχνική του απενεργοποιημένου φάρου μπορεί να δημιουργηθεί μια «φούσκα προστασίας» γύρω από περιοχές εφαρμογών PMSE, μειονεκτεί όμως στο ότι απαιτεί αρκετή ισχύ RF και κάποιο φάσμα, πράγμα που ελαττώνει τη συνολική φασματική απόδοση και δημιουργεί ακόμα μια πηγή παρεμβολών. Οι άλλες δύο τεχνικές (του ενεργοποιημένου φάρου και της χρήσης του σήματος του φάρου ως πιλότος) έχουν περισσότερα προβλήματα και για το λόγο αυτό δεν συνιστώνται.

Μια λύση στα ανωτέρω προβλήματα πιθανών παρεμβολών, που κερδίζει συνεχώς έδαφος διεθνώς, είναι η απόδοση κάποιων καναλιών που δεν χρησιμοποιούνται από υπηρεσίες DTT προς χρήση μόνο σε εφαρμογές PMSE (safe-harbor channels, δεν επιτρέπεται σε αυτά να λειτουργούν WSDs). Μερικές επιλογές υλοποίησης αυτής της πολιτικής είναι οι εξής:

- Ένα ή περισσότερα σταθερά κανάλια μπορούν να διατεθούν σε μια χώρα ή μια περιοχή (απίθανο λόγω της φύσης του σχεδιασμού των υπηρεσιών τηλεόρασης σχετικά με την κατανομή του φάσματος).
- Ένα ή περισσότερα κανάλια των οποίων η θέση αλλάζει σύμφωνα με την ύπαρξη εκπομπών DTT σε κάθε περιοχή.

– Ένας δυναμικά αυξομειούμενος αριθμός καναλιών (μπορεί να προσαρμόζεται σύμφωνα με το χώρο, το χρόνο και τις περιστάσεις).

Η τεχνική safe-harbor μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με γεω-εντοπισμό και με ανίχνευση. Ανεξάρτητα από την περίπτωση, όμως, καλό θα είναι να υπάρχει σε κάθε εφαρμογή PMSE έστω ένα safe-harbor.

Συνοψίζοντας τα προηγούμενα, προκύπτει ότι η τεχνική της βάσης δεδομένων γεω-εντοπισμού φαίνεται η πιο ταιριαστή λύση για την αποφυγή παρεμβολών σε εφαρμογές PMSE. Η τεχνική της ανίχνευσης δεν ενδείκνυται, διότι το φαινόμενο της πολυδιαδρομικής διάδοσης προκαλεί τυχαίες διαλείψεις στα σήματα, ενώ παράλληλα οι WSD μπορούν να ανιχνεύσουν μόνο τα σήματα από τους πομπούς PMSE και όχι τους δέκτες οι οποίοι τελικά υποφέρουν από τις παρεμβολές. Επίσης, η τεχνική του φάρου (beacon) χρειάζεται πόρους (συχνότητα, ισχύς) οι οποίοι καθιστούν και αυτή την επιλογή ασύμφορη. Όμως, φαίνεται ότι η εισαγωγή ενός τουλάχιστον safe-harbor αποτελεί μια σημαντική βοήθεια, ειδικά σε περιπτώσεις μη προγραμματισμένης χρήσης εφαρμογών PMSE.

#### 10.4.3 Προστασία της Ραδιοαστρονομίας στη ζώνη 608-614 MHz

Μια άλλη αδειοδοτημένη υπηρεσία που επηρεάζεται από τη λειτουργία των WSDs είναι η Ραδιοαστρονομία (Radio astronomy – RAS), η οποία καταλαμβάνει τη ζώνη 608-614 MHz (κανάλι 38). Προκειμένου να αποφευχθούν οι παρεμβολές, είναι απαραίτητη η μελέτη των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της υπηρεσίας αυτής, όπως αυτά προκύπτουν από τη σύσταση της ITU-R RA. 769-2. Έτσι, έχουμε τον παρακάτω πίνακα:

Τρόπος παρατήρησης	Επίπεδα προστασίας
Single dish	-253dB(W/m <sup>2</sup> Hz) με χρόνο ολοκλήρωσης 2000 s
Single dish	-259.3 dB (W/m <sup>2</sup> Hz) με χρόνο ολοκλήρωσης 10 h
VLBI(Very Long Baseline Interferometry)	-212 dB (W/m <sup>2</sup> Hz) με χρόνο ολοκλήρωσης 10 μs
Συμβολομετρία	-236 dB(W/m <sup>2</sup> Hz) με χρόνο ολοκλήρωσης 1 s

Όπως και προηγουμένως, ενδιαφέρει τόσο η παρεμβολή στο ίδιο κανάλι (Παρεμβολή κοινού καναλιού – CCI) με τη Ραδιοαστρονομία, όσο και η παρεμβολή στα γειτονικά κανάλια αυτής (Παρεμβολή γειτονικών καναλιών – ACI).

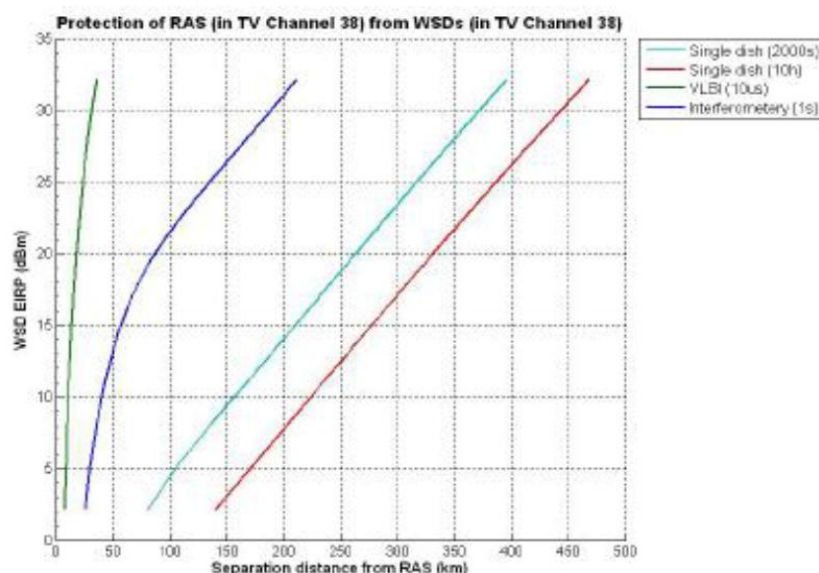
Για την πρώτη περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη το υποτιθέμενο εύρος ζώνης των WSDs στα 5 MHz, η μέγιστη πυκνότητα ροής ισχύος στις περιοχές RAS είναι:

Τρόπος παρατήρησης	Επίπεδα προστασίας
Single dish	-186dB(W/m <sup>2</sup> Hz) με χρόνο ολοκλήρωσης 2000 s
Single dish	-192.3 dB (W/m <sup>2</sup> Hz) με χρόνο ολοκλήρωσης 10 h
VLBI(Very Long Baseline Interferometry)	-145 dB (W/m <sup>2</sup> Hz) με χρόνο ολοκλήρωσης 10 μs
Συμβολομετρία	-169 dB(W/m <sup>2</sup> Hz) με χρόνο ολοκλήρωσης 1 s

Αυτές οι τιμές μπορούν να μετατραπούν στις ακόλουθες τιμές της μέγιστης έντασης του παρεμβαλλόμενου πεδίου (είναι δηλαδή τα μέγιστα επιτρεπόμενα επίπεδα ισχύος εκπομπής των WSDs):

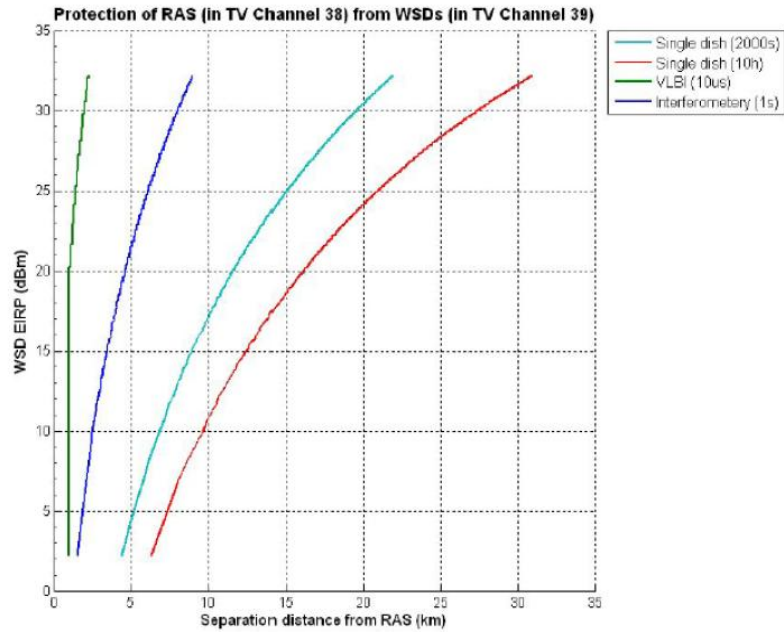
Τρόπος παρατήρησης	Επίπεδα προστασίας
Single dish	-40.2dBμV/m με χρόνο ολοκλήρωσης 2000 s
Single dish	-46.5 dBμV/m με χρόνο ολοκλήρωσης 10 h
VLBI(Very Long Baseline Interferometry)	+0.79dBμV/m με χρόνο ολοκλήρωσης 10 μs
Συμβολομετρία	-23.2 dBμV/m με χρόνο ολοκλήρωσης 1 s

Η λύση που προτείνεται για την αποφυγή παρεμβολών κοινού καναλιού είναι ο χωρικός διαχωρισμός μεταξύ των περιοχών RAS και των WSDs. Από τις παραπάνω τιμές, προκύπτουν οι παρακάτω αποστάσεις διαχωρισμού για κάθε περίπτωση εφαρμογής RAS.



Για τη δεύτερη περίπτωση, σημαντικό ρόλο στους υπολογισμούς παίζει ο λόγος ACLR(Adjacent Channel Leakage Ratio – Λόγος Διαρροής Γειτονικού Καναλιού – το κλάσμα της συνολικής εκπεμπόμενης ισχύος μιας WSDs προς την ισχύ που εκπέμπεται σε κανάλια γειτονικά του ενδιαφέροντος). Η χρήση του ACLR επιτρέπει τη μελέτη παρεμβολών μόνο για τα κανάλια 37 και 39 (πλησίον του 38 δηλαδή), ενώ για τα υπόλοιπα απαιτείται διαφορετικός τρόπος μελέτης.

Έτσι, οι ελάχιστες αποστάσεις διαχωρισμού για τα κανάλια 37 και 39 αποτυπώνονται στον εξής πίνακα:



Σχετικά με τη χρήση των καναλιών 37 και 39 συστήνονται τα παρακάτω:

- Για αυτόνομες WSDs: τα κανάλια 37 και 39 θα πρέπει να εξαιρεθούν εντελώς από τα διαθέσιμα προς χρήση από τις WSDs.
- Για WSDs ελεγχόμενες από μια βάση δεδομένων γεω-εντοπισμού, προτείνονται περιοχές περιορισμού της χρήσης τους με βάση τα αποτελέσματα των πινάκων.

#### 10.4.4 Προστασία κινητών/σταθερών υπηρεσιών στις ζώνες γειτονικά των 470-790 MHz

Επιπρόσθετα με την προστασία των υπηρεσιών στη ζώνη 470-790 MHz, οι WSDs πρέπει να προστατεύουν και τις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες στις γειτονικές αυτών ζώνες. Η ζώνη 790-862 MHz αναμένεται να χρησιμοποιηθεί ευρέως για δίκτυα κινητών επικοινωνιών πολύ σύντομα. Η ζώνη 450-470 MHz ήδη χρησιμοποιείται σήμερα από κινητά συστήματα συμπεριλαμβανομένης της IMT (Interactive Machine Translation – Διαδραστική Μετάφραση Μηχανής) σε μερικές Ευρωπαϊκές χώρες.

#### 10.5 Δυνατότητες και χαρακτηριστικά των WSDs

Έχουν μελετηθεί διάφορες πιθανές κατηγορίες συσκευών, σενάρια λειτουργίας και γνωστικές τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις WSDs με σκοπό την εύρεση των απαιτήσεων προστασίας των υπάρχοντων υπηρεσιών. Η χρήση και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των συσκευών αυτών διαφέρουν μεταξύ τους, ανάλογα με το αν χρησιμοποιούνται από έναν πάροχο δικτυακών υπηρεσιών, από έναν ιδιώτη καταναλωτή ή αν αποτελούν μέρος ενός ad-hoc δικτύου. Για το λόγο αυτό, προβλέπονται τρεις γενικές κατηγορίες WSDs:

- Προσωπικές/φορητές
- Οικιακές συσκευές/συσκευές γραφείου
- Ιδιωτικά και δημόσια Σημεία Πρόσβασης (Access Points)

Για τις δύο πρώτες κατηγορίες συσκευών προβλέπεται ότι θα λειτουργούν σε χαμηλό ύψος, περίπου 1.5 m, παρόλο που μπορεί να χρησιμοποιηθούν και σε μεγαλύτερα ύψη (π.χ. στο εσωτερικό κτιρίων). Για την τρίτη κατηγορία συσκευών αναμένεται ότι θα λειτουργούν σε αρκετά υψηλότερα σημεία, για παράδειγμα 10 m ως 30 m.

Οι προσωπικές/φορητές συσκευές θα πρέπει να είναι τέτοιου (μικρού) μεγέθους που να μπορούν να φέρονται από μεμονωμένους χρήστες, όπως π.χ. σε κινητά τηλέφωνα, media players και laptops. Οι πιθανές εφαρμογές είναι ευρύτατες (Internet, online video/audio streaming, επικοινωνία συσκευής με συσκευή για ηλεκτρονικές πληρωμές και εφαρμογές εντοπισμού κ.α.). Οι συσκευές θα μπορούν να περιλαμβάνουν πομποδέκτες και για συχνότητες εκτός της ζώνης των 470-790 MHz και θα πρέπει να



λειτουργούν οπουδήποτε μπορούν να πάνε οι χρήστες τους (σπίτια, γραφεία, δρόμοι, ΜΜΜ, αυτοκίνητα κ.λπ.).

Οι οικιακές συσκευές/συσκευές γραφείου θα είναι σχεδιασμένες να βρίσκονται σε ένα μέρος, όπως π.χ. τηλεοράσεις, συσκευές εγγραφής βίντεο κ.α. Με τη χρήση των whitespaces είναι δυνατή η παροχή βίντεο υψηλής ποιότητας καθώς επίσης και ο διαμοιρασμός ή η μεταφορά περιεχομένου που βρίσκεται τοπικά αποθηκευμένο στο σπίτι ή στο γραφείο. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών είναι η παροχή τηλεοπτικών υπηρεσιών με χρήση επαναληπτών σε περιοχές που λόγω της ψηφιακής μετάβασης δεν καλύπτονται πλέον, καθώς και η απομακρυσμένη μέτρηση (remote metering).

Τέλος, σχετικά με την Τρίτη κατηγορία συσκευών, είναι πιθανό, μελλοντικά, να υπάρχουν ιδιωτικά σημεία πρόσβασης σαν τα σημερινά WiFi APs, που θα εκμεταλλεύονται τις μειωμένες απώλειες διάδοσης λόγω χαμηλότερων συχνοτήτων και θα προσφέρουν μεγαλύτερη ακτίνα κάλυψης, π.χ. μέσα σε κτίρια. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν τέτοια συστήματα για την παροχή Internet σε απομακρυσμένες ή αγροτικές περιοχές ή ακόμα και σε αστικά περιβάλλοντα. Οι σταθμοί βάσης αυτών των συστημάτων θα είναι σταθεροί και θα συνδέονται με το δίκτυο κορμού μέσω π.χ. οπτικών ινών ή ακόμα και με ασύρματες σημείου-προς-σημείο ζεύξεις χρησιμοποιώντας τα whitespaces.

Για την αντιμετώπιση των παρεμβολών, ανάμεσα στα άλλα, είναι ευεργετικός και ο καθορισμός των χαρακτηριστικών εκπομπής των WSDs. Ακόμη, δεν είναι δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός των τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όμως φαίνεται ότι οι τεχνικές OFDM, καθώς και συστήματα TDD ή FDD, είναι οι πιο αποδοτικές και αξιόπιστες επιλογές, καθώς υπάρχει ήδη η σχετική εμπειρία από τη χρήση τους εδώ και αρκετά χρόνια σε διάφορες άλλες εφαρμογές.

Τρία είναι τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά εκπομπής των WSDs, που επηρεάζουν την πιθανότητα παρεμβολών:

- In-block power limit: Όταν μια WSD λειτουργεί σε ένα κενό κανάλι, το in-block power limit καθορίζει πόση ισχύς μπορεί να εκπέμπεται στο εύρος ζώνης αυτού του καναλιού. Όταν ένα κανάλι γειτονικό στο κενό είναι κατειλημμένο από μια προστατευόμενη υπηρεσία, το in-band power limit μπορεί να συσχετιστεί με το επίπεδο ισχύος των σημάτων των γειτονικών καναλιών.
- Out-of-block power limit: Αυτό καθορίζει πόση ισχύς μπορεί να γίνει ανεκτή σε κανάλια γειτονικά στο κενό κανάλι. Αυτό το όριο επίσης μπορεί να συνδεθεί με το αν και που υπάρχουν προστατευμένες υπηρεσίες σε γειτονικά κανάλια και ποια είναι τα επίπεδα ισχύος των σημάτων αυτών.

- Bandwidth: Το εύρος ζώνης των WSDs, μέσα στο οποίο γίνεται η μετάδοση, καθορίζει την πυκνότητα ισχύος, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει την πιθανή επίδραση πάνω στις προστατευμένες υπηρεσίες.

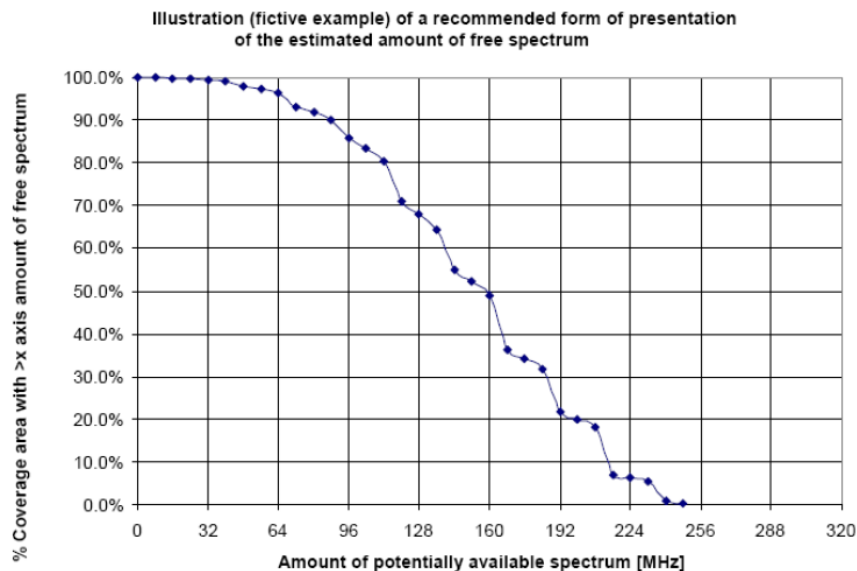
Όπως εγράφη και προηγουμένως, τρεις είναι οι βασικές τεχνικές αντιμετώπισης των παρεμβολών που δημιουργούνται από την πιθανή χρήση των whitespaces. Εξετάζοντας τις τεχνικές αυτές από τη σκοπιά των WSDs, μπορούμε να καταλήξουμε σε συμπεράσματα σχετικά με το κατά πόσο είναι πρακτικά εφικτή κάθε μια τεχνική.

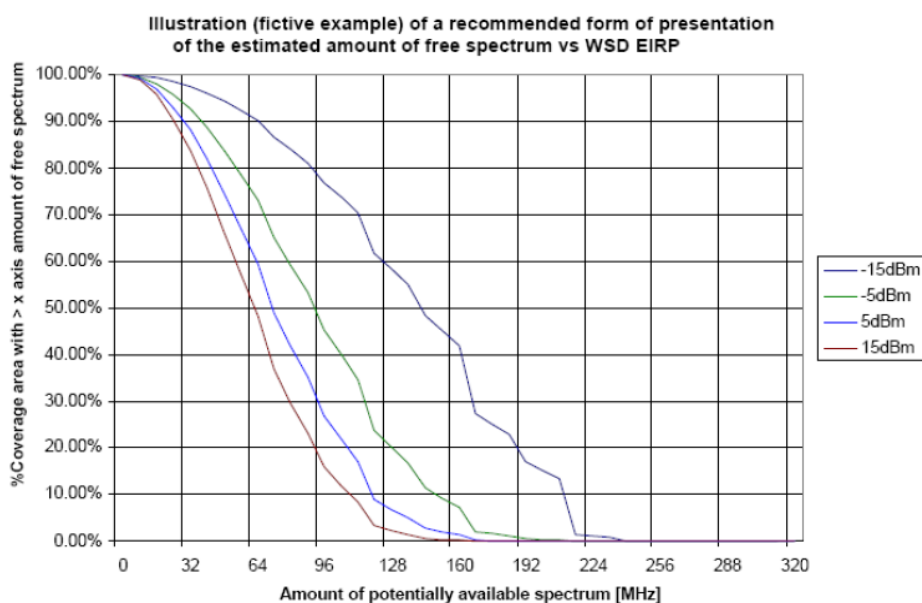
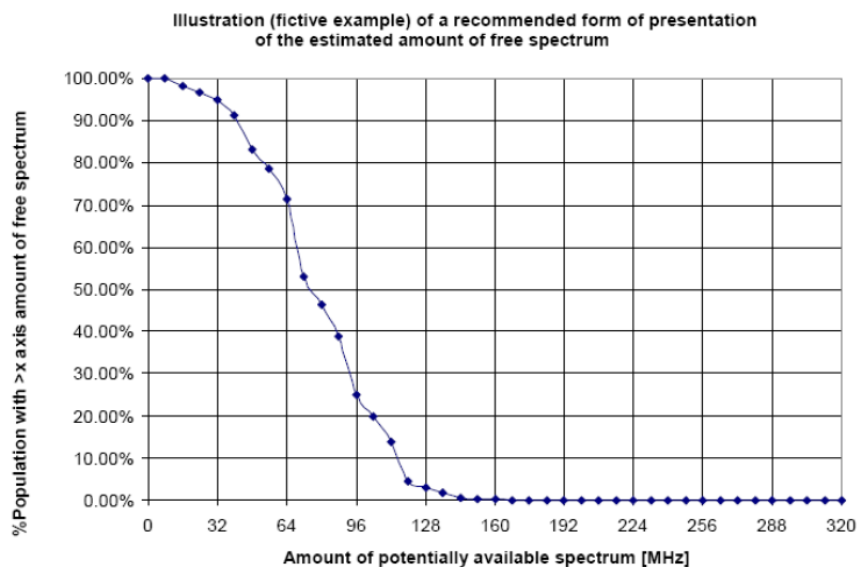
Έτσι, σχετικά με την τεχνική της ανίχνευσης, σημειώνεται ότι η ευαισθησία των WSDs για DTT μεταδόσεις είναι περίπου -20 dBm. Τεχνικές και πρακτικές δυσκολίες (πολύ μεγάλο εύρος συχνοτήτων ανίχνευσης και εκπομπής/λήψης, μη ομοιοκατευθυντική κεραία κ.α.) οδηγούν σε μειωμένη αποδοτικότητα κεραίας, της τάξης των -10 dBi. Επίσης, αρνητικό ρόλο παίζουν ο παραγόμενος από τα εσωτερικά κυκλώματα της WSD ηλεκτρονικός θόρυβος, καθώς και ο «ανθρώπινος» ηλεκτρονικός θόρυβος (man-made noise – λόγω των διαφόρων ασύρματων επικοινωνιών του ανθρώπου) που έχει αποδειχτεί ότι επηρεάζουν τη λήψη DVB-T και DVB-H σημάτων. Λόγω αυτών, καθώς και άλλων παραγόντων, η πρακτική υλοποίηση της τεχνικής της ανίχνευσης οδηγεί σε μειωμένη ευαισθησία των WSDs και μάλιστα της τάξης των δεκάδων dB. Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, προκύπτει ότι η τεχνική της ανίχνευσης από μόνη της δε δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, επομένως θα πρέπει οι WSDs να χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό τεχνικών, κάτι που χρειάζεται όμως περαιτέρω έρευνες.

## 10.6 Εφαρμογές που μπορούν να επωφεληθούν από τα whitespaces

Για να έχει αξία οποιαδήποτε μελέτη σχετικά με τη χρήση των whitespaces, είναι αναγκαίος ο υπολογισμός του τελικά διαθέσιμου ποσού φάσματος που μπορεί να αξιοποιηθεί πρακτικά. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που καθορίζουν το εύρος του διαθέσιμου φάσματος όπως, η τεχνολογία των WSDs, η τοπολογία της περιοχής, οι περιορισμοί των γειτονικών καναλιών DTT, η ύπαρξη ή μη των υπόλοιπων υπηρεσιών (PMSE, RAS, ARNS, κινητές/σταθερές υπηρεσίες) κ.α. Τα παρακάτω διαγράμματα που δημιουργήθηκαν από την ECC αποτυπώνουν την σχέση της ποσότητας του εύρους του φάσματος αυτού με το ποσοστό κάλυψης της περιοχής, το ποσοστό του πληθυσμού και την ισχύ εκπομπής των WSDs. Σημειώνεται ότι δεν έχει μελετηθεί η επίδραση των παρεμβολών των υπαρχόντων υπηρεσιών προς τις WSDs, επομένως, τα αποτελέσματα είναι πιο αισιόδοξα από ό,τι πρέπει.

### Σχηματικά διαγράμματα





## 10.7 Απόπειρες χρήσης κενών συχνοτήτων

Όπως εγράφη και προηγουμένως, έχουν υπάρξει διάφορες προτάσεις για τη χρήση των κενών. Στις ΗΠΑ, οι συχνότητες για αναλογική τηλεοπτική μετάδοση ήταν από 54 MHz ως 806 MHz (54-72, 76-88, 174-216, 470-608 και 614-806). Με τη διακοπή του αναλογικού σήματος και τη μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση, στις 12/6/2009, οι τηλεοπτικοί σταθμοί υποχρεώθηκαν να λειτουργούν σε συχνότητες μεταξύ των 54 MHz και 698 MHz (κανάλια 2-52). Από τότε άρχισαν να προσφέρονται στους καταναλωτές υπηρεσίες ασύρματης ευρυζωνικής μετάδοσης στις κενές πλέον

συχνότητες. Από μόνες τους αυτές οι συχνότητες δεν είναι δυνατόν να καλύψουν ευρυζωνικές υπηρεσίες που ήδη παρέχονται από διάφορους παρόχους με τηλεφωνικές σταθερές γραμμές. Για να μπορέσουν να ανταγωνιστούν τις υπηρεσίες αυτών των παρόχων θα συνδυαστούν τις white-space συχνότητες με αυτές του Wi-Fi. Όμως, κυρίως θεατρικοί παραγωγοί και παραγωγοί αθλητικών γεγονότων προσπάθησαν να ακυρώσουν ή να καθυστερήσουν αυτή την απόφαση, υποστηρίζοντας ότι έτσι θα προκαλούνταν παρεμβολή στις δικές τους εκπομπές σημάτων (π.χ. ασύρματα μικρόφωνα για συναυλίες). Παρόλα αυτά, η FCC (Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών των ΗΠΑ) απέρριψε τα επιχειρήματα αυτά λέγοντας ότι έχει δοκιμαστεί πλήρως η νέα αυτή τεχνολογία και πως με τους νεότερους κανονισμούς, η πιθανότητα παρεμβολών ελαχιστοποιείται.

