



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

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ
ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΚΕΝΩΝ ΤΗΛΕΟΠΤΙΚΩΝ
ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ SEAMCAT.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΑΤΖΗΝΕΟΦΥΤΟΥ ΕΛΠΙΔΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΚΑΨΑΛΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΪΟΣ 2015



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

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ
ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΚΕΝΩΝ ΤΗΛΕΟΠΤΙΚΩΝ
ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ SEAMCAT.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΑΤΖΗΝΕΟΦΥΤΟΥ ΕΛΠΙΔΑ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την _____ 2015

.....

Χ.Καψάλης
Μέλος Δ.Ε.Π
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Π.Κωττής
Μέλος Δ.Ε.Π
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Γ.Φικιώρης
Μέλος Δ.Ε.Π
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΪΟΣ 2015

ΧΑΤΖΗΝΕΟΦΥΤΟΥ Γ. ΕΛΠΙΔΑ

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

Copyright © Χατζηνεοφύτου Γ. Ελπίδα, 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 προς τον συγγραφέα.

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών στον τομέα Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χρήστο Καψάλη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με την παρούσα εργασία, που αποτελεί ένα σύγχρονο και ενδιαφέρον θέμα στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, αλλά και για την βοήθειά του.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα του ΕΜΠ κ. Νικόλαο Καψάλη για τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε, για την καθοδήγηση του σε όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής καθώς και για την άριστη μεταξύ μας συνεργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υλική και ηθική στήριξη που μου προσέφεραν καθόλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Χατζηνεοφύτου Ελπίδα

Μάιος 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται το ελεύθερο φάσμα που προκύπτει από την μετάβαση από την αναλογική στη ψηφιακή τηλεόραση. Συγκεκριμένα, αναλύεται η συνύπαρξη υπηρεσιών τηλεόρασης και ασύρματων επικοινωνιών στο ελεύθερο αυτό φάσμα, στη ζώνη των UHF συχνοτήτων.

Στα πρώτα κεφάλαια παρουσιάζεται το θεωρητικό μέρος. Συγκεκριμένα, αρχικά περιγράφεται εκτενώς η λειτουργία της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης καθώς και τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση της. Στη συνέχεια, αναλύεται το πώς προκύπτει το ελεύθερο φάσμα των κενών τηλεοπτικών διαστημάτων. Στο τέλος του θεωρητικού μέρους, αναφέρονται και αναλύονται ορισμένοι πιθανοί τρόποι αξιοποίησης του ελεύθερου αυτού φάσματος.

Μετά το θεωρητικό μέρος, ακολουθεί το κομμάτι της προσομοίωσης. Αρχικά παρουσιάζεται το εργαλείο προσομοίωσης (Seamcat) που θα χρησιμοποιηθεί καθώς και οι δυνατότητές του. Έπειτα, θεωρώντας πως στο ελεύθερο φάσμα που προέκυψε λειτουργεί η υπηρεσία LTE, μελετάται με πολλά και διαφορετικά σενάρια η παρεμβολή που δημιουργείται από την μια υπηρεσία στην άλλη. Έτσι μελετώνται τα προβλήματα που δημιουργούνται λόγω των παρεμβολών και προτείνονται λύσεις για τη μείωση των παρεμβολών και την επίτευξη της αρμονικής συνύπαρξης των υπηρεσιών αυτών.

Λέξεις κλειδιά: Ψηφιακή τηλεόραση, DVB-T, ελεύθερο φάσμα, Television White Spaces, Υπηρεσία κινητών επικοινωνιών, LTE, Seamcat, παρεμβολές, λόγος προστασίας, μάσκα εκπομπής και λήψης, μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς.

ABSTRACT

Subject matter of this study is the free spectrum that results from the transition from analogue to digital television. Specifically, this thesis analyzes the coexistence of television systems and mobile telephony systems in this free spectrum, in the UHF frequency band.

The first chapters present the theoretical part. More specifically, in the beginning the operation of the terrestrial digital television is extensively described as well as the benefits that derive from its use. Then, there is an analysis on how the free spectrum of television white spaces is created. At the end of the theoretical part, some possible ways of exploiting this free spectrum are reported and analyzed.

After the theoretical part, follows the simulation part. Firstly, a presentation of the simulation tool (Seamcat), that is going to be used, and its features is given. Then, assuming that the LTE service is operating in the TV White Space, a study of the coexistence of digital television with LTE is presented and interference issues between these two systems are studied, according to many and different scenarios of interference. Finally, interfering issues between these two systems are analyzed and some techniques for the reduction of this interference and their harmonious coexistence are proposed.

Key words: Digital television, DVB-T, White space, Television White spaces, Mobile telecommunication service, LTE, Seamcat, interference, protection ratio, emission and blocking mask, maximum allowed power.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	21
2.ΕΠΙΓΕΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗΣ (DTV)	25
2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ.....	25
2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΣΤΗΝ ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ	26
2.3 ΓΙΑΤΙ Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ ΕΙΝΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΠΙΟ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ	27
2.4 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΗΛΕΟΠΤΙΚΗΣ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗΣ (DVB-T).....	28
2.5 MPEG (Moving Picture Experts Group).....	31
3. WHITE SPACES	33
3.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ WHITE SPACES	33
3.2 ΓΙΑΤΙ ΜΑΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΚΑΙ ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ ΝΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΟΥΜΕ	34
3.3 ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΕΣ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ	36
4.ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ WHITE SPACES	39
4.1 LTE- Long Term Evolution	40
4.2 PMSE	42
4.3 COGNITIVE RADIO	43
5.ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SEAMCAT ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ	45
5.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ SEAMCAT.....	45
5.2 ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΟΥ SEAMCAT ΚΑΙ ΤΙ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΕΙ.....	45
5.2.1 Βασική ορολογία	45
5.2.2 Τα κριτήρια παρεμβολής	46
5.2.3 Μηχανισμοί παρεμβολής.....	48
5.2.4 Τι υπολογίζει το Seamcat	49
5.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ	50
5.3.1 Σενάριο και δεδομένα προσομοίωσης.....	50
5.3.2 Μάσκες.....	52
5.3.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης και ερμηνεία τους.....	54

6.ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ	59
6.1 ΠΡΩΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	59
6.1.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ 1 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ	59
6.1.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ 1 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ	60
6.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ 1 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ	63
6.1.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ 1 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	64
6.2 ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	65
6.2.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ 2 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ	65
6.2.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ 2 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ	66
6.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ 2 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ	66
6.2.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ 2 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	70
6.3 ΤΡΙΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	71
6.3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ 3 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ	71
6.3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ 3 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ	72
6.3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ 3 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥΣ ..	75
6.3.4 ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	89

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

TVWS (Television White Spaces):	Αχρησιμοποίητο φάσμα που προέκυψε από τη μετάβαση της αναλογικής σε ψηφιακή τηλεόραση
DTV (Digital Television):	Ψηφιακή τηλεόραση
DVB-T (Digital Video Broadcast-Terrestrial):	Επίγεια ψηφιακή εκπομπή βίντεο
MPEG (Moving Picture Experts Group):	Ομάδα ειδικών στην κινούμενη εικόνα
LTE (Long Term Evolution):	Δίκτυο μακροχρόνιας εξέλιξης
PMSE (Program making and special events):	
WiFi (Wireless Fidelity):	Δίκτυο ασύρματης πιστότητας
VoD (Video on Demand):	Βίντεο κατ'απαίτηση
SFN (Single Frequency Networks):	Δίκτυα μίας συχνότητας
MFN (Multi Frequency Networks):	Δίκτυα πολλαπλών συχνοτήτων
UHF (Ultra High Frequency):	Υπερυψηλές συχνότητες
ATSC (Advanced Television Systems Committee):	Επιτροπή προηγμένων τηλεοπτικών συστημάτων
ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial):	Ολοκληρωμένες υπηρεσίες επίγεια ψηφιακής εκπομπής
DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast):	Επίγεια ψηφιακή μετάδοση πολυμέσων
COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing):	Κωδικοποιημένη ορθογώνια διαμόρφωση συχνότητας
FEC (Forward Error Correction):	Διόρθωση λαθών

ACI (Adjacent Channel Interference):	Παρεμβολή γειτονικού καναλιού
CCI (Co-Channel Interference):	Ομοκαναλική παρεμβολή
CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations):	Ευρωπαϊκή Διάσκεψη Ταχυδρομικών και Τηλεπικοινωνιακών Οργανισμών
ITU (International Telecommunication Union):	Διεθνής ένωση τηλεπικοινωνιών
WSC (White Space Coalition):	Συνασπισμός για το White Space
COGEU (Cognitive radio systems for efficient sharing of TV white spaces in European context):	Γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών για την αποδοτική κατανομή των TVWS στο ευρωπαϊκό επίπεδο.
FCC (Federal Communications Commission):	Ομοσπονδιακή επιτροπή επικοινωνίας
OET (Commission's Office of Engineering and Technology):	Επιτροπή Μηχανικής και Τεχνολογίας
WTB (Wireless Telecommunications Bureau):	Γραφείο ασύρματων τηλεπικοινωνιών
SAB (Services Ancillary Broadcasting):	Υπηρεσίες βοηθητικές στη ραδιοτηλεοπτική υπηρεσία
SAP (Services Ancillary Program making):	Υπηρεσίες βοηθητικές στη παραγωγή προγράμματος

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Το φάσμα συχνοτήτων με ορισμένες από τις υπηρεσίες που προσφέρει.....	16
Εικόνα 2.1: Ημερομηνίες μετάβασης από την Αναλογική στην επίγεια Ψηφιακή.....	19
Εικόνα 2.2: Τα SFN δίκτυα χρησιμοποιούν μια συχνότητα για τη μετάδοση του ίδιου προγράμματος σε μια περιοχή, παρέχοντας αυξημένη φασματική απόδοση.....	22
Εικόνα 2.3: Πρότυπα για την επίγεια ψηφιακή τηλεόραση παγκοσμίως.....	23
Εικόνα 3.1: Τα White Spaces στο φάσμα συχνοτήτων των UHF του Texas.....	27
Εικόνα 3.2: Σύγκριση του πλήθους σταθμών βάσης, της ακτίνας κάλυψης και των κεφαλαιουχικών δαπανών σε σχέση με τη συχνότητα.....	28
Εικόνα 4.1: Παράδειγμα χρήσης LTE σε εσωτερικούς χώρους.....	34
Εικόνα 4.2: Τα βήματα του γνωσιακού κύκλου.....	36
Εικόνα 5.1: Η ορολογία που χρησιμοποιείται στο Seamcat.....	39
Εικόνα 5.2: Τα κριτήρια παρεμβολής.....	39
Εικόνα 5.3: Τα επίπεδα των διαφόρων σημάτων.....	40
Εικόνα 5.4: Υπολογισμός κριτηρίου παρεμβολής.....	40
Εικόνα 5.5: Απεικόνιση της παρεμβολής εξαιτίας των ανεπιθύμητων εκπομπών.....	41
Εικόνα 5.6: Απεικόνιση της παρεμβολής εξαιτίας του μπλοκαρίσματος του δέκτη.....	41
Εικόνα 5.7: Ταυτόχρονη απεικόνιση των unwanted emissions και του receiver blocking μηχανισμού.....	42
Εικόνα 5.8: Το σενάριο παρεμβολής της DTV από LTE.....	43
Εικόνα 5.9: Η blocking mask του Victim Receiver.....	45
Εικόνα 5.10: Η emission mask του Interferer Transmitter.....	46
Εικόνα 5.11 : Τοπολογία του σεναρίου.....	47
Εικόνα 6.1: Blocking Mask – Receiver(LTE Mobile Station).....	54
Εικόνα 6.2: Emission Mask-Transmitter(DTV).....	55
Εικόνα 6.3: Τοπολογία του 1 ^{ου} σεναρίου.....	56
Εικόνα 6.4: Τοπολογία 2 ^{ου} σεναρίου.....	59
Εικόνα 6.5: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 514MHZ.....	60
Εικόνα 6.6: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 510MHZ.....	60
Εικόνα 6.7: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 509MHZ.....	60
Εικόνα 6.8: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 508MHZ.....	60
Εικόνα 6.9 : Μέγιστες ισχύεις του πομπού LTE σε σχέση με την συχνότητα λειτουργίας του και το μήκος της ζεύξης DTV.....	61
Εικόνα 6.10: Μέγιστες ισχύεις του πομπού LTE σε σχέση με την συχνότητα λειτουργίας του και την απόσταση μεταξύ του πομπού LTE και του δέκτη DTV.....	62
Εικόνα 6.11: Blocking Mask του δέκτη τηλεόρασης DTV.....	66

Εικόνα 6.12: Μάσκα εκπομπής του πομπού LTE Base Station.....	67
Εικόνα 6.13: Τοπολογία Α μέρους του 3 ^{ου} σεναρίου.....	68
Εικόνα 6.14: Η πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει της ισχύος του πομπού LTE στα 522MHz και με μήκος της ζεύξης DTV ίσο με 30km.....	70
Εικόνα 6.15: Τοπολογία Β μέρους του 3 ^{ου} σεναρίου.....	71
Εικόνα 6.16: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 541MHz και βρίσκεται στα 4km από τον δέκτη DTV.....	73
Εικόνα 6.17: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 551MHz και βρίσκεται στα 3km από τον δέκτη DTV.....	73
Εικόνα 6.18: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 541MHz και βρίσκεται στα 1.5km από τον δέκτη DTV.....	74
Εικόνα 6.19: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 551MHz και βρίσκεται στα 2km από τον δέκτη DTV.....	74
Εικόνα 6.20: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 541MHz και βρίσκεται στα 1.5km από τον δέκτη DTV.....	75
Εικόνα 6.21: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 551MHz και βρίσκεται στα 2km από τον δέκτη DTV.....	75
Εικόνα 6.22: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 541MHz και βρίσκεται στα 1.5km από τον δέκτη DTV.....	76
Εικόνα 6.23: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 551MHz και βρίσκεται στα 0.5km από τον δέκτη DTV.....	76
Εικόνα 6.24: Τοπολογία Γ μέρους του 3 ^{ου} σεναρίου.....	77
Εικόνα 6.25: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 554MHz και βρίσκεται στα 10km ΝΔ από τον δέκτη DTV.....	79
Εικόνα 6.26: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 546MHz και βρίσκεται στα 5.5km ΒΑ από τον δέκτη DTV.....	79
Εικόνα 6.27: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 538MHz και βρίσκεται στα 3km ΒΑ από τον δέκτη DTV.....	79
Εικόνα 6.28: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 554MHz και βρίσκεται στα 5km ΝΔ από τον δέκτη DTV.....	80
Εικόνα 6.29: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 546MHz και βρίσκεται στα 4km ΒΑ από τον δέκτη DTV.....	80
Εικόνα 6.30: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 538MHz και βρίσκεται στα 3km ΒΑ από τον δέκτη DTV.....	80
Εικόνα 6.31: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 554MHz και βρίσκεται στα 2.5km ΝΔ από τον δέκτη DTV.....	81
Εικόνα 6.32: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 546MHz και βρίσκεται στα 4km Νότια από τον πομπό LTE με συχνότητα λειτουργίας τα 538MHz.....	82
Εικόνα 6.33: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 538MHz και βρίσκεται στα 3km ΒΑ από τον δέκτη DTV.....	82

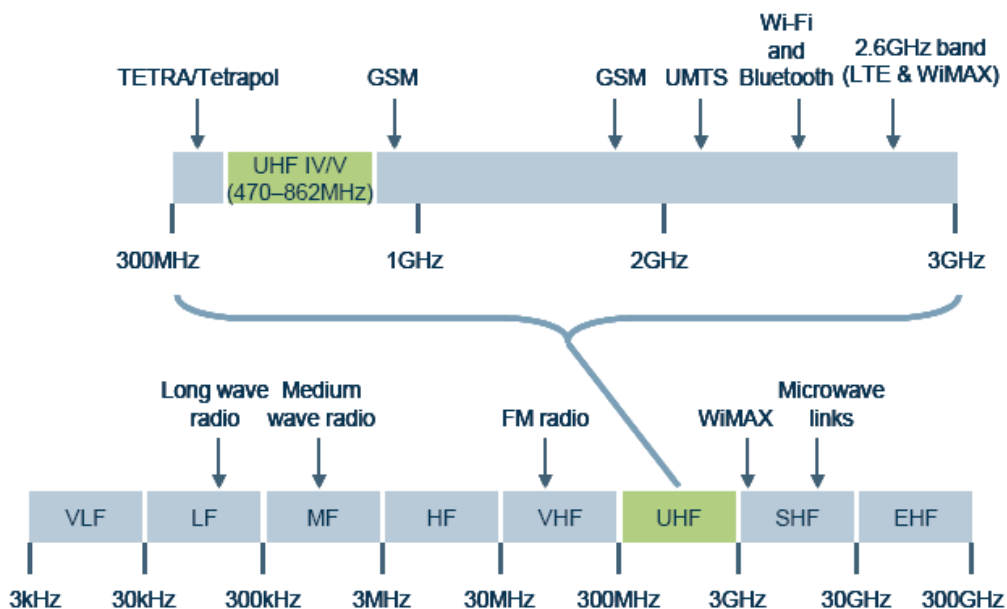
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: White Spaces στις VHF και UHF περιοχές.....	27
Πίνακας 5.1: Συγκεντρωμένα δεδομένα της προσομοίωσης.....	44
Πίνακας 5.2: Συγκεντρωμένες οι τιμές των χαρακτηριστικών σημάτων της προσομοίωσης και οι γραφικές τους παραστάσεις.....	48
Πίνακας 5.3: Πιθανότητες παρεμβολής.....	48
Πίνακας 5.4: Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει της απόκρισης μπλοκαρίσματος του δέκτη.....	49
Πίνακας 5.5: Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει της απόκρισης ενδοδιαμόρφωσης στο Victim Link.....	50
Πίνακας 5.6: Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει της ισχύος του παρεμβολέα.....	51
Πίνακας 6.1: Προσδιορισμός του Victim Link και Interfering Link του 1 ^{ου} σεναρίου...52	
Πίνακας 6.2: Αριθμητικά δεδομένα του Victim Link.....	53
Πίνακας 6.3: Τιμές θορύβου στο Victim Link.....	53
Πίνακας 6.4: Blocking Mask του δέκτη LTE.....	53
Πίνακας 6.5: Αριθμητικά δεδομένα του Interfering Link.....	54
Πίνακας 6.6: Emission Mask του πομπού DTV.....	55
Πίνακας 6.7: Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει της ακτίνας κάλυψης.....	57
Πίνακας 6.8: Προσδιορισμός του Victim Link και Interfering Link του 2 ^{ου} σεναρίου...58	
Πίνακας 6.9: Μέγιστες ισχείς του πομπού LTE σε σχέση με την συχνότητα λειτουργίας του και το μήκος της ζεύξης DTV.....	61
Πίνακας 6.10: Μέγιστες ισχείς του πομπού LTE σε σχέση με την συχνότητα λειτουργίας του και την απόσταση μεταξύ του πομπού LTE και του δέκτη DTV.....	62
Πίνακας 6.11: Προσδιορισμός του Victim Link και Interfering Link του τρίτου σεναρίου.....	64
Πίνακας 6.12: Συχνότητες λειτουργίας ψηφιακής τηλεόρασης στη Δράμα.....	65
Πίνακας 6.13: Αριθμητικά δεδομένα του Victim Link.....	65
Πίνακας 6.14: Blocking Mask του δέκτη τηλεόρασης DTV.....	66
Πίνακας 6.15: Αριθμητικά δεδομένα του Interfering Link.....	66
Πίνακας 6.16: Μάσκα εκπομπής του πομπού LTE Base Station.....	67
Πίνακας 6.17: Πιθανότητες παρεμβολής στην ψηφιακή τηλεόραση αναλογα με τη συχνότητα λειτουργίας του πομπού LTE και το μήκος της ζεύξης DTV.....	69
Πίνακας 6.18: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για τοποθέτηση δύο πομπών LTE και μήκος ζεύξης DTV ίσο με 50km.....	72