Σημαντικό ρόλο στη χρησιμοποίηση και την αποδοτικότερη αξιοποίηση των κενών συχνοτήτων παίζει η White Spaces Coalition (WSC), μια ένωση οκτώ εταιριών των ΗΠΑ, που σκοπό έχει τη διάθεση των συχνοτήτων αυτών για παροχή ασύρματου ευρυζωνικού Internet με ταχύτητες πρόσβασης πάνω από 80 Mbps και για μικρής κλίμακας δικτύωση από 400 Mbps ως 800 Mbps. Οι εταιρίες αυτές είναι οι εξής: Microsoft, Google, Dell, HP, Intel, Philips, Earthlink και Samsung Electro-Mechanics.

Σχετικά με τις WSD, το 2007, η FCC εξέδωσε ανακοίνωση με την οποία υποστήριζε ότι κατά τη δοκιμή 2 τέτοιων συσκευών κατασκευασμένων από τη Microsoft, δεν κατέστη δυνατή η αξιόπιστη ανίχνευση των τηλεοπτικών εκπομπών, με αποτέλεσμα να μην επιτραπεί η χρήση τους. Από την άλλη η Microsoft υποστήριξε ότι πραγματοποίησε δοκιμές με τα ίδια κριτήρια και με τις ίδιες συσκευές και επετεύχθη η ανίχνευση των τηλεοπτικών σημάτων σε ποσοστό 100%. Επίσης, υποστήριξε ότι μετά από έλεγχο, οι συσκευές που εξετάστηκαν από την FCC, βρέθηκαν να έχουν ζημιές στο σύστημα σάρωσης συχνοτήτων.

Στις 24/2/2010 στο Wilmington, στη Βόρεια Καρολίνα των ΗΠΑ, όπου ήταν η περιοχή δοκιμών για την ψηφιακή τηλεοπτική μετάβαση, παρουσιάστηκε ένα νέο δημοτικό ασύρματο δίκτυο που χρησιμοποιεί τα white-spaces για διάφορες υπηρεσίες (κάμερες διαχείρισης κυκλοφορίας, συστήματα ασφαλείας, συστήματα επιτήρησης ενέργειας, έλεγχος στάθμης και ποιότητας νερού, δωρεάν Wi-Fi) και το οποίο, μετά από ένα μήνα δοκιμών, πιστοποιήθηκε ότι δεν προκαλεί παρεμβολές στο τηλεοπτικό σήμα.

Επίσης, στις 29/6/2011, στο Cambridge του Ηνωμένου Βασιλείου, διεξήχθη μια από τις μεγαλύτερες εμπορικές δοκιμές σχετικά με το white-space's Wi-Fi. Η Microsoft, χρησιμοποιώντας τεχνολογία από την Adaption και υποστηριζόμενη από μια ένωση ISP's και εταιριών τεχνολογίας όπως οι Nokia, BSkyB, BBC και BT μαζί με δικτυακό υλικό που παρείχε η Neul, παρουσίασε ένα σύστημα live streaming HD video από μια συσκευή Xbox μέσω ευρυζωνικού Internet καθώς και μια αμφίδρομη βιντεοκλήση μέσω μιας κοινής ζεύξης μεταξύ δύο Xbox/ Kinect κονσόλων. Αυτές οι εφαρμογές διεξήχθησαν κάτω από ένα ιδιαίτερα δύσκολο περιβάλλον διάδοσης με εξασθένιση μεγαλύτερη

των 120 dB, διαμέσου ψηλών κτιρίων, δέντρων πυκνού φυλλώματος, τοίχων, επίπλων, ανθρώπων κλπ. Καθώς και υπό την (αρνητική) επίδραση φαινομένων πολυόδευσης.

## 11 Ασύρματο σύστημα Long Term Evolution (LTE)

**Long Term Evolution**, ή απλώς **LTE** ονομάζεται η τεχνολογία αιχμής που χρησιμοποιείται για την ασύρματη επικοινωνία και δικτύωση των κινητών συσκευών, με υψηλές ταχύτητες. Βασίζεται στα προϋπάρχοντα δίκτυα GSM/EDGE και UMTS/HSPA, αυξάνοντας τη χωρητικότητα και τη ταχύτητα του δικτύου χρησιμοποιώντας νέες τεχνικές διαμόρφωσης. Το πρότυπο αυτό αναπτύσσεται από τον οργανισμό 3GPP.

Το πρώτο δημόσιο δίκτυο LTE που εγκαταστάθηκε στο κόσμο, ήταν στο Όσλο και τη Στοκχόλμη από την εταιρεία Telia Sonera στις 14 Δεκεμβρίου 2009. Το LTE αποτελεί τη φυσική εξέλιξη των δικτύων GSM/UMTS, αλλά ακόμα και πάροχοι δικτύων CDMA (όπως η Verizon στη Β. Αμερική και η au by KDDI στην Ιαπωνία) έχουν υιοθετήσει το LTE. Έτσι, οι δημιουργοί του LTE φιλοδοξούν να αποτελέσει το πρώτο πραγματικά παγκόσμιο πρότυπο κινητής τηλεφωνίας.

Παρ' όλο που αναφέρεται ως σύστημα 4ης γενιάς κινητής τηλεφωνίας (4G) αυτό δεν ισχύει καθώς δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις που έχει ορίσει ο διεθνής οργανισμός ITU-R. Γι' αυτό το λόγο, το LTE αναβαθμίστηκε σε LTE-Advanced για να πληροί τις προϋποθέσεις έτσι ώστε να θεωρείται σύστημα 4G.

### 11.1 Επισκόπηση

Το LTE αποτελεί πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία και εξέλιξη του GSM/UMTS. Ο στόχος του LTE είναι να αυξήσει τη χωρητικότητα και τη ταχύτητα των υφιστάμενων δικτύων με τη χρησιμοποίηση καινοτόμων τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας και διαμόρφωσης σήματος. Λειτουργεί σε διαφορετικό εύρος ζώνης συχνοτήτων καθώς η διεπαφή του δεν είναι συμβατή με τα υφιστάμενα δίκτυα 2ης και 3ης γενιάς.

Το LTE προτάθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία το 2004. Το πρότυπο οριστικοποιήθηκε το 2008 και τα πρώτα δίκτυα στο κόσμο που εγκαταστάθηκαν για δημόσια χρήση, ήταν στο Όσλο και τη Στοκχόλμη από την εταιρεία Telia Sonera, τον Δεκέμβρη του 2009. Τα πρώτα εμπορικά διαθέσιμα LTE smartphone που κυκλοφόρησαν ήταν τα Samsung Galaxy Indulge (από τη Metro PCS) και HTC Thunderbolt για την αγορά της Β. Αμερικής. Αρχικώς, οι διαχειριστές των δικτύων CDMA είχαν σχεδιάσει να αναβαθμίσουν τα συστήματά τους σε μια ανταγωνιστική τεχνολογία ονόματι UMB, ωστόσο όλες οι μεγάλες εταιρείες κινητής τηλεφωνίας αποφάσισαν να συνεχίσουν με το LTE. Η εξέλιξη του LTE είναι το LTE Advanced, το

οποίο προτυποποιήθηκε το Μάρτιο του 2011. Οι αναβαθμισμένες υπηρεσίες του LTE-Advanced αναμένεται να διατεθούν το 2013.

Το πρότυπο του LTE είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων στη καθοδική ζεύξη (downlink) της τάξης των 300 Mbps και στην ανοδική (uplink) μέχρι και 75 Mbps. Το εύρος ζώνης του φέροντος σήματος είναι μεταβλητό, κυμαινόμενο από τα 1.4 έως τα 20 MHz και υποστηρίζονται τόσο η διπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDD) όσο και η διπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDD). Η αρχιτεκτονική του δικτύου βασίζεται σε μια απλοποιημένη μορφή αρχιτεκτονικής IP, το Evolved Packet Core (EPC), το οποίο σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει το GPRS Core Network και υποστηρίζει την απρόσκοπτη μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και φωνής ακόμα και σε δίκτυα με παλαιότερη τεχνολογία δικτύου (GSM,UMTS,CDMA2000). Η απλούστερη αρχιτεκτονική αποσκοπεί σε χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα.

## 11.2 Χαρακτηριστικά

Το κύριο έργο είναι η μετάβαση από τα ενοποιημένα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος και πακέτων (3G UMTS) , που χρησιμοποιούνται σήμερα, και η απλοποίησή τους σε ένα ολοκληρωμένο δίκτυο αρχιτεκτονικής IP. Η διεπαφή αυτού του δικτύου ονομάζεται E-UTRA και τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι:

- Ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στη καθοδική ζεύξη έως και 299.6 Mbps και στην ανοδική έως και 75.4 Mbps, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει ο εξοπλισμός του χρήστη. Έχουν οριστεί πέντε κατηγορίες ή κλάσεις τερματικών συσκευών. Η πιο χαμηλή υποστηρίζει μόνο απλή τηλεφωνία ενώ η μεγαλύτερη (η οποία απευθύνεται σε τερματικές συσκευές υψηλών προδιαγραφών) υποστηρίζει τις μέγιστες δυνατές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Όλες οι τερματικές συσκευές είναι ικανές να επεξεργαστούν σήμα εύρους ζώνης 20 MHz.
- Χαμηλές καθυστερήσεις κατά τη μεταφορά δεδομένων (καθυστέρηση IP πακέτων κάτω από 5 ms)
- Βελτιωμένη υποστήριξη για κινητές συσκευές ακόμη και αν αυτές κινούνται με ταχύτητες μέχρι και 500 χλμ/ώρα ανάλογα και με τη συχνότητα που χρησιμοποιείται.
- Χρησιμοποίηση διαμόρφωσης OFDMA για τη καθοδική ζεύξη και SC-FDMA για την ανοδική.
- Υποστήριξη διπλεξίας τόσο στο χρόνο όσο και στη συχνότητα (TDD,FDD) όπως επίσης και ημιαμφίδρομη FDD με την ίδια τεχνολογία πρόσβασης.
- Βελτιωμένη φασματική ευελιξία: προτυποποίηση καναλιών στα 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz.
- Υποστήριξη κυψελών μεταβλητού μεγέθους από μερικές δεκάδες μέτρα έως και 100 χλμ. Το ιδανικό μέγεθος κυψέλης στις αγροτικές περιοχές (στις οποίες

χρησιμοποιούνται χαμηλότερες συχνότητες) είναι στα 5 χλμ, με μέγεθος 30 χλμ η απόδοση είναι αρκετά καλή ενώ με μέγεθος 100 χλμ η απόδοση του δικτύου είναι ικανοποιητική. Σε αστικά περιβάλλοντα και γενικότερα σε περιβάλλοντα πόλεων χρησιμοποιούνται υψηλές συχνότητες έτσι ώστε να υποστηρίζονται υψηλές ευρυζωνικές ταχύτητες πρόσβασης. Σε αυτή τη περίπτωση κάθε κυψέλη του δικτύου έχει μέγεθος το πολύ 1 χλμ.

- Απλούστερη αρχιτεκτονική δικτύου.
- Υποστήριξη τουλάχιστον 200 ενεργών συνδέσεων δεδομένων σε κάθε κανάλι, συχνότητας 5 MHz.
- Υποστήριξη διαλειτουργικότητας και συνύπαρξη με παλαιότερα πρότυπα (πχ GSM/EDGE, UMTS, CDMA 2000). Οι χρήστες θα μπορούν να πραγματοποιούν μια τηλεφωνική συνομιλία ή σύνδεση δεδομένων σε μια περιοχή με κάλυψη LTE και θα μπορούν να συνεχίσουν τη σύνδεσή τους χωρίς πρόβλημα ακόμα και σε περιοχές χωρίς κάλυψη LTE, χρησιμοποιώντας το υφιστάμενο δίκτυο GSM/GPRS ή W-CDMA ή CDMA 2000.
- Ραδιοεπικοινωνιακό δίκτυο μεταγωγής πακέτων.
- Υποστήριξη υπηρεσιών όπως μετάδοση τηλεοπτικού προγράμματος στις κινητές συσκευές με τη χρήση των υποδομών του δικτύου LTE, αποτελώντας επίσης και άμεσο ανταγωνιστή του προτύπου DVB-H.

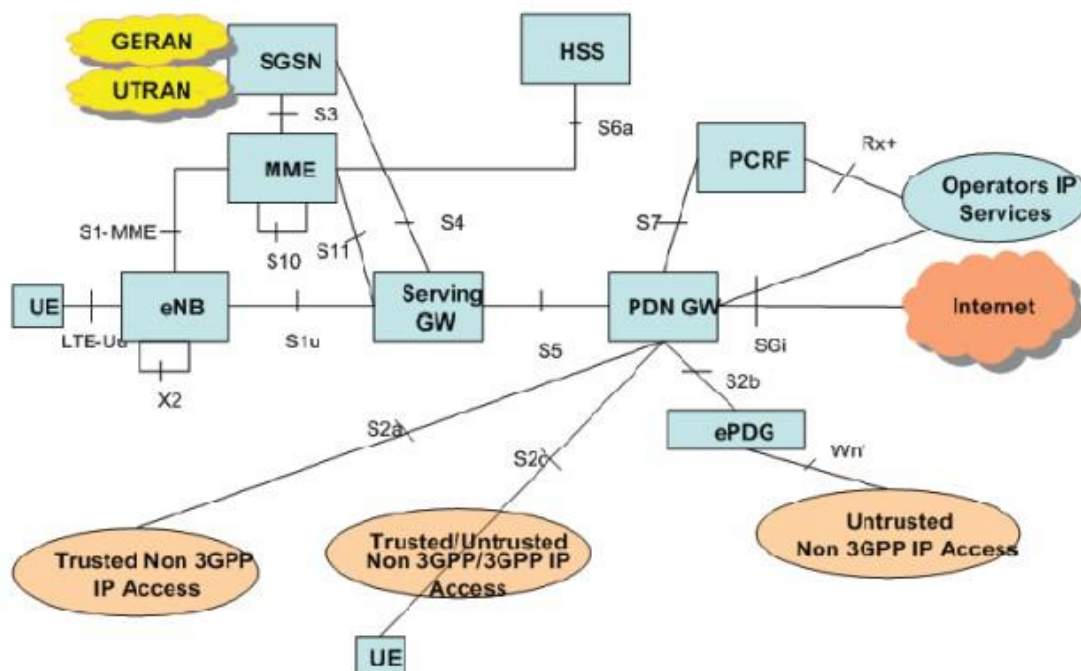


### 11.3 Συχνότητες λειτουργίας

Το LTE μπορεί να λειτουργήσει σε διάφορες συχνότητες. Στη Βόρεια Αμερική, σχεδιάζονται να χρησιμοποιηθούν οι συχνότητες των 700MHz και 1.7GHz. Στην Ευρώπη οι συχνότητες των 800MHz, 1.8 και 2.6 GHz, στην Ασία οι 1.8 και 2.6 GHz και στην Αυστραλία οι συχνότητες στα 2.6 GHz. Ως εκ τούτου, οι τηλεφωνικές συσκευές σε μια χώρα μπορεί να μη λειτουργούν σε μια άλλη. Για την πραγματοποίηση παγκόσμιας περιαγωγής είναι αναγκαία μια τηλεφωνική συσκευή που να μπορεί να συντονιστεί σε πολλαπλές μπάντες συχνοτήτων.

### 11.4 Αρχιτεκτονική δικτύου LTE

Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η πολυπλοκότητα των δικτύων η αρχιτεκτονική του LTE διαμορφώνεται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Τα σημαντικότερα λειτουργικά στοιχεία είναι τα εξής:

#### Evolved Universal Telecommunication Radio Access Network (E-UTRAN)

Το εξελιγμένο RAN για το LTE αποτελείται από έναν κόμβο για παράδειγμα το eNode B (eNB) που διαφέρει με τον εξοπλισμό χρήστη (UE). Το eNB περιλαμβάνει τα : PHY (Physical), MAC (Medium Access Control), RLC (Radio Link Control) και PDCP (Packet Data Control Protocol) επίπεδα. Επίσης παρέχει το Radio Source Control (RSC) και παρέχει υπηρεσίες διαχείρισης των πόρων.

### **Serving Gateway (SGW)**

Το SGW δρομολογεί και προωθεί τα πακέτα δεδομένων.

### **Mobility Management Entity ( MEE )**

Το MEE είναι ο κύριος κόμβος ελέγχου για το δίκτυο πρόσβασης του LTE.

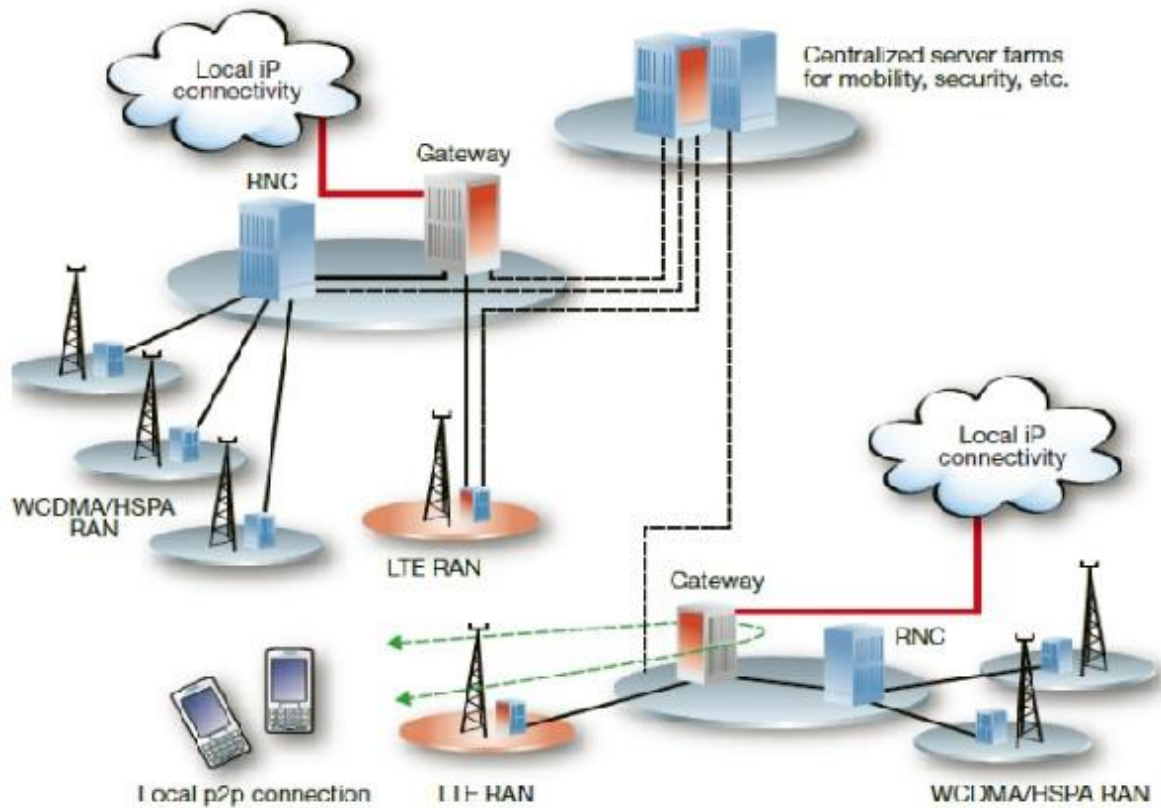
### **Packet Data Network Gateway (PDN GW)**

Εξασφαλίζει την συνδεσιμότητα σε εξωτερικά δίκτυα καθώς αποτελεί το σημείο εξόδου της κίνησης στο UE . Επίσης αποτελεί την διεπαφή σε 3GPP και μη 3GPP τεχνολογίες όπως το WiMAX.

Αυτή η αρχιτεκτονική επιτρέπει στους παρόχους να μειώσουν το κόστος κατοχής και λειτουργίας των δικτύων καθώς τους δίνει την δυνατότητα να έχουν ξεχωριστά CN ενώ μοιράζονται τους πόρους ενός μοναδικού E- UTRAN. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ικανότητας του eNB να συνδέεται με διαφορετικά CN.

## **11.5 Τοπολογία Δικτύου LTE**

Οι περισσότεροι πάροχοι σχεδιάζουν να επαναχρησιμοποιήσουν στοιχεία της WCDMA αρχιτεκτονικής και να τα ενσωματώσουν στα νέα δίκτυα διατηρώντας παράλληλα τις ίδιες διεπαφές σε επίπεδο software. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι κατασκευαστές τερματικών να διευκολύνονται στην προσαρμογή των προϊόντων τους ενώ η συνύπαρξη του LTE, GSM και WCDMA/HSPA στη κοινή πλατφόρμα του LTE καθιστούν δυνατή την παγκόσμια κάλυψη και μεταγωγή από την πρώτη μέρα εφαρμογής του νέου συστήματος.



## 11.6 Απόδοση δικτύου LTE

Το E- UTRAN πρόκειται να υποστηρίξει υπηρεσίες όπως το web browsing, το FTP, το video streaming, το VoIP και το real time video. Επομένως το LTE είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να αποτελέσει ένα σύστημα με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και χαμηλή latency. Το εύρος φάσματος για το UE είναι 20 MHz τόσο για μετάδοση όσο και για λήψη. Ο πάροχος όμως μπορεί στα κελιά να χρησιμοποιήσει όλα τα εύρη που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

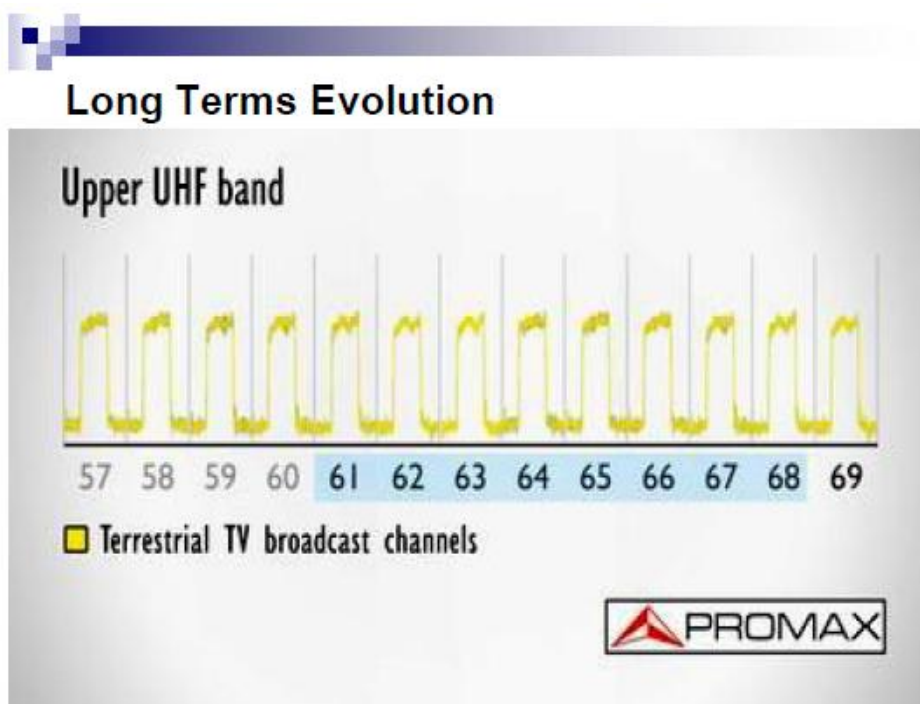
Metric	Requirement
Peak data rate	DL: 100Mbps UL: 50Mbps (for 20MHz spectrum)
Mobility support	Up to 500kmph but optimized for low speeds from 0 to 15kmph
Control plane latency (Transition time to active state)	< 100ms (for idle to active)
User plane latency	< 5ms
Control plane capacity	> 200 users per cell (for 5MHz spectrum)
Coverage (Cell sizes)	5 – 100km with slight degradation after 30km
Spectrum flexibility	1.25, 2.5, 5, 10, 15, and 20MHz

Το LTE έχει ως στόχο και την ελαχιστοποίηση του κόστους και της κατανάλωσης ισχύος εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα την αποδοτική οικονομικά μετάβαση από το UMTS. Η αποδοτικότητα του φάσματος αναμένεται να είναι στην κατεύθυνση του downlink 3 με 4 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με του Release 6 HSDPA και 2 με 3 φορές στην κατεύθυνση του uplink σε σχέση με το Release 6 HSUPA. Όσον αφορά την διαδικασία μεταγωγής, ο χρόνος διακοπής θα μειωθεί σε σχέση με τα circuit switched δίκτυα 2G. Τα αποτελέσματα των εξομοιώσεων που έχουν γίνει δίνουν μια εικόνα των δυνατοτήτων του LTE και επιβεβαιώνουν την υψηλή του απόδοση. Τόσο το throughput όσο και η αποδοτικότητα του φάσματος είναι σημαντικά βελτιωμένα σε σχέση με το UMTS (UTRAN) υπερκαλύπτοντας τις απαιτήσεις απόδοσης που απαιτούνται.

## 11.7 Φάσεις εξέλιξης του LTE

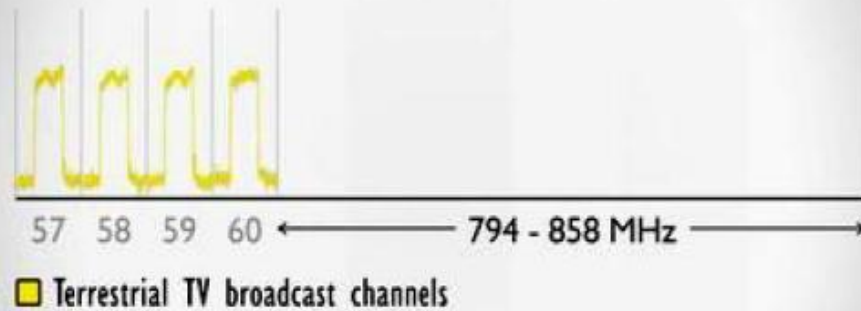
Η πρώτη φάση του LTE αφορά την απόδοση των συχνοτήτων 790-862MHz (η οποία συνοπτικά ονομάζεται μπάντα των 800MHz), αλλά και της μπάντας των 2600MHz στην κινητή τηλεφωνία, ώστε να μπορέσει να αναπτυχθεί πλήρως η τέταρτη γενιά (4G) της κινητής τηλεφωνίας.

Θα υπάρξουν φυσικά και άλλες φάσεις (πχ οι συχνότητες 690-790 MHz, η οποία συνοπτικά ονομάζεται μπάντα των 700 MHz) που θα ακολουθήσουν, αλλά δεν έχουν ακόμα οριστικοποιηθεί για την Ευρωπαϊκή Ένωση (αναμένονται οι σχετικές αποφάσεις), την ώρα που σε άλλες περιοχές του κόσμου, αυτά τα τμήματα του φάσματος (690-790 MHz) έχουν ήδη αποδοθεί στην κινητή τηλεφωνία.



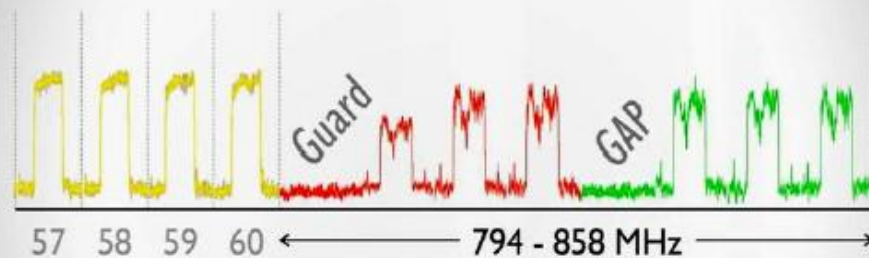
## Long Terms Evolution

### Upper UHF band



## Long Terms Evolution

### Upper UHF band



■ lte downlink ■ lte uplink

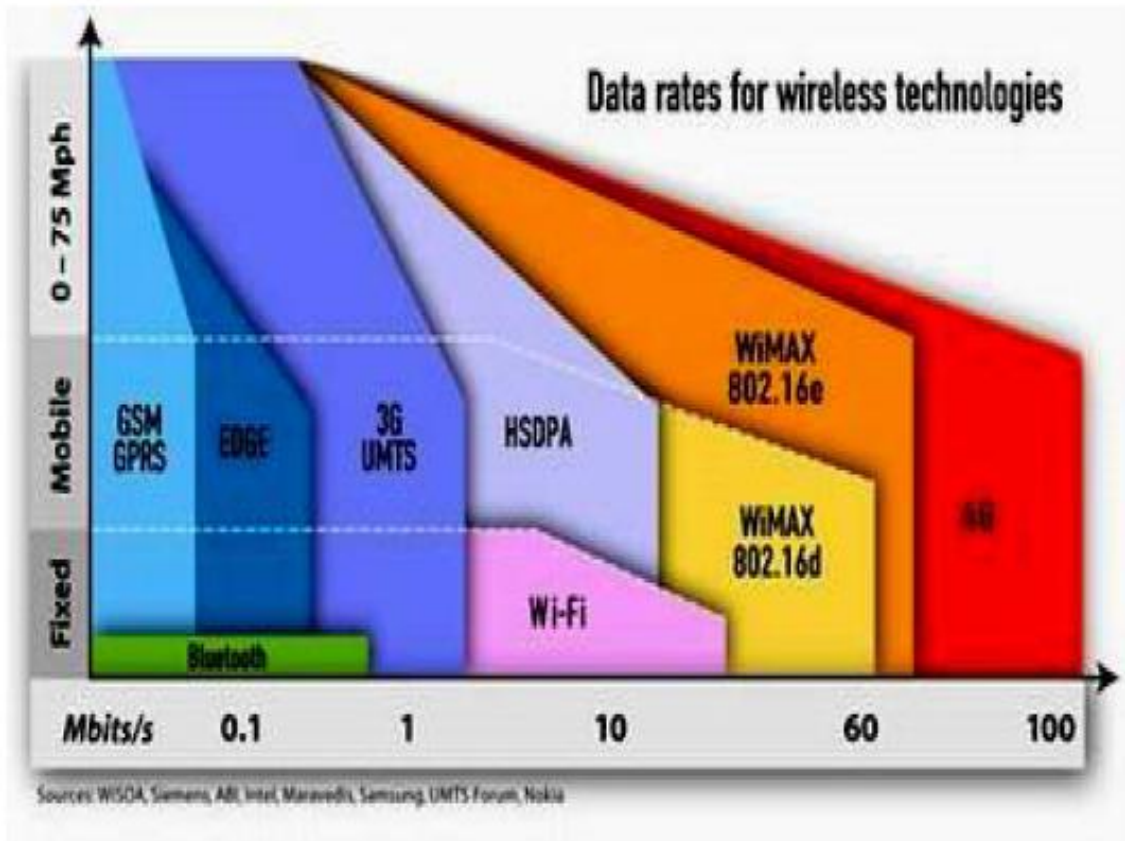


Το πρώτο μέρος της απόδοσης συχνοτήτων, δηλαδή το τμήμα 790-862 MHz, έχει θεωρηθεί λανθασμένα από πολλούς σαν η διαδικασία του LTE συνολικά και φυσικά δεν είναι σωστό κάτι τέτοιο, μια που το LTE είναι μια πολύ μεγαλύτερη εξέλιξη.

Έχει ήδη ξεκινήσει στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης η χρήση αυτού του φάσματος (790-862 MHz) από την κινητή τηλεφωνία, αφού τα ASO (Analogue Switch Off) έχουν ολοκληρωθεί στις χώρες αυτές.

Επειδή όλες αυτές οι τεχνολογίες πρέπει να λειτουργήσουν συγχρονισμένα σε όλο τον κόσμο, ώστε να υπάρχει παντού εκμετάλλευση του φάσματος και συμβατότητα των κινητών, υπάρχει μια ιδιαίτερα μεγάλη πίεση προς την χώρα μας, ώστε να προχωρήσουμε σύντομα στην απελευθέρωση της χρήσης του φάσματος από την τηλεόραση και την απόδοση του στην κινητή τηλεφωνία.





## 11.8 Η εφαρμογή του LTE στην τηλεόραση

Σύντομα θα πρέπει να ξεκινήσει και στην Ελλάδα το πρώτο βήμα για το LTE, δηλαδή η χρήση της μπάντας 790-862 MHz, από την κινητή τηλεφωνία.

Είναι γνωστό όμως ότι σε αυτές τις συχνότητες μέχρι και σήμερα εκπέμπουν τηλεοπτικά κανάλια, επομένως αυτό το φάσμα συχνοτήτων λαμβάνεται κανονικά από όλες τις κεραίες UHF και φυσικά ενισχύεται πλήρως από όλους τους ενισχυτές κεραίας (ιστού, κεντρικής, γραμμής) κλπ.

Με δεδομένο ότι οι κυψέλες κινητής τηλεφωνίας θα εκπέμπουν με σημαντική ισχύ ενώ βρίσκονται μέσα στον αστικό ιστό, δηλαδή κοντά σε πολυκατοικίες, αλλά κυρίως από το γεγονός ότι και τα κινητά 4<sup>ης</sup> γενιάς θα εκπέμπουν επίσης μέσα σε αυτό το φάσμα αλλά και κοντά στις κεραίες UHF, γίνεται σαφές ότι σχεδόν το σύνολο των ατομικών και κεντρικών εγκαταστάσεων κεραίας που χρησιμοποιούν ενισχυτή, θα παρουσιάσουν σοβαρό πρόβλημα υπεροδήγησης και θα τεθούν εκτός λειτουργίας.

Καταλαβαίνουμε ότι οι λύσεις που προσφέρει η αγορά για το LTE δεν μπορούν να εφαρμοστούν άκριτα σήμερα, μια που στις περισσότερες περιοχές της χώρας



εξακολουθούν να λειτουργούν κανάλια πάνω από το 60. Για παράδειγμα στην Αθήνα έχουμε τα streams των περιφερειακών καναλιών στα κανάλια 63 & 65, έτσι αν τοποθετήσουμε μια κεραία για το LTE που έχει όριο λήψης το κανάλι 60, θα χάσουμε αυτά τα δύο streams που έχουν συνολικά 8 κανάλια τα οποία προφανώς θέλουμε να βλέπουμε. Από την άλλη πλευρά υπάρχουν λίγες περιοχές στη χώρα μας, όπου όλα τα κανάλια είναι ήδη κάτω από το 60, πχ η πόλη της Θεσσαλονίκης.

Αν και αυτές οι περιοχές είναι η εξαίρεση στον κανόνα, θα πρέπει να τις γνωρίζουμε και να προτείνουμε από σήμερα τις σωστές λύσεις. Για παράδειγμα στη Θεσσαλονίκη, η σωστή εγκατάσταση σήμερα είναι μια κεραία LTE και όχι μια απλή κεραία, δεδομένου ότι για κάθε νέα εγκατάσταση απλής κεραίας, ο κάτοικος της Θεσσαλονίκης θα αναγκαστεί σύντομα να αλλάξει την κεραία του για να αποφύγει τις παρεμβολές της κινητής τηλεφωνίας στο φάσμα 790-862 MHz.

## 11.9 Σημερινές εξελίξεις στο LTE

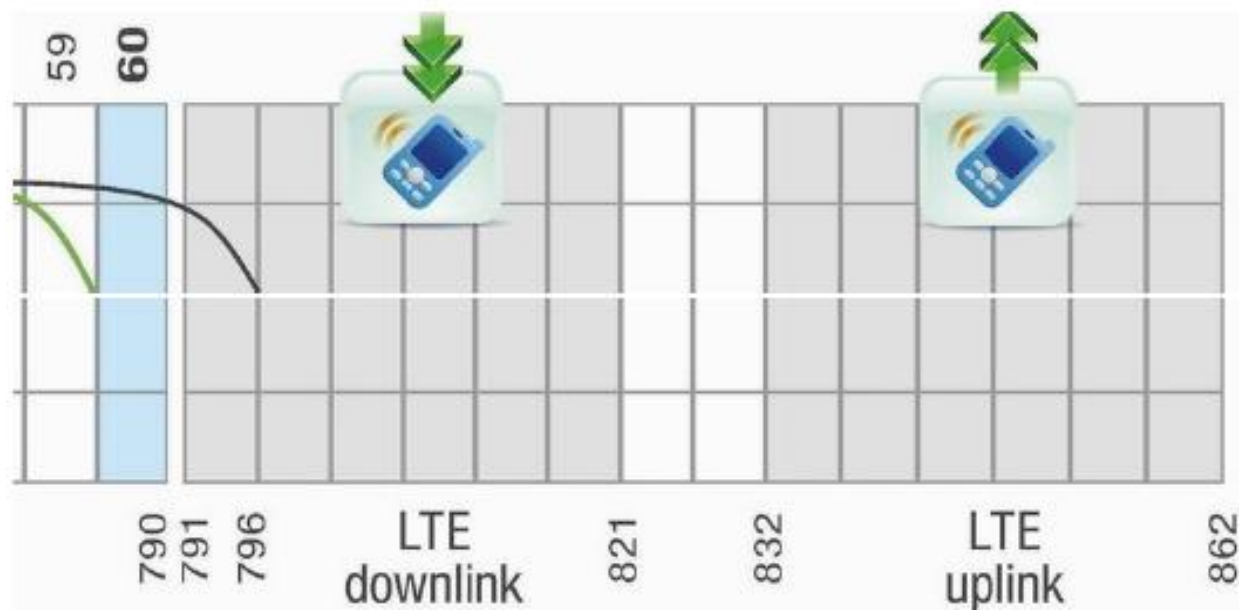
Θα πρέπει να ξεκαθαρίσουμε το εξής: Δεν υπάρχουν σήμερα εκπομπές LTE στο φάσμα των 790-862 MHz. Οι διαφημίσεις των εταιριών κινητής τηλεφωνίας που προβάλλουν την πιλοτική έναρξη του 4G από μερικές κυψέλες στην Αθήνα και σε άλλες περιοχές, δεν αναφέρονται στο φάσμα των 790-862MHz. Για τον απλό λόγο ότι δεν μπορούν να το χρησιμοποιήσουν όσο υπάρχουν τηλεοπτικά κανάλια σε αυτή τη περιοχή, αλλά και επειδή δεν υπάρχει ακόμα η σχετική νομοθεσία που να ορίζει την έναρξη των εκπομπών, ούτε οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας είναι έτοιμες από πλευράς υποδομής για αυτό.

Οι πιλοτικές μεταδόσεις χρησιμοποιούν τις μπάντες στους 900,1800 και κυρίως στους 2600 MHz και είναι πιλοτικές ακριβώς επειδή χωρίς τη χρήση του φάσματος στους 800 MHz, δεν μπορούν να καλύψουν τις απαιτήσεις μεγάλου αριθμού χρηστών, ούτε να επιτύχουν υψηλή διείσδυση μέσα στους κλειστούς χώρους των σπιτιών. Πρέπει να ξεκινήσουμε από τώρα να αγοράζουμε και να εγκαθιστούμε κεραίες LTE και φίλτρα LTE.

Αν είμαστε σε περιοχή που εξακολουθούν να λειτουργούν ψηφιακά ή αναλογικά κανάλια πάνω από το 60, δεν πρέπει να χρησιμοποιήσουμε σήμερα κεραία ή φίλτρο LTE.

Αν είμαστε σε μια από τις λίγες περιοχές όπου δεν υπάρχει σήμερα εκπομπή πάνω από το 60, μπορούμε να χρησιμοποιούμε από σήμερα μόνο κεραία LTE, όχι όμως φίλτρα.

Η αλήθεια είναι ότι σήμερα δεν θα υπάρξει καμιά αλλαγή στην απόδοση της εγκατάστασης, αφού το LTE δεν λειτουργεί ακόμα και ούτως ή άλλως δεν δημιουργεί προβλήματα- απλά εάν έτσι και αλλιώς απαιτείται νέα κεραία ή αντικατάσταση της παλιάς, πρέπει να το προβλέψουμε από τώρα ώστε να αποφύγουμε αντικαταστάσεις και πρόσθετα έξοδα.



Το τμήμα του φάσματος 791-821 MHz (downlink) θα χρησιμοποιηθεί για τις εκπομπές του σήματος από τις κυψέλες της κινητής τηλεφωνίας προς τα κινητά.

Το τμήμα του φάσματος 832-862 MHz (downlink) θα χρησιμοποιηθεί για τις εκπομπές του σήματος από τα κινητά προς τις κυψέλες της κινητής τηλεφωνίας.

Ένα ενδιάμεσο κομμάτι 11 MHz θα παραμείνει κενό για να εξασφαλίσει την απομόνωση εκπομπής λήψης και στις κυψέλες και στα κινητά.

## 11.10 Η ιδιομορφία του LTE στην Ελλάδα

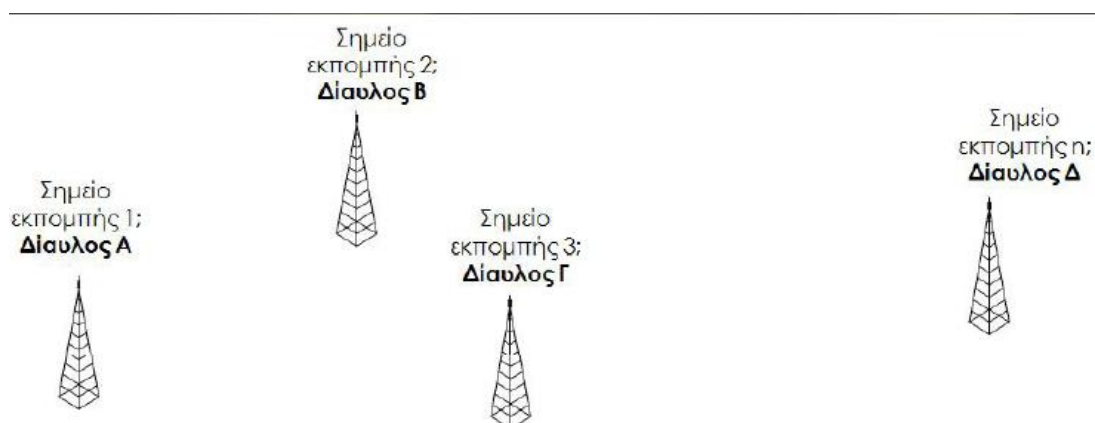
Η κυβερνητική απόφαση του περασμένου Οκτώβρη ορίζει στον πρόσφατο χάρτη συχνοτήτων, ότι οι συχνότητες 58,59 και 60, δεν θα χρησιμοποιηθούν από την τηλεόραση στην Ελλάδα, αλλά από το στρατό. Αυτό αλλάζει αρκετά τα δεδομένα στις επιλογές μας, μια που τα χρήσιμα κανάλια στα UHF, δεν θα είναι από το 21 μέχρι το 60, αλλά από το 21 μέχρι το 57.

Υπάρχουν μερικές ακόμα χώρες που δεν χρησιμοποιούν τα κανάλια 59 και 60, έτσι έχουν εμφανιστεί στην αγορά λύσεις LTE που δεν απορρίπτουν τα κανάλια από το 60 και επάνω, αλλά από το 58 και επάνω. Αυτές οι λύσεις είναι πολύ καλύτερες για εμάς, μια που αποφεύγουμε το κρίσιμο κομμάτι συχνοτήτων από το όριο του καναλιού 60 (790 MHz) μέχρι την αρχή του φάσματος LTE στους 791 MHz και έχουμε την άνεση των 17 MHz από το κανάλι 58 (774 MHz) μέχρι την αρχή του φάσματος LTE στους 791 MHz.

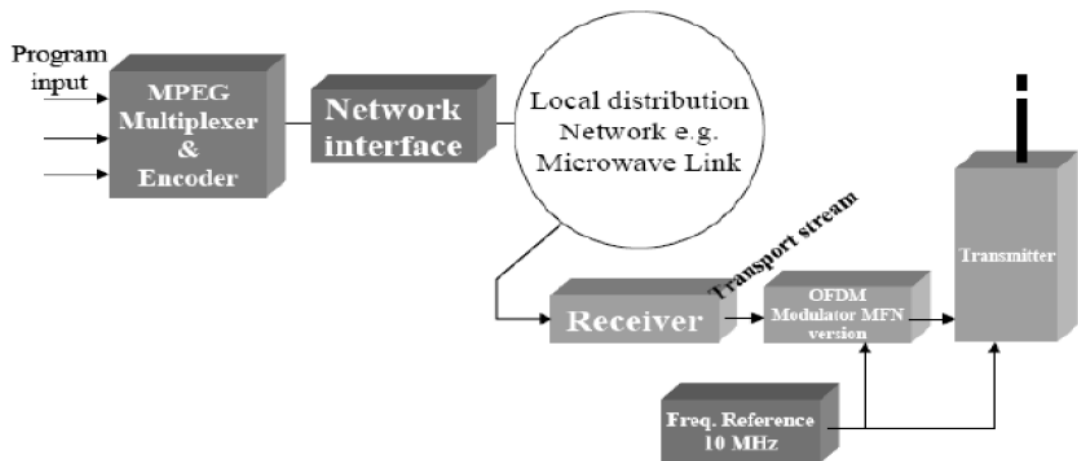
# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

## 1. Δίκτυα Πολλών Συχνοτήτων (Multi Frequency Networks - MFN)

Τα συμβατικά – αναλογικά – δίκτυα ευρείας εκπομπής χρησιμοποιούν πολλούς πομπούς με διαφορετικές συχνότητες, προκειμένου να καλύψουν την περιοχή λειτουργίας τους. Τα δίκτυα αυτά αναφέρονται ως δίκτυα πολλών συχνοτήτων (Multi-Frequency Networks – MFN). Για την εγκατάσταση ενός τέτοιου δικτύου αφού γίνουν οι αρχικές μελέτες ραδιοκάλυψης, επιλέγονται οι κατάλληλες θέσεις για την εγκατάσταση των σταθμών εκπομπής, ώστε να εξασφαλίζεται η όσο το δυνατό καλύτερη κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος. Γειτονικοί σταθμοί εκπέμπουν σε διαφορετικές συχνότητες, ώστε στις περιοχές κάλυψης να μην δημιουργείται πρόβλημα παρεμβολών. Απαιτείται λοιπόν μία μελέτη για τη σωστή αξιοποίηση του φάσματος των ραδιοσυχνοτήτων, ώστε οι συχνότητες που χρησιμοποιεί ο κάθε σταθμός ενός δικτύου να είναι εναρμονισμένες με τις συχνότητες των άλλων δικτύων που λειτουργούν στην ίδια περιοχή, αλλά και με σταθμούς του ίδιου δικτύου που λειτουργούν σε – τηλεπικοινωνιακά – όμορους νομούς. Το γεγονός 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 που υπάρχουν έντονα φαινόμενα σκίασης, απαιτείται η τοποθέτηση νέων πομπών και επανασχεδιασμός συχνοτήτων. Επίσης, προκειμένου για λήψη εν κινήσει, θα πρέπει οι κινούμενοι δέκτες να συντονίζονται σε διαφορετική συχνότητα, όταν μετακινούνται, για να εξακολουθούν να λαμβάνουν το ίδιο πρόγραμμα από εναλλακτικούς πομπούς του ίδιου δικτύου, που εκπέμπουν σε διαφορετική συχνότητα.



-Δίκτυο ευρεκπομπής του οποίου οι πομποί λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες (παρόμοιος σχεδιασμός με το δίκτυο αναλογικής τηλεόρασης)

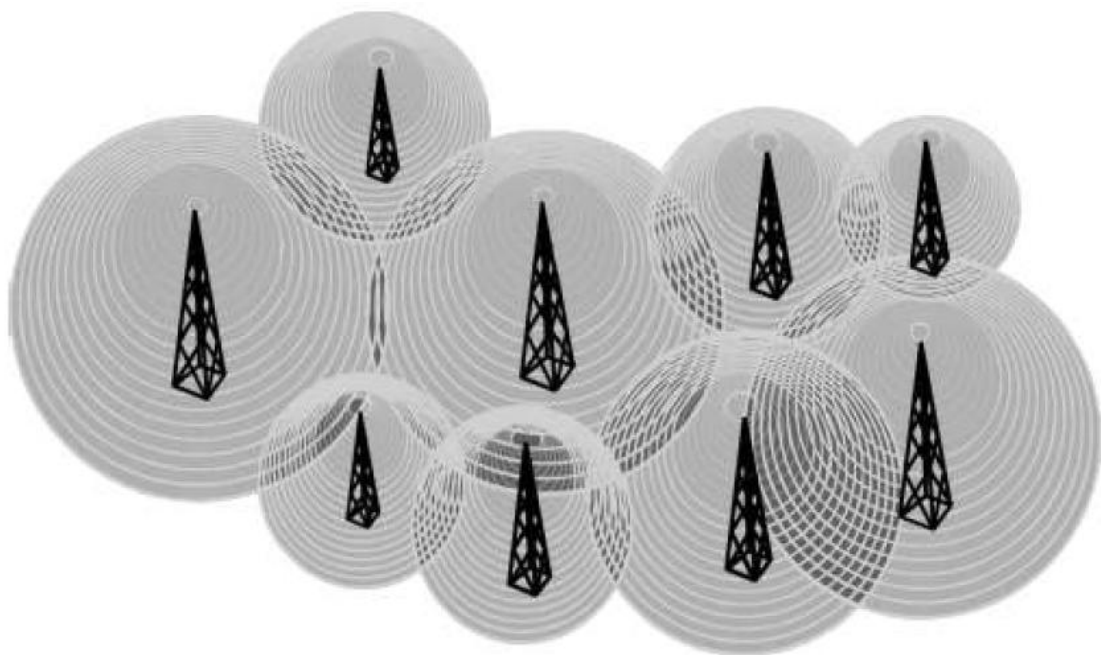
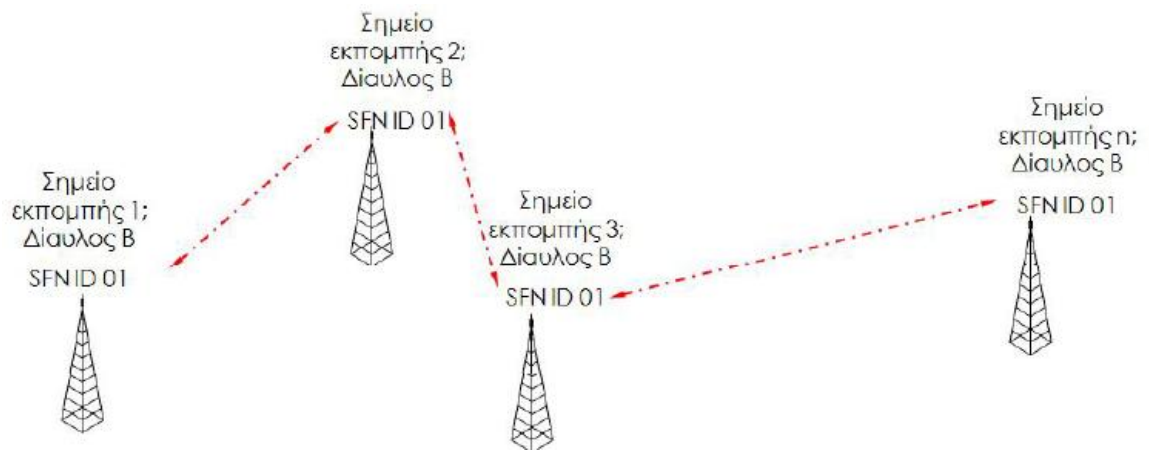


-Δομή Δικτύου MFN

Τα προβλήματα αυτά στα σύγχρονα ψηφιακά δίκτυα αντιμετωπίζονται με τη χρήση δικτύων μονής συχνότητας (Single Frequency Networks – SFN) στα οποία όλοι οι πομποί ενός δικτύου εκπέμπουν στην ίδια ραδιοσυχνότητα, το ίδιο σήμα σε όλη την περιοχή κάλυψης. Έτσι δεν υπάρχουν απαιτήσεις σχεδιασμού και εναρμόνισης συχνοτήτων, αφού μία εκχωρείται σε ένα δίκτυο για όλη την περιοχή κάλυψης του, ενώ ένας κινούμενος δέκτης παραμένει συντονισμένος σε μία μόνο συχνότητα στην οποία λαμβάνει, κατά τη διαδρομή του το ίδιο πρόγραμμα. Για την απρόσκοπτη λειτουργία αυτών των δικτύων τίθενται διάφορες απαιτήσεις στο στρώμα δικτύου, που αντιμετωπίζονται με τη χρήση σύγχρονων τεχνικών.

## 2. Δίκτυα μονής συχνότητας (Single frequency network-SFN)

Σε ένα SFN δίκτυο όλοι οι πομποί είναι σύγχρονα διαμορφωμένοι με το ίδιο σήμα και εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα. Λόγω της πολυδιαδρομικής διάδοσης του σήματος μετάδοσης (COFDM), σήματα από διαφορετικούς πομπούς, που καταφθάνουν σε μια κεραία λήψης, μπορούν να συνεισφέρουν θετικά στο συνολικό επιθυμητό σήμα. Η προσέγγιση έχει το σχεδιαστικό πλεονέκτημα ότι χρειάζεται τις λιγότερες δυνατές συχνότητες από οποιαδήποτε άλλη κατανομή, και είναι ιδιαίτερα ελκυστική για χώρες όπως η Ελλάδα με μεγάλο βαθμό πληρότητας του τηλεοπτικού φάσματος.