Πίνακας 6.19: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για τοποθέτηση δύο πομπών LTE και μήκος ζεύξης DTV ίσο με 20km.....	72
Πίνακας 6.20: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για τοποθέτηση τριών πομπών LTE και μήκος ζεύξης DTV ίσο με 50km.....	78
Πίνακας 6.21: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για τοποθέτηση τριών πομπών LTE και μήκος ζεύξης DTV ίσο με 35km.....	78
Πίνακας 6.22: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για τοποθέτηση τριών πομπών LTE και μήκος ζεύξης DTV ίσο με 20km.....	78

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αυξανόμενη ζήτηση για ασύρματη μετάδοση δεδομένων καθιστά αναγκαία την αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων για την διαχείριση του φάσματος. Μακροπρόθεσμα, η δυναμική πρόσβαση φάσματος φαίνεται να είναι η μόνη βιώσιμη λύση, αφού λυθούν πρώτα οι τεχνικές λεπτομέρειες για την υλοποίησή της. Στο προσεχές διάστημα, η χρήση του πρόσφατου απελευθερωμένου φάσματος που έχει παραχωρηθεί από τη μετάβαση της αναλογικής τηλεόρασης σε ψηφιακή είναι ικανή να αμβλύνει την κρίση έλλειψης φάσματος ενώ ανοίγει και τον δρόμο για τη δυναμική πρόσβαση φάσματος. Συγκεκριμένα, το απελευθερωμένο φάσμα προκύπτει από την περισσότερο αποδοτική φασματικά τεχνολογία της ψηφιακής τηλεόρασης και αφορά κομμάτια φάσματος στην περιοχή των 470MHz-862MHz. Η ζώνη αυτή ανήκει στις UHF ζώνες IV και V. Η ζώνη των 470MHz-862MHz είναι φασματικά χωρισμένη σε 49 κανάλια των 8MHz που αριθμούνται από το κανάλι 21 ως το κανάλι 69. Η θέση της ζώνης αυτής στο ευρύτερο φάσμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.1: Το φάσμα συχνοτήτων με ορισμένες από τις υπηρεσίες που υποστηρίζει.

Η ζώνη των 470MHz-862MHz αποτελεί πολύτιμη ζώνη του φάσματος διότι παρέχει ισορροπία μεταξύ κάλυψης, χωρητικότητας και ευκολίας σχεδίασης του εξοπλισμού που απαιτείται. Επίσης η απόσβεση είναι μικρότερη από ό,τι σε υψηλότερες συχνότητες κάτι που είναι ιδανικό για ευρυζωνικές υπηρεσίες. Τέλος σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της ζώνης συχνοτήτων αποτελεί το γεγονός πως έχουμε βελτιωμένη εξυπηρέτηση των κινητών χρηστών εντός κτιρίων σε σχέση με πιο υψηλές συχνότητες. Γι αυτούς τους λόγους η ζώνη αυτή αποτελεί έναν περιζήτητο πόρο καθώς μπορεί να υποστηρίξει πολλές υπηρεσίες.

Έτσι λοιπόν, αυτό το «κομματιασμένο» κενό φάσμα που ονομάζεται White Spaces, μπορεί να αξιοποιηθεί με αρκετούς και ενδιαφέροντες τρόπους. Για παράδειγμα, η τηλεοπτική εκπομπή φάσματος στις αγροτικές περιοχές καθώς και η πρόσβαση στο ίντερνετ είναι μη επαρκείς, για τον απλό λόγο ότι δεν συμφέρει οικονομικά η επένδυση. Η τεχνολογία White Spaces μπορεί να επωφεληθεί από τις βελτιωμένες δυνατότητες διάδοσης σε αυτές τις συχνότητες ώστε να παρέχει οικονομικά προσιτή πρόσβαση στο ίντερνετ σε αγροτικές περιοχές. Επιπλέον, «τρύπες» φάσματος που υπάρχουν σε πυκνοκατοικημένες περιοχές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δίκτυα ασυρματικής πιστότητας (Wireless Fidelity - WiFi), κινητές επικοινωνίες, υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας, γνωσιακή ραδιοεπικοινωνία (cognitive radio), μη αδειοδοτημένες υπηρεσίες (unlicensed services) όπως τα μικρόφωνα κ.α.

Το βασικό όμως πρόβλημα είναι πώς όλες αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να συνυπάρξουν με την ψηφιακή τηλεόραση (Digital Television-DTV). Ο προβληματισμός έγκειται στο ότι η ψηφιακή τηλεόραση είναι μια πρωτεύουσα υπηρεσία και ως εκ τούτου λοιπές υπηρεσίες, που λειτουργούν σε γειτονικές της συχνότητες δεν πρέπει να επηρεάζουν το σήμα που λαμβάνουν οι δέκτες της. Έτσι λοιπόν, προτού χρησιμοποιηθούν οι προαναφερθείσες υπηρεσίες θα πρέπει να γίνει μια μελέτη που θα καταλήγει στο αν οι παρεμβολές επηρεάζουν τη λήψη του ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος, λαμβάνοντας υπόψιν αποστάσεις, ισχύς, μοντέλα διάδοσης και χαρακτηριστικά κεραιών. Επίσης, ακόμα και αν υπερισχύουν οι παρεμβολές, θα είναι δυνατόν να προσδιορισθούν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα συνυπαρξης με την ψηφιακή τηλεόραση.

Έτσι λοιπόν, η παρούσα διπλωματική έχει θεωρητικό μέρος (κεφ. 2^ο, 3^ο, 4^ο) και πειραματικό μέρος (κεφ. 5^ο, 6^ο) όπου γίνονται οι προσομοιώσεις. Παρακάτω παρατίθεται τι περιέχει το κάθε κεφάλαιο.

Στο 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης και τα πλεονεκτήματα που έχει σε σχέση με την αναλογική. Επιπλέον εξηγείται το πιο σημαντικό της χαρακτηριστικό, το ότι είναι φασματικά αποδοτικότερη. Γίνεται επίσης ανάλυση και επεξήγηση του προτύπου μετάδοσης DVB-T και μια συνοπτική αναφορά στα πρότυπα MPEG.

Στο 3^ο κεφάλαιο ορίζονται τα White Spaces και εξηγείται το πώς προκύπτουν. Επιπλέον, τονίζεται γιατί μας ενδιαφέρουν και ποια είναι τα κύρια προβλήματα που προκύπτουν και χρειάζονται επίλυση. Τέλος αναφέρονται ορισμένες βασικές ρυθμιστικές αποφάσεις που καθορίζουν τη χρήση και αξιοποίηση του κενού αυτού φάσματος. Οι ρυθμιστικές αυτές αποφάσεις αφορούν την Ελλάδα αλλά και την Ευρώπη και προέρχονται από τους μεγαλύτερους οργανισμούς που ασχολούνται με τη διαχείριση φάσματος.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρατίθενται διάφοροι τρόποι αξιοποίησης των White Spaces καθώς και οι αντίστοιχες τεχνολογίες. Ορισμένες από αυτές τις υπηρεσίες που είναι πιο σημαντικές και πρόκειται να υλοποιηθούν στο άμεσο μέλλον αναλύονται

εκτενέστερα. Συγκεκριμένα αυτές είναι οι υπηρεσίες LTE (Long Term Evolution), PMSE (Program making and special events) και η γνωστική τεχνολογία επικοινωνιών CS (Cognitive Radio) .

Στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται συνοπτικά μια παρουσίαση του προγράμματος Seamcat που χρησιμοποιήσαμε για τις προσομοιώσεις. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται το περιβάλλον του Seamcat και οι δυνατότητες του. Όλα αυτά γίνονται σαφή μέσω της ανάλυσης ενός παραδείγματος.

Στο 6^ο κεφάλαιο αναλύονται τα σενάρια που πρόκειται να μελετηθούν, εξηγείται ο σκοπός των προσομοιώσεων που θα εκτελεστούν και καθορίζονται τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται τα σενάρια. Θα εκτελεστούν τρία σενάρια όπου το κάθε ένα έχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του και εκτελείται για τη μελέτη συγκεκριμένων παραμέτρων. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτές.

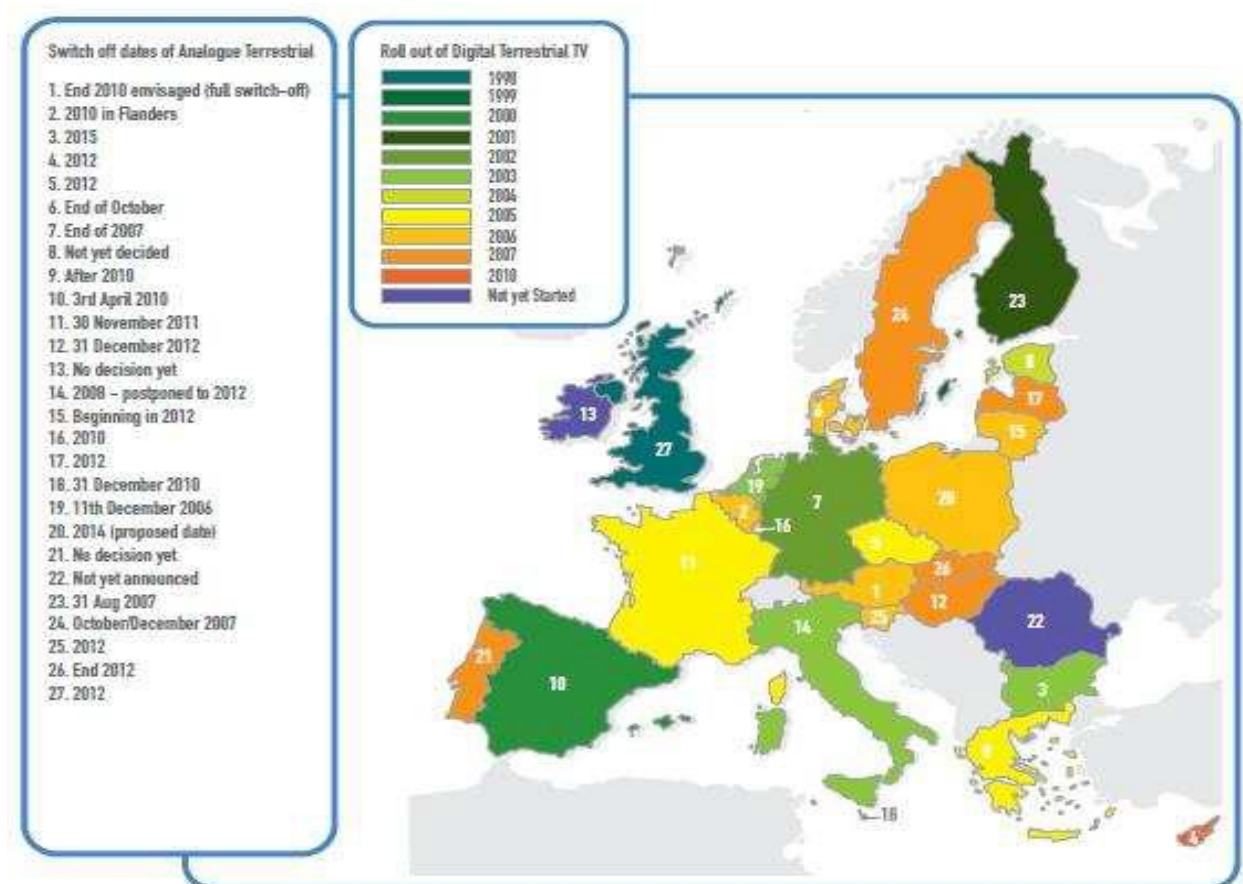
2.ΕΠΙΓΕΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗΣ (DTV)

2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ

Με τον όρο επίγεια ψηφιακή τηλεόραση εννοούμε τη μετάδοση ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος μέσω ασύρματου επίγειου δικτύου ευρυεκπομπής. Η ψηφιακή τηλεόραση είναι μια καινούργια τεχνολογία και μόλις πρόσφατα έγινε ευρέως διαθέσιμη ανά τον κόσμο, παρόλο που οι ψηφιακές επικοινωνίες είναι παγιωμένες στην καθημερινότητά μας εδώ και αρκετά χρόνια. Αυτή η καθυστέρηση υλοποίησης και εμπορευματοποίησης της ψηφιακής τηλεόρασης οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

- Στην απαίτηση συμβατότητας της νέας τεχνολογίας με την ήδη υπάρχουσα.
- Στη δυσκολία ανάπτυξης προτύπων σε παγκόσμιο επίπεδο για τη μετάδοση ψηφιακών τηλεοπτικών σημάτων και προτύπων για τη συμπίεση των δεδομένων.

Στην Ελλάδα έχει ξεκινήσει πρόσφατα η μετάβαση από την αναλογική στη ψηφιακή τηλεόραση και αναμενόταν να έχει ολοκληρωθεί μέχρι τα τέλη του 2014. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι ημερομηνίες που οι χώρες της Ευρώπης έκαναν “switch-off” από την αναλογική στην ψηφιακή μετάδοση.



Εικόνα 2.1: Ημερομηνίες μετάβασης από την Αναλογική στην επίγεια Ψηφιακή.

2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΣΤΗΝ ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ

Η μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση παρέχει σημαντικές διευκολύνσεις που μέχρι τώρα δεν ήταν διαθέσιμες.

Κατά την αναλογική μετάδοση, ο θόρυβος και οι παρεμβολές επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την ποιότητα του εκπεμπόμενου σήματος. Συγκεκριμένα, οι παρεμβολές δημιουργούνται είτε από τρίτους είτε από πολυδιαδρομικές μεταδόσεις, ιδίως στις αστικές περιοχές, όπου και οι ανακλάσεις σε κτίρια και σε κινούμενα αντικείμενα μεταξύ πομπού και δέκτη είναι πιο συχνές. Έτσι, εκτός από τη λήψη του απευθείας και επιθυμητού σήματος από τον πομπό στον δέκτη, γίνεται ταυτόχρονη λήψη σημάτων που προέρχονται από αυτές τις ανακλάσεις, με αποτέλεσμα την δημιουργία ειδώλων στην εικόνα που βλέπει ο χρήστης και άρα υποβάθμιση της ποιότητας αυτής.

Αντιθέτως με την αναλογική τηλεόραση, η ψηφιακή τηλεόραση χαρακτηρίζεται από άριστη ποιότητα ήχου και εικόνας. Αυτό συμβαίνει επειδή η ψηφιακή μετάδοση αντιμετωπίζει επιτυχώς το θόρυβο, τις παρεμβολές και τις πολυδιαδρομικές συνιστώσες εξαιτίας της χρήσης μηχανισμών και τεχνικών διόρθωσης σφαλμάτων στα ψηφιακά σήματα πληροφορίας. Οι μηχανισμοί αυτοί και οι τεχνικές διαμόρφωσης πραγματοποιούνται σε διαδοχικά στάδια πριν την ευρυεκπομπή των ψηφιακών σημάτων στα πλαίσια μιας διαδικασίας η οποία ονομάζεται «κωδικοποίηση καναλιού» και εξασφαλίζει μέχρι ένα ικανοποιητικό ποσοστό την ποιότητα στη μετάδοση της ψηφιακής πληροφορίας.