### -Μορφή δικτύου SFN

Τα βασικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν την λειτουργία ενός δικτύου SFN είναι:

- Η αποδοτικότητα του φάσματος
- Η σωστή ισχύς στη σωστή θέση συνεπάγεται αποδοτικότητα ισχύος.
- Η μικρότερη απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνότητας
- Η δυνατότητα Gap-filling.
- Η δυνατότητα αύξησης της περιοχής κάλυψης
- Η ομαλότερη κάλυψη

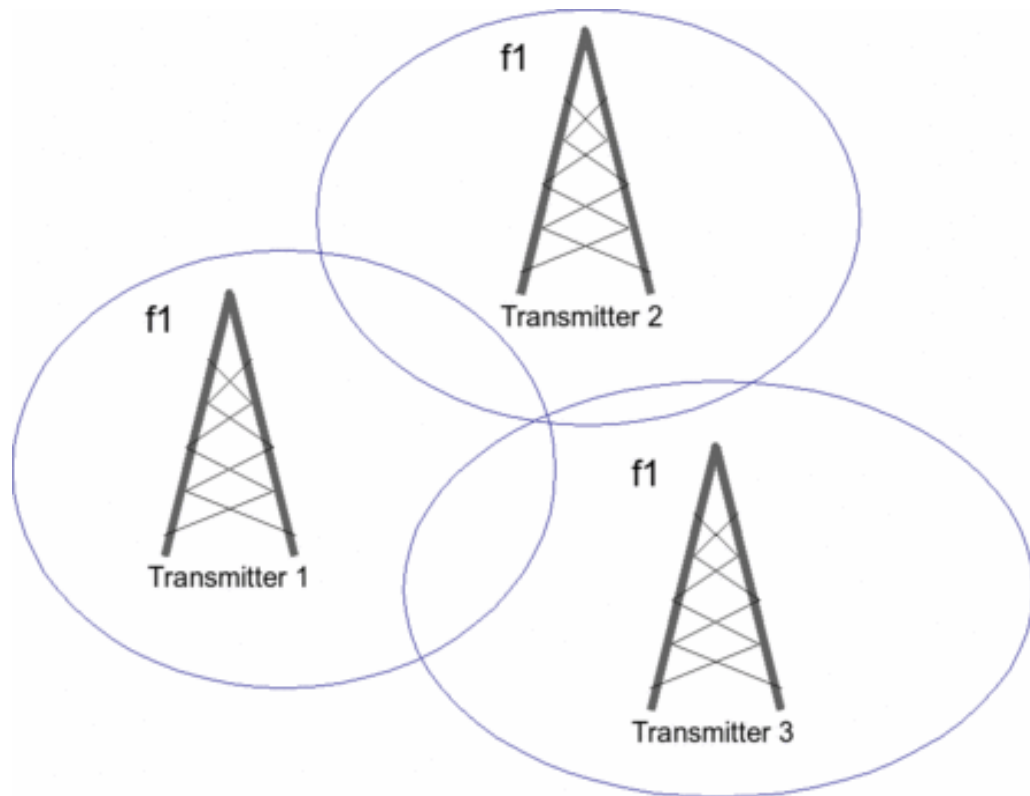
## 2.1 Ανοιχτά / Κλειστά SFNs δίκτυα

Τα δίκτυα SFNs μπορούν να εφαρμοστούν με δύο δομικούς τύπους δικτύων. Το ένα ονομάζεται ανοιχτό SFN δίκτυο και το άλλο κλειστό SFN δίκτυο. Υποτίθεται ότι και τα δύο είναι σχεδιασμένα για να παρέχουν την ελάχιστη απαιτούμενη ισχύ στα όρια της περιοχής κάλυψης.

- Σε ένα ανοιχτό δίκτυο δεν λαμβάνονται μέτρα για να ελαχιστοποιηθούν τα επίπεδα ακτινοβολίας έξω από την περιοχή κάλυψης. Στην ελάχιστη περίπτωση, ένα ανοιχτό δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει έναν πομπό.
- Σε ένα κλειστό δίκτυο το επίπεδο ακτινοβολούμενης ισχύος έξω από την περιοχή κάλυψης μειώνεται εσκεμμένα, χωρίς μείωση της κάλυψης. Αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας κατευθυντικές κεραιές σε σταθμούς βάσης κοντά στην περιφέρεια της service area.

## 2.2 Χαρακτηριστικά πομπών

Ο αριθμός των πομπών, καθώς και η απόσταση μεταξύ τους, σε ένα δίκτυο SFN, ποικίλει. Για την επίγεια ψηφιακή μετάδοση, η απόσταση μεταξύ των σταθμών είναι από 30 έως 50km στις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές, και μεταξύ 75 και 125 km σε πιο αραιοκατοικημένες ή πιο επίπεδες περιοχές. Στα SFNs με χρήση κατάλληλων προδιαγραφών επίγεια μετάδοσης, η απόσταση διαχωρισμού των πομπών επηρεάζει την επιλογή του "guard interval", το οποίο με την σειρά του περιορίζει το μέγεθος του δικτύου. Η απόσταση διαχωρισμού και το ενεργό ύψος των κεραιών επηρεάζουν την E.I.R.P. Οι κεραιές εκπομπής είναι ομοιοκατευθυντικές ή κατευθυντικές για να μειωθεί η παρεμβολή εκτός των περιοχών κάλυψης και άρα να μειωθεί η απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνότητας και να προστατευθούν οι περιοχές κάλυψης των ήδη υπαρχόντων υπηρεσιών τηλεόρασης. Επίσης η χρήση τέτοιων κεραιών βοηθάει στην αποδοτικότερη αξιοποίηση του φάσματος. Οι σταθμοί εκπομπής για τις ψηφιακές υπηρεσίες μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:



- Σταθμοί υψηλής ισχύος είναι σταθμοί με E.I.R.P μεγαλύτερο από 10 kW και ενεργό ύψος κεραιών μεγαλύτερο από 150m.
- Σταθμοί μέσης ισχύος είναι σταθμοί με E.I.R.P. από 100 W έως 10 kW (συμπεριλαμβανομένου και των 10 kW) και ενεργό ύψος κεραιών συνήθως από 75 έως 150m.
- Σταθμοί χαμηλής ισχύος είναι σταθμοί με E.I.R.P λιγότερο από 100 W και ενεργό ύψος κεραιών συνήθως λιγότερο από 75m.

### 2.3 Αποδοτικότητα φάσματος

Η αποδοτικότητα φάσματος θεωρείται σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης της SFN προσέγγισης, κατά τον σχεδιασμό ενός δικτύου, σε σύγκριση με την MFN προσέγγιση. Με τον σχεδιασμό δικτύων SFN μεγάλες περιοχές μπορούν να εξυπηρετηθούν με έναν πολυπλέκτη σε μια κοινή κεντρική ραδιοσυχνότητα. Τα οποιαδήποτε κενά που προκύπτουν στη περιοχή κάλυψης καλύπτονται εύκολα με την προσθήκη ενός νέου πομπού χωρίς την ανάγκη για πρόσθετες συχνότητες. Η αποδοτικότητα φάσματος είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα σε περιπτώσεις όπου το φάσμα είναι περιορισμένο.



## 2.4 Αποδοτικότητα ισχύος

Τα δίκτυα SFN δεν είναι μόνο αποδοτικά ως προς τη συχνότητα, αλλά και ως προς την ισχύ. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό αν ληφθούν υπόψη οι έντονες διακυμάνσεις της ισχύος ενός οποιοδήποτε σταθμού. Όπως συμβαίνει συνήθως, προκειμένου να διατηρηθεί η κάλυψη σε ένα υψηλό ποσοστό των περιοχών, αυξάνεται σημαντικά η ισχύς. Στα SFNs με ομοιοκατευθυντική λήψη δεν συμβαίνει το ίδιο, καθώς το επιθυμητό σήμα αποτελείται από επιμέρους σήματα που καταφθάνουν από διαφορετικούς πομπούς, οι διακυμάνσεις των οποίων είναι ελάχιστα συσχετισμένες, με αποτέλεσμα η εξασθένιση του σήματος του ενός πομπού να αντισταθμίζεται από έναν άλλο πομπό. Έτσι τα SFNs μπορούν να χρησιμοποιούν πομπούς χαμηλής ισχύος. Αυτή η αποδοτικότητα ισχύος των SFNs είναι πολύ σημαντική στα όρια κάλυψης των πομπών και καλείται κέρδος δικτύου (network gain). Το κέρδος δικτύου αποτελείται από δύο παραμέτρους. Το στατιστικό κέρδος, που οφείλεται στην υψηλότερη πιθανότητα να ληφθεί ένα σήμα και το προσθετικό κέρδος λόγω της αύξησης της ισχύος εξαιτίας της πρόσπτωσης δύο ή περισσότερων σημάτων στην κεραία λήψης, των οποίων η ισχύς προστίθεται. Το κέρδος δικτύου ποικίλει από σημείο σε σημείο ανάλογα με τη σχετική τιμή της ισχύος του πεδίου και σύμφωνα με τον παράγοντα απόκλισης της θέσεως (location variation) για τον οποίο υπολογίζεται η κάλυψη.

## 2.5 Απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνότητας

Σε ένα πραγματικό δίκτυο που καλύπτει μια μεγάλη περιοχή, υπάρχουν μεγάλες αποστάσεις ανάμεσα στους πομπούς. Αν το δίκτυο σχεδιαστεί κλειστό, θα προκαλέσει μικρότερη παρεμβολή σε δεδομένη απόσταση έξω από την περιοχή κάλυψης από ότι αν είχε σχεδιασθεί ανοιχτό. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι το επίπεδο παρεμβολής καθορίζεται κυρίως από την ακτινοβολούμενη ισχύ των σταθμών που βρίσκονται πιο κοντά στα σύνορα της περιοχής κάλυψης, στην υπό εξέταση κατεύθυνση. Αντίθετα στην περίπτωση ενός δικτύου με περιορισμένη περιοχή κάλυψης, η χρήση κατευθυντικών κεραιών σε πομπούς κοντά στα σύνορα της περιοχής κάλυψης εισάγει λιγότερα πλεονεκτήματα. Συμπεραίνεται δηλαδή ότι για μεγάλες περιοχές κάλυψης, η απόσταση διαχωρισμού μεταξύ ομοδιαυλικών περιοχών (απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνότητας) είναι μικρότερη για κλειστά δίκτυα από ότι για ανοιχτά. Για μικρές περιοχές κάλυψης η απόσταση αυτή είναι ίδια και για τους δύο τύπους SFN δικτύου.

## 2.6 Περιορισμοί χρήσης SFNs

Για την χρήση δικτύων ενιαίας συχνότητας, πρέπει όλα τα σχετικά σήματα μετάδοσης να είναι συγχρονισμένα ως προς τη συχνότητα, το χρόνο και τα bits. Έτσι επιτυγχάνεται κάθε σήμα που εκπέμπεται από οποιοδήποτε πομπό του ίδιου δικτύου να μην παρεμβάλλει στο σήμα αλλά να το ενισχύει.

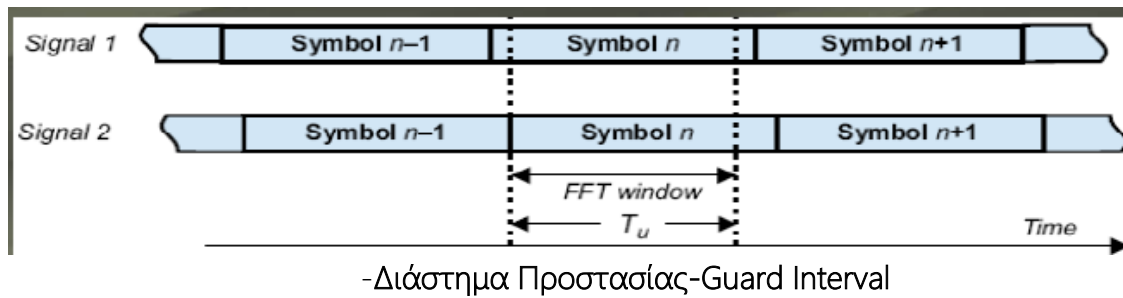
### 2.6.1 Συγχρονισμός συχνότητας

Το σήμα OFDM αποτελείται από ένα πλήθος παράλληλων φερόντων. Κάθε ένα από τα χιλιάδες αυτά φέροντα RF, όταν η ραδιοτηλεοπτική μετάδοση προέρχεται από διαφορετικούς πομπούς που λειτουργούν σε ένα SFN δίκτυο, πρέπει να εκπέμπονται στην ίδια συχνότητα. Η αναγκαία ακρίβεια στη συχνότητα εξαρτάται από το διάστημα μεταξύ των φερόντων, ή με άλλα λόγια, στην απόσταση συχνότητας μεταξύ δύο γειτονικών φερόντων, το οποίο αναφέρεται και συχνά ως "διάστημα φέροντος" και συμβολίζεται με  $\Delta f$ . Εάν το  $f_k$  δηλώνει την ιδανική RF θέση του  $k$  φέροντος έπειτα κάθε πομπός πρέπει να μεταδίδει το φέρον  $k$  στη συχνότητα  $f_k \pm (\Delta f/1000)$  που αποτελεί και τη μέγιστη τιμή ανοχής που επιβεβαιώνεται από πειραματικές δοκιμές πεδίου.

Για να επιτευχθεί αυτή η απαίτηση πρέπει όλοι στη σειρά ταλαντωτές μέσα σε κάθε πομπό να παρέχουν μια τέτοια ανοχή ώστε να μπορεί να συντηρήσουν στο εκπεμπόμενο σήμα την απαραίτητη ακρίβεια. Ένας τρόπος για να υλοποιηθεί το παραπάνω είναι κάθε ταλαντωτής να καθοδηγείται από έναν ταλαντωτή αναφοράς ο οποίος κατά προτίμηση θα είναι προσιτός σε όλους τους διαφορετικούς σταθμούς εκπομπής.

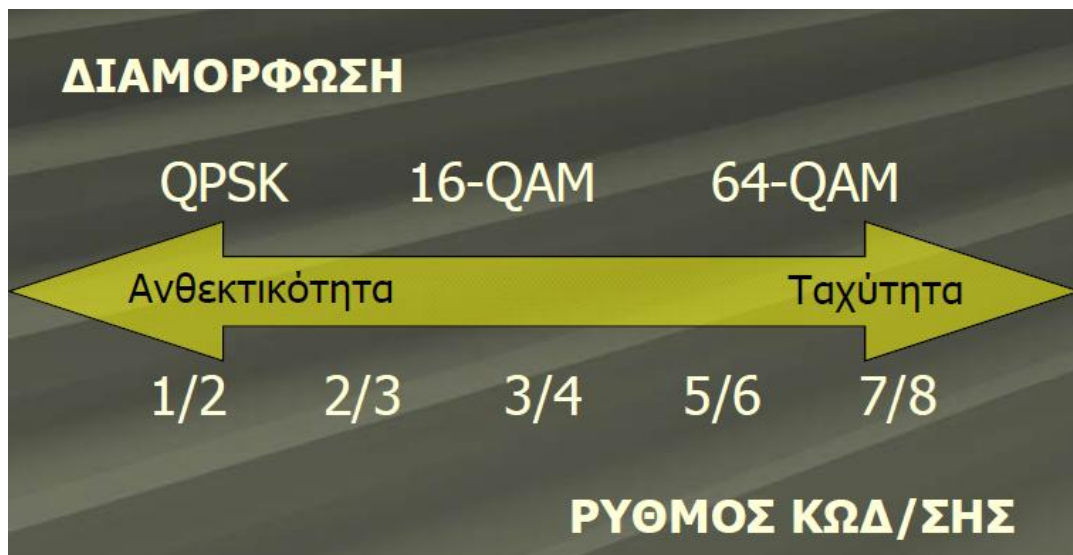
### 2.6.2 Συγχρονισμός χρόνου

Θεωρητικά το σύστημα COFDM έχει σχεδιαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ενισχύεται το σήμα από τις ηχώ εφ' όσον αυτές βρίσκονται μέσα στο διάστημα προστασίας. Αυτός ο όρος απαιτείτο χρονικό συγχρονισμό των διάφορων πομπών, δεδομένου ότι το ίδιο σύμβολο πρέπει να εκπεμφθεί την ίδια χρονική στιγμή από διαφορετικές θέσεις, οποιασδήποτε και αν είναι η χρονική καθυστέρηση που εισάγεται από το δίκτυο. Η χρονική ακρίβεια που απαιτείται δεν είναι πολύ μεγάλη, λόγω της εγγενούς ανοχής που παρουσιάζεται από την διάρκεια του διαστήματος προστασίας, το οποίο συχνά συμβολίζεται ως  $\Delta T$ . Εντούτοις, δεδομένου ότι το διάστημα προστασίας του επίγειου καναλιού πρέπει να χρησιμοποιείται για να διορθώνει τη χρονική καθυστέρηση διάδοσης και όχι για να εξουδετερώσει τον ανακριβή χρονικό συγχρονισμό δικτύων, μια ακρίβεια  $\pm 1\mu s$  αποτελεί μία καλή βάση.



Στην πράξη όταν οι ηχώ υπερβαίνουν την διάρκεια διαστήματος προστασίας, η απόδοση μειώνεται γρήγορα για δύο λόγους:

- Η αρχή της ορθογωνικότητας παραβιάζεται λόγω των παρεμβολών. Αυτό οδηγεί σε μια αύξηση του BER η οποία είναι μικρότερη όσο ο ρυθμός αποστολής δεδομένων είναι υψηλότερος. Η διαμόρφωση 64 QAM παραδείγματος χάριν θα υποφέρει από αυτό το πρόβλημα με μεγαλύτερο ρυθμό σε σχέση με την QPSK διαμόρφωση.



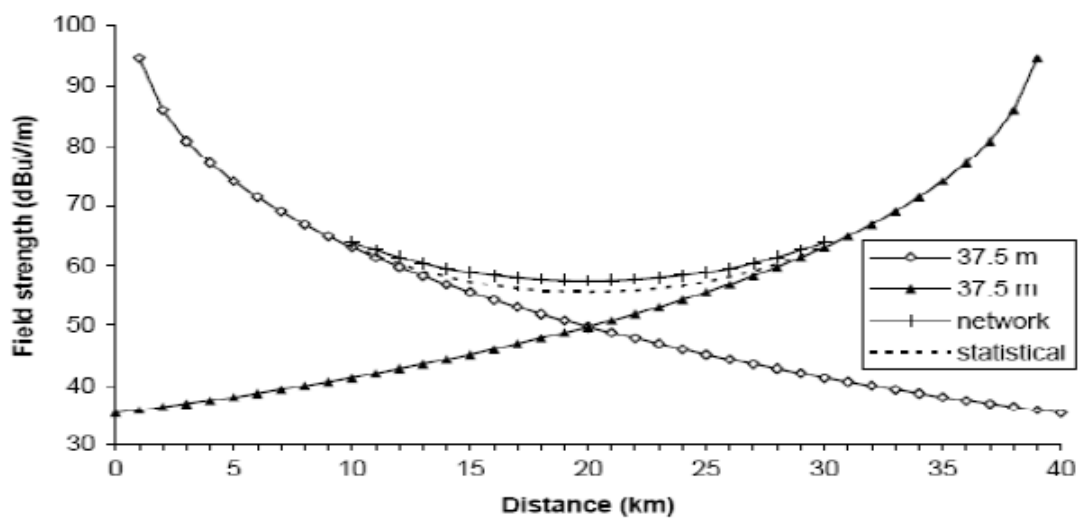
- Το κανάλι δεν μπορεί να εκτιμήσει σωστά τις ηχώ που είναι μεγαλύτερες από το ένα τέταρτο χρήσιμης διάρκειας του συμβόλου  $T_u$ . Αν και αυτό μπορεί να εξαρτηθεί από το σχεδιασμό κάθε δέκτη, πρέπει να γνωρίζουμε ότι ο τρόπος εκπομπής όπου  $\Delta T = T_u/4$  αναμένεται να είναι λιγότερο σταθερός από άλλους τρόπους εκπομπής όσον αφορά το ζήτημα υπέρβασης της ηχώ της διάρκειας του διαστήματος προστασίας.

Σαν επακόλουθο της διαχείρισης της ηχώ σε έναν COFDM δέκτη, η πραγματική περιοχή κάλυψης που προκύπτει από ένα σύνολο πομπών SFN εξαρτάται κυρίως από την απόδοση χρονικού συγχρονισμού του υποσυστήματος. Η χρήση ενός χρονικού αντισταθμιστή (time offset) σε έναν δεδομένο κόμβο του δικτύου μπορεί σε μερικές

περιπτώσεις να επιτρέψει μια καλύτερη ρύθμιση στην περιοχή κάλυψη ή μία μεγαλύτερη ομαλότητα του διαθέσιμου λόγου C/N.

### 2.6.3 Συγχρονισμός των ψηφιακών σημάτων ενός SFN

Η ιδιότητα αυτή πρέπει να συνδυάζεται με την επιλογή της κατάλληλης απόστασης των κέντρων εκπομπής του SFN.

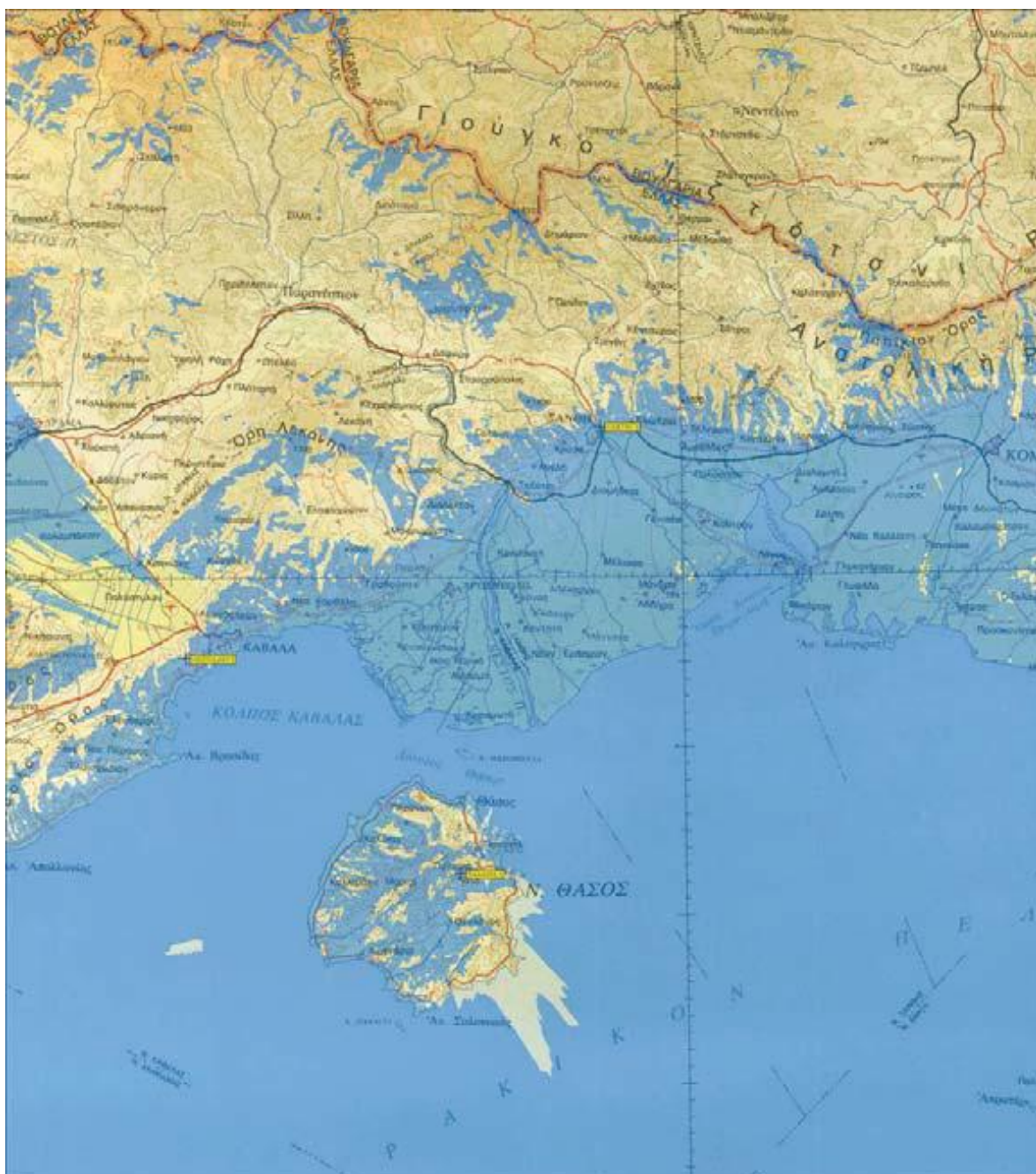


### 3. Allotments

Εφόσον αναλύσαμε τις ιδιότητες, τα χαρακτηριστικά και τους τρόπους σωστής λειτουργίας ενός SFN, τώρα θα ασχοληθούμε με το σημαντικότερο κομμάτι που είναι η παρεμβολές μεταξύ γειτονικών SFN και η τυχόν παρεμβολή από γειτονικές χώρες σε SFN εντός Ελλάδας.

Γι' αυτό το λόγο, για να εξυπηρετήσουμε τους σκοπούς της διπλωματικής επιλέγουμε να εργαστούμε πάνω στα Allotments 3,4,5,6.

### 3: Θάσος



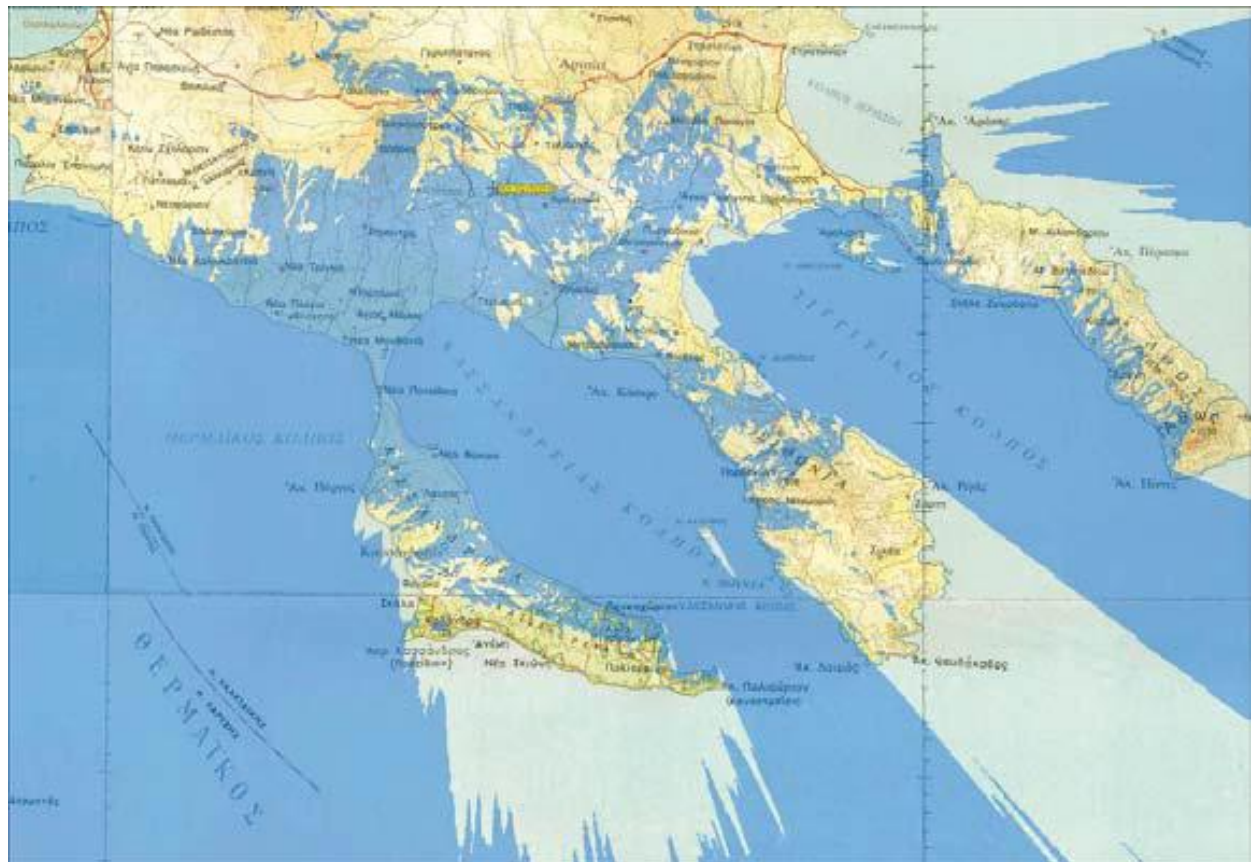
#### 4: Παγγαίο



## 5: Θεσσαλονίκη

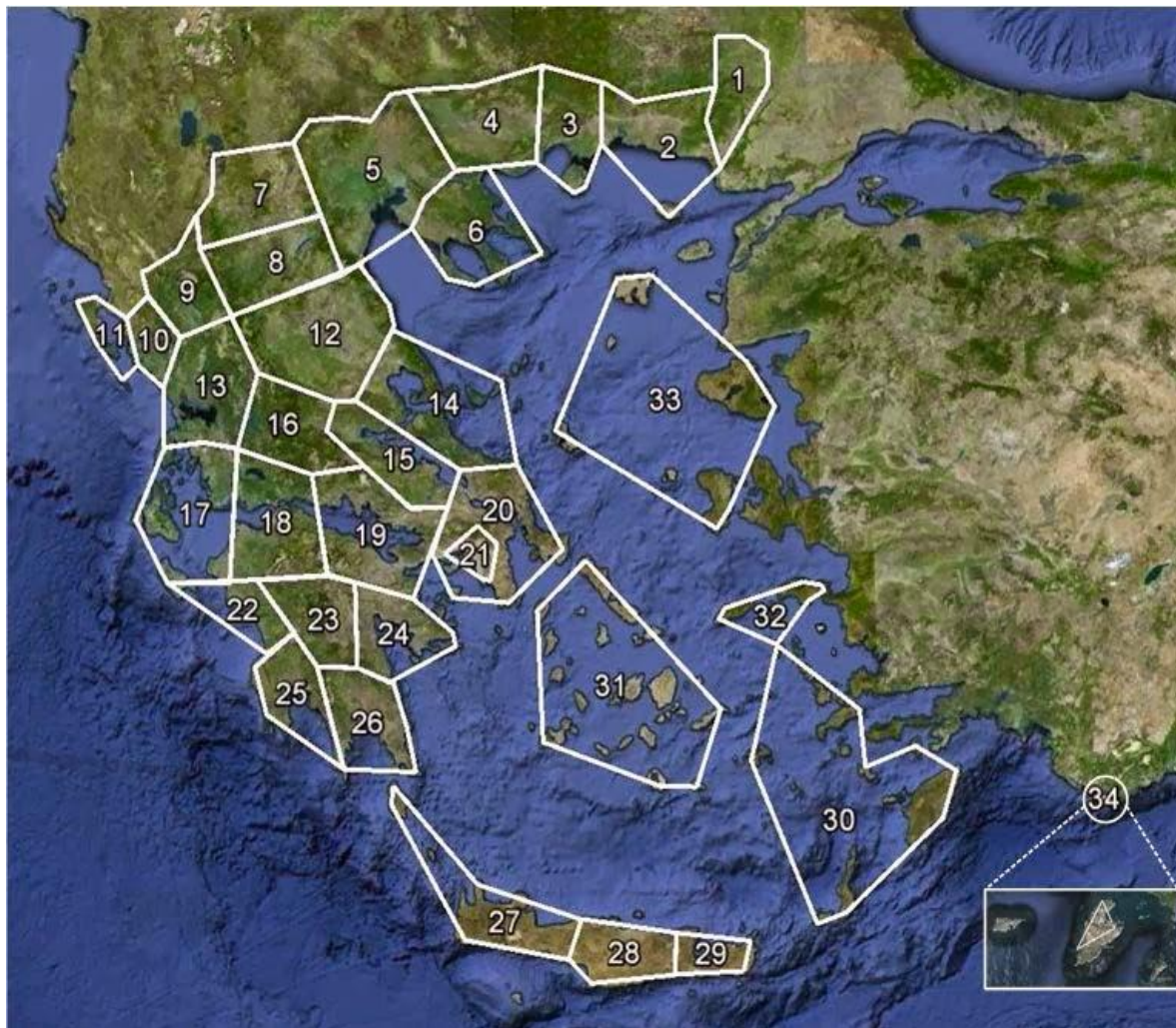


## 6: Χαλκιδική





Με βάση τη συνθήκη της Γενεύης '06 (ΓΕ-'06) έχει οριστεί ο καταμερισμός της επικράτειας σε 34 Allotments:



-Αρίθμηση allotments

### Παραδοχές

- Σε κάθε allotment δημιουργείται ένα SFN , με εξαίρεση το Allotment 31 (Κυκλάδες), όπου δημιουργούνται 2 SFNs
- Ο ελάχιστος προαπαιτούμενος αριθμός διαύλων (MUX) ανά Allotment είναι 8
- Οι συχνότητες που θα αποδοθούν στα SFN, ακολουθούν σε πολύ μεγάλο ποσοστό τις εγγραφές της Ελλάδας βάσει της συνθήκης ΓΕ'06.

- Όποιες αποκλίσεις υπάρχουν οφείλονται:
  - \* Στη διαγραφή διαύλων λόγω απαίτησης για απελευθέρωση φάσματος
  - \* Στην προσθήκη νέων διαύλων προκειμένου να ικανοποιηθεί το όριο των 8 MUX
  - \* Στον περιορισμό των παρεμβολών μεταξύ των allotments
- Οι συχνότητες αποδίδονται λαμβάνοντας υπόψη και τις καταχωρήσεις των γειτονικών χωρών (Αλβανία, ΠΓΔΜ, Τουρκία)

Σε καθεμία από τις περιοχές απονομής θα εγκατασταθούν τα απαραίτητα κέντρα εκπομπής (156 συνολικά στη χώρα) έτσι ώστε να δημιουργείται ένα αποτελεσματικό μονοσυχνικό δίκτυο ανά περιοχή (Single Frequency Network – SFN].

Σε κάθε SFN, τα κέντρα εκπομπής συγχρονίζονται και εκπέμπουν τηλεοπτικό πρόγραμμα στις ίδιες συχνότητες. Για παράδειγμα, στην περιοχή απονομής 3, της Θάσου, και τα τρία κέντρα εκπομπής («Θάσος», «Βασιλάκι» και «Ξάνθη») θα εκπέμπουν το τηλεοπτικό πρόγραμμα των ιδιωτικών σταθμών εθνικής εμβέλειας στη συχνότητα 32 και 37.

Αυτό είναι και ένα από τα πλεονεκτήματα της επίγειας ψηφιακής ευρυεκπομπής, η «οικονομία» φάσματος που δημιουργείται στο δίκτυο μέσω του συγχρονισμού των κέντρων.

Περιοχή απονομής(allotment/SFN)	Όνομα SFN	Δίαυλοι/Συχνότητες
3	THASSOS	22 23 37 39 41 44 47 51
4	PAGGAIO	26 28 32 35 40 45 52 53
5	THESSALONIKI	24 27 30 36 43 48 55 56
6	XALKIDIKI	25 31 34 38 46 49 50 54

Κύρια κέντρα εκπομπής ανά περιοχή απονομής

#### 4. Καλύψεις ανά κέντρα εκπομπής

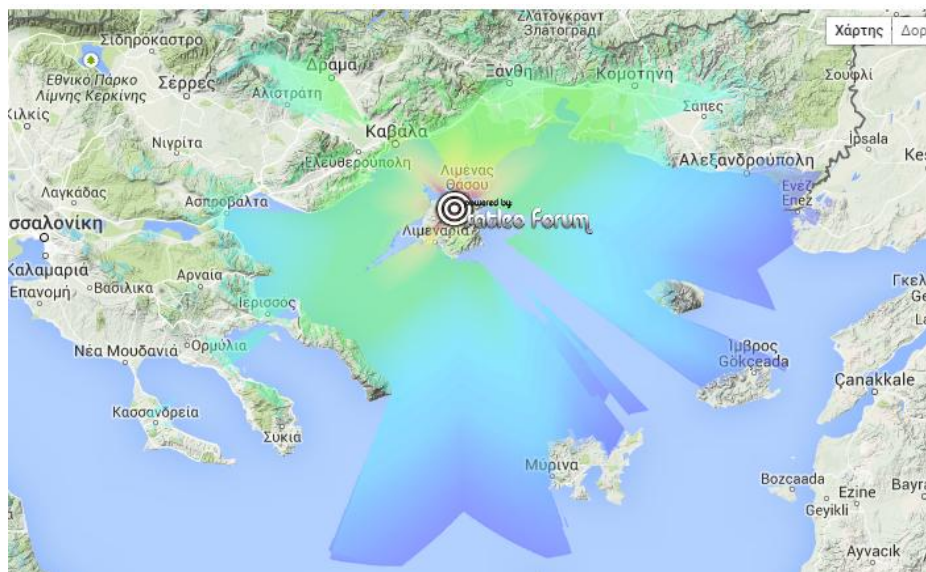


Μικρότερη ένταση

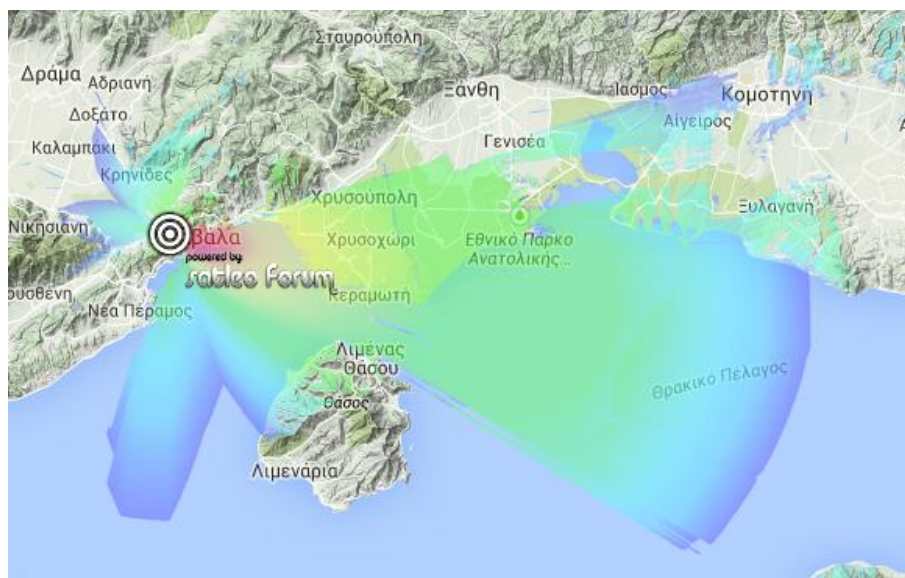
Μεγαλύτερη ένταση

#### Allotment 3 – THASSOS

##### ΘΑΣΟΣ



##### ΒΑΣΙΛΑΚΙ

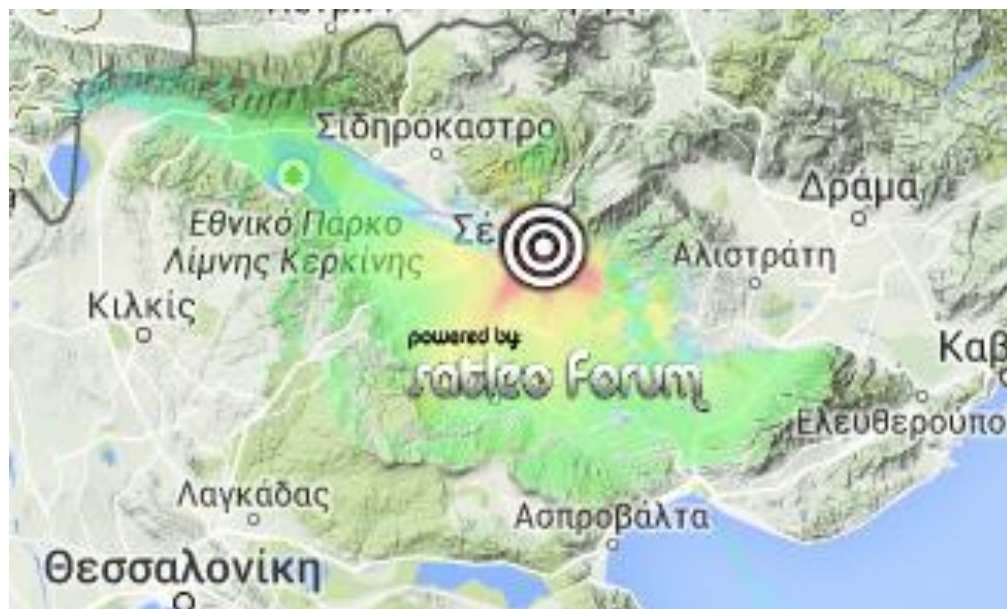


## ΞΑΝΘΗ

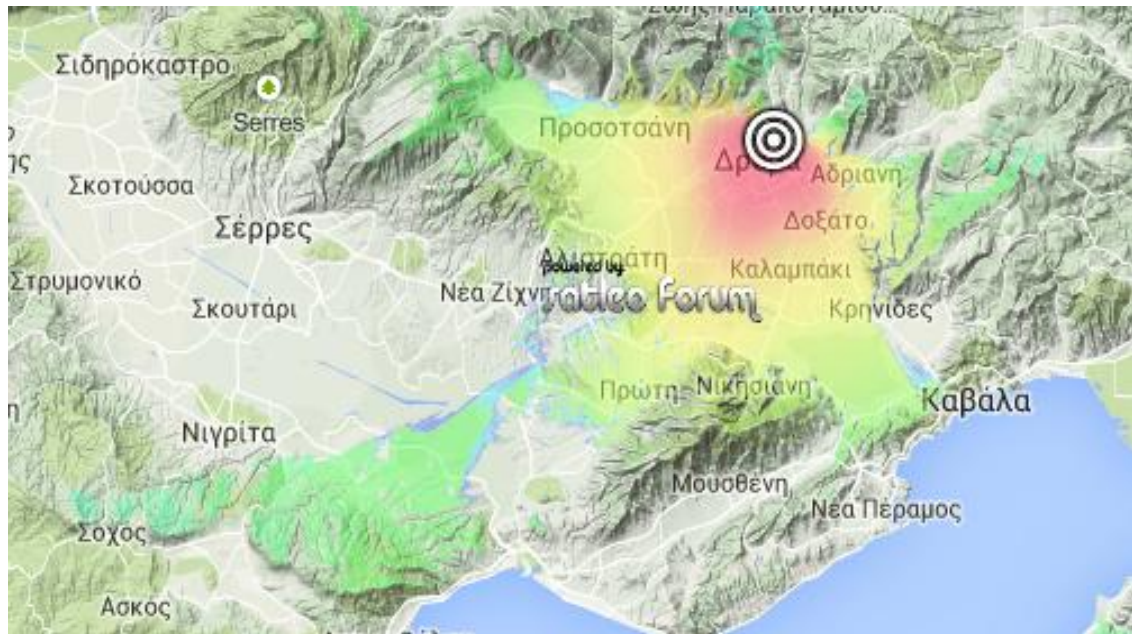


## Allotment 4 - PAGGAIO

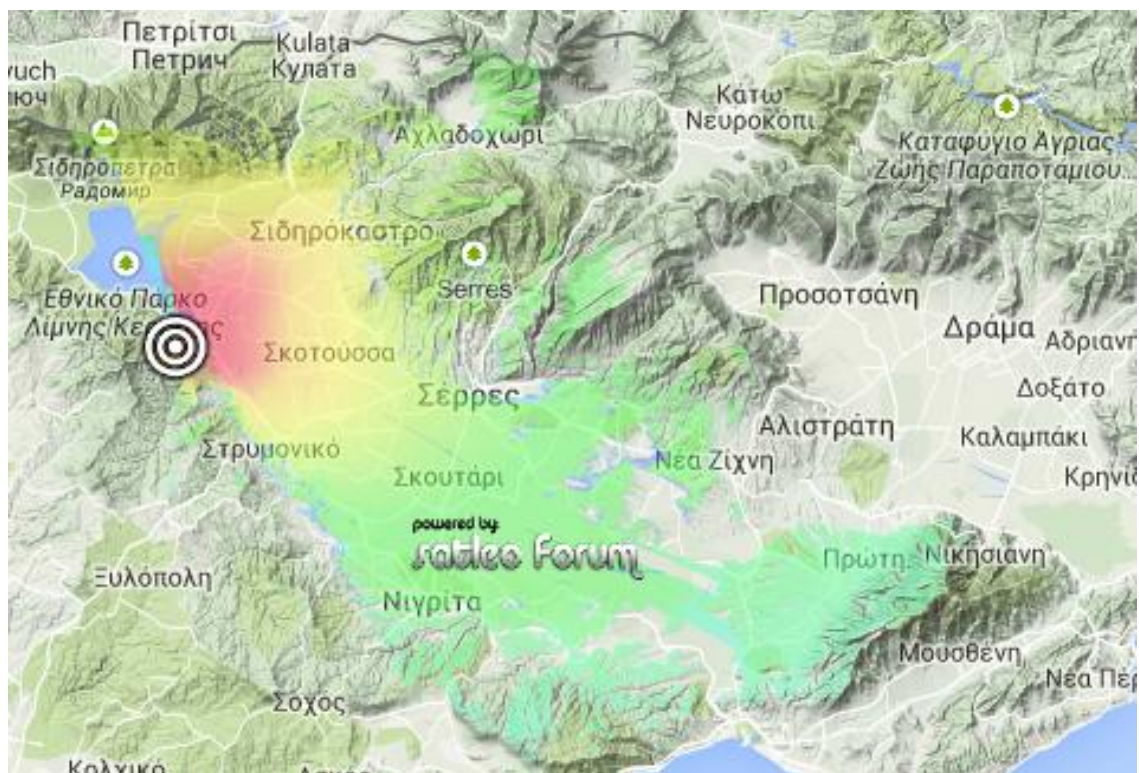
## ΣΕΡΡΕΣ



## ΚΟΡΥΛΟΒΟΣ



## ΛΙΘΟΤΟΠΟΣ

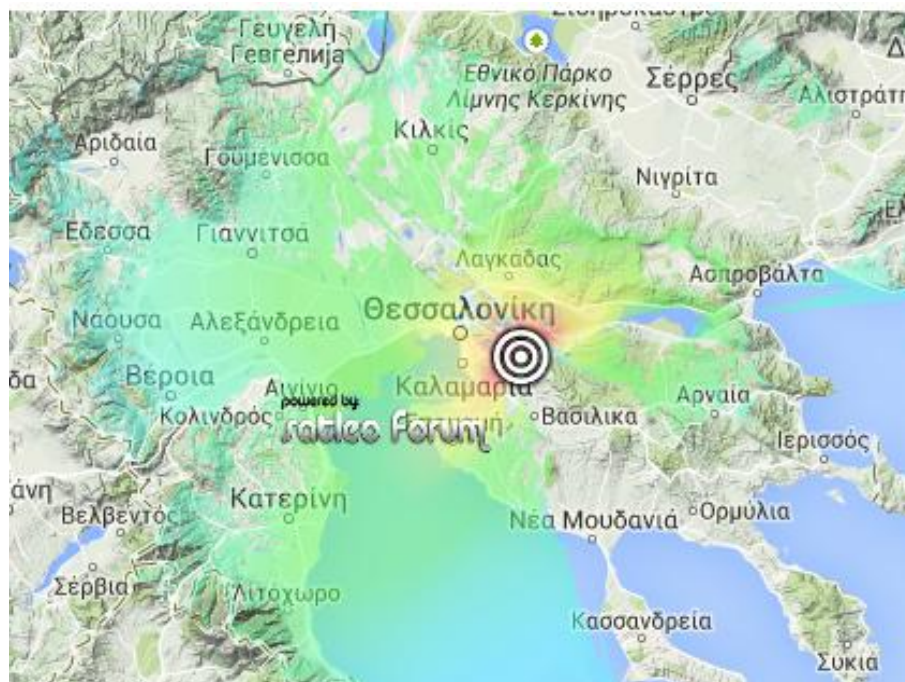


## ΝΕΥΡΟΚΟΠΙ



## Allotment 5 - THESSALONIKI

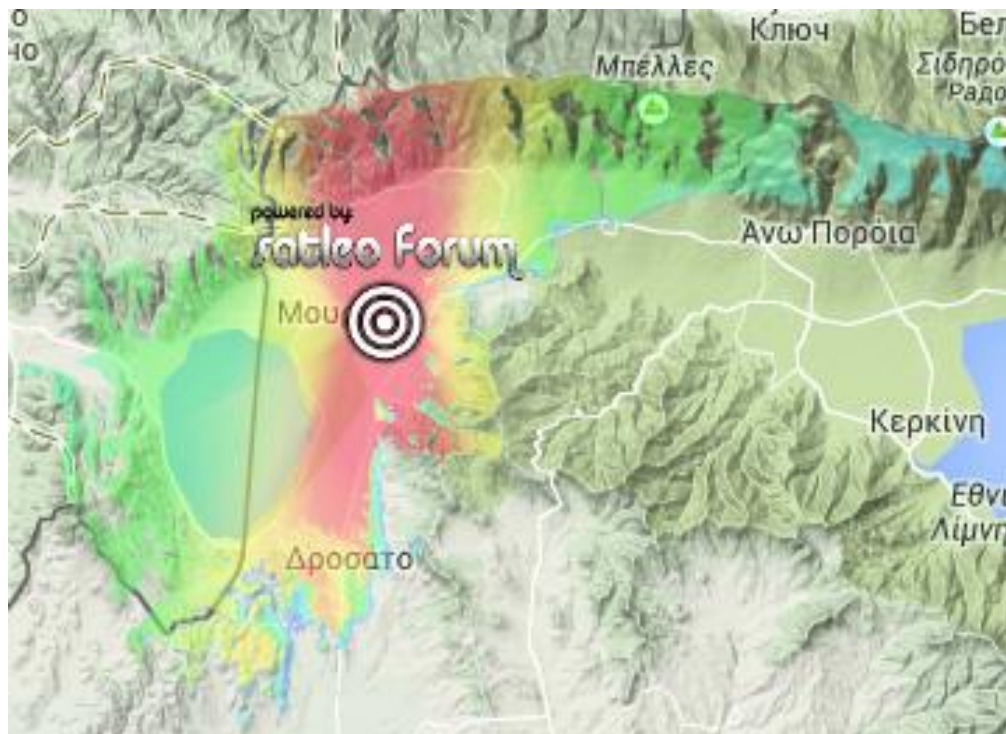
### ΧΟΡΤΙΑΤΗΣ



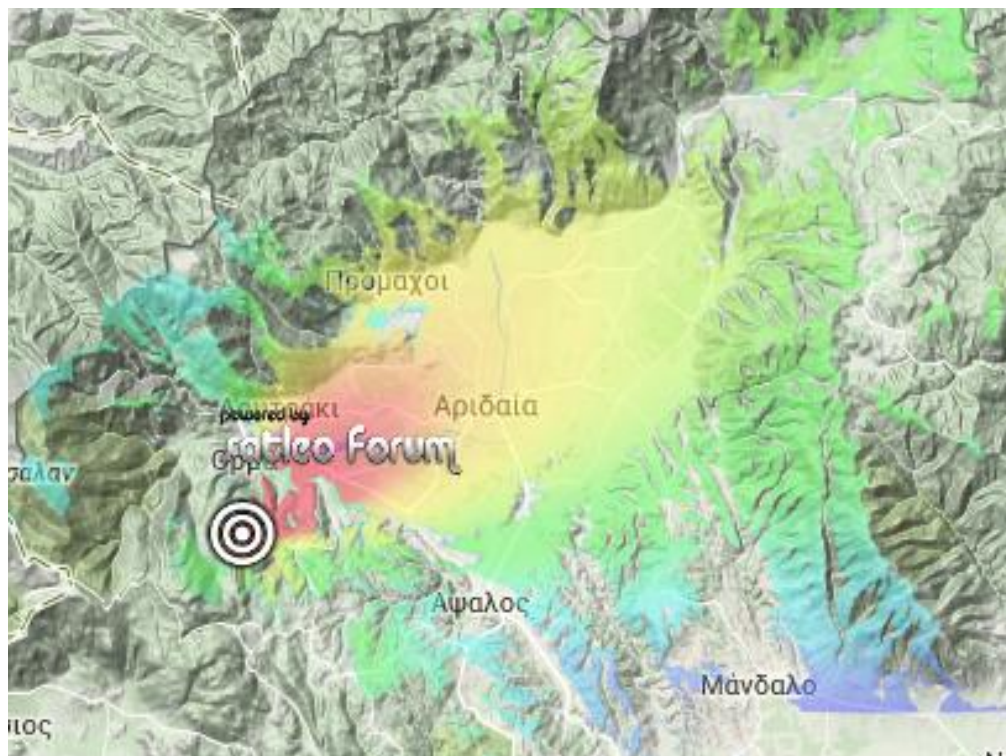
### ΦΙΛΙΠΠΕΙΟ



## ΜΟΥΡΙΕΣ



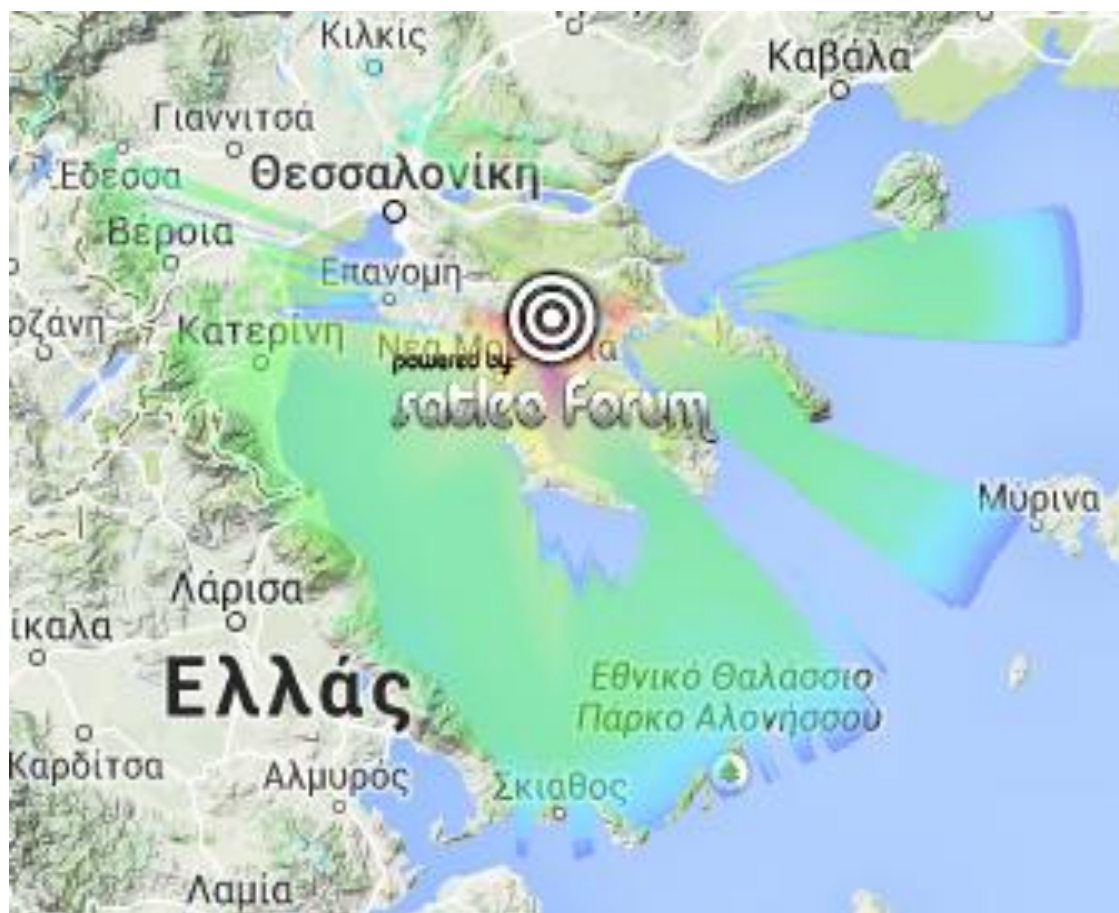
## ΑΡΙΔΑΙΑ





## Allotment 6 – ΧΑΛΚΙΔΙΚΙ

### ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ



#### 5. Συντονισμός με γειτονικές χώρες

Αν η πλειοψηφία των γειτονικών κρατών της Ελλάδας υιοθετήσει εναρμονισμένη χρήση, απελευθερώνοντας την ζώνη συχνοτήτων 790-862 MHz για την ανάπτυξη μη ραδιοηλεκτρικών υπηρεσιών, όπως οι κινητές υπηρεσίες, θα υπάρχουν σχετικά λίγοι περιορισμοί στη χρήση φάσματος. Παρά το γεγονός, όμως, ότι υπάρχουν διασυνοριακές συμφωνίες, κάποιες γειτονικές χώρες είναι πιθανό να εκμεταλλευτούν τις συχνότητες που απελευθερώνονται για να εκπέμπουν αναλογικά, ενώ κάποιες άλλες να ξεκινήσουν νωρίτερα να εκπέμπουν ψηφιακά. Σύμφωνα με την Digea, η λύση είναι μονόδρομος: Γρήγορη μετάβαση και κάλυψη των ψηφιακών συχνοτήτων, γιατί αυτές αποτελούν το μέλλον.