Μια σημαντική καινοτομία της ψηφιακής τηλεόρασης είναι το ότι επιτρέπει τη διαδραστικότητα με τον χρήστη, προσαρμόζοντάς την έτσι στις προσωπικές του ανάγκες. Για την πραγματοποίηση των διαδραστικών εφαρμογών απαιτείται η ύπαρξη δύο καναλιών υπηρεσίας. Ένα για τη μετάδοση σημάτων από τον πάροχο υπηρεσίας στο χρήστη (forward channel) και ένα για την μετάδοση κατά την αντίθετη φορά (reverse path). Έτσι, ο χρήστης δεν είναι πλέον παθητικός δέκτης μιας υπηρεσίας αλλά δρα ενεργά και μπορεί να χρησιμοποιεί πρόσθετες υπηρεσίες με βάση τις προσωπικές του επιλογές και ανάγκες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα διαδραστικών υπηρεσιών είναι το βίντεο κατ'απαίτηση (Video on Demand-VoD) και η μετάδοση δεδομένων διαδικτύου.

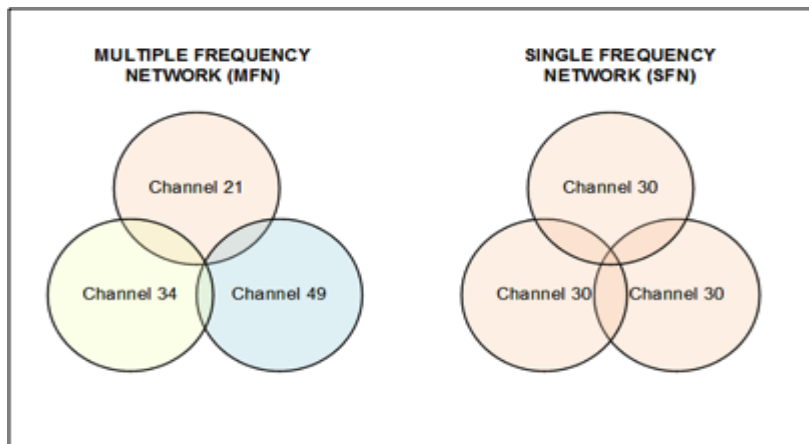
2.3 ΓΙΑΤΙ Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ ΕΙΝΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΠΙΟ

ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ

Η αναλογική τηλεόραση μπορεί να μεταδώσει ένα μόνο τηλεοπτικό κανάλι σε εύρος ζώνης 8MHz. Για να αποφευχθεί η παρεμβολή, είναι απαραίτητο να υπάρχει μεγάλη γεωγραφική απόσταση μεταξύ των μεταδοτών που λειτουργούν στην ίδια συχνότητα. Η περιοχή που μπορεί να καλυφθεί από έναν τηλεοπτικό μεταδότη είναι σχετικά μικρή. Άρα για να καλυφθεί μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή είναι αναγκαία η ύπαρξη πολλών αναμεταδοτών, οι οποίοι θα λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες εκτός και αν υπάρχει μεταξύ τους μεγάλη απόσταση ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές. Στην πράξη, μπορεί να χρειαστούν ακόμα και 11 κανάλια συχνοτήτων για να καλυφθεί μια χώρα. Αυτό σημαίνει 88MHz συνολικό εύρος ζώνης για έναν τηλεοπτικό σταθμό. Είναι φανερό λοιπόν η μεγάλη απαίτηση εύρους ζώνης ώστε και να καλυφθεί επιτυχώς μια χώρα αλλά και να μην υπάρχουν παρεμβολές.

Η ψηφιακή τηλεόραση χρησιμοποιώντας μόνο ένα κανάλι συχνοτήτων των 8MHz, μπορεί να μεταδώσει πολλά τηλεοπτικά κανάλια αξιοποιώντας την πολυπλεξία. Καθώς η ψηφιακή τηλεόραση είναι λιγότερη ευάλωτη στις παρεμβολές, η γεωγραφική απόσταση μεταξύ δύο μεταδοτών που λειτουργούν στην ίδια συχνότητα μπορεί να είναι μικρότερη από αυτή στην αναλογική. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα να στους πομπούς ευρείας εκπομπής να εκπέμπουν το ίδιο περιεχόμενο σε γειτονικές γεωγραφικά περιοχές χρησιμοποιώντας το ίδιο κανάλι συχνοτήτων. Τέτοιες διατάξεις δικτύων είναι γνωστές ως δίκτυα μίας συχνότητας (Single Frequency Networks-SFNs). Έτσι λοιπόν, σε ένα δίκτυο SFN, όλοι οι πομποί εκπέμπουν το ίδιο περιεχόμενο, στην ίδια συχνότητα αλλά και την ίδια χρονική στιγμή. Ο συγχρονισμός είναι απαραίτητος διότι ένας δέκτης σε δίκτυο SFN λαμβάνει ένα ισχυρό σήμα από τον πλησιέστερο πομπό και εξασθενημένα, καθυστερημένα σήματα σε σχέση με το ισχυρό από τους πιο απομακρυσμένους.

Υπάρχουν επίσης και τα δίκτυα πολλαπλών συχνοτήτων (Multi Frequency Networks-MFNs). Σε τέτοια δίκτυα οι πομποί μεταδίδουν το ίδιο ή διαφορετικό περιεχόμενο χρησιμοποιώντας διαφορετικές συχνότητες, συνήθως σε γειτονικές και επικαλυπτόμενες περιοχές, ώστε να περιορίσουν τις παρεμβολές. Όπως είναι φανερό, χρησιμοποιώντας δίκτυα MFN χρειάζεται μεγάλος αριθμός καναλιών συχνοτήτων για να καλυφθεί μια εκτεταμένη γεωγραφικά περιοχή.

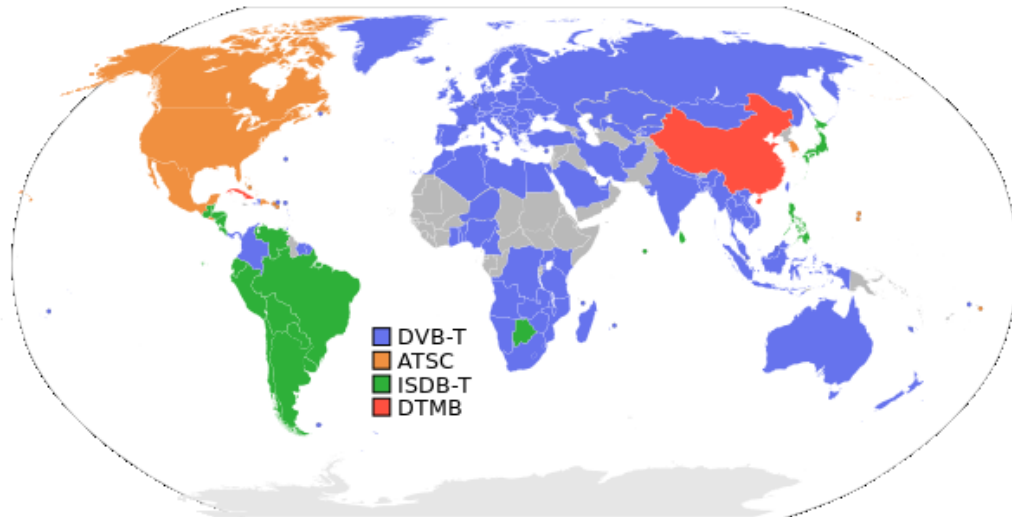


Εικόνα 2.2: Τα SFN δίκτυα χρησιμοποιούν μια συχνότητα για τη μετάδοση του ίδιου προγράμματος σε μια περιοχή, παρέχοντας αυξημένη φασματική απόδοση.

2.4 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΗΛΕΟΠΤΙΚΗΣ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗΣ (DVB-T)

Το DVB-T (Digital Video Broadcast-Terrestrial) είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πρότυπο για χρήση ψηφιακής τηλεόρασης σε όλο τον κόσμο για την επίγεια τηλεοπτική μετάδοση. Παρέχει πολλές διευκολύνσεις και δίνει τη δυνατότητα για μια πιο αποδοτική χρήση του διαθέσιμου εύρους συχνοτήτων σε σχέση με προηγούμενες αναλογικές μεταδόσεις. Το φάσμα που αντιστοιχεί στην ψηφιακή τηλεόραση είναι 470MHz-862MHz, δηλαδή ανήκει στο κομμάτι των υπερυψηλών συχνοτήτων 300MHz-3GHz (Ultra high frequency –UHF).

Το πρότυπο DVB-T εκδόθηκε για πρώτη φορά το 1997 και από τότε έχει γίνει το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πρότυπο για ψηφιακή ευρυεπομπή στον κόσμο. Μέχρι το 2008, ήταν το πρότυπο που υιοθετήθηκε σε περισσότερες από 35 χώρες και πλέον το χρησιμοποιούν πάνω από 60 εκατομμύρια χρήστες. Άλλα πρότυπα που χρησιμοποιούνται είναι τα ATSC (Advanced Television Systems Committee), ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial) και DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast). Στον παρακάτω χάρτη φαίνονται οι χώρες και τα πρότυπα που χρησιμοποιούν για την επίγεια ψηφιακή τηλεόραση ανά τον κόσμο.



Εικόνα 2.3: Πρότυπα για την επίγεια ψηφιακή τηλεόραση παγκοσμίως.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου DVB-T συνοψίζονται παρακάτω:

- Η μετάδοση DVB-T είναι ικανή να μεταδώσει έναν πολύ σημαντικό όγκο δεδομένων. Βασικό χαρακτηριστικό της είναι η πολυπλεξία. Δηλαδή, ένας αριθμός ροών video, ήχου και δεδομένων συνδυάζεται σε μία ενιαία ροή η οποία μεταδίδεται μέσω ενός καναλιού συχνοτήτων. Το σήμα βασικής ζώνης αποτελεί ενιαία ροή μεταφοράς πολυπλεγμένη και κωδικοποιημένη κατά το πρότυπο είτε MPEG2 είτε MPEG4. Τα πρότυπα αυτά επεξηγούνται παρακάτω.
- Χρησιμοποιεί την τεχνική της κωδικοποιημένης ορθογώνιας διαμόρφωσης συχνότητας, την COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί έναν μεγάλο αριθμό από γειτονικά φέροντα που διαμορφώνονται με χαμηλό ρυθμό δεδομένων. Κανονικά τα σήματα αυτά θα αναμέναμε να παρεμβάλλουν μεταξύ τους αλλά κάνοντάς τα σήματα ορθογώνια μεταξύ τους δεν υπάρχει αμοιβαία παρεμβολή. Τα δεδομένα που πρόκειται να μεταδωθούν μοιράζονται σε όλα τα φέροντα. Η ροή ψηφίων πληροφορίας λοιπόν χωρίζεται σε πολλές επιμέρους ροές και το αντίστοιχο πλήθος υποδιαύλων για τη μετάδοση είναι είτε 1705 οπότε αναφέρονται ως “2k” είτε 6817 οπότε αναφέρονται ως “8k”. Όλοι οι υποδιαύλοι μέσω των οποίων μεταδίδονται οι υποροές, καταλαμβάνουν εύρος ζώνης ίσο με ενός καναλιού των 6, 7 ή 8MHz. Βασικό πλεονέκτημα της COFDM είναι η δραστική μείωση της παρεμβολής γειτονικών συμβόλων και οι μη επιλεκτικές διαλείψεις ως προς τη συχνότητα.

- Υπάρχουν τρεις επιλογές διαμόρφωσης : QPSK, 16QAM και 64QAM. Πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ του ρυθμού με τον οποίο μπορούν να μεταφερθούν δεδομένα και τον λόγο σήματος προς θόρυβο που είναι ανεκτός. Οι χαμηλότερης τάξης διαμορφώσεις, όπως η QPSK, δεν μεταδίδουν δεδομένα τόσο γρήγορα όσο η 64QAM αλλά μπορούν να ληφθούν από τους δέκτες ακόμα και όταν τα σήματα είναι πιο ασθενή.
- Υποστηρίζει την κωδικοποίηση για τη διόρθωση λαθών που ονομάζεται FEC (Forward Error Correction) σε πέντε διαφορετικούς ρυθμούς. Ο ρυθμός με τον οποίο γίνεται η διόρθωση λαθών επηρεάζει τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο της διόρθωσης σφαλμάτων που εφαρμόζεται, τόσο περισσότερα είναι και τα δεδομένα για τη διόρθωση σφαλμάτων που πρέπει να μεταδωθούν μαζί με τα επιθυμητά δεδομένα. Αυτό με τη σειρά του μειώνει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Κατά συνέπεια είναι απαραίτητο να συνδυάζουμε το επίπεδο διόρθωσης λαθών με τις απαιτήσεις του δικτύου εκπομπής. Η διόρθωση σφαλμάτων χρησιμοποιεί συνελκτική κωδικοποίηση και των κώδικα Reed-Solomon σε ρυθμούς $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$ και $7/8$ ανάλογα με τις απαιτήσεις.
- Εγκατάσταση SFN δικτύων.
- Υποστήριξη ιεραρχικής διαμόρφωσης σύμφωνα με την οποία δύο ανεξάρτητες ροές δεδομένων μπορούν να διαμορφωθούν από κοινού. Η μία ροή καλείται υψηλής προτεραιότητας και ενσωματώνεται στην άλλη που καλείται χαμηλής προτεραιότητας. Η ροή χαμηλής προτεραιότητας έχει συνήθως υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης αλλά είναι περισσότερο ευάλωτη στα σφάλματα και τις παρεμβολές, ενώ η ροή υψηλής προτεραιότητας μεταδίδεται με χαμηλότερο ρυθμό αλλά είναι περισσότερο ανθεκτική στα σφάλματα και τις παρεμβολές.

2.5 MPEG (Moving Picture Experts Group)

Η τεχνολογία συμπίεσης που χρησιμοποιείται από όλα τα υπάρχοντα συστήματα ψηφιακής τηλεόρασης βασίζεται στο πρότυπο MPEG2. Με την ανάπτυξη του προτύπου MPEG4 το 1998 και τη συνεχή εξέλιξή του, η τεχνολογία συμπίεσης έχει βελτιωθεί περαιτέρω. Συγκεκριμένα, το πρότυπο MPEG4 περιλαμβάνει προχωρημένη κωδικοποίηση βίντεο η οποία παρέχει περαιτέρω μείωση του απαιτούμενου εύρους ζώνης για μετάδοση κατά περίπου 50%.

Για τη μετάδοση σημάτων υψηλής ευκρίνειας απαιτείται περισσότερο εύρος ζώνης σε σχέση με τη μετάδοση σημάτων κανονικής ευκρίνειας. Δηλαδή η υψηλή ευκρίνεια απαιτεί μετάδοση περισσότερης πληροφορίας για την εικόνα και τον ήχο και επομένως υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης σε σχέση με τη μετάδοση σήματος κανονικής ευκρίνειας.

Το σημαντικότερο στάδιο κατά τη συμπίεση της πληροφορίας είναι οι αλγόριθμοι κωδικοποίησης βίντεο οι οποίοι παρέχουν ένα μεγάλο αριθμό επιλογών ως προς την ευκρίνεια της εικόνας, το βαθμό συμπίεσης και την πολυπλοκότητα των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για να αφαιρέσουν τον πλεονασμό ψηφίων ώστε να μείνουν μόνο τα ψηφία εκείνα που χρειάζονται για την αναπαραγωγή της πληροφορίας. Επιπλέον, η προδιαγραφή MPEG ορίζει μια ενιαία ροή μεταφοράς (transport stream), δηλαδή ένα σύστημα βασισμένο στη μετάδοση πακέτων βάσει του οποίου ψηφιακά δεδομένα, που μπορεί να αντιστοιχούν σε ήχο, εικόνα ή άλλες ψηφιοποιημένες πληροφορίες, πολυπλέκονται κατάλληλα και μεταδίδονται μέσω μιας ροής δεδομένων.

Πρακτικά λοιπόν, η πολυπλεξία στην προδιαγραφή MPEG2 έχει τη δυνατότητα για μετάδοση τεσσάρων ως έξι καναλιών κανονικής ευκρίνειας σε εύρος ζώνης που καταλαμβάνει ένα κανάλι συχνοτήτων στην αναλογική μετάδοση ενώ η προδιαγραφή MPEG4 παρέχει τη δυνατότητα μετάδοσης τριπλάσιου αριθμού καναλιών κανονικής ευκρίνειας από την MPEG2.

3. WHITE SPACES

3.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ WHITE SPACES

Στις τηλεπικοινωνίες, ο όρος White Spaces αναφέρεται σε αχρησιμοποίητες συχνότητες που διατίθενται για τις υπηρεσίες ραδιοηλεκτρικής μετάδοσης, αλλά παραμένουν αχρησιμοποίητες σε συγκεκριμένες περιοχές της χώρας.

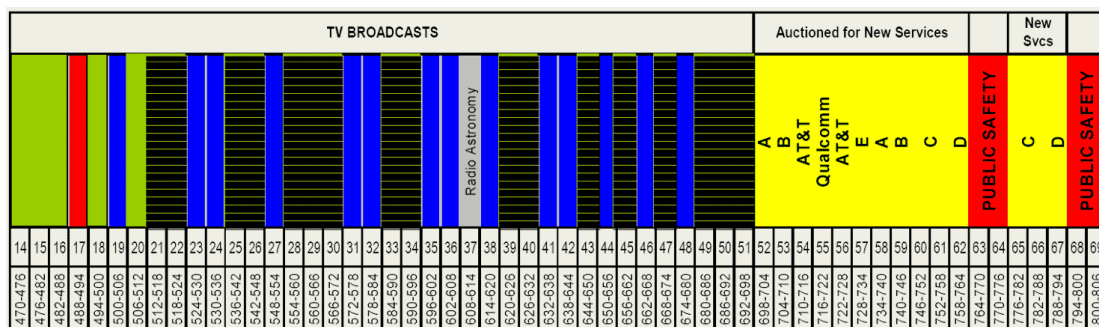
Οι εθνικοί και διεθνείς οργανισμοί εκχωρούν διαφορετικές συχνότητες για συγκεκριμένες χρήσεις και στις περισσότερες περιπτώσεις παραχωρούν τα δικαιώματα μετάδοσης σε αυτές τις συχνότητες. Αυτή η διαδικασία κατανομής συχνοτήτων δημιουργεί έναν «χάρτη» συχνοτήτων, όπου για τεχνικούς λόγους αποδίδονται αχρησιμοποίητες συχνότητες (White Spaces) ανάμεσα στις ραδιοζώνες ή τα κανάλια ώστε να αποφευχθούν οι παρεμβολές. Στη περίπτωση αυτή δηλαδή, που οι συχνότητες αυτές είναι αχρησιμοποίητες, έχουν εκχωρηθεί για έναν σκοπό όπως για εύρος ζώνης φύλαξης (guard bands) που είναι ουσιαστικά περιθώριο ασφαλείας. Συχνά όμως, τα διαστήματα αυτά υπάρχουν φυσικά μεταξύ των καναλιών αφού όταν μεταδίδουν γειτονικά κανάλια θα προκληθεί αναιρετική συμβολή και στα δύο. Επιπρόσθετα, εκτός από το ότι οι κενές συχνότητες έχουν διατεθεί για τεχνικούς λόγους, υπάρχει αχρησιμοποίητο φάσμα που είτε δεν είχε ποτέ χρησιμοποιηθεί είτε πρόσφατα απελευθερώθηκε λόγω νέων τεχνολογιών. Συγκεκριμένα, η μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση απελευθέρωσε συχνότητες μεταξύ των 470MHz και 862MHz. Αυτό προέκυψε από τη δυνατότητα που έχει η ψηφιακή τεχνολογία να διανέμει μεγαλύτερο αριθμό τηλεοπτικών σταθμών σε ένα δεδομένο εύρος ζώνης φάσματος, σε σχέση με την αναλογική μετάδοση.

Οι συχνότητες 470MHz-862MHz διαιρούνται σε 49 κανάλια, όπου το καθένα έχει εύρος ζώνης 8MHz. Τα κανάλια αυτά αριθμούνται από το 21 ως το 69.

Τα White Spaces μπορεί να αναφέρονται :

- Σε μεμονωμένους διάυλους από ολόκληρο το φάσμα που διατίθενται δυναμικά όπου και όποτε είναι ελεύθεροι.
- Σε συνεχόμενο τμήμα φάσματος (790MHz-862MHz που αντιστοιχεί στα κανάλια 61-69) που στην Ελλάδα πλέον έχει αποδοθεί σε νέες κινητές υπηρεσίες. Αυτό το τμήμα φάσματος ονομάζεται Ψηφιακό Μέρισμα και δεν θα μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά ένα σχήμα με τα White Spaces (παραλληλόγραμμα με μπλε χρώμα) στο Texas ώστε να κατανοηθεί η έννοια αυτή και ένας πίνακας που απεικονίζει συγκεκριμένα κανάλια που αποτελούν αχρησιμοποίητες συχνότητες.



Εικόνα 3.1: Τα White Spaces στο φάσμα συχνοτήτων των UHF του Texas.

TV White Space Spectrum Allocation		
TV Channels ⁽¹⁾	Spectrum ⁽²⁾	Band
2, 3, 4	54 – 72 MHz	VHF – Low-band
5, 6	76 – 88 MHz	VHF – Low-band
7 – 13	174 – 216 MHz	VHF – High-band
14 – 51	470 – 698 MHz	UHF band

Source: Gartner 2011

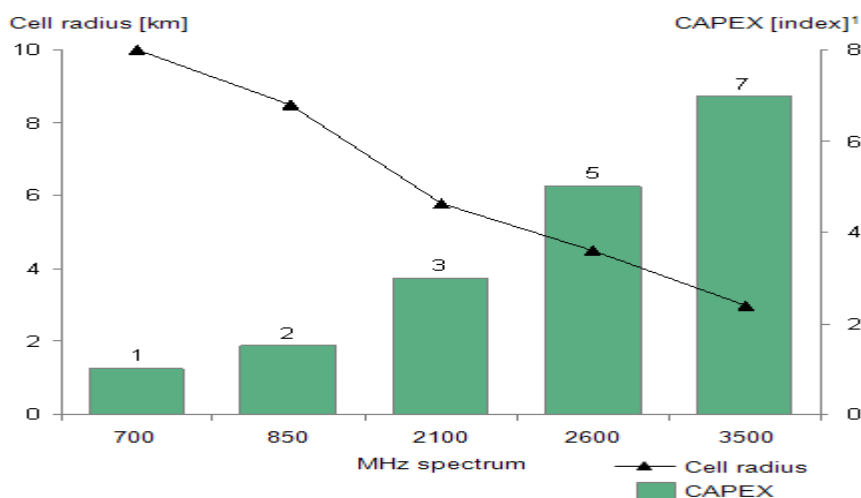
Πίνακας 3.1. White Spaces στις VHF και UHF περιοχές.

3.2 ΓΙΑΤΙ ΜΑΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΚΑΙ ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ ΝΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΟΥΜΕ

Όλες οι ζώνες του φάσματος δεν έχουν τα ίδια φυσικά χαρακτηριστικά. Οι υψηλότερες συχνότητες δεν μεταφέρουν σήματα σε μεγάλη απόσταση και δεν διεισδύουν με ευκολία στα κτίρια, ενώ οι χαμηλότερες συχνότητες παρουσιάζουν περιορισμούς χωρητικότητας και δημιουργούν περισσότερες παρεμβολές. Συγκεκριμένα, η ζώνη 470MHz-862MHz αποτελεί πολύτιμη ζώνη του φάσματος διότι παρέχει ισορροπία μεταξύ κάλυψης, χωρητικότητας και ευκολίας σχεδίασης του εξοπλισμού που απαιτείται.

Οι συνθήκες διάδοσης είναι ευνοϊκότερες όταν γίνεται χρήση UHF συχνοτήτων έναντι υψηλότερων. Αυτό συμβαίνει διότι η απόσβεση είναι μικρότερη στις χαμηλές συχνότητες της UHF μπάντας σε σχέση με υψηλότερες. Έτσι, η σχετικά μικρότερη απόσβεση καθιστά ιδανική τη μετάδοση σημάτων σε υπηρεσίες ευρυζωνικών επικοινωνιών στις συχνότητες του κενού φάσματος. Επιπλέον, μας επιτρέπεται αύξηση της ραδιοκάλυψης, κάτι που είναι πολύ ενδιαφέρον για τις αγροτικές περιοχές. Σημαντικό πλεονέκτημα επίσης της υπό μελέτης ζώνης φάσματος είναι η ικανότητα του σήματος να διεισδύει στα κτίρια. Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά αυτής της μπάντας συχνοτήτων καθιστούν οικονομικότερη τη μετάδοση σε σχέση με τη χρήση υψηλότερων συχνοτήτων αφού μπορεί να επιτευχθεί το ίδιο ποσοστό ραδιοκάλυψης με μικρότερη ισχύ εκπομπής.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε πως στα 700MHz χρειαζόμαστε τους λιγότερους σταθμούς βάσης, έχουμε τη μεγαλύτερη ακτίνα κάλυψης και επιτυγχάνονται οι λιγότερες κεφαλαιουχικές δαπάνες.



Εικόνα 3.2: Σύγκριση του πλήθους σταθμών βάσης, της ακτίνας κάλυψης και των κεφαλαιουχικών δαπανών σε σχέση με τη συχνότητα.

Παρόλα τα θετικά χαρακτηριστικά των UHF συχνοτήτων, υπάρχουν και ορισμένα προβλήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψιν στη μελέτη και να επιλυθούν στο τεχνικό κομμάτι.

Σε γενικές γραμμές δύο ειδών είναι οι παρεμβολές που μπορούν να υπάρξουν στη ζώνη συχνοτήτων UHF:

- Παρεμβολή γειτονικού καναλιού (Adjacent Channel Interference-ACI): Δημιουργείται όταν μια υπηρεσία η οποία λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο κανάλι συχνοτήτων δημιουργεί παρεμβολές στη λήψη μιας άλλης υπηρεσίας η οποία λειτουργεί στο ακριβώς διπλανό κανάλι στην ίδια γεωγραφική περιοχή. Η ασφαλέστερη μέθοδος για την αποφυγή τέτοιου είδους φαινομένων είναι η εισαγωγή διαστημάτων φύλαξης δίπλα στη χρησιμοποιούμενη συχνότητα.
- Ομοκαναλική παρεμβολή (Co-Channel Interference-CCI): Δημιουργείται όταν η εκπομπή ενός σήματος από ένα σύστημα μιας γεωγραφικής περιοχής λαμβάνεται στον δέκτη ενός άλλου συστήματος μιας άλλης γεωγραφικής περιοχής σαν παρεμβολή. Αυτό συμβαίνει γιατί και τα δύο συστήματα λειτουργούν στο ίδιο εύρος συχνοτήτων. Ο φυσικός διαχωρισμός επιτυγχάνεται είτε εντός μιας χώρας μεταξύ διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών είτε μεταξύ κρατών τα οποία συνορεύουν μεταξύ τους μέσω διακρατικών συντονισμών συχνοτήτων.

Οι παρεμβολές λοιπόν που αναπτύσσονται είναι ένα σημαντικό πρόβλημα που θα χρειαστεί επίλυση καθώς οι υπηρεσίες που θα λειτουργούν στα White Spaces θα παρεμβάλλουν στο σήμα της ψηφιακής τηλεόρασης. Το κόστος και οι δυσκολίες διαχείρισης των παρεμβολών είναι παράγοντες που θα καθυστερήσουν την πλήρη αξιοποίηση των White Spaces.

Επίσης, τα White Spaces είναι διασπαρμένα μέσα στο φάσμα συχνοτήτων. Αυτό μπορεί να περιορίσει τη χρήση τους καθώς οι πρόσφατες ασύρματες τεχνολογίες απαιτούν συχνά συνεχόμενα τμήματα του φάσματος.

Τέλος, πρέπει να ληφθούν υπόψιν και οι παρεμβολές ανάμεσα σε σταθμούς όμορων χωρών. Η Ελλάδα περιβάλλεται από ένα μεγάλο αριθμό χωρών και γι' αυτό κρίνεται απαραίτητη η τήρηση των διεθνών κανονισμών. Έτσι για τον διασυνοριακό συντονισμό έχουν προσδιορισθεί τα όρια εκπομπής των σταθμών και τα όρια παρεμβολής ως προς τους τηλεοπτικούς δέκτες, τα κινητά τερματικά και τους κινητούς σταθμούς βάσης. Η CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) και η ITU (International Telecommunication Union) βοηθούν στην προστασία του διασυνοριακού ραδιοφάσματος μέσω των δημοσιεύσεων και των προδιαγραφών που θέτουν.

3.3 ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΕΣ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Η White Space Coalition (WSC) αποτελεί μια προσπάθεια οκτώ εταιρειών των Η.Π.Α για παροχή ασύρματου υψηλής ταχύτητας internet μέσω των White Spaces. Οι εταιρίες που συμβάλλουν σε αυτό το εγχείρημα είναι οι : Microsoft, Google, Dell, HP, Intel, Philips, Earthlink και Samsung Electro-Mechanics.

Τα White Spaces λόγω των καινοτομιών που υπόσχονται είναι ένας περιζήτητος πόρος. Οι ρυθμιστικές αρχές επιζητούν να εξασφαλίσουν ότι αυτό το νέο φάσμα τίθεται στη βέλτιστη χρήση του κάνοντας τις επιλογές για το πώς θα κατανέμεται. Τα συνήθη μέσα για να επιτευχθεί αυτό είναι μέσω της χορήγησης αδειών, από τις οποίες χορηγούνται αποκλειστικά δικαιώματα στους αιτούντες για το φάσμα. Το πλεονέκτημα της αποκλειστικότητας, όπως είναι προφανές, είναι σημαντικό για τους παρόχους των υπηρεσιών. Παρόλ'αυτα, πολλές υπηρεσίες που θα χρησιμοποιήσουν το αχρησιμοποίητο φάσμα θα είναι μη αδειοδοτημένες καθώς θα εκπέμπουν σε χαμηλή ισχύ και η χρήση τους θα είναι τοπική και πιθανόν προσωρινή.

Στην Ελλάδα, καθώς δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμα η μετάβαση στη ψηφιακή τηλεόραση, έχουν ληφθεί μόνο λίγα μέτρα για την εκμετάλλευση και ρύθμιση των TV White Spaces. Στην Ευρώπη, οι εθνικές ρυθμιστικές αρχές έχουν αδειοδοτήσει το κομμάτι που αντιστοιχεί στο Ψηφιακό Μέρισμα (790MHz-862MHz) σε υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας αφού πρώτα έχει γίνει μελέτη για τις παρεμβολές οπότε και έθεσαν κατώφλια ανίχνευσης και όρια εκπομπών. Οι σημαντικότερες ρυθμιστικές αρχές στην Ευρώπη και ο ρόλος τους παρατίθενται παρακάτω.

CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations)

Η Ευρωπαϊκή Διάσκεψη Ταχυδρομικών και Τηλεπικοινωνιακών Οργανισμών (CEPT) συστάθηκε στις 26 Ιούνη 1959 ως συντονιστικός φορέας για τις Ευρωπαϊκές κρατικές τηλεπικοινωνίες και τις ταχυδρομικές οργανώσεις. Η CEPT έλαβε εντολή από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή να προβεί σε τεχνικές δραστηριότητες προκειμένου να παράσχει στην Ευρωπαϊκή Ένωση τις σχετικές τεχνικές πληροφορίες προετοιμασίας για μια πολιτική πρόταση σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την επίτευξη κατάλληλου συντονισμού και τη συνέπεια των προσεγγίσεων, κυρίως για το Ψηφιακό Μέρισμα. Η έρευνα αυτή στοχεύει στην ανάπτυξη εναρμονισμένων όρων για τη διαθεσιμότητα του ραδιοφάσματος ώστε να είναι σε θέση να ικανοποιήσει μια μελλοντική ζήτηση για πανευρωπαϊκές υπηρεσίες.

COGEU (Cognitive radio systems for efficient sharing of TV white spaces in European context)

Το έργο COGEU στοχεύει στην αποτελεσματική εκμετάλλευση των TV White Spaces. Συγκεκριμένα το έργο αυτό θα εξαγάγει τα σχετικά υποσύνολα των προδιαγραφών του CEPT στο πεδίο εφαρμογής των TV White Spaces και των απαιτήσεων προστασίας.

FCC (Federal Communications Commission)

Οι τηλεοπτικοί σταθμοί και άλλοι χρήστες (με ή χωρίς άδεια), φοβούνταν πως τα συστήματά τους δεν θα λειτουργούν πλέον κανονικά λόγω των μη αδειοδοτημένων υπηρεσιών που θα λειτουργούν στο ίδιο φάσμα. Εντούτοις, το γραφείο Μηχανικής και Τεχνολογίας του FCC δημοσίευσε μια έκθεση, στις 15 Οκτωβρίου 2008, η οποία αξιολόγησε συσκευές που λειτουργούν σε TV White Spaces που κατατέθηκαν από την Adaptrum, το Institute for Infocomm Research, τη Motorola και τη Philips. Η έκθεση κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν επαρκείς αποδείξεις για την ικανότητά τους να ανιχνεύουν και να αποφεύγουν να παρεμβάλουν στις νόμιμες μεταδόσεις παρόλο που καμία από τις υπό δοκιμασία συσκευές δεν ανίχνευσε επαρκώς σήματα ασύρματων μικροφώνων με την παρουσία ενός ψηφιακού τηλεοπτικού πομπού σε γειτονικό κανάλι.

Στις 4 Νοεμβρίου 2008, η FCC ψήφισε και ενέκρινε την μη αδειοδοτημένη χρήση των White Spaces, αγνοώντας με αυτόν τον τρόπο την αντίθεση των τηλεοπτικών οργανισμών. Η πραγματική δεύτερη έκθεση κυκλοφόρησε 10 μέρες αργότερα και περιελάμβανε ορισμένα σημαντικά εμπόδια για την ανάπτυξη και χρήση συσκευών που λειτουργούν στο εύρος ζώνης της τηλεόρασης. Οι συσκευές αυτές θα πρέπει να συμβουλευονται τις οδηγίες του FCC ώστε να προσδιορίζουν ποια κανάλια είναι διαθέσιμα για χρήση σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Επίσης πρέπει να παρακολουθούν το φάσμα τοπικά μια φορά κάθε λεπτό ώστε να επιβεβαιώνουν ότι δεν υπάρχουν μη αδειοδοτημένη χρήση ασύρματων μικροφώνων ή άλλες πηγές εκπομπής είναι παρούσες. Εάν έστω και μια μετάδοση ανιχνευθεί, η συσκευή θα πρέπει να μη μεταδώσει μέσα στο κανάλι εύρους ζώνης 8MHz μέσα στο οποίο λαμβάνεται η

μετάδοση. Το προσδοκώμενο ήταν ότι μέσα σε έναν χρόνο, αυτός ο νέος τρόπος πρόσβασης θα οδηγούσε σε πιο αξιόπιστη πρόσβαση στο ίντερνετ και σε άλλες τεχνολογίες.

Στις 23 Νοεμβρίου 2010, η FCC κυκλοφόρησε το λεγόμενο Memorandum Opinion and Order, που καθόρισε τους τελικούς κανόνες για τη χρήση των White Spaces για μη αδειοδοτημένες ασύρματες συσκευές. Οι καινούργιοι κανόνες κατήγγησαν τις υποχρεωτικές απαιτήσεις ανίχνευσης που διευκολύνουν σε μεγάλο βαθμό τη χρήση φάσματος με διάθεση καναλιού ανάλογα με τη γεωγραφική τοποθεσία. Οι τελικοί κανόνες υιοθέτησαν μια πρόταση από τη White Space Coalition για πολύ αυστηρούς κανόνες εκπομπής που εμποδίζουν την άμεση χρήση του IEEE 802.11(WiFi) σε ένα ενιαίο κανάλι καθιστώντας έτσι το νέο φάσμα άχρηστο για τεχνολογίες WiFi.