## 6. Παρεμβολή SFN δικτύου

Σε ένα SFN δίκτυο πρέπει να υπολογίσουμε τόσο την εξερχόμενη παρεμβολή που δημιουργεί όσο και την ενδο-παρεμβολή που δημιουργείται σε αυτό.

### 6.1 Εξερχόμενη παρεμβολή SFN δικτύου

Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται η εξερχόμενη παρεμβολή που δημιουργεί ένα SFN δίκτυο έχει συμφωνηθεί, έτσι ώστε να αντιμετωπίζονται ισότιμα όλες οι πιθανές περιπτώσεις συνδυασμών με allotments και assignments.

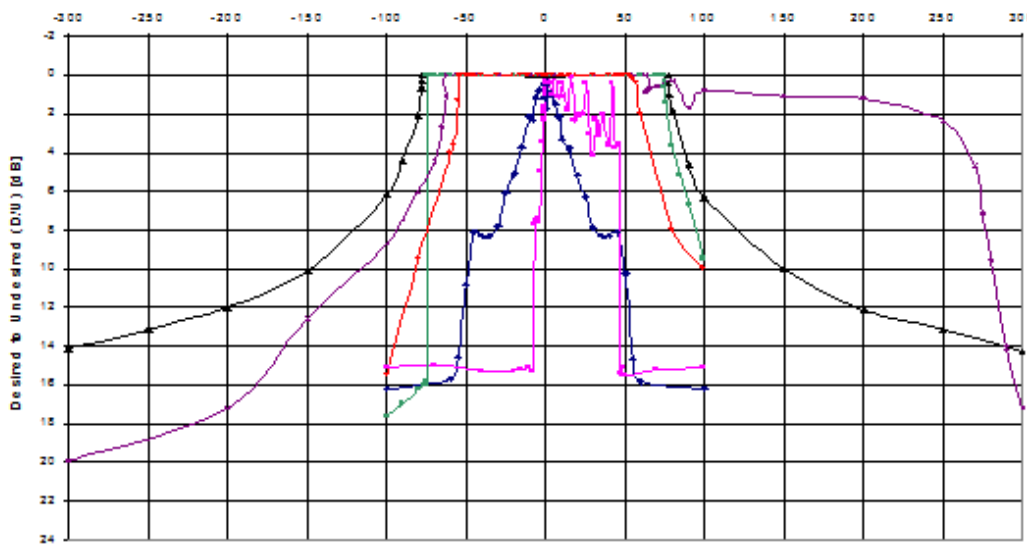
- Σε περίπτωση που το SFN δίκτυο αποτελείται από πολλά assignments, η ολική παρεμβολή υπολογίζεται με την "power sum method" από το πεδίο παρεμβολής καθενός μόνου του assignment. Η ενδο-παρεμβολή στο SFN δίκτυο υπολογίζεται από τα ατομικά πεδία του κάθε assignment.
- Σε περίπτωση που το SFN δίκτυο αποτελείται από ένα ή περισσότερα assignments με ένα SFN αναγνωριστικό, συνδεδεμένα στο ίδιο allotment, η εξερχόμενη παρεμβολή είναι το μεγαλύτερο από τα:
  - το συνολικό πεδίο παρεμβολής υπολογισμένο με την "power sum method" από το πεδίο παρεμβολής καθενός μόνου του assignment
  - την παρεμβολή από το αντίστοιχο δίκτυο αναφοράς RN που σχετίζεται με το allotment

Η παρεμβολή που δημιουργείται στο allotment υπολογίζεται στα σημεία που ορίζουν το allotment.

- Σε περίπτωση που το SFN δίκτυο αποτελείται από ένα μόνο assignment συνδεδεμένο σε ένα allotment, όχι όμως με το ίδιο SFN αναγνωριστικό, η εξερχόμενη παρεμβολή είναι αυτή που δημιουργείτο assignment. Η παρεμβολή που δημιουργείται στο allotment υπολογίζεται στα σημεία που ορίζουν το allotment.
- Σε περίπτωση που το SFN δίκτυο αποτελείται από ένα allotment η παρεμβολή υπολογίζεται από το αντίστοιχο δίκτυο αναφοράς RN που σχετίζεται με το allotment.

## 6.2 Ενδο-παρεμβολή (self – interference) SFN δικτύου

Ένα χαρακτηριστικό των SFNs που χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή είναι η παρεμβολή μεταξύ των πομπών που ανήκουν στο δίκτυο SFN. Αν θεωρήσουμε ένα δέκτη κοντά στα άκρα της περιοχής κάλυψης, αυτός γενικά λαμβάνει σήματα από πολλούς σταθμούς που εκπέμπουν το ίδιο πρόγραμμα. Παρόλο που τα σήματα αυτά είναι συγχρονισμένα στους πομπούς, φτάνουν στο δέκτη με διαφορετικές καθυστερήσεις, και δεν μπορούν να διαχωριστούν από σήματα πολλαπλών διαδρομών, δεδομένου ότι η διαμόρφωση είναι ακριβώς η ίδια. Όταν τα σήματα από απομακρυσμένους σταθμούς βάσης καθυστερούν περισσότερο από τη διάρκεια του “guard interval”, συμπεριφέρονται ως θορυβώδη παρεμβάλλοντα σήματα.



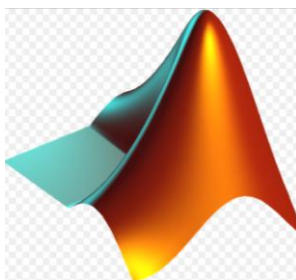
Οι παράγοντες που σχετίζονται με την ενδογενή παρεμβολή είναι:

- Η διάρκεια του “guard interval”
- Η καθυστέρηση μεταξύ των σημάτων
  - Απόσταση διαχωρισμού των σταθμών
  - Τεχνητές καθυστερήσεις
  - Καθυστερήσεις σε συνδέσμους διανομής
- Πεδίο παρεμβάλλοντος σήματος
  - Ραδιοδιάυλος διάδοσης
  - BER
  - C/N

Για την επίλυση του προβλήματος στις περισσότερες περιπτώσεις κατά τον σχεδιασμό του δικτύου λαμβάνονται τα εξής μέτρα:

- Αύξηση του "guard interval"
- Προσθήκη τεχνητής καθυστέρησης σε έναν από του πομπούς
- Μείωση της E.I.R.P.
- Προσθήκη fill-in πομπού
- Αφαίρεση πομπού από το SFN, δηλαδή χρησιμοποίηση διαφορετικής συχνότητας.

## 7. Προσομοίωση αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό πρόγραμμα matlab



Θα εργαστούμε πάνω στα 4 προαναφερθέντα allotments (Θάσος, Παγγαίο, Θεσσαλονίκη, Χαλκιδική). Γνωρίζοντας τις καλύψεις για καθένα από αυτά τα allotments, μπορούμε να εξετάσουμε για κάποια περιοχή ενδιαφέροντος (Area of Interest) αν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε whitespace. Θα ορίσουμε ένα όριο (boundary) και θα εξετάζουμε για κάθε pixel αν έχουμε ή όχι υπέρβαση αυτού του ορίου.

Αρχικά επιλέγουμε μια περιοχή ενδιαφέροντος τυχαίας επιλογής. Ορίζουμε τις κορυφές Upper Left, Lower Right σε Longitude, Latitude. Έτσι έχω:

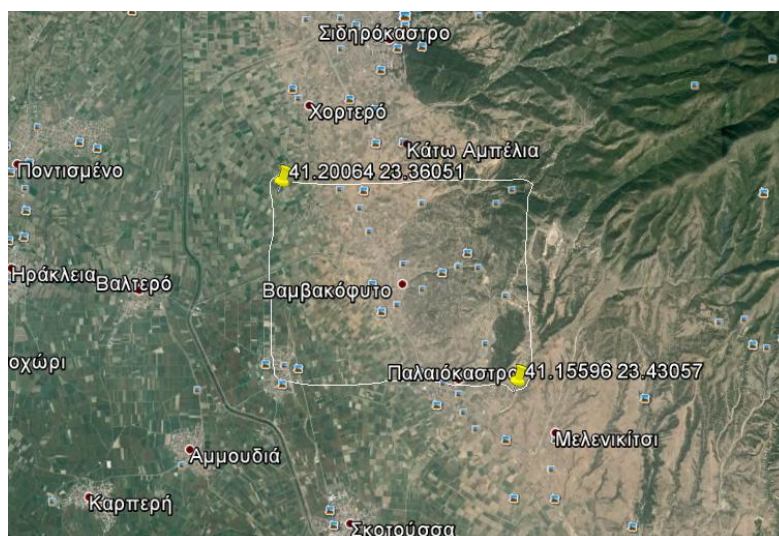
ULlon = 23.36051

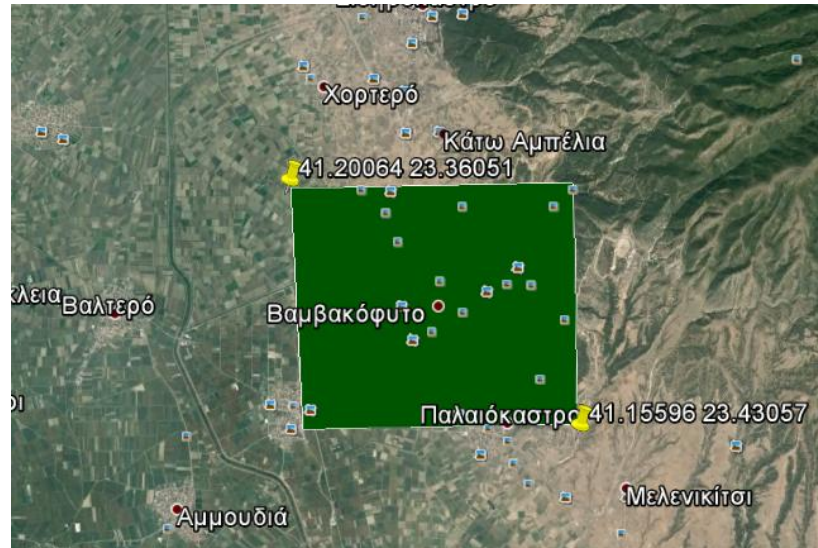
ULLat = 41.20064

LRlon = 23.43057

LRLat = 41.15596

Η απεικόνιση του χωρίου αυτού στο Google Earth φαίνεται παρακάτω στη μορφή 'διαδρομής' αλλά και στη μορφή 'πολυγώνου'.





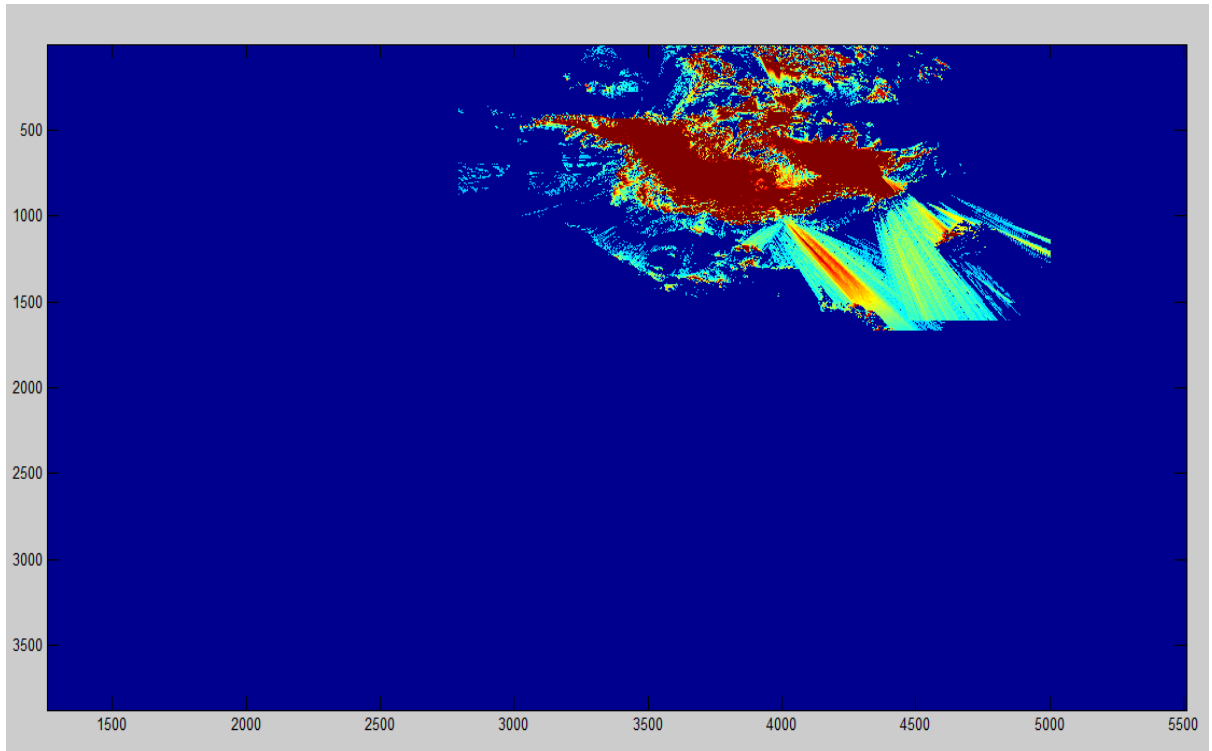
Επόμενο βήμα είναι να μετατρέψουμε αυτές τις συντεταγμένες σε μορφή κατάλληλη για περαιτέρω επεξεργασία. Πιο συγκεκριμένα, οι μεταβλητές που χρησιμοποιούμε ( $ULlon = 23.36051$ ,  $ULlat = 41.20064$ ,  $LRlon = 23.43057$ ,  $LRlat = 41.15596$ ) είναι στο σφαιρικό σύστημα συντεταγμένων WGS84 (φ,λ) ενώ η επιθυμητή μορφή είναι σε επίπεδο πλέγμα (x,y). Έτσι, στο matlab τα δεδομένα που εισάγουμε είναι σε μορφή (x,y). Στη μορφή αυτή (x,y) έχουμε και την κάλυψη της Ελλάδας σε έναν πίνακα με διαστάσεις  $7752 \times 8510$ . Συνεπώς από αυτόν τον πίνακα επιλέγουμε μια υποπεριοχή  $50 \times 64$ , που βρίσκεται στο allotment Παγγαίο, η οποία θα είναι η περιοχή ενδιαφέροντος μας (**Area of Interest - AoI**). Η επιλογή των διαστάσεων δεν είναι τυχαία καθώς οι καλύψεις των allotments που μας ενδιαφέρουν και οι πίνακες που έχουμε έχουν ανάλογες διαστάσεις.

Επόμενο στάδιο είναι φορτώνοντας τις καλύψεις για κάθε allotment, να δούμε αν στην περιοχή ενδιαφέροντος μπορούμε να εγκαταστήσουμε whitespace device.

Ξεκινώντας απ' το Παγγαίο έχω:

**Παγγαίο**

Κάνοντας image την κάλυψη του Παγγαίου (είναι σε dBm) έχω:



-Κάλυψη Παγγαίου

Στις περιοχές με κόκκινο (■) η ένταση του πεδίου είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες περιοχές, στις περιοχές με κίτρινο (■) είναι λίγο μικρότερη και στις με κυανό και μπλε η ένταση είναι μικρή (■) ή μηδενική (■).

Για να γίνει ευκολότερα κατανοητό παραθέτουμε διάφορα στιγμιότυπα έντασης πεδίου απ το matlab.

Περιοχή με (■) αυξημένη ένταση πεδίου:

Screenshot 1

PaggaiCov <7752x8510 double>										
	4004	4005	4006	4007	4008	4009	4010	4011	4012	4013
485	89	90	90	89	89	61	66	47	67	87
486	89	90	90	90	89	89	88	81	88	87
487	89	90	90	90	90	89	89	88	88	88
488	89	89	90	90	90	89	89	89	88	88
489	88	89	89	90	90	90	89	89	89	88
490	87	87	88	89	89	89	89	89	89	89
491	87	88	88	88	89	89	89	89	89	89
492	88	88	88	88	88	89	89	89	89	89
493	88	88	88	88	88	89	89	89	89	89
494	88	89	88	88	88	89	89	89	89	89
495	89	89	89	85	89	89	89	89	89	89

## Screenshot 2

14	30	32	33	34	33	39	43	47	61	66	66	66
15	25	0	24	24	28	29	36	39	49	66	66	66
16	0	0	0	22	22	30	31	35	41	52	66	66
17	0	0	0	21	21	29	29	32	36	43	55	66
18	0	0	0	21	20	28	28	30	34	37	40	58
19	0	20	22	20	27	26	28	28	28	33	32	34

Παρατηρώ ότι υπάρχουν ριχελμέχρι και 90dBm ενώ υπάρχουν και γειτονικά με εντάσεις λίγα dBm παρακάτω.

Περιοχή με μειωμένη ένταση πεδίου (■):

## Screenshot 3

57	44	35	32	28	28	27	24	26
58	43	34	27	25	26	25	23	24
59	42	35	27	23	24	22	0	0
60	38	33	25	21	22	20	0	0
61	35	30	21	0	20	0	0	0
62	33	28	0	0	0	0	0	0
63	31	25	0	0	0	0	0	0
64	25	21	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0	0	0	0

Περιοχές με μηδενική ένταση πεδίου (■):

## Screenshot 4

PaggaioCov <7752x8510 double>								
	204	205	206	207	208	209	210	211
549	0	0	0	0	0	0	0	0
550	0	0	0	0	0	0	0	0
551	0	0	0	0	0	0	0	0
552	0	0	0	0	0	0	0	0
553	0	0	0	0	0	0	0	0
554	0	0	0	0	0	0	0	0
555	0	0	0	0	0	0	0	0
556	0	0	0	0	0	0	0	0
557	0	0	0	0	0	0	0	0
558	0	0	0	0	0	0	0	0



Επόμενο βήμα είναι να εξετάσουμε αν για την περιοχή ενδιαφέροντος που έχουμε επιλέξει μπορούμε να εγκαταστήσουμε whitespace. Το κριτήριο μας θα είναι μια στάθμη έντασης πεδίου. Το όριο θα είναι τα 52 dBm. Έτσι αν η ένταση σε μια περιοχή είναι μικρότερη από αυτό το κατώφλι τότε μπορούμε να εγκαταστήσουμε whitespace.

Να υπενθυμίσουμε ότι η περιοχή ενδιαφέροντος (Area of Interest) βρίσκεται μέσα στο SFN Παγγαίο.



Επίσης στο matlab έχουμε κανονικοποιήσει τη περιοχή ενδιαφέροντος σε διαστάσεις 50\*64 για λόγους ευκολίας.

Η έξοδος του κώδικα μας που δείχνει την ένταση που δέχεται κάθε pixel στην AoI από το SFN Παγγαίο.





Οι μπλε κουκίδες δηλώνουν απαγορευμένες περιοχές. Για να βρούμε το ποσοστό των περιοχών αυτών διαιρούμε τα απαγορευμένα pixels με τον συνολικό αριθμό των pixels.

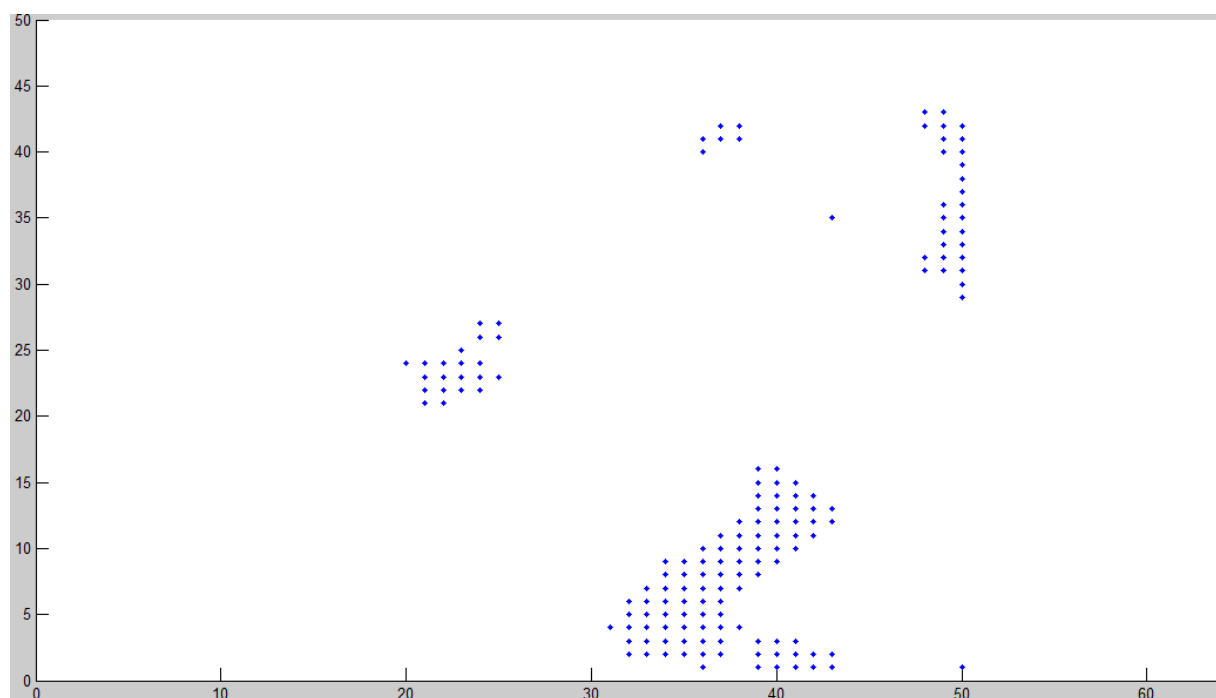
Εδώ για να καθορίσουμε μια περιοχή κατάλληλη ή όχι, θεωρούμε πως όταν το ποσοστό των pixels που υπερβαίνουν το όριο είναι μεγαλύτερο από 5%, η περιοχή είναι ακατάλληλη.

Στην περίπτωση μας, λαμβάνουμε:

```
Command Window
>> pos
pos =
      0.075625
fx >>
```

Το ποσοστό είναι 7,56% > 5% άρα καλό θα ήταν να μην εγκαταστήσουμε συσκευή whitespace.

Αμα αυξήσουμε την ευαισθησία σε 62 dBm, η προσομοίωση στο matlab δίνει:



-Απεικόνιση απαγορευμένων για κατώφλι 62dBm

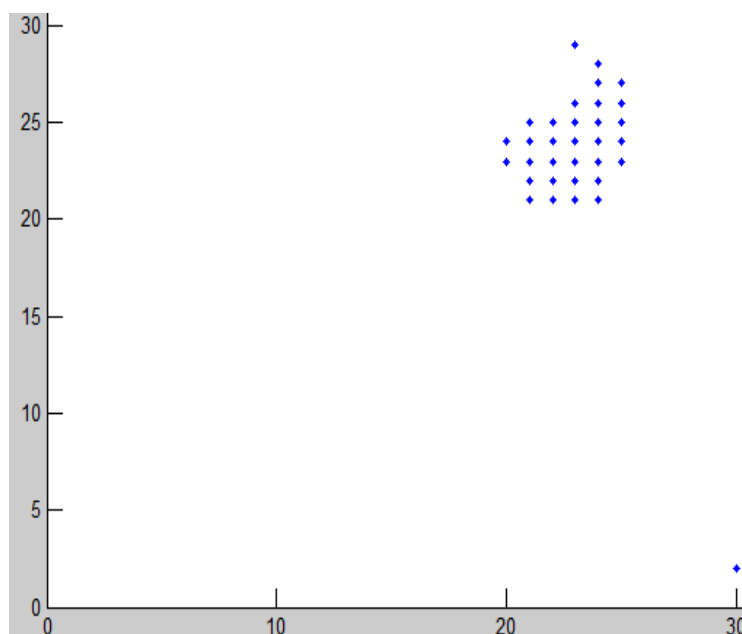
Το ποσοστό των ριχείπου υπερβαίνουν το όριο είναι  $4,81\% < 5\%$

```
Command Window
>> pos
pos =
0.048125
```

Άρα τώρα τηρούνται οι προϋποθέσεις για μια πιθανή εγκατάσταση whitespace.

Εναλλακτικά στην πρώτη περίπτωση (52 dBm) μπορούμε να επιλέξουμε μια υπο-περιοχή που δεν υπάρχει πεδίο και να εγκαταστήσουμε εκεί whitespace.

Για παράδειγμα στο παρακάτω σχήμα, το τετράγωνο [20\*20] δεν δέχεται πεδίο, άρα δεν έχω πρόβλημα.