Δημοσίευση της FCC- 1^η Μαρτίου 2013

Η Επιτροπή Μηχανικής και Τεχνολογίας (Commission's Office of Engineering and Technology-OET) ανακοίνωσε ότι ενέκρινε τα συστήματα βάσεως δεδομένων στα TV White Spaces ώστε μη αδειοδοτημένες συσκευές να παρέχουν υπηρεσίες σε αυτό το λευκό φάσμα σε εθνική βάση.

Αυτή η δράση έπεται μιας σχετικής δράσης του OET και του WTB(Wireless Telecommunications Bureau) που στις 6 Δεκέμβρη του 2012, ξεκίνησε σε εθνική βάση, διαδικτυακή καταχώρηση για μη αδειοδοτημένα μικρόφωνα που χρησιμοποιούνταν στους χώρους της ψυχαγωγίας, του αθλητισμού κ.α. Αυτό το σύστημα επέτρεπε σε μεγάλες παραγωγές να εγγράφονται στα συστήματα βάσης δεδομένων ώστε οι λειτουργίες των μη αδειοδοτημένων μικροφώνων και άλλων χαμηλής ισχύος πομπών να προστατεύονται από πιθανές παρεμβολές λόγω της ψηφιακής τηλεόρασης.

Οι κανόνες της Commission επιτρέπουν λοιπόν αυτές τις μη αδειοδοτημένες συσκευές να μεταδίδουν στο αχρησιμοποίητο φάσμα. Για την προστασία της τηλεοπτικής μετάδοσης από μη αδειοδοτημένες υπηρεσίες, απαιτείται οι συσκευές να διαθέτουν μια λίστα των καναλιών (εγκεκριμένη από την Commission) που είναι διαθέσιμα σε συγκεκριμένες τοποθεσίες και να λειτουργούν μόνο σε αυτά τα κανάλια. Έτσι αποτρέπεται το ενδεχόμενο οι συσκευές που λειτουργούν στα TV White Spaces να δημιουργούν παρεμβολές σε εγκεκριμένες υπηρεσίες.

4.ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ WHITE SPACES

Το πρόσφατα διαθέσιμο φάσμα TV White Spaces μπορεί να υποστηρίξει νέες ασύρματες υπηρεσίες, οι οποίες θα λειτουργούν σε χαμηλές ισχύεις και θα καλύπτουν περιορισμένη έκταση ώστε οι παρεμβολές στην ψηφιακή τηλεόραση να είναι περιορισμένες. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα εφαρμογών :

- LTE (Long Term Evolution)
- Συσκευές χαμηλής ισχύος όπως π.χ. ασύρματα μικρόφωνα και προσωρινές ραδιοζεύξεις -PMSE (Program making and special events).
- Υπηρεσίες βοηθητικές στη ραδιοτηλεοπτική υπηρεσία (Services Ancillary Broadcasting-SAB) και στην υπηρεσία παραγωγής προγράμματος (Services Ancillary Program making- SAP). Ουσιαστικά είναι οι ίδιες σχεδόν υπηρεσίες με τις PMSE.
- Δυναμική χρήση φάσματος μέσω της γνωστικής τεχνολογίας επικοινωνιών- Cognitive Radio .
- Ισχυρή λήψη σήματος για βίντεο υψηλής ευκρίνειας μέσα στο σπίτι και διαμέσου πολλών τοίχων-HDTV (High Definition TeleVision) .
- Βελτίωση της διαδικτυακής πρόσβασης για αγροτικές περιοχές όπου η κάλυψη δεν είναι επαρκής, δρώντας ουσιαστικά συμπληρωματικά στη βασική υπηρεσία.
- Βελτίωση της κάλυψης των κινητών επικοινωνιών και της ασύρματης πρόσβασης στο ίντερνετ σε συγκεκριμένες περιοχές μέσα στην πόλη που η κάλυψη δεν είναι επαρκής.
- Ισχυρή κάλυψη στο εσωτερικό κτιρίων και σε πανεπιστημιούπολεις για ασύρματες εφαρμογές δεδομένων.
- Αναβάθμιση της ποιότητας για τις υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας και για επείγουσες ανάγκες.

Μια κατηγοριοποίηση των υπηρεσιών που μπορούν να προσφερθούν κάνοντας χρήση του φάσματος είναι με βάση το αν διαθέτουν ειδική άδεια. Υπάρχουν λοιπόν υπηρεσίες που διαθέτουν ειδική άδεια (licensed use) οι οποίες λειτουργούν σε περιβάλλον πλήρους προστασίας από τυχόν παρεμβολές αφού οι κυβερνήσεις έχουν διαθέσει συγκεκριμένο τμήμα του φάσματος για την αποκλειστική χρήση αυτών των υπηρεσιών. Από την άλλη υπάρχουν και οι μη αδειοδοτημένες υπηρεσίες (unlicensed use) στις οποίες δεν παρέχεται προστασία από τις παρεμβολές και οι ίδιες δεν πρέπει να παρεμβάλλουν στις αδειοδοτημένες υπηρεσίες. Στη συνέχεια θα αναλυθούν ορισμένες από τις εφαρμογές που αναφέρθηκαν και πρόκειται να λειτουργήσουν ή ήδη λειτουργούν στις συχνότητες των White Spaces. Οι υπηρεσίες αυτές είναι συνήθως μη αδειοδοτημένες.

4.1 LTE- Long Term Evolution

Το πρότυπο LTE (Long Term Evolution) αναπτύσσεται από τον οργανισμό 3GPP και χρησιμοποιείται για ασύρματη επικοινωνία και δικτύωση κινητών συσκευών με υψηλές ταχύτητες. Ο στόχος του προτύπου αυτού είναι να αυξήσει τη χωρητικότητα και την ταχύτητα του δικτύου. Αξίζει να σημειωθεί πως ενώ το δίκτυο LTE χαρακτηρίζεται ως σύστημα 4^{ης} γενιάς (4G), δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις που έχει θέσει η ITU, και για το λόγο αυτό το πρότυπο αυτό αναβαθμίστηκε στο LTE Advanced. Η ταχέως ανερχόμενη αυτή τεχνολογία είναι σε θέση να μεταδίδει φωνή και δεδομένα.

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας LTE είναι ο υψηλός ρυθμός δεδομένων τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη, η υψηλή χωρητικότητα μιας κυψέλης, η υποστήριξη χαμηλών αλλά και υψηλών ταχυτήτων των χρηστών, μειωμένη καθυστέρηση καθώς και αυξημένη απόδοση φάσματος.

Έτσι λοιπόν η τεχνολογία LTE έχει να προσφέρει πολλά στις επικοινωνίες. Οπότε και η χρήση LTE σε TVWS είναι μια πιθανή εφαρμογή. Συγκεκριμένα υπάρχουν δύο πιθανές εφαρμογές υλοποίησης LTE σε TV White Spaces. Τα πιθανά αυτά σενάρια παρατίθενται παρακάτω:

- Αύξηση της χωρητικότητας με εσωτερικού χώρου LTE σταθμούς βάσης :
Αυτό το σενάριο καλύπτει τις προσπάθειες των φορέων των LTE να αυξήσουν τη χωρητικότητα του δικτύου σε αστικές περιοχές και να επεκτείνουν την κάλυψη των υπηρεσιών τους σε εσωτερικούς χώρους. Στη 3GPP, ο μικρότερος σταθμός βάσης με χαμηλής ισχύος χαρακτηριστικά και με μια τυπική ακτίνα κάλυψης για μια περιοχή εσωτερικού χώρου, που είναι γνωστή ως φεμτο-κυψέλη(femto-cell), αναφέρεται ως Home eNodeB (HeNB). Αυτοί οι σταθμοί βάσης συνήθως συνδέονται με ένα δίκτυο-χειριστή μέσω μιας ευρυζωνικής σύνδεσης όπως το xDSL. Το πλεονέκτημα αυτού του σεναρίου είναι ότι οι φεμτο-κυψέλες έχουν πολύ χαμηλή ισχύ και επομένως δεν δημιουργούν παρεμβολές σε παρακείμενες υπηρεσίες.



Εικόνα 4.1: Παράδειγμα χρήσης LTE σε εσωτερικούς χώρους.

- Χρήση LTE για αύξηση της κάλυψης κινητών επικοινωνιών σε αγροτικές περιοχές: Αυτό το σενάριο καλύπτει την περίπτωση παροχής υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας μέσω δικτύου LTE σε αγροτικές περιοχές. Τα χαρακτηριστικά διάδοσης στην περιοχή UHF εξυπηρετούν στην ανάπτυξη ενός λιγότερο πυκνού δικτύου LTE και ως εκ τούτου η κάλυψη μπορεί να επιτευχθεί με λιγότερους σταθμούς βάσης απ'ότι σε άλλες ζώνες συχνοτήτων. Η βασική διαφορά με το παραπάνω σενάριο είναι η ισχύς του LTE πομπού. Καθώς ο κόμβος HeNB βελτιώνει τη χωρητικότητα του δικτύου με μετάδοση σε πολύ χαμηλή ισχύ και ως εκ τούτου καλύπτει πολύ μικρές περιοχές σε ένα αστικό περιβάλλον, στο σενάριο κάλυψης της υπαίθρου χρησιμοποιούνται LTE πομποί μεγαλύτερης ισχύος για να επεκτείνουν την κάλυψη του δικτύου σε απομακρυσμένες περιοχές. Το σενάριο αυτό στοχεύει σε περιοχές όπου είναι διαθέσιμες πιο πολλές αχρησιμοποίητες συχνότητες. Εντούτοις, σε τέτοιες περιοχές ο πληθυσμός είναι μικρός και η χρήση των υπηρεσιών που διατίθενται μπορεί να είναι περιορισμένη.

4.2 PMSE

Χρήστες των υπηρεσιών αυτών είναι επαγγελματίες που εργάζονται σε ραδιοτηλεοπτικούς σταθμούς, εμπορικά θέατρα, μεγάλες μουσικές συναυλίες, εκλογές, ολυμπιακούς αγώνες αλλά και χρήστες που εξυπηρετούν μικρότερες κοινωνικές ομάδες όπως τα σχολεία. Αυτοί οι χρήστες χρησιμοποιούν το φάσμα για αρκετές εφαρμογές όπως είναι τα ασύρματα μικρόφωνα, τα ear monitors, οι ασύρματες κάμερες και ζεύξεις για τη μετάδοση ακουστικού και οπτικού σήματος σε συχνότητες που δε χρησιμοποιούνται τοπικά από τηλεοπτικούς σταθμούς.

Οι παραγωγές που περιγράφηκαν παραπάνω είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένες από την ασύρματη τεχνολογία. Αυτό συμβαίνει διότι πιθανές παρεμβολές ή ακόμα και η διακοπή θα έχουν μεγάλο οικονομικό κόστος. Άρα η PMSE τεχνολογία είναι απαραίτητη. Το μόνο μειονέκτημα της τεχνολογίας αυτής, είναι πως σε περιπτώσεις εκδηλώσεων που αλλάζουν πόλεις ή ακόμα και χώρες, οι παραγωγές αυτές θα χρησιμοποιούνται διαφορετικά κανάλια συχνοτήτων και ο εξοπλισμός θα χρειάζεται ρύθμιση κάθε φορά, καθώς αλλάζουν οι περιοχές κάλυψης.

Το ποσοστό του διαθέσιμου φάσματος για τα PMSE εξαρτάται τόσο από τη χρήση της εκάστοτε ζώνης από τη ψηφιακή τηλεόραση όσο και από άλλες υπηρεσίες που μπορούν να χρησιμοποιούν τις ίδιες/γειτονικές συχνότητες.

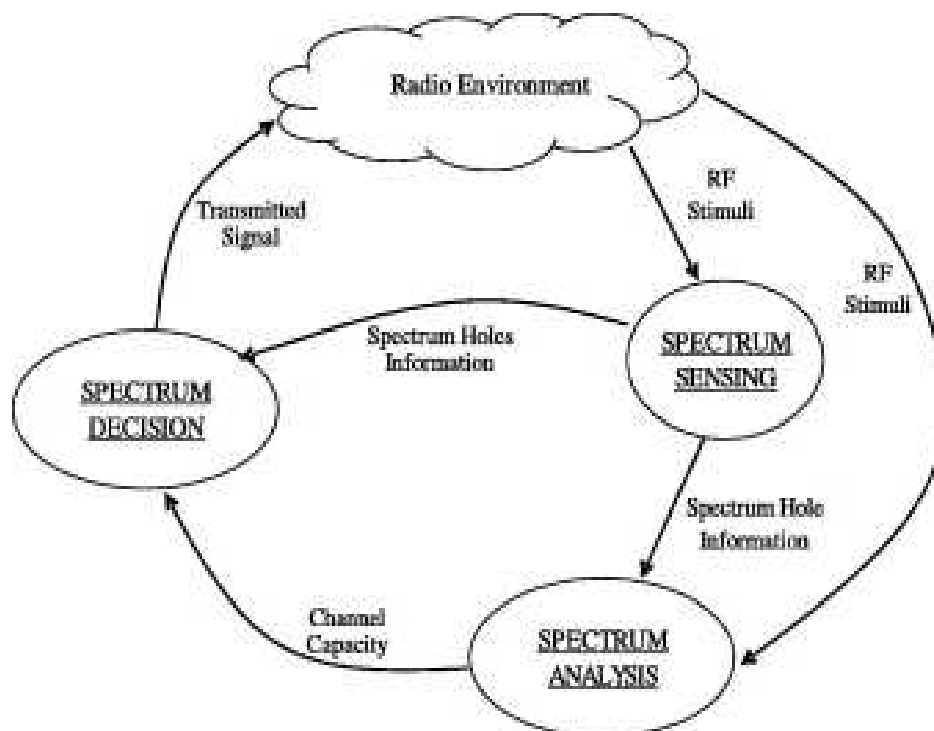
Η επιτροπή FCC στην Αμερική αποφάσισε να παρέχει σε επαγγελματίες διοργανωτές εκδηλώσεων και επαγγελματίες που ασχολούνται με τον ήχο τουλάχιστον δύο κανάλια των 6MHz (αντιστοιχούν σε δύο κανάλια στην Αμερική) ειδικά προορισμένα για επαγγελματική χρήση ασύρματων μικροφώνων σε κάθε γεωγραφική περιοχή. Έτσι λοιπόν στην Αμερική, η χρήση των ασύρματων μικροφώνων προστατεύεται μέχρι έναν βαθμό. Γενικά όμως, οι συσκευές χωρίς άδεια μπορούν να λειτουργούν είτε σε ελεύθερες τοπικά συχνότητες είτε σε χρησιμοποιούμενες συχνότητες αλλά με μικρή ισχύ. Εν πάσει περιπτώσει, τα ασύρματα μικρόφωνα βρίσκονται κάτω από αυστηρούς κανόνες εκπομπής ώστε να μη δημιουργούν παρεμβολές βασικά στις αδειοδοτημένες υπηρεσίες, που στην περίπτωση των White Spaces είναι η ψηφιακή τηλεόραση.

4.3 COGNITIVE RADIO

Η γνωστική τεχνολογία έχει αποτελέσει ένα σημαντικό πεδίο έρευνας στην κοινότητα των ραδιοεπικοινωνιών από τότε που προτάθηκε από τον Mitola το 2005. Η τεχνολογία αυτή είναι ευφυής και ευέλικτη και βασίζεται στην ιδέα της ανίχνευσης διαθέσιμων καναλιών και της απόφασης εκπομπής σε κάποιο από αυτά. Η ανάπτυξη όμως αυτής της τεχνολογίας στις καθημερινές τηλεπικοινωνίες είναι περιορισμένη. Αυτό οφείλεται στο ότι θα χρειαστούν κανόνες ρύθμισης ώστε οι πόροι του φάσματος να διατίθενται σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες σε μια συγκεκριμένη στιγμή και θέση.

Η γνωστική τεχνολογία επικοινωνιών καθιστά ουσιαστικά εφικτή τη χρήση φάσματος σε μέρη που έχει αδειοδοτηθεί για άλλη χρήση, αξιοποιώντας το τμήμα του φάσματος που δεν χρησιμοποιείται αφού έχει την δυνατότητα να σαρώνει μια περιοχή για τον εντοπισμό ελεύθερων συχνοτήτων. Ένα γνωστικό δίκτυο είναι σε θέση να επιλέγει αυτόματα την καλύτερη και φθηνότερη υπηρεσία για μια ραδιομετάδοση όπως και να καθυστερεί ή να επισπεύδει ορισμένες μεταδόσεις ανάλογα με την τρέχουσα κατάσταση των διαθέσιμων πόρων του δικτύου και του φάσματος.

Παρακάτω φαίνεται ο γνωστικός κύκλος με τον οποίο ένα γνωστικό δίκτυο μπορεί να αλληλεπιδράσει με το περιβάλλον.



Εικόνα 4.2: Τα βήματα του γνωστικού κύκλου.