-Απεικόνιση απαγορευμένων για κατώφλι 52dBm

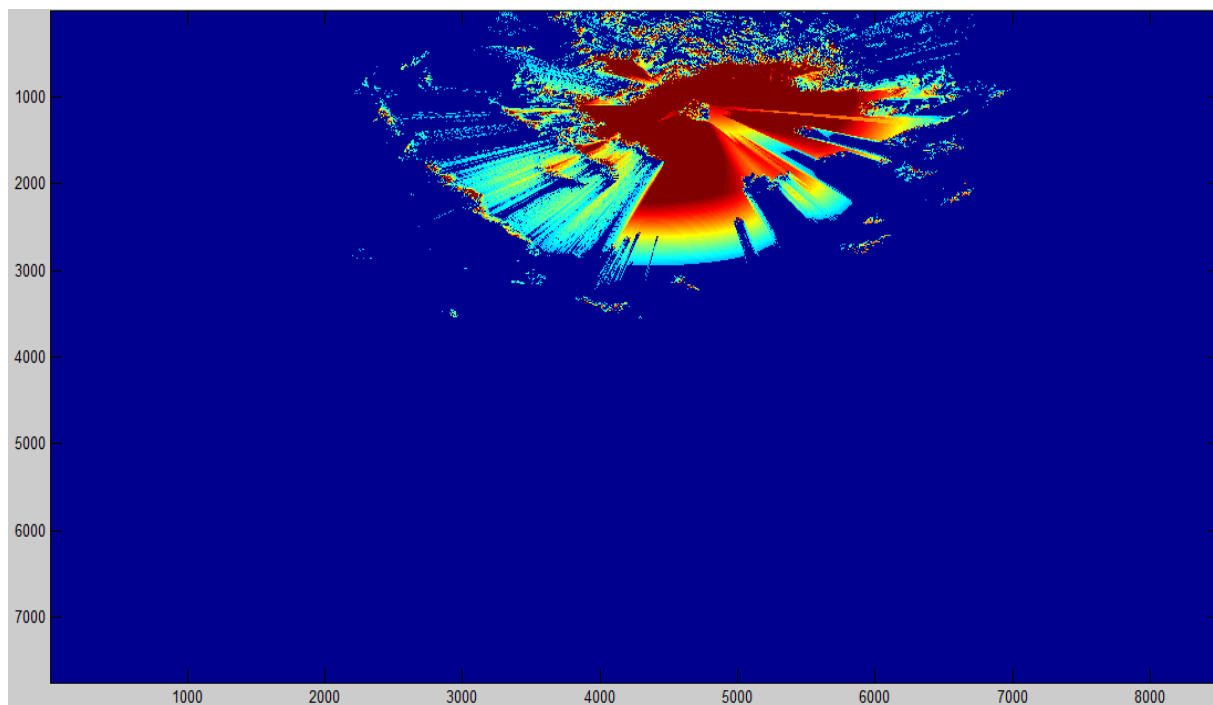
Συνεπώς ανάλογα με το κριτήριο που επιλέξουμε και βρούμε την κατάλληλη περιοχή που είναι διαθέσιμη, μπορώ να λειτουργήσω whitespace στο SFN Παγγαίο στις διαθέσιμες συχνότητες, που όπως μας έχουν αποδοθεί είναι:

Περιοχή απονομής(allotment/SFN)	Όνομα SFN	Δίαυλοι/Συχνότητες
4	PAGGAIO	26 28 32 35 40 45 52 53

Με την ίδια λογική θα δουλέψουμε και για τα άλλα allotments.

## Θάσος

Κάνοντας image την κάλυψη της Θάσου (είναι σε dBm) έχω:



-Κάλυψη Θάσου

Όπως πριν, στις περιοχές με κόκκινο (■) η ένταση του πεδίου είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες περιοχές, στις περιοχές με κίτρινο (■) είναι λίγο μικρότερη και στις με κυανό και μπλε η ένταση είναι μικρή (■) ή μηδενική (■).

Παρακάτω παραθέτουμε στιγμιότυπα έντασης πεδίου απ το matlab.

Screenshot 1:

Thassos <7752x8510 double>									
	3695	3696	3697	3698	3699	3700	3701	3702	
961	50	42	56	66	60	46	47	47	47
962	38	49	75	75	70	56	62	62	62
963	73	73	73	72	69	66	72	69	69
964	65	69	70	68	65	63	61	58	58
965	53	62	62	61	59	57	61	59	59
966	51	56	57	56	55	58	57	54	54
967	51	53	54	55	53	52	51	47	47
968	46	49	53	50	47	44	44	42	42
969	47	49	49	46	43	38	37	37	37
970	38	41	44	44	42	38	33	31	31
971	44	44	39	41	39	34	31	30	30
972	38	39	35	34	34	32	29	28	28
973	35	35	32	31	31	31	29	27	27

Screenshot 2:

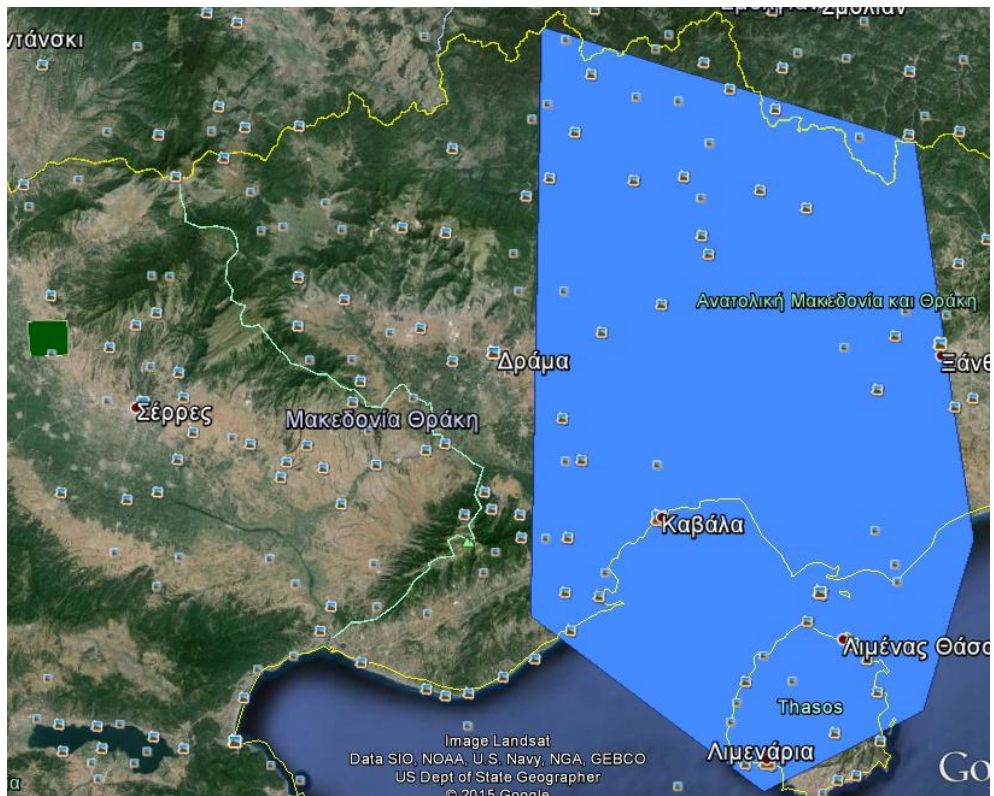
Thassos <7752x8510 double>									
	3791	3792	3793	3794	3795	3796	3797	3798	
910	33	33	25	30	30	30	30	30	25
911	30	30	30	26	26	33	29	0	
912	20	28	28	32	31	30	28	25	
913	0	0	21	20	23	20	28	25	
914	24	24	29	28	24	24	20	0	
915	0	22	26	30	32	34	31	28	
916	22	24	26	31	34	34	34	34	
917	25	25	26	31	34	34	34	34	
918	25	27	28	32	35	35	34	34	
919	25	29	32	33	34	34	33	34	
920	26	31	32	34	34	34	34	33	
921	26	31	32	34	34	34	34	34	
922	25	30	34	34	34	34	32	32	

Screenshot 3

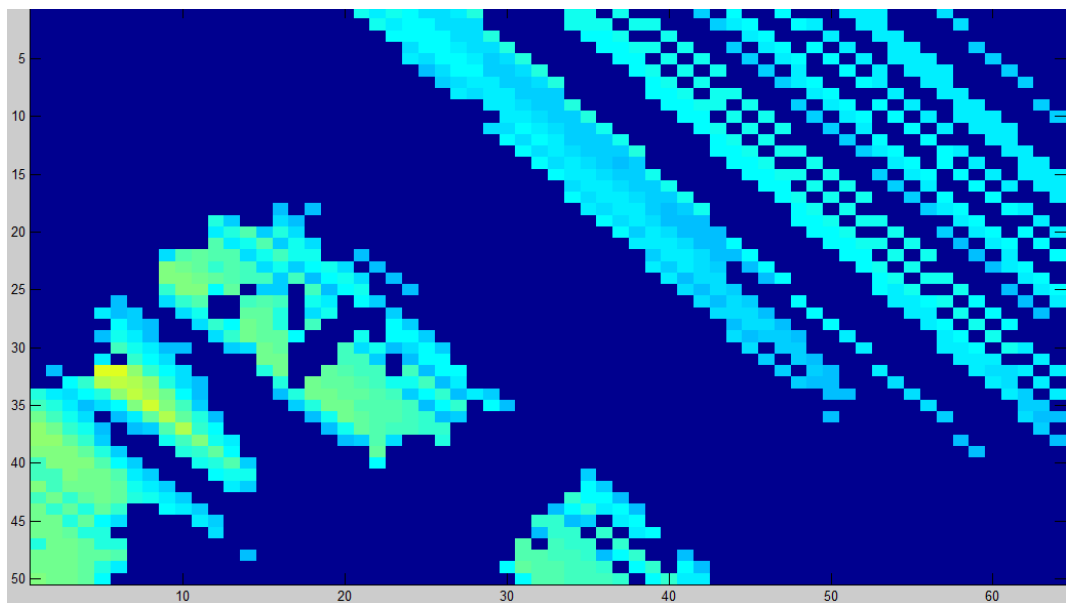
Thassos <7752x8510 double>									
	3791	3792	3793	3794	3795	3796	3797	3798	
1204	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1205	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1206	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1207	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1208	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1209	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1210	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1211	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1212	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1213	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1214	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Συνεχίζοντας εξετάζουμε αν για την περιοχή ενδιαφέροντος που έχουμε επιλέξει μπορούμε να εγκαταστήσουμε whitespace. Το κριτήριο μας θα είναι μια στάθμη έντασης πεδίου. Το όριο θα είναι τα 52 dBm. Έτσι αν η ένταση σε μια περιοχή είναι μικρότερη από αυτό το κατώφλι τότε μπορούμε να εγκαταστήσουμε whitespace.

Παρακάτω βλέπουμε τη περιοχή ενδιαφέροντος (Area of Interest) σε σχέση με το SFN Θάσος.



Η έξοδος του κώδικα μας που δείχνει την ένταση που δέχεται κάθε ρικελ στην Αοι από το SFN Θάσος είναι:

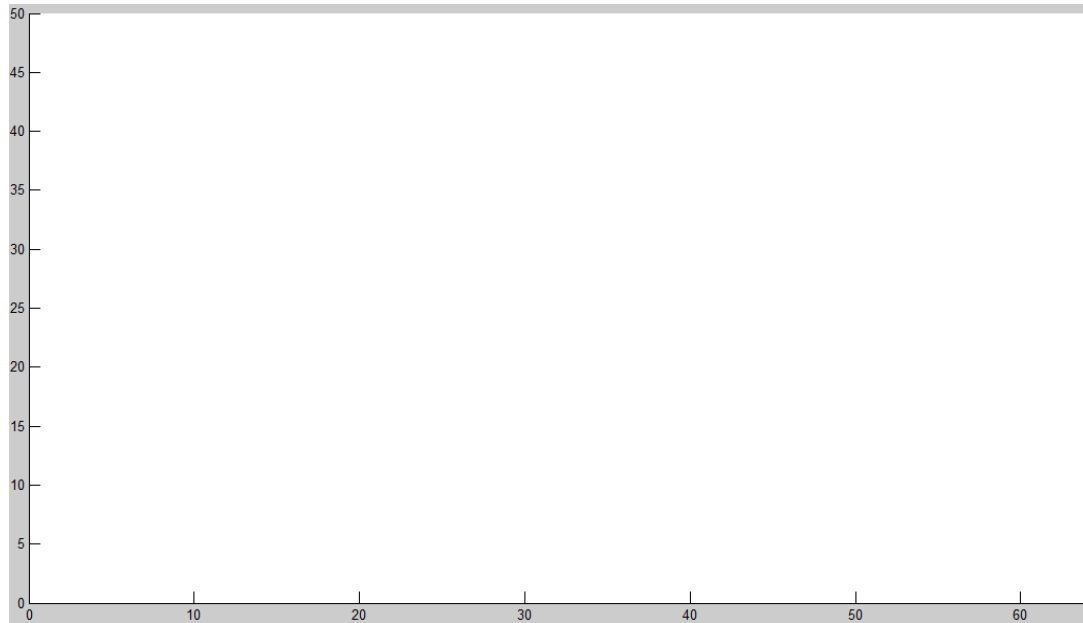


-Ένταση πεδίου στην Αοι από SFN Θάσος

Παρατηρούμε ότι η ένταση του πεδίου λαμβάνει σχετικά μικρές τιμές με βάση τα χρώματα της απεικόνισης.







-Απεικόνιση απαγορευμένων για κατώφλι 52dBm

```

Command Window
>> pos
pos =
    0

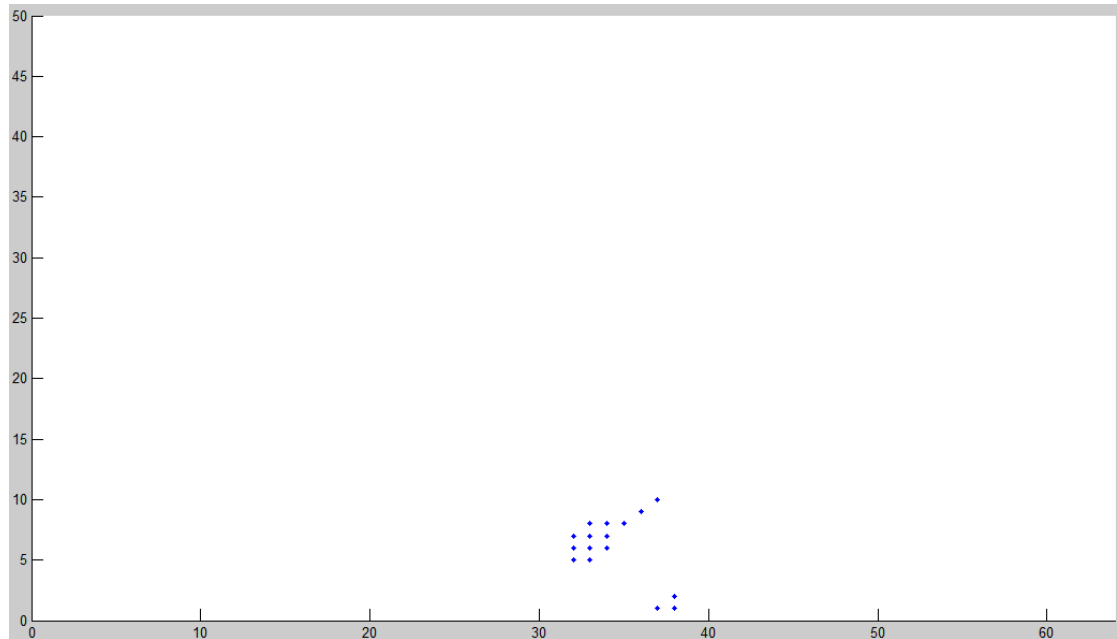
```

-Ποσοστό απαγορευμένων pixel

Παρατηρώ ότι δεν υπάρχουν απαγορευμένες περιοχές. Έτσι μπορούμε να λειτουργήσουμε στις συχνότητες που έχουν αποδοθεί στο SFN Θάσος.

Περιοχή απονομής(allotment/SFN)	Όνομα SFN	Δίαυλοι/Συχνότητες
3	THASSOS	22 23 37 39 41 44 47 51

Για να τσεκάρουμε την εγκυρότητα του κώδικα χαμηλώνουμε το κατώφλι (32 dBm) για να δούμε άμα υπάρχουν 'μπλε' περιοχές. Πράγματι:



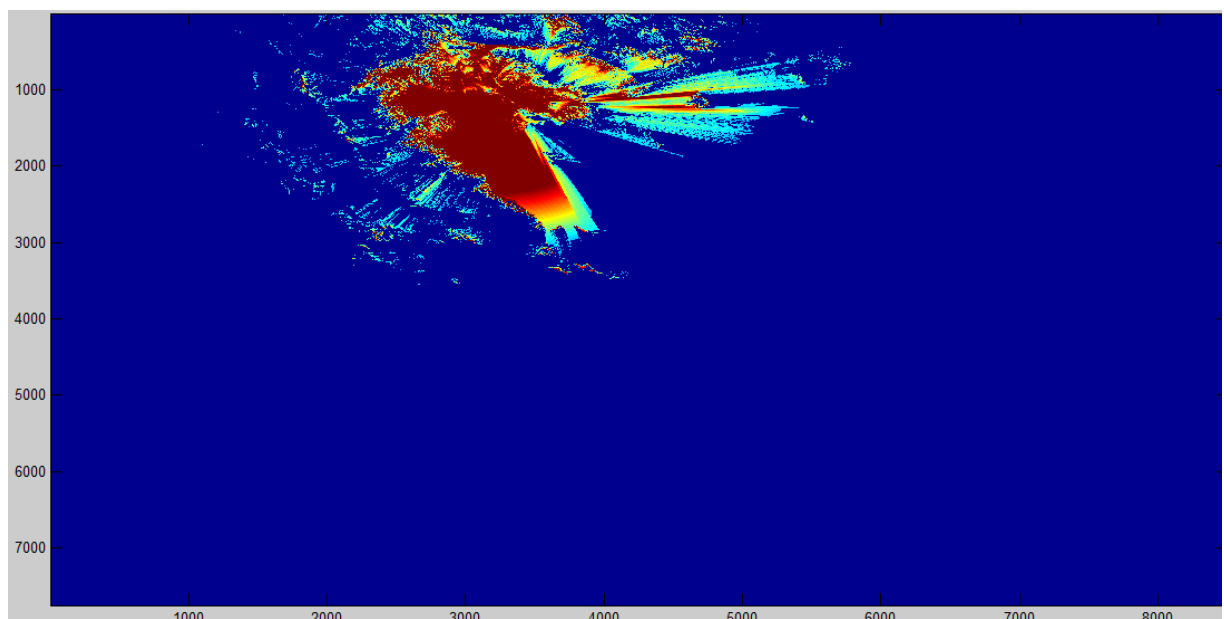
-Απεικόνιση απαγορευμένων για κατώφλι 32dBm

Command Window

```
>> pos
pos =
0.005
-Ποσοστό απαγορευμένων pixel
```

Θεσσαλονίκη

Κάνοντας image την κάλυψη της Θεσσαλονίκης (είναι σε dBm) έχω:



-Κάλυψη Θεσσαλονίκης

Παρομοίως, στις περιοχές με κόκκινο (■) η ένταση του πεδίου είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες περιοχές, στις περιοχές με κίτρινο (■) είναι λίγο μικρότερη και στις με κυανό και μπλε η ένταση είναι μικρή (■) ή μηδενική (■).

Παρακάτω παραθέτουμε στιγμιότυπα από το matlab σχετικά με την ένταση του πεδίου από περιοχή σε περιοχή.

Screenshot 1:

Thessaloniki <7752x8510 double>							
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0

Screenshot 2:

Thessaloniki <7752x8510 double>							
	3000	3001	3002	3003	3004	3005	3006
2100	76	76	76	76	71	63	76
2101	76	76	76	76	76	76	76
2102	76	74	76	76	76	76	76
2103	76	76	76	76	76	54	76
2104	76	76	76	76	76	56	76
2105	76	76	76	76	69	73	58
2106	58	76	76	76	76	76	63
2107	42	48	54	61	76	76	76
2108	26	33	40	45	44	51	61

Screenshot 3:

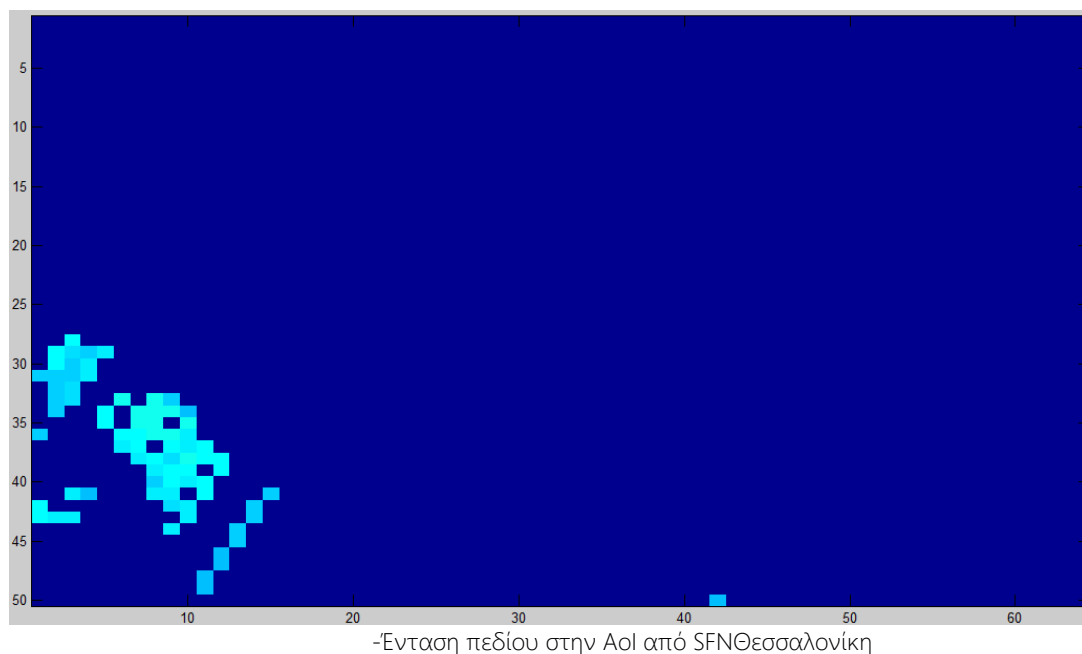
Thessaloniki <7752x8510 double>						
	3183	3184	3185	3186	3187	3188
2423	0	0	0	24	22	22
2424	0	0	0	20	21	0
2425	0	0	0	21	22	0
2426	0	20	20	0	21	22
2427	21	21	23	26	22	25
2428	27	22	30	26	23	27
2429	26	23	31	22	26	30
2430	29	25	23	24	28	34
2431	25	26	24	27	28	27
2432	0	20	23	26	25	28

Τώρα θα εξετάσουμε αν για την περιοχή ενδιαφέροντος που έχουμε επιλέξει μπορούμε να εγκαταστήσουμε whitespace. Το κριτήριο μας θα είναι τα 52 dBm.

Παρακάτω βλέπουμε τη περιοχή ενδιαφέροντος (Area of Interest) σε σχέση με το SFN Θεσσαλονίκη (5).



Η έξοδος του κώδικα μας που δείχνει την ένταση που δέχεται κάθε rixelστην Aoi από το SFN Θεσσαλονίκη είναι:



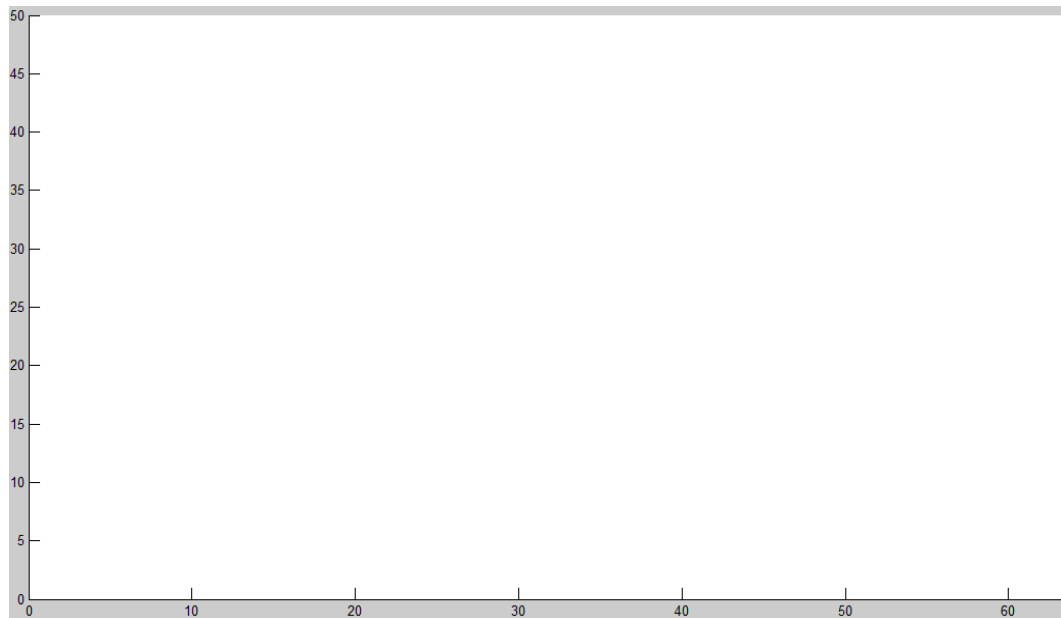
Βλέπουμε ότι στις περισσότερες περιοχές δεν έχουμε πεδίο (το μπλε επικρατεί) άρα θεωρητικά μπορούμε να λειτουργήσουμε στις συχνότητες που είναι διαθέσιμες. Πιο συγκεκριμένα η ακριβής ένταση κάθε rixel είναι:

# Screenshot 1

Aol <50x64 double>																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
28	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	24	22	21	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	24	21	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	21	21	21	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	21	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	21	22	0	0	25	0	25	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	21	0	0	24	0	25	25	25	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	24	0	25	25	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	21	0	0	0	0	0	24	24	25	25	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	23	24	0	24	23	24	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	23	24	22	25	24	24	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	23	24	24	0	24	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	24	23	24	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	23	20	0	0	0	23	23	0	24	0	0	0	21	0	0	0	0	0
42	24	0	0	0	0	0	0	0	22	23	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0
43	24	23	23	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Στις υπόλοιπες περιοχές είναι 0 η ένταση του πεδίου.

Πράγματι με κατώφλι τα 52 dBm:



-Απεικόνιση απαγορευμένων για κατώφλι 52dBm

```

Command Window
>> pos
pos =
    0

```

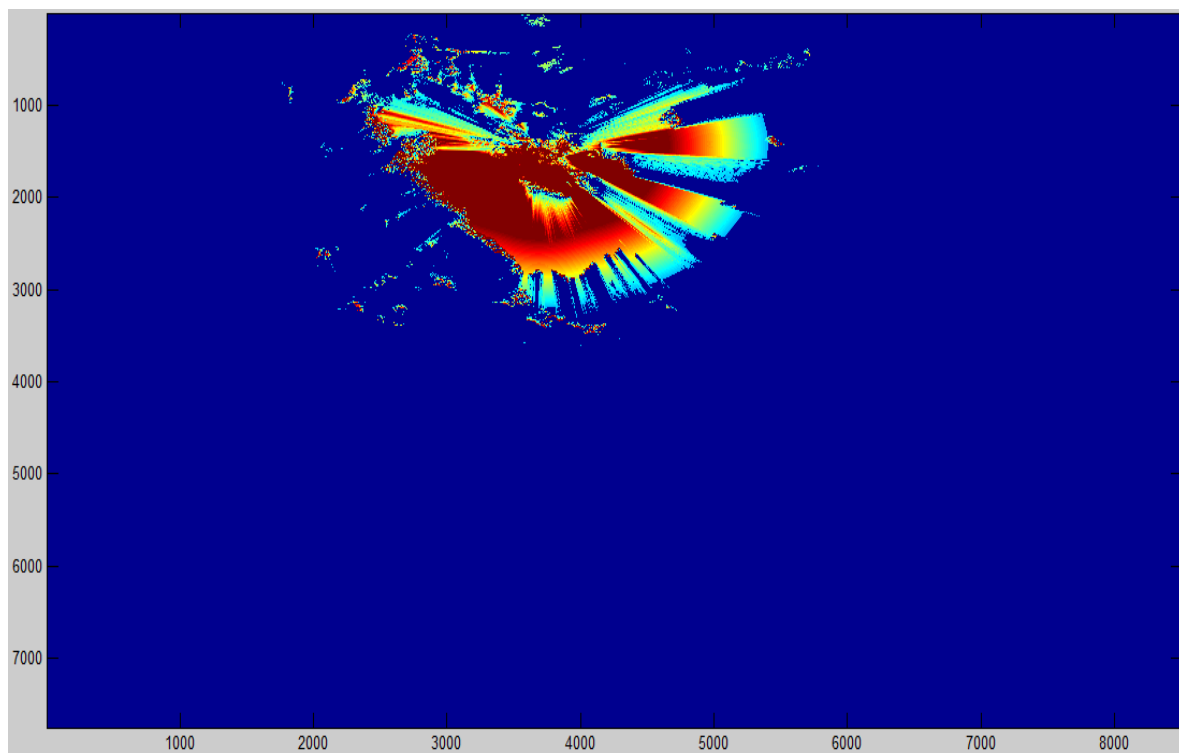
-Ποσοστό απαγορευμένων pixel

Συνεπώς τα κανάλια που έχουν αποδοθεί στο SFN Θεσσαλονίκη είναι διαθέσιμα για μετάδοση.