Τα βήματα του γνωσιακού κύκλου όπως φαίνονται και στο σχήμα είναι τα εξής :

- Ανίχνευση φάσματος(spectrum sensing): Ένα γνωστικό δίκτυο είναι σε θέση να ανιχνεύει τις διαθέσιμες συχνότητες του φάσματος και καταγράφοντας πληροφορίες μπορεί να εντοπίζει τις τρύπες του φάσματος(spectrum holes). Η ανίχνευση φάσματος χρησιμοποιείται ουσιαστικά για την ανίχνευση άλλων υπηρεσιών ραδιοφάσματος και των χαρακτηριστικών τους. Εντούτοις, η διαδικασία αυτή αντιμετωπίζει ορισμένα προβλήματα με το βασικό από αυτά να είναι ο κρυμμένος κόμβος (hidden node). Στην περίπτωση αυτή, η συσκευή CR, δεν μπορεί να ανιχνεύσει ένα σήμα μιας άλλης συσκευής λόγω εμποδίων π.χ. δέντρων. Έτσι, αντιλαμβάνεται κενό φάσμα ενώ είναι κατειλημμένο. Μία λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η ανίχνευση σήματος χαμηλής ισχύος.
- Ανάλυση φάσματος(spectrum analysis): Γίνεται εκτίμηση των χαρακτηριστικών των spectrum holes που προέκυψαν από την ανίχνευση φάσματος.
- Απόφαση φάσματος(spectrum decision): Ένα γνωστικό δίκτυο καθορίζει το ρυθμό δεδομένων, τον τρόπο μετάδοσης καθώς και το εύρος ζώνης της εκάστοτε υπηρεσίας. Στη συνέχεια επιλέγεται η κατάλληλη συχνότητα για την υπηρεσία ανάλογα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά.

Έτσι λοιπόν, μια συσκευή White Space για να γνωρίζει ποιες συχνότητες είναι διαθέσιμες και με ποια ισχύ μπορεί να εκπέμπει σε μια συγκεκριμένη περιοχή, θα χρειαστεί είτε να παρακολουθεί το φάσμα ώστε να βλέπει ποια κανάλια είναι διαθέσιμα (όπως περιγράψαμε παραπάνω) είτε να ζητάει από μια βάση γεωγραφικών δεδομένων να μάθει τι της επιτρέπεται.

5.ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SEAMCAT ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ

5.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ SEAMCAT

Το Seamcat (Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis) είναι ένα στατιστικό μοντέλο προσομοίωσης που χρησιμοποιεί μια μέθοδο ανάλυσης που ονομάζεται Monte Carlo για να εκτιμήσει την πιθανή παρεμβολή μεταξύ δύο διαφορετικών συστημάτων ραδιοεπικοινωνίας.

Η προσέγγιση που ακολουθεί το Seamcat για να εκτιμήσει την πιθανή παρεμβολή μπορεί να συνοψισθεί σε τέσσερα βήματα:

1. Ο χρήστης καθορίζει την κατανομή των πιθανών τιμών για το σύστημα και τις παραμέτρους διάδοσης των επιθυμητών και παρεμβαλλόμενων ζεύξεων.
2. Το Seamcat χρησιμοποιεί αυτές τις κατανομές για την παραγωγή τυχαίων δειγμάτων με βάση τη μέθοδο Monte Carlo .
3. Για κάθε περίπτωση το Seamcat υπολογίζει το επιθυμητό σήμα καθώς και το σήμα παρεμβολής.
4. Τέλος το Seamcat υπολογίζει την πιθανότητα παρεμβολής συγκρίνοντας τη σχέση του επιθυμητού και παρεμβαλλόμενου σήματος κάθε φορά στον δέκτη-θύμα της παρεμβολής.

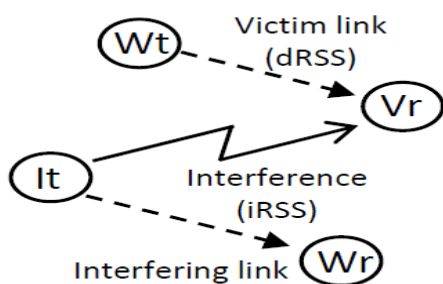
5.2 ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΟΥ SEAMCAT ΚΑΙ ΤΙ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΕΙ

5.2.1 Βασική ορολογία

Το Seamcat μοντελοποιεί έναν δέκτη-θύμα (Victim Receiver), συνδεδεμένο με έναν επιθυμητό μεταδότη (Wanted Transmitter) που λειτουργούν ανάμεσα σε έναν πληθυσμό παρεμβαλλόμενων μεταδοτών (Interfering Transmitters). Οι παρεμβολείς κατανέμονται τυχαία γύρω από το θύμα, με έναν τρόπο που καθορίζεται από τον χρήστη και είναι συνδεδεμένοι με επιθυμητούς δέκτες (Wanted Receivers). Η πυκνότητα των παρεμβολέων έχει να κάνει και με το περιβάλλον που ο χρήστης επιλέγει να μοντελοποιήσει π.χ. ένα αστικό περιβάλλον έχει περισσότερους παρεμβολείς σε σχέση με το περιβάλλον υπαίθρου. Κάθε φορά ένα συγκεκριμένο ποσοστό των παρεμβολέων είναι ενεργό. Αυτό το ποσοστό έχει να κάνει με τη μέρα της βδομάδας όπως και με την ώρα μέσα στη μέρα.

5.2.2 Τα κριτήρια παρεμβολής

Τέσσερα είναι τα κριτήρια παρεμβολής στο Seamacat. Παίρνοντας το πρώτο κριτήριο, παρεμβολή για τον Victim Receiver συμβαίνει όταν ο λόγος σήματος προς παρεμβολή, C/I , είναι μικρότερος από την ελάχιστη επιθυμητή τιμή. Για να υπολογιστεί ο λόγος C/I στον δέκτη, είναι απαραίτητο να υπολογισθούν το επιθυμητό σήμα (desired Receiver Signal Strength-dRSS) που είναι το σήμα που λαμβάνει ο δέκτης-θύμα από τον επιθυμητό πομπό και το σήμα παρεμβολής (interfering Signal Strength-iRSS) που είναι το σήμα που λαμβάνει ο δέκτης σήμα από τον παρεμβολέα. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται γραφικά η ορολογία που χρησιμοποιεί το Seamacat αλλά και τα κριτήρια παρεμβολής όπως εμφανίζονται μέσα στο πρόγραμμα.



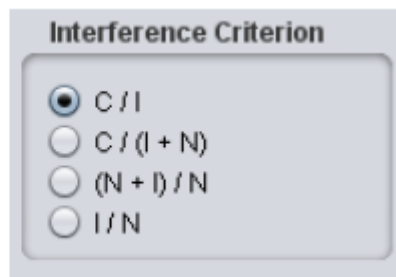
Εικόνα 5.1: Η ορολογία που χρησιμοποιείται στο Seamacat.

C/I

$C/(I+N)$

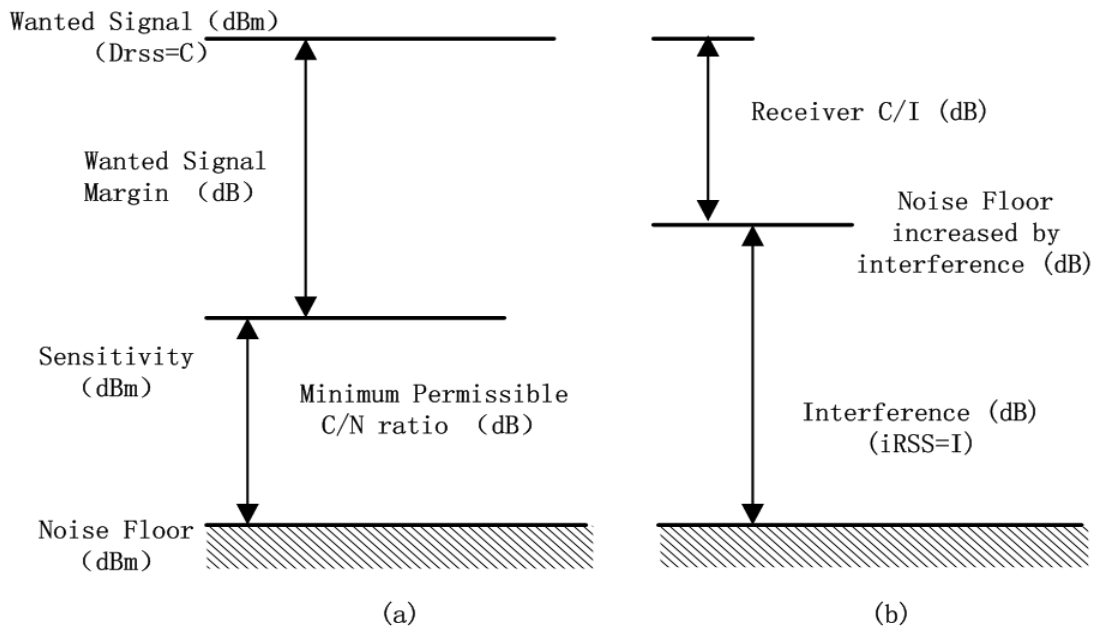
$(N+I)/N$

I/N

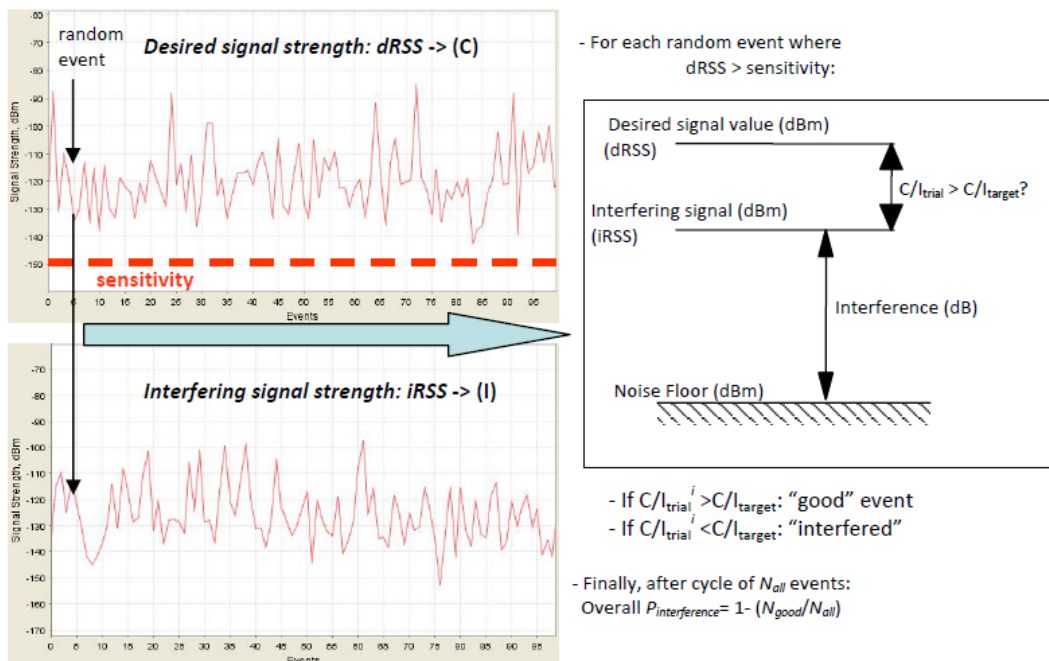


Εικόνα 5.2: Τα κριτήρια παρεμβολής.

Παρακάτω απεικονίζονται τα επίπεδα των διαφόρων σημάτων. Η εικόνα 5.3(a) αντιπροσωπεύει την περίπτωση όπου δεν υπάρχει παρεμβολή και ο δέκτης-θύμα λαμβάνει το επιθυμητό σήμα. Η εικόνα 5.3(b) απεικονίζει τι συμβαίνει όταν υπάρχει παρεμβολή. Η παρεμβολή προστίθεται στο επίπεδο θορύβου. Η διαφορά μεταξύ του επιθυμητού σήματος και του σήματος παρεμβολής μετράται σε dB, που αντιπροσωπεύει ουσιαστικά τον λόγο C/I. Στο σχήμα 5.4 φαίνεται συνοπτικά η διαδικασία από την οποία προκύπτει το αν συμβαίνει ή όχι παρεμβολή.



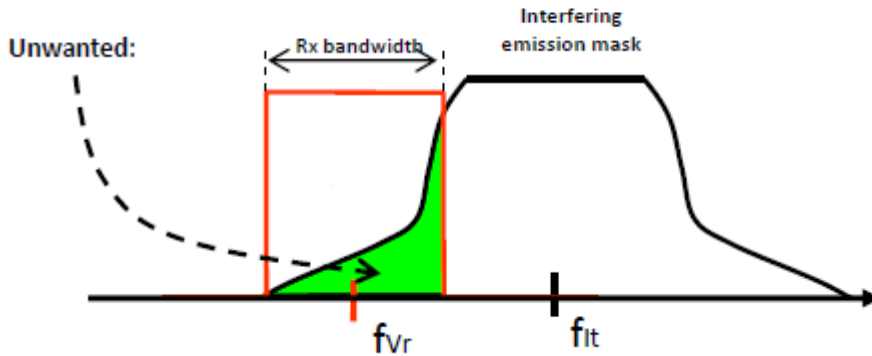
Εικόνα 5.3: Τα επίπεδα των διαφόρων σημάτων.



Εικόνα 5.4: Υπολογισμός κριτηρίου παρεμβολής.

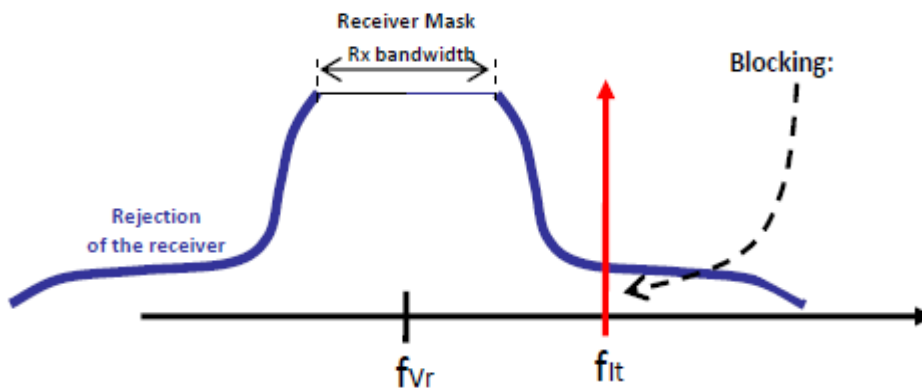
5.2.3 Μηχανισμοί παρεμβολής

- Το επίπεδο των ανεπιθύμητων εκπομπών (unwanted emissions) αποτελείται από τις παρασιτικές και τις εκτός ζώνης εκπομπές του παρεμβαλλόμενου μεταδότη (iRSS_{unwanted}). Αυτές οι μη επιθυμητές εκπομπές πέφτουν μέσα στο εύρος ζώνης του δέκτη-θύμα.



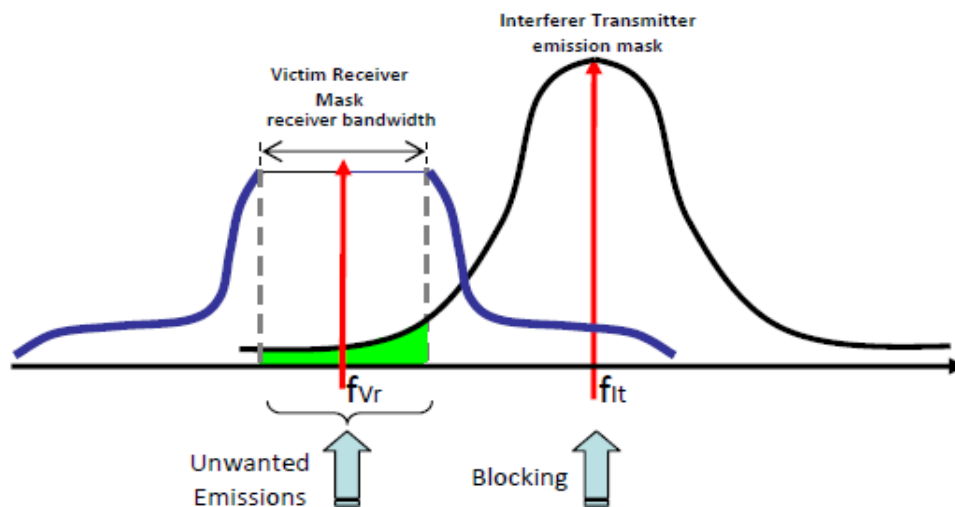
Εικόνα 5.5: Απεικόνιση της παρεμβολής εξαιτίας των ανεπιθύμητων εκπομπών.

- Η ισχύς του μπλοκαρίσματος του δέκτη (receiver blocking power) είναι η ισχύς που λαμβάνεται από τις μεταδόσεις του παρεμβολέα και οφείλεται σε ατέλειες της επιλεκτικότητας του δέκτη-θύμα (iRSS_{blocking}).



Εικόνα 5.6: Απεικόνιση της παρεμβολής εξαιτίας του μπλοκαρίσματος του δέκτη.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο συνδυασμός των δύο παρεμβολών.



Εικόνα 5.7: Ταυτόχρονη απεικόνιση των unwanted emissions και του receiver blocking μηχανισμού.

- Η παρεμβολή λόγω ενδοδιαμόρφωσης αφορά τα προϊόντα της ενδοδιαμόρφωσης που λαμβάνονται σε επιπλέον συχνότητες.

5.2.4 Τι υπολογίζει το Seamcat

Όπως περιγράφηκε και πριν, το Seamcat μπορεί να υπολογίσει την πιθανότητα παρεμβολής αφού υπολογίσει πρώτα το επιθυμητό σήμα και το σήμα παρεμβολής σε ένα συγκεκριμένο σενάριο.