Περιοχή απονομής(allotment/SFN)	Όνομα SFN	Δίαυλοι/Συχνότητες
5	THESSALONIKI	24 27 30 36 43 48 55 56

### Χαλκιδική

Κάνοντας imagetην κάλυψη της Χαλκιδικής (είναι σε dBm) έχω:



-Κάλυψη Χαλκιδικής

### Screenshot 1

Xalkidiki <7752x8510 double>								
	2976	2977	2978	2979	2980	2981	2982	2983
2040	66	66	66	66	66	66	66	66
2041	66	66	66	66	66	66	66	46
2042	66	66	66	66	66	66	66	66
2043	66	66	66	66	66	32	30	52
2044	58	66	66	66	50	26	30	66
2045	66	66	66	61	29	28	34	66
2046	66	59	66	66	25	33	66	66
2047	37	28	66	66	45	66	66	66
2048	33	66	66	42	41	66	66	66
2049	43	49	66	45	66	66	66	66
2050	66	66	66	66	66	66	66	44
2051	47	60	66	66	66	66	66	45
2052	45	66	66	66	66	66	33	28
2053	66	66	66	66	66	66	21	33

### Screenshot 2

Xalkidiki <7752x8510 double>							
	2976	2977	2978	2979	2980	2981	2982
2091	47	66	66	66	66	34	27
2092	24	28	38	65	39	29	25
2093	28	34	52	35	31	27	0
2094	0	0	0	30	27	0	23
2095	0	0	0	0	0	23	0
2096	0	0	26	0	23	21	0
2097	23	27	0	24	23	0	0
2098	30	21	26	25	23	0	0
2099	25	29	27	26	0	0	0

### Screenshot 3

Xalkidiki <7752x8510 double>						
	2976	2977	2978	2979	2980	2981
2418	0	0	0	0	0	0
2419	0	0	0	0	0	0
2420	0	0	0	0	0	0
2421	0	0	0	0	0	0
2422	0	0	0	0	0	0
2423	0	0	0	0	0	0
2424	0	0	0	0	0	0
2425	0	0	0	0	0	0
2426	0	0	0	0	0	0
2427	0	0	0	0	0	0
2428	0	0	0	0	0	0
2429	0	0	0	0	0	0

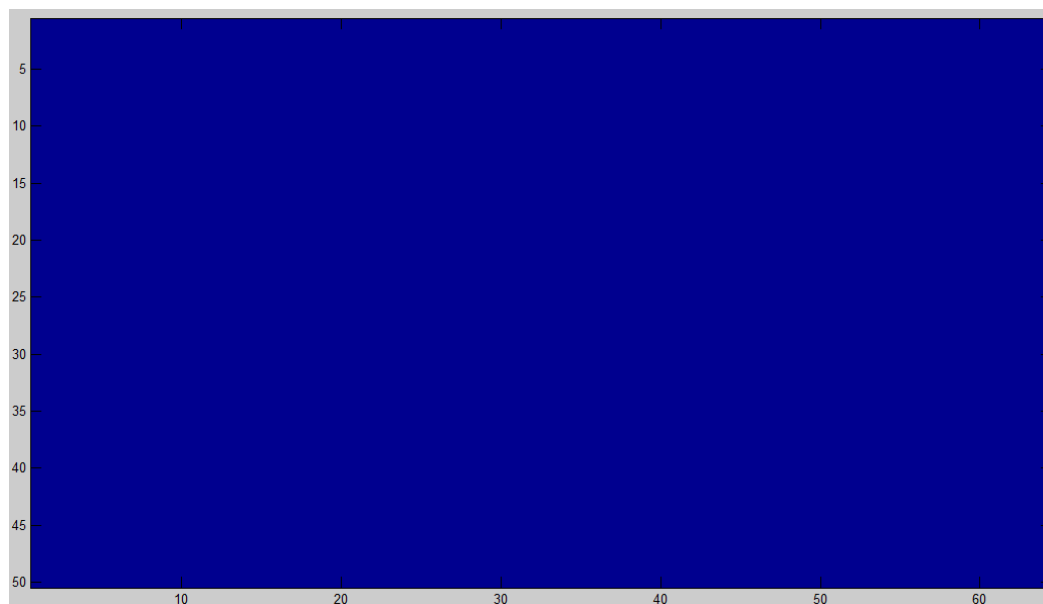


Συνεχίζοντας εξετάζουμε αν για την περιοχή ενδιαφέροντος που έχουμε επιλέξει μπορούμε να εγκαταστήσουμε whitespace, με το γνωστό μας κριτήριο το κατώφλι των 52 dBm.

Παρακάτω βλέπουμε τη περιοχή ενδιαφέροντος (Area of Interest) σε σχέση με το SFN Χαλκιδική (6).

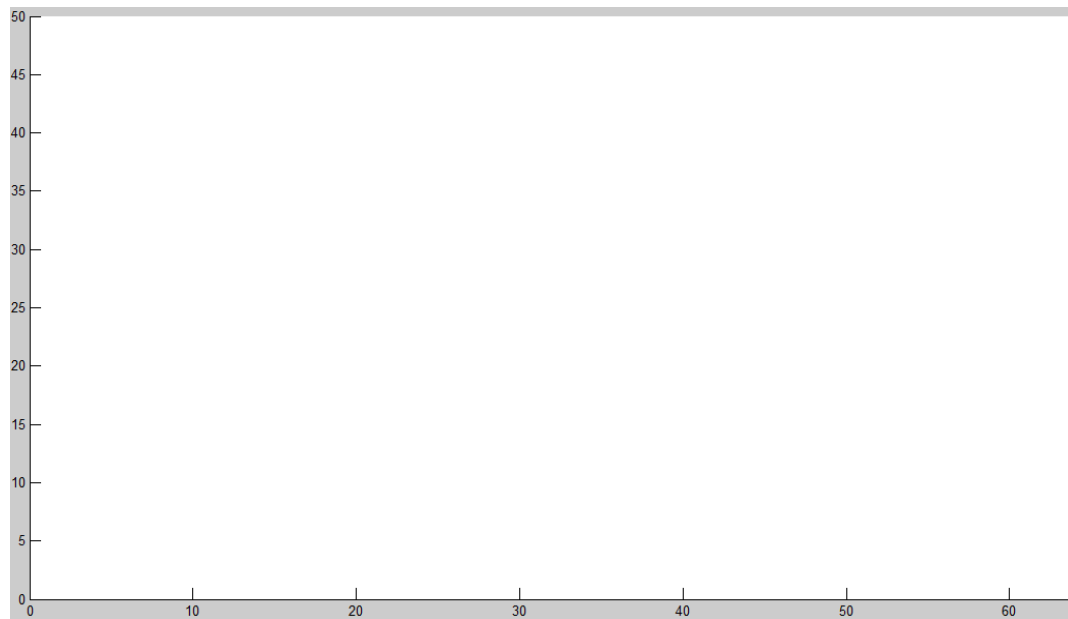


Η έξοδος του κώδικα μας που δείχνει την ένταση που δέχεται κάθε pixel στην AoI από το SFN Χαλκιδική είναι:



-Ένταση πεδίου στην AoI από SFN Χαλκιδική

Παρατηρούμε ότι το πεδίο στη Χαλκιδική δεν επηρεάζει καθόλου το πεδίο στην AoI που εξετάζουμε και όπως αναμενόταν η έξοδος του κώδικα που δίνει τα απαγορευμένα pixel είναι η ακόλουθη:



-Απεικόνιση απαγορευμένων για κατώφλι 32dBm

```

Command Window
>> pos
pos =
    0

```

-Ποσοστό απαγορευμένων pixel

Έτσι, οι συχνότητες που έχουν αποδοθεί στη Χαλκιδική είναι εξ'ολοκλήρου διαθέσιμες στην περιοχή ενδιαφέροντος που επεξεργαζόμαστε.

Περιοχή απονομής(allotment/SFN)	Όνομα SFN	Δίαυλοι/Συχνότητες
6	ΧALKIDIKI	25 31 34 38 46 49 50 54

## Παρεμβολές από γειτονικές χώρες.

Επόμενο στάδιο είναι να εξετάσουμε τυχόν παρεμβολές που μπορεί να υπάρχουν από περιοχές εκτός συνόρων. Στη περίπτωση μας θα εξετάσουμε παρεμβολές από τη περιοχή της Βουλγαρίας.

Τα κύρια κέντρα εκπομπής στην περιοχή της Βουλγαρίας είναι:

Όνομα SFN	Κανάλια							
BULGARIA	25	28	29	31	33	42	45	46

Σκοπός μας είναι να μετρήσουμε πόσο πεδίο 'έρχεται' στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στα allotments 3,4,5,6 που έχουμε μελετήσει στη διπλωματική μας μέχρι στιγμής. Όπως και πριν η μελέτη θα γίνει με το πρόγραμμα matlab.

Έχοντας ορίσει από προηγουμένως τις συντεταγμένες των κρίσιμων σημείων στην επιθυμητή μορφή (longitude,latitude) , με βάση τη νοητή γραμμή μεταξύ των συνόρων Ελλάδας-Βουλγαρίας , θα βρούμε το πεδίο στο εσωτερικό της γραμμής αυτής σε βάθος 20km. Για πρακτικούς λόγους θα χρησιμοποιήσουμε ως μονάδα μέτρησης το 1 pixel που ισούται με 100m, άρα ουσιαστικά μας νοιάζει το πεδίο από το σύνορο και 200 pixel προς τα κάτω (άμα το δούμε σαν χάρτη).



Προσομοιώνοντας σε κώδικα matlab την όλη αυτή λογική με τη βοήθεια πάντα και έτοιμων συναρτήσεων, καταφέρνουμε να ξεχωρίσουμε τα σημεία που μας ενδιαφέρουν από αυτά που δε μας ενδιαφέρουν. Έτσι διαμορφώνουμε μια εικόνα (image) με αντίθεση άσπρο-μαύρο ώστε να είναι εύκολη η διάκριση των σημείων αυτών.



Επόμενο βήμα είναι να μετρήσουμε και το πεδίο στις 'άσπρες' περιοχές. Για τον λόγο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε τη γνωστή από τη θεωρία των ασυρμάτων και των κεραιών, εξίσωση του Friis:

$$P_r = X \cdot \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

Ορίζουμε  $\lambda = 0.006$  pixels , και X η μεταβλητή εισόδου (nuisance field) που με βάση τα πρότυπα της ITU την θέτουμε ίση με  $10^{-7}$  (καθαρός αριθμός). Τη μεταβλητή R την μετράμε σε pixel και απόσταση 1 pixel ορίζουμε το σύνορο που είπαμε προηγουμένως.

Έτσι έχουμε το πεδίο στην 'άσπρη' περιοχή σε μορφή πίνακα.

Παρακάτω παραθέτοντας στιγμιότυπα (screenshots) του πίνακα αυτού παρατηρούμε ότι οι τιμές του εξωγενούς πεδίου είναι πολύ μικρές ακόμα και σε περιοχές πολύ κοντά στο σύνορο, άρα πρακτικά μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες.



## Screenshot 3

	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309
2778	1.4827e-18	1.4827e-18	1.4827e-18	1.4827e-18	1.4590e-18	1.4590e-18	1.4590e-18	1.4590e-18	1.4360e-18	1.4360e-18	1.4360e-18	1.4360e-18	1.4134e-18	1.4134e-18
2788	1.4590e-18	1.4590e-18	1.4590e-18	1.4590e-18	1.4360e-18	1.4360e-18	1.4360e-18	1.4360e-18	1.4134e-18	1.4134e-18	1.4134e-18	1.4134e-18	1.3914e-18	1.3914e-18
2798	1.4360e-18	1.4360e-18	1.4360e-18	1.4360e-18	1.4134e-18	1.4134e-18	1.4134e-18	1.4134e-18	1.3914e-18	1.3914e-18	1.3914e-18	1.3914e-18	1.3699e-18	1.3699e-18
2808	1.4134e-18	1.4134e-18	1.4134e-18	1.4134e-18	1.3914e-18	1.3914e-18	1.3914e-18	1.3914e-18	1.3699e-18	1.3699e-18	1.3699e-18	1.3699e-18	1.3490e-18	1.3490e-18
2818	1.3914e-18	1.3914e-18	1.3914e-18	1.3914e-18	1.3699e-18	1.3699e-18	1.3699e-18	1.3699e-18	1.3490e-18	1.3490e-18	1.3490e-18	1.3490e-18	1.3284e-18	1.3284e-18
2828	1.3699e-18	1.3699e-18	1.3699e-18	1.3699e-18	1.3490e-18	1.3490e-18	1.3490e-18	1.3490e-18	1.3284e-18	1.3284e-18	1.3284e-18	1.3284e-18	1.3084e-18	1.3084e-18
2838	1.3490e-18	1.3490e-18	1.3490e-18	1.3490e-18	1.3284e-18	1.3284e-18	1.3284e-18	1.3284e-18	1.3084e-18	1.3084e-18	1.3084e-18	1.3084e-18	1.2888e-18	1.2888e-18
2848	1.3284e-18	1.3284e-18	1.3284e-18	1.3284e-18	1.3084e-18	1.3084e-18	1.3084e-18	1.3084e-18	1.2888e-18	1.2888e-18	1.2888e-18	1.2888e-18	1.2696e-18	1.2696e-18
2858	1.3084e-18	1.3084e-18	1.3084e-18	1.3084e-18	1.2888e-18	1.2888e-18	1.2888e-18	1.2888e-18	1.2696e-18	1.2696e-18	1.2696e-18	1.2696e-18	1.2509e-18	1.2509e-18
2868	1.2888e-18	1.2888e-18	1.2888e-18	1.2888e-18	1.2696e-18	1.2696e-18	1.2696e-18	1.2696e-18	1.2509e-18	1.2509e-18	1.2509e-18	1.2509e-18	1.2326e-18	1.2326e-18
2878	1.2696e-18	1.2696e-18	1.2696e-18	1.2696e-18	1.2509e-18	1.2509e-18	1.2509e-18	1.2509e-18	1.2326e-18	1.2326e-18	1.2326e-18	1.2326e-18	1.2146e-18	1.2146e-18
2888	1.2509e-18	1.2509e-18	1.2509e-18	1.2509e-18	1.2326e-18	1.2326e-18	1.2326e-18	1.2326e-18	1.2146e-18	1.2146e-18	1.2146e-18	1.2146e-18	1.1971e-18	1.1971e-18
2898	1.2326e-18	1.2326e-18	1.2326e-18	1.2326e-18	1.2146e-18	1.2146e-18	1.2146e-18	1.2146e-18	1.1971e-18	1.1971e-18	1.1971e-18	1.1971e-18	1.1799e-18	1.1799e-18
2908	1.2146e-18	1.2146e-18	1.2146e-18	1.2146e-18	1.1971e-18	1.1971e-18	1.1971e-18	1.1971e-18	1.1799e-18	1.1799e-18	1.1799e-18	1.1799e-18	1.1631e-18	1.1631e-18
2918	1.1971e-18	1.1971e-18	1.1971e-18	1.1971e-18	1.1799e-18	1.1799e-18	1.1799e-18	1.1799e-18	1.1631e-18	1.1631e-18	1.1631e-18	1.1631e-18	1.1467e-18	1.1467e-18
2928	1.1799e-18	1.1799e-18	1.1799e-18	1.1799e-18	1.1631e-18	1.1631e-18	1.1631e-18	1.1631e-18	1.1467e-18	1.1467e-18	1.1467e-18	1.1467e-18	1.1306e-18	1.1306e-18
2938	1.1631e-18	1.1631e-18	1.1631e-18	1.1631e-18	1.1467e-18	1.1467e-18	1.1467e-18	1.1467e-18	1.1306e-18	1.1306e-18	1.1306e-18	1.1306e-18	1.1148e-18	1.1148e-18
2948	1.1467e-18	1.1467e-18	1.1467e-18	1.1467e-18	1.1306e-18	1.1306e-18	1.1306e-18	1.1306e-18	1.1148e-18	1.1148e-18	1.1148e-18	1.1148e-18	1.0994e-18	1.0994e-18
2958	1.1306e-18	1.1306e-18	1.1306e-18	1.1306e-18	1.1148e-18	1.1148e-18	1.1148e-18	1.1148e-18	1.0994e-18	1.0994e-18	1.0994e-18	1.0994e-18	1.0843e-18	1.0843e-18
2968	1.1148e-18	1.1148e-18	1.1148e-18	1.1148e-18	1.0994e-18	1.0994e-18	1.0994e-18	1.0994e-18	1.0843e-18	1.0843e-18	1.0843e-18	1.0843e-18	1.0695e-18	1.0695e-18
2978	1.0994e-18	1.0994e-18	1.0994e-18	1.0994e-18	1.0843e-18	1.0843e-18	1.0843e-18	1.0843e-18	1.0695e-18	1.0695e-18	1.0695e-18	1.0695e-18	1.0550e-18	1.0550e-18

Συνεπώς καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στα allotments που εξετάζουμε μπορούμε να παίξουμε στα κανάλια **25,28,29,31,33,42,45,46** που αντιστοιχούν στο SFN της Βουλγαρίας.

## 8. Συμπεράσματα-Μελλοντικές Επεκτάσεις

Κατ' αρχήν, σημαντικό είναι το γεγονός ότι όλη η προσομοίωση και το πειραματικό μέρος έχει βασιστεί σε **πραγματικά δεδομένα**, εξασφαλίζοντας έτσι, την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων μας, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω μελέτες.

Έπειτα από την ολοκλήρωση των προσομοιώσεων, το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι **δεν φαίνεται να προκαλούνται σημαντικές παρεμβολές στη λειτουργία LTE στα whitespaces** από τις υπάρχουσες ψηφιακές τηλεοπτικές εκπομπές. Ακόμα και στο ίδιο SFN με την περιοχή ενδιαφέροντος, ένα σύστημα LTE μπορεί να λειτουργήσει απροβλημάτιστα, ενθαρρύνοντας, έτσι την ανάπτυξη (τεχνολογική και οικονομική) που μπορεί να φέρει η μελλοντική αξιοποίηση των κενών τηλεοπτικών συχνοτήτων.

Βέβαια, καθώς η παρούσα εργασία μελετά την παρεμβολή του LTE στη τηλεόραση, αναγκαίο είναι να γίνει και η ανάποδη διαδικασία, δηλαδή **η μελέτη των παρεμβολών της τηλεόρασης στο LTE**. Με βάση αυτό, τονίζεται ότι οι περιοχές που βρήκαμε από τις προσομοιώσεις ότι είναι ελεύθερες για εγκατάσταση whitespace υπηρεσιών, δεν μπορούν απαραίτητα να αποδοθούν σε τέτοιες υπηρεσίες, αν δεν εξασφαλιστεί, ταυτόχρονα, η προστασία των τηλεοπτικών εκπομπών μέσα σε αυτές. Μόνο εφόσον διεξαχθούν και οι δύο μελέτες θα είμαστε σε θέση να αποφανθούμε με ακρίβεια για τα αν μπορούν να λειτουργήσουν υπηρεσίες LTE και με ποια τεχνικά χαρακτηριστικά (ισχύεις, συχνότητες, διαγράμματα ακτινοβολίας, θέσεις εκπομπής κ.λπ.).

Επιστημονικό ενδιαφέρον, ακόμα, έχει και η μελέτη των καναλιών που βρίσκονται γύρω από τα κανάλια που έχουν αποδοθεί σε κάθε SFN. Για παράδειγμα στη Θάσο τα διαθέσιμα κανάλια είναι τα: **22,23,37,39,41,44,47,51**. Χρησιμοποιώντας μια μάσκα (λόγοι προστασίας) σε γειτονικά κανάλια (πχ. 24,25,38,40) μπορούμε να μελετήσουμε τη συμπεριφορά του πεδίου στις γειτονικές αυτές συχνότητες και να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τις πιθανότητες εγκατάστασης υπηρεσιών στα whitespaces. Αντίστοιχα στο **Παγγαίο** (26,28,32,35,40,45,52,53) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μάσκες για τα κανάλια 27,29,34,36, στη **Θεσσαλονίκη** (24,,27,30,36,43,48,55,56) για τα κανάλια 25,26,31,54 και στη **Χαλκιδική** (25,31,34,38,46,49,50,54) για τα κανάλια 37,39,51,53.

Επιπλέον, ανάλογα με την υπηρεσία που πρόκειται να λειτουργήσει στα whitespaces, υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι τροποποίησης του σχεδιασμού του δικτύου, με στόχο την αύξηση της χωρητικότητας, τη μείωση των ενδογενών και εξωγενών παρεμβολών και την εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών. Παραδείγματα αποτελούν η τομεοποίηση κυψελών, με χρήση τεχνικών χωρικού διαφορισμού (MIMO, SDMA) και η βέλτιστη διαχείριση των ασύρματων πόρων που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο, ένα θέμα που εμπίπτει στην ευρύτερη κατηγορία της διαχείρισης ασύρματων πόρων (RRM– Radio Resources Management).

## 9. Βιβλιογραφία

1. <http://1lyk-therm.thess.sch.gr/wp-content/uploads/2014/04/H-ΙΣΤΟΡΙΚΗ-ΕΞΕΛΙΞΗ-ΤΩΝ-MME-B2-2013-B.pdf>
2. <http://www.tallos.gr/library.asp?id=12>
3. <http://pacific.jour.auth.gr/tv/page2.htm>
4. <http://www.technel.gr/arthra/images/theorasi.pdf>
5. [http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/724/mousitsas\\_main.pdf?sequence=1](http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/724/mousitsas_main.pdf?sequence=1)
6. <http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/epp/2010/MpaimasVasilis/attached-document-1274174997-114782-29704/Mpaimas2010.pdf>
7. [http://www.digea.gr/project\\_images/Files/K.Y.A./KYA%2021161-2008%20Metavatikos%20Xartis%20Syxnotitwn.pdf](http://www.digea.gr/project_images/Files/K.Y.A./KYA%2021161-2008%20Metavatikos%20Xartis%20Syxnotitwn.pdf)
8. [http://www.digea.gr/project\\_images/Files/K.Y.A./Nomos%203592-2007%20Metavasi%20stin%20Psifiaki%20Epxi.pdf](http://www.digea.gr/project_images/Files/K.Y.A./Nomos%203592-2007%20Metavasi%20stin%20Psifiaki%20Epxi.pdf)
9. <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/6570/1/DT2013-0018.pdf>
10. [www.eng.ucy.ac.cy/petroudi/Courses/ECE100/.../styece100lec18fall08.pdf](http://www.eng.ucy.ac.cy/petroudi/Courses/ECE100/.../styece100lec18fall08.pdf)
11. [www.klekakis.pbworks.com/w/file/attach/.../Presentation4\\_R1\\_2010.pdf](http://www.klekakis.pbworks.com/w/file/attach/.../Presentation4_R1_2010.pdf)
12. <http://www.nerit.gr/switch-off/fek/KYA%2021161-2008%20Metavatikos%20Xartis%20Syxnotitwn.pdf>
13. <http://www.digea.gr/234/article/272/Pleonektimata/el>
14. [http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/mta/2009/VlahouEleniMaria/attached-document-1263382994-171555-3795/Vlaxou\\_Eleni\\_Maria.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/mta/2009/VlahouEleniMaria/attached-document-1263382994-171555-3795/Vlaxou_Eleni_Maria.pdf)
15. [http://artemis.cslab.ntua.gr/el\\_thesis/artemis.ntua.ece/DT2004-0140/DT2004-0140.pdf](http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2004-0140/DT2004-0140.pdf)
16. <http://el.wikipedia.org/wiki/MPEG-2>
17. [http://artemis.cslab.ntua.gr/el\\_thesis/artemis.ntua.ece/DT2011-0117/DT2011-0117.pdf](http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2011-0117/DT2011-0117.pdf)
18. <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/5608/1/Διπλωματική%20Εργασία.pdf>
19. <http://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεόραση>
20. [http://el.wikipedia.org/wiki/Κέντρα\\_ραδιοηλεκτρονικών\\_εμπορών\\_στην\\_Ελλάδα](http://el.wikipedia.org/wiki/Κέντρα_ραδιοηλεκτρονικών_εμπορών_στην_Ελλάδα)
21. [http://artemis.cslab.ntua.gr/el\\_thesis/artemis.ntua.ece/DT2006-0114/DT2006-0114.pdf](http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2006-0114/DT2006-0114.pdf)
22. <http://www.digea.gr/234/article/1835/Texnologia/el>
23. <https://ask2help.wordpress.com/2010/02/04/digital-tv-in-greece/>



24. <http://www.sat.gr/show.cfm?id=11&obcatid=19>
25. [http://aias.iit.demokritos.gr/~gardikis/material/DTV\\_5\\_TerrestrialDTV.pdf](http://aias.iit.demokritos.gr/~gardikis/material/DTV_5_TerrestrialDTV.pdf)
26. <http://el.wikipedia.org/wiki/Digea>
27. <https://dspace.lib.uom.gr/bitstream/2159/15639/3/ToulikasChristosMsc2012.pdf>
28. [http://en.wikipedia.org/wiki/White\\_spaces\\_%28radio%29](http://en.wikipedia.org/wiki/White_spaces_%28radio%29)
29. <https://spectrumbridge.com/tv-white-space/>
30. <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/4937/1/DT2009-0151.pdf>
31. <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/6570/1/DT2013-0018.pdf>
32. <http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/epp/2010/KatsidakiMarina/attached-document-1283846457-720059-17737/Katsirdaki2010.pdf>
33. <http://vivliothmy.ee.auth.gr/1795/1/LteAdvancedSimulation.pdf>
34. [http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/4718/6/Nimertis\\_Kavourgias%28ele%29.pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/4718/6/Nimertis_Kavourgias%28ele%29.pdf)
35. <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/5657/1/DT2011-0235.pdf>
36. <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/handle/123456789/4744>
37. <http://artemis.cslab.ntua.gr/Dienst/UI/1.0/Download/artemis.../DT2006-0228>