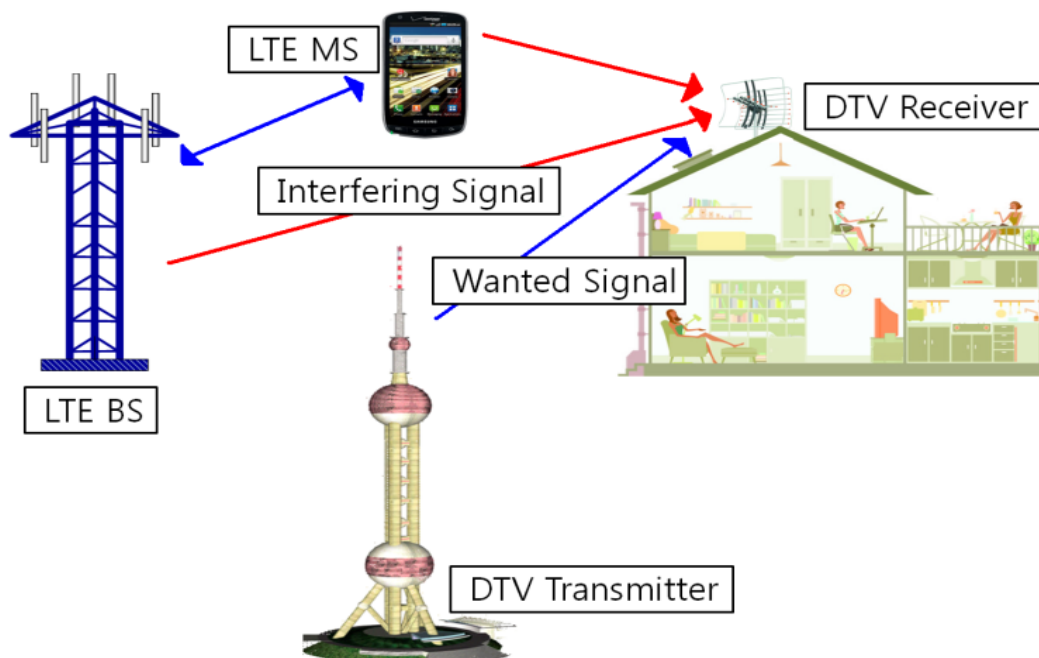
Επιπλέον είναι δυνατή η απεικόνιση γραφικών παραστάσεων της πιθανότητας παρεμβολής καθώς αλλάζει μια από τις επόμενες παραμέτρους (i) η ισχύς εκπομπής του παρεμβαλλόμενου μεταδότη, (ii) η απόκριση μπλοκαρίσματος του δέκτη-θύμα, (iii) το επίπεδο απόρριψης της ενδοδιαμόρφωσης του δέκτη-θύμα.

5.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ

5.3.1 Σενάριο και δεδομένα προσομοίωσης

Στο κομμάτι αυτό θα παρουσιάσουμε ένα παράδειγμα ενός συστήματος LTE που λειτουργεί σε συχνότητα παρακείμενη μιας συχνότητας που έχει αποδοθεί στην ψηφιακή τηλεόραση. Ο στόχος του παραδείγματος είναι να γίνουν αντιληπτές οι έννοιες που χρησιμοποιεί το Seamcat καθώς και να παρουσιασθούν τα αποτελέσματα και μια ανάλυσή τους.

Όπως είπαμε, ο Victim Receiver είναι ο δέκτης της ψηφιακής τηλεόρασης και ο Wanted Transmitter είναι ο πομπός της ψηφιακής τηλεόρασης. Επίσης, ο Interferer Transmitter είναι ο πομπός LTE (Base Station) ενώ ο Wanted Receiver είναι ο LTE δέκτης (Mobile Station), καθώς μελετάμε τη ζεύξη downlink.



Εικόνα 5.8: Το σενάριο παρεμβολής της DTV από LTE.

Παρακάτω παρατίθενται τα δεδομένα που θα εισάγουμε στο Seamcat.

Victim Link		
System Selection: Generic		
Frequency : 587MHz		
Receiver	Transmitter	Transmitter to Receiver Path
Antenna height: 10m	Antenna height: 100m	Coverage radius: 10km
Antenna peak gain: 10dBi	Antenna peak gain: 0dBi	Propagation Model: Extended Hata - Urban
Sensitivity: -83dBm	Power: 66dBm	

Reception Bandwidth: 6 KHz
Noise Floor = -106dBm
C/I=23dB C/(I+N)=20dB (N+I)/N=3dB I/N=0dB

Blocking Mask – Receiver									
ΔFrequency (MHz)	-15	-12	-6	-3	0	3	6	12	15
Blocking (dB)	45	38	20	3	-10	3	20	38	45

Interfering Link			
System Selection: Generic			
Frequency: 595MHz			
Transmitter	Receiver	Transmitter to Receiver Path	Transmitter to Victim Link Receiver Path
Antenna height: 32m	Antenna height: 1.5m	Coverage Radius: 2.6686km	Minimum coupling Loss: 70dB
Antenna peak gain: 15dBi	Antenna peak gain: 0dBi	Propagation Model: Extended Hata – Urban	Propagation Model: Extended Hata – Urban
Power: 43dBm	Sensitivity: -94dBm		

Emission Mask-Transmitter		
Offset(MHz)	Mask(dBc)	Reference Bandwidth(kHz)
-10	-81	1000
-4.5	-76	1000
-3.5	-71	1000
-2.5	-66	1000
-1.5	-61	1000
0	-62	30
1.5	-61	1000
2.5	-66	1000
3.5	-71	1000
4.5	-76	1000
10	-81	1000

Πίνακας 5.1: Συγκεντρωμένα δεδομένα της προσομοίωσης.

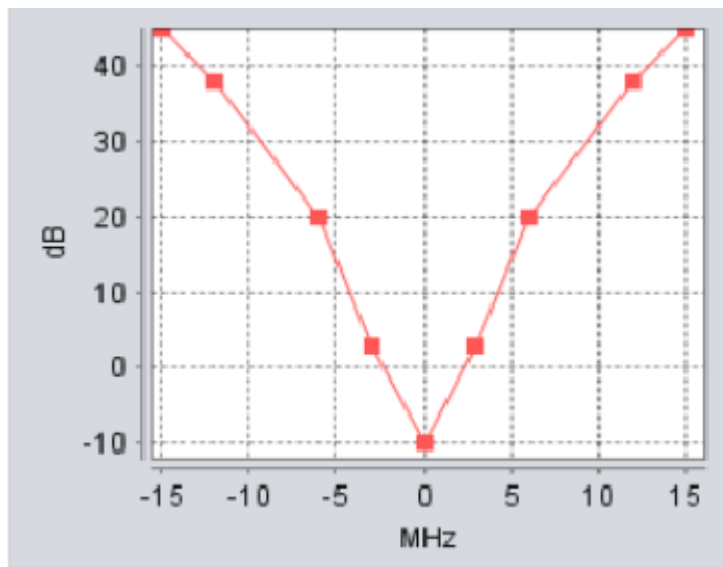
5.3.2 Μάσκες

Εδώ είναι σημαντικό να καταστεί σαφής ο λόγος χρήσης масκών.

Η Blocking Mask του δέκτη-θύμα, που έχει την παρακάτω μορφή στο παράδειγμά μας, δείχνει σε ένα εύρος φάσματος γύρω από την κεντρική συχνότητα του δέκτη πώς ουσιαστικά απορρίπτεται η παρεμβαλλόμενη ισχύς σε παρακείμενες συχνότητες της κεντρικής. Γενικά, λαμβάνοντας υπόψη τους προτεινόμενους λόγους προστασίας της πρωτεύουσας υπηρεσίας εντός μίας πιθανής περιοχής κάλυψης, στην οποία θεωρείται πως συνυπάρχουν περισσότερες της μίας, υπολογίζεται η μάσκα του δέκτη.

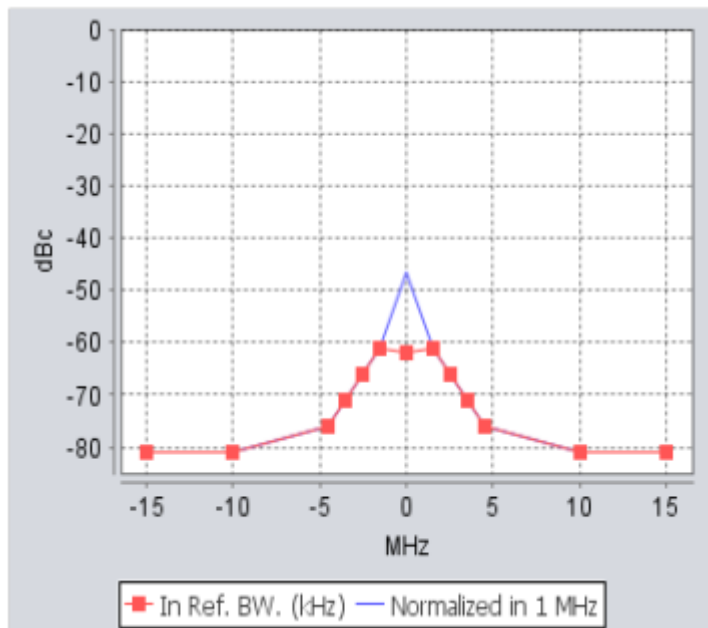
Προφανώς, ο λόγος προστασίας που λαμβάνεται υπόψη και χρησιμοποιείται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξαρτάται από την απόλυτη διαφορά μεταξύ της συχνότητας λειτουργίας της πρωτεύουσας υπηρεσίας και των πιθανώς παρεμβαλουσών υπηρεσιών αυτήν. Για να χρησιμοποιηθούν οι λόγοι προστασίας από το SEAMCAT είναι απαραίτητη η «αντιστροφή» τους ούτως ώστε σε περίπτωση κατά την οποία οι δύο υπηρεσίες εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα – και άρα η μεταξύ τους διαφορά είναι 0 – θα πρέπει ο λόγος σήματος προς παρεμβολή να είναι τουλάχιστον ίσος με 10 dB. Η μάσκα που χρησιμοποιείται στις περαιτέρω προσομοιώσεις απεικονίζεται στο Σχήμα 5.9.

Χρησιμοποιούμε τη μάσκα αυτή για να ελαχιστοποιήσουμε όσο είναι δυνατόν, τις παρεμβολές που προέρχονται από τις ατέλειες της ευαισθησίας του δέκτη-θύμα.



Εικόνα 5.9: Η blocking mask του Victim Receiver.

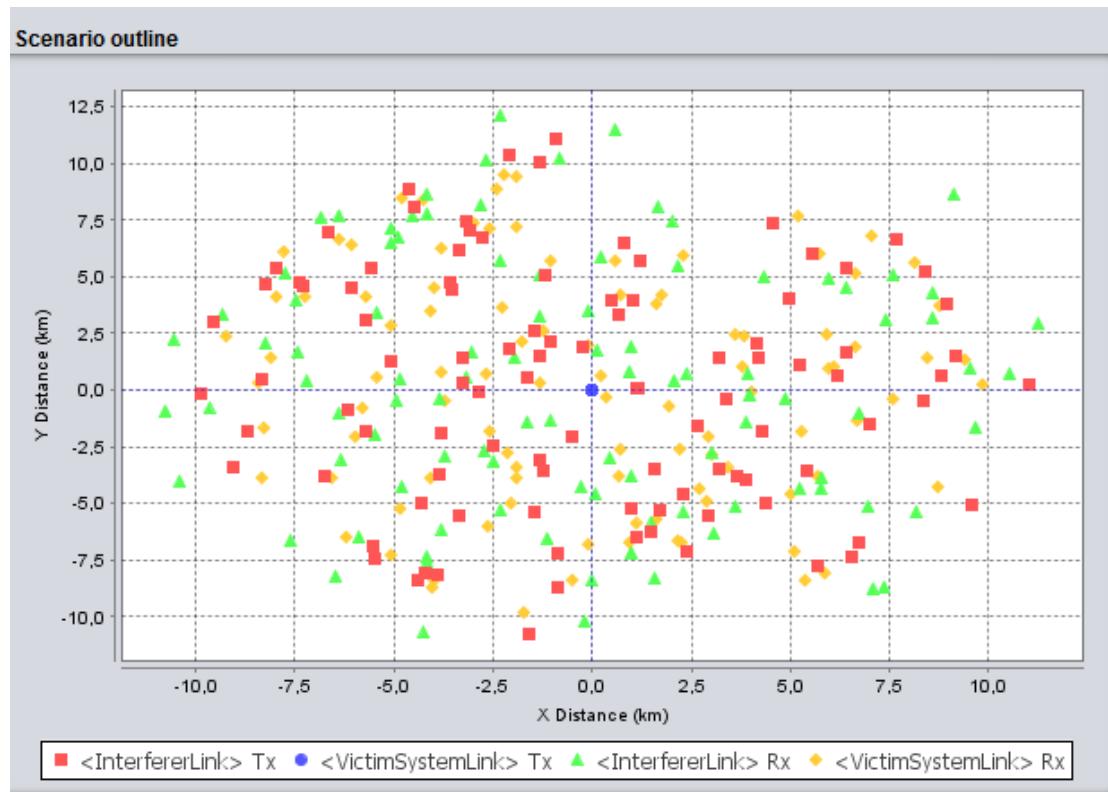
Η emission mask του παρεμβολέα μεταδότη, που έχει την παρακάτω μορφή στο παράδειγμά μας, δείχνει πώς κατανέμεται η ισχύς του παρεμβολέα σε ένα εύρος φάσματος γύρω από την κεντρική του συχνότητα. Προφανώς μας ενδιαφέρει η ισχύς να είναι «συγκεντρωμένη» στην κεντρική συχνότητα και να περιορίζεται δραστικά στις παρακείμενες συχνότητες. Χρησιμοποιούμε τη μάσκα αυτή λοιπόν για να ελαχιστοποιήσουμε όσο είναι δυνατόν τις παρεμβολές που προέρχονται από τις μη επιθυμητές εκπομπές του μεταδότη που βρίσκονται έξω από τη ζώνη εκπομπής του. Στο παράδειγμά μας, φαίνεται πως στην κεντρική συχνότητα και μέχρι τα 5MHz εκατέρωθεν αυτής είναι «συγκεντρωμένο» το μεγαλύτερο ποσοστό της ισχύος.



Εικόνα 5.10: Η emission mask του Interferer Transmitter.

5.3.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης και ερμηνεία τους

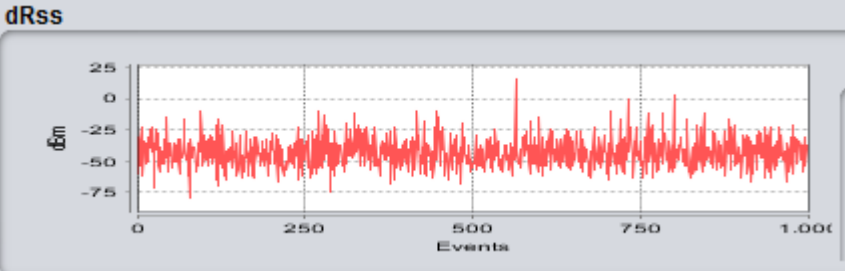
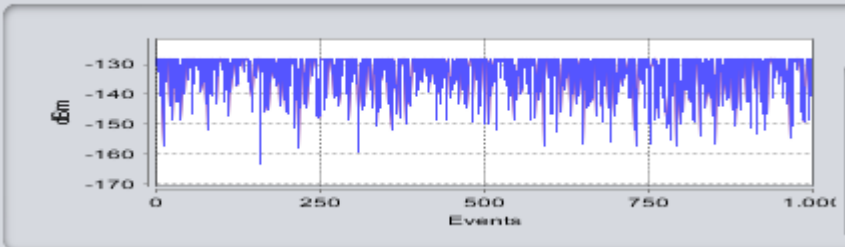
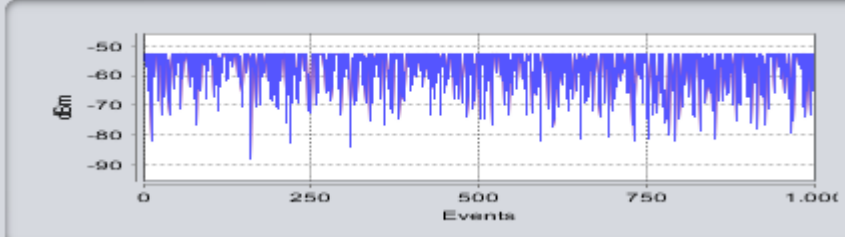
Η αποτύπωση της τοπολογίας του σεναρίου είναι η παρακάτω:



Εικόνα 5.11: Τοπολογία του σεναρίου.

Βλέπουμε πως έχουμε έναν Wanted Transmitter (μπλε κουκίδα), που είναι ο πομπός της ψηφιακής τηλεόρασης, πολλούς Victim Receivers (κίτρινες κουκίδες) που είναι οι δέκτες της ψηφιακής τηλεόρασης και πολλές ζεύξεις Interferer Transmitter και Wanted Receiver (κόκκινες και πράσινες κουκίδες) που είναι οι πομποί και οι δέκτες LTE αντίστοιχα.

Παρακάτω φαίνονται οι ισχύεις των σημάτων που μας ενδιαφέρουν και τα οποία έχουν αναλυθεί προηγουμένως. Παρατίθενται η τιμή του κάθε σήματος και η γραφική του παράσταση.

Σήμα	Mean	Γραφική Παράσταση
dRSS	-43.53dBm	
iRSSunwanted	-133.65dBm	
iRSSblocking	-58.25dBm	

Πίνακας 5.2: Συγκεντρωμένες οι τιμές των χαρακτηριστικών σημάτων της προσομοίωσης και οι γραφικές τους παραστάσεις.

Στην αρχή υπολογίζουμε την πιθανότητα παρεμβολής στον Victim Receiver με την επιλογή Compatibility. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω :

Τύπος σήματος	Πιθανότητα παρεμβολής
Unwanted	0%
Unwanted και Blocking	75.32%

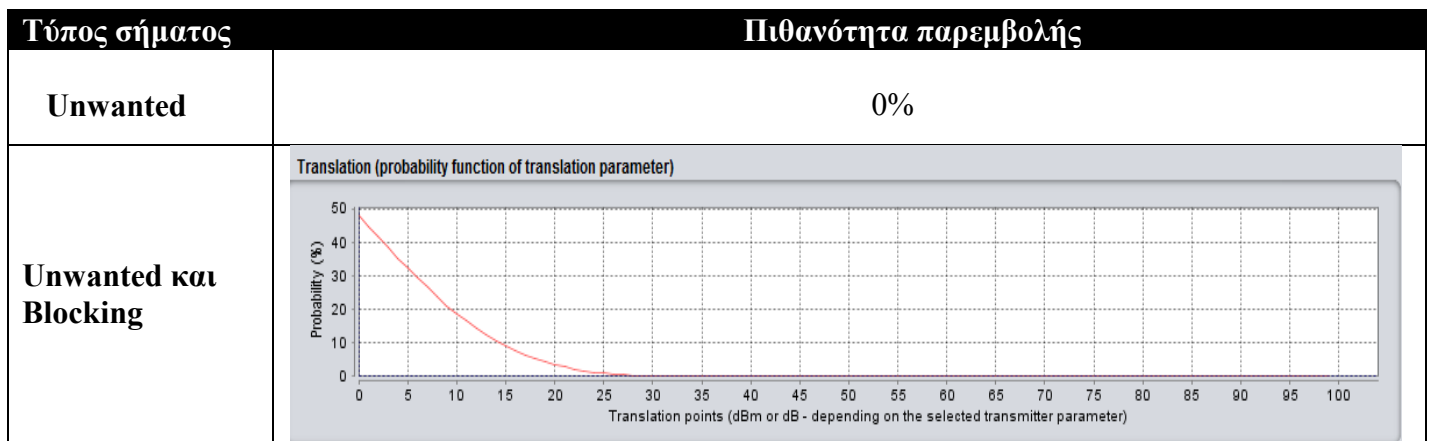
Πίνακας 5.3: Πιθανότητες παρεμβολής.

Για τον υπολογισμό της πιθανότητας παρεμβολής στον δέκτη-θύμα διακρίνουμε δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση ως σήμα παρεμβολής θεωρούμε μόνο το σήμα που έχει να κάνει με τη μη επιθυμητή και εκτός ζώνης εκπομπή σήματος του παρεμβολέα που πέφτει στο εύρος ζώνης του Victim Receiver (unwanted signal). Σε αυτήν την περίπτωση, η πιθανότητα παρεμβολής προκύπτει μηδενική, δηλαδή ο λόγος $(C/I)_{\text{trial}}$ είναι πάντα πάνω από το $(C/I)_{\text{target}}$, αφού ως κριτήριο παρεμβολής σε όλη την προσομοίωση θεωρούμε τον λόγο σήματος προς παρεμβολή. Στην δεύτερη περίπτωση λαμβάνουμε υπόψιν όχι μόνο το unwanted signal αλλά και το blocking signal, το σήμα δηλαδή που έχει να κάνει με την ισχύ που συλλαμβάνεται από τη μετάδοση του δέκτη λόγω της μη τέλει επιλεκτικότητας του Victim Receiver. Στην περίπτωση αυτή, η πιθανότητα παρεμβολής γίνεται αρκετά μεγάλη και φτάνει το

75.32%. Αυτό σημαίνει πως υπάρχει 75.32% πιθανότητα η μετάδοση της ψηφιακής τηλεόρασης να μην γίνει με επιτυχία.

Στη συνέχεια, με την επιλογή Translation είναι δυνατή η απεικόνιση της πιθανότητας παρεμβολής σε σχέση με ένα ορισμένο μέγεθος κάθε φορά. Η δυνατότητα αυτή του Seamcat φαίνεται παρακάτω:

- Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει της απόκρισης μπλοκαρίσματος του Victim Receiver.



Πίνακας 5.4: Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει της απόκρισης μπλοκαρίσματος του δέκτη.

Με τη ρύθμιση αυτή ουσιαστικά απεικονίζεται η πιθανότητα παρεμβολής σε σχέση με την απόκριση μπλοκαρίσματος, ουσιαστικά της μάσκας του δέκτη-θύμα. Στην πρώτη περίπτωση, που λαμβάνεται υπόψιν μόνο το unwanted signal, η πιθανότητα παρεμβολής όπως είδαμε και πριν είναι μηδενική. Μάλιστα αυτό είναι αναμενόμενο καθώς οι εκτός ζώνης εκπομπές του παρεμβολέα (unwanted signal) δεν έχουν σχέση με την επιλεκτικότητα του δέκτη (blocking signal). Στη δεύτερη περίπτωση που λαμβάνεται υπόψιν και το blocking signal, προκύπτει η παραπάνω γραφική παράσταση. Καθώς λοιπόν λαμβάνεται υπόψιν και το blocking signal, που σχετίζεται με τις ατέλειες της επιλεκτικότητας του Victim Receiver, κρίνεται απαραίτητη η χρήση μάσκας (blocking mask). Συγκεκριμένα, όσο μεγαλώνουν τα dB της μάσκας, τόσο πιο αυστηρά θα γίνεται η απόρριψη του σήματος παρεμβολής εκατέρωθεν της κεντρικής συχνότητας του Victim Receiver, δηλαδή τόσο πιο αποτελεσματική θα γίνεται. Με αυτόν τον τρόπο τόσο θα μειώνεται η επίδραση του blocking signal άρα και η πιθανότητα παρεμβολής θα τείνει στο μηδέν.

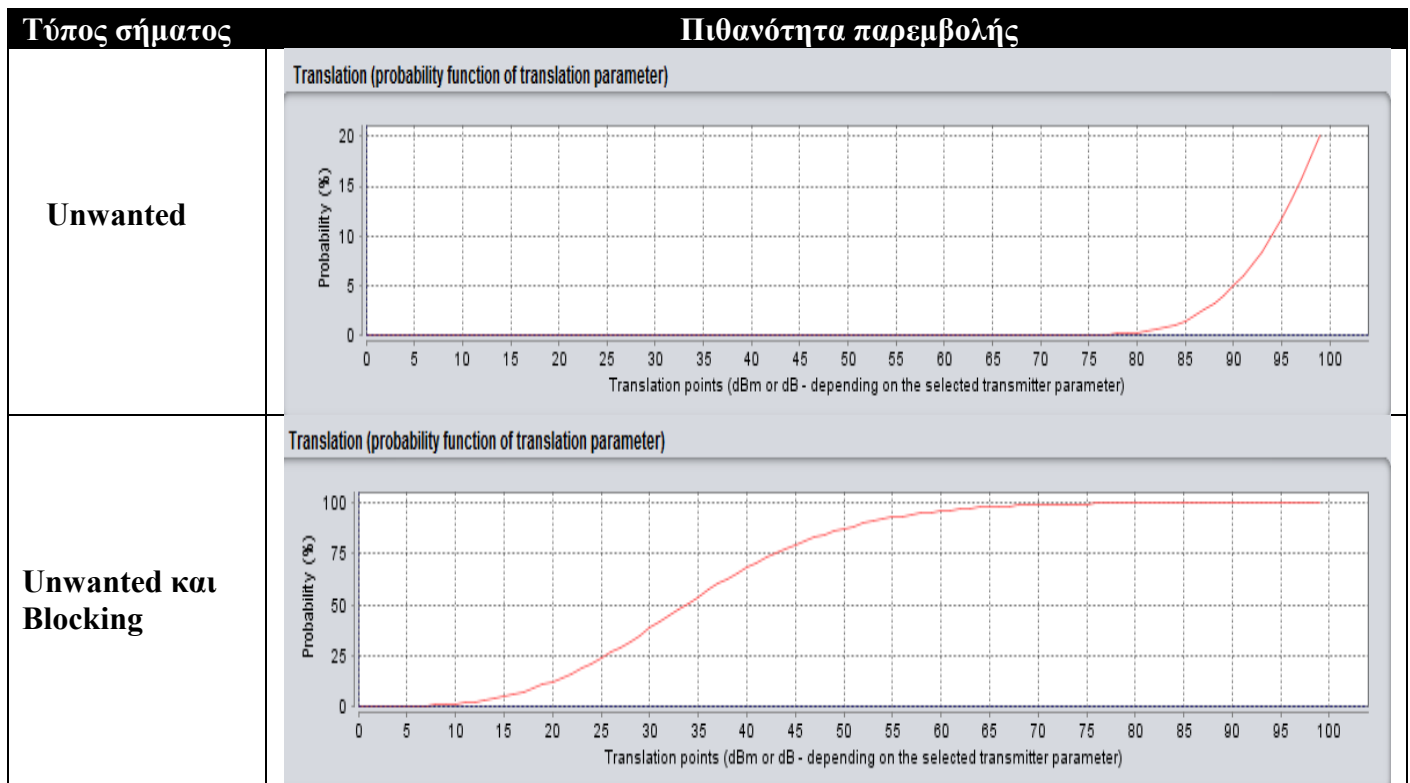
- Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει της απόκρισης ενδοδιαμόρφωσης στο Victim Link.

Τύπος σήματος	Πιθανότητα παρεμβολής
Unwanted	0%
Unwanted και Blocking	75%

Πίνακας 5.5: Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει της απόκρισης ενδοδιαμόρφωσης στο Victim Link.

Με την ρύθμιση αυτή μας παρουσιάζεται η πιθανότητα παρεμβολής σε σχέση με την ενδοδιαμόρφωση στο Victim Link. Παρατηρούμε πως όταν έχουμε μόνο το unwanted signal, η πιθανότητα παρεμβολής είναι μηδενική, ενώ όταν λάβουμε υπόψιν και το blocking signal η πιθανότητα ανέρχεται στο 75%. Η ενδοδιαμόρφωση στο Victim Link είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει γύρω από τη συχνότητα του Victim Link, δημιουργώντας επιπλέον συχνότητες και εισάγοντας επιπλέον παρεμβολές. Οπότε η ενδοδιαμόρφωση δεν θα επηρεάζεται από το unwanted signal, που έχει να κάνει με τις εκτός ζώνης εκπομπές του Interferer Transmitter αλλά από το blocking signal, που έχει να κάνει με την επιλεκτικότητα του Victim Receiver. Γι' αυτό στην πρώτη περίπτωση, αφού το unwanted signal δεν σχετίζεται με την ενδοδιαμόρφωση, το επιθυμητό σήμα υπερισχύει της παρεμβολής. Αντιθέτως, στην δεύτερη περίπτωση αφού λαμβάνουμε υπόψιν το blocking signal, λαμβάνουμε και τις παρεμβολές λόγω ενδοδιαμόρφωσης οπότε και έχουμε μεγάλη αύξηση της πιθανότητας παρεμβολής.

- Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει της ισχύος του παρεμβολέα (Interferer Transmitter).



Πίνακας 5.6: Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει της ισχύος του παρεμβολέα.

Με αυτή τη ρύθμιση απεικονίζεται η πιθανότητα παρεμβολής σε σχέση με την ισχύ του παρεμβολέα (Interferer transmitter). Είναι αναμενόμενο πως όταν αυξάνεται η ισχύς του παρεμβολέα, οι παρεμβολές των unwanted και blocking signals γίνονται πιο αισθητές οπότε και η πιθανότητα παρεμβολής αυξάνεται. Συγκεκριμένα, όταν έχουμε μόνο το unwanted signal παρατηρούμε ότι ακόμα και για μεγάλες τιμές ισχύος του παρεμβολέα, η πιθανότητα παρεμβολής είναι μηδενική μέχρι και τα 80dBm, που η πιθανότητα αυτή αρχίζει πλέον και αυξάνεται από κει και πέρα. Όταν όμως λαμβάνεται υπόψιν και το blocking signal, παρατηρούμε πως για τιμές ισχύος μέχρι τα 10dBm η πιθανότητα ισχύος είναι μηδενική. Όσο η ισχύς του παρεμβολέα αυξάνεται πέραν των 10dB, η πιθανότητα παρεμβολής αυξάνεται σημαντικά. Η διαφορά των δύο διαγραμμάτων είναι αναμενόμενη, καθώς στην δεύτερη περίπτωση λαμβάνουμε υπόψιν περισσότερες παρεμβολές που επηρεάζουν περισσότερο τον λόγο C/I, που τον χρησιμοποιούμε σαν κριτήριο παρεμβολής, και άρα την πιθανότητα παρεμβολής.

6.ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, θα εξεταστούν τρία σενάρια τα οποία και θα αναλυθούν παρακάτω. Η γενική ιδέα έχει να κάνει με την εγκατάσταση και λειτουργία συστημάτων LTE σε συχνότητες που αντιστοιχούν σε White Spaces της ψηφιακής τηλεόρασης. Έτσι λοιπόν κρίνεται απαραίτητη η μελέτη της επίδρασης των συστημάτων LTE στη λειτουργία της ψηφιακής τηλεόρασης DTV αλλά και το αντίστροφο για την ορθή λειτουργία και των δύο υπηρεσιών. Τα σενάρια αυτά για τη μελέτη των παρεμβολών θα μελετηθούν με τη χρήση του προγράμματος Seamcat.

6.1 ΠΡΩΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

6.1.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Στο πρώτο σενάριο θα μελετηθεί η επίδραση του θορύβου της ψηφιακής τηλεόρασης πάνω σε ένα σύστημα LTE. Ο σκοπός του σεναρίου αυτού είναι να προσδιοριστεί ο βαθμός στον οποίο ο θόρυβος που προέρχεται από την τηλεόραση επηρεάζει τη λειτουργία συστημάτων LTE όταν λειτουργούν στην ίδια συχνότητα. Γι' αυτόν τον λόγο το Victim Link στην περίπτωση αυτή είναι μια ζεύξη LTE και το Interfering Link είναι η υπηρεσία της ψηφιακής τηλεόρασης. Για να προσομοιώσουμε αποκλειστικά την επίδραση του θορύβου στο Victim Link, θα θεωρήσουμε πως το Interfering Link βρίσκεται πολύ μακριά και εκπέμπει σε χαμηλή ισχύ. Έτσι η επίδρασή του θεωρείται αμελητέα και ουσιαστικά μελετάται η επίδραση του θορύβου, που η τιμή του θα μπει σε πεδίο του Victim Link στο Seamcat. Οι τιμές αυτές του θορύβου έχουν προκύψει από μετρήσεις που έγιναν στον Κορύλλοβο Δράμας και αντιστοιχούν ουσιαστικά στον θόρυβο που εισάγει η ψηφιακή τηλεόραση στις άλλες ασύρματες υπηρεσίες .

Victim Link	Receiver	LTE Mobile Station
	Transmitter	LTE Base Station
Interfering Link	Receiver	DTV δέκτης (στα σπίτια)
	Transmitter	DTV πομπός

Πίνακας 6.1: Προσδιορισμός του Victim Link και Interfering Link του 1^{ου} σεναρίου.

6.1.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Για την προσομοίωση αυτή θα θεωρήσουμε πως για το Victim Link έχουμε έναν σταθμό βάσης LTE και γύρω του είναι διασπαρμένοι τυχαία πολλοί δέκτες LTE. Για το Interfering Link θεωρούμε ενδεικτικά μια ζεύξη πομπού-δέκτη τηλεόρασης αλλά ουσιαστικά δεν επηρεάζει την προσομοίωση λόγω της μεγάλης απόστασης από το Victim Link και της χαμηλής ισχύος εκπομπής. Τα αριθμητικά δεδομένα της προσομοίωσης παρατίθενται παρακάτω:

Victim Link		
System Selection: Generic		
Frequency : 514MHz		
Receiver	Transmitter	Transmitter to Receiver Path
Antenna height: 1.5m	Antenna height: 30m	Coverage radius: 8.86km
Antenna peak gain: 0dBi	Antenna peak gain: 18dBi	Propagation Model: Extended Hata - Urban
Sensitivity: -101.5dBm	Power: 43dBm	
Reception Bandwidth: 5 KHz		
Noise Floor : User Defined (stair) (Πίνακας 6.3)		
C/I=19dB C/(I+N)=16dB (N+I)/N=3dB I/N=0dB		

Πίνακας 6.2: Αριθμητικά δεδομένα του Victim Link.

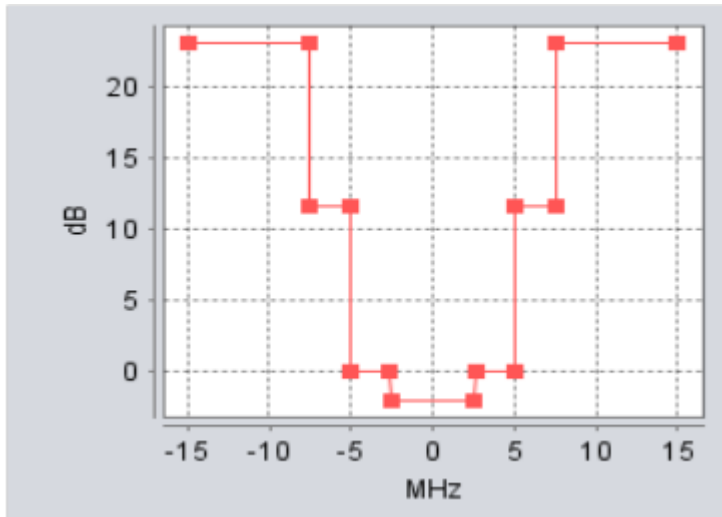
Value (dBm)	Cumulative Probability
0	0
-102.7897	0.367
-92.7897	0.367
-82.7897	0.5663
-72.7897	0.853
-62.7897	0.916
-52.7897	0.947
-42.7897	1

Πίνακας 6.3: Τιμές θορύβου στο Victim Link.

Η μάσκα που χρησιμοποιεί ο δέκτης LTE έχει την παρακάτω μορφή :

Blocking Mask – Receiver-LTE Mobile Station														
ΔFrequency (MHz)	-15	-7.6	-7.5	-5.1	-5	-2.6	-2.5	2.5	2.6	5	5.1	7.5	7.6	15
Blocking (dB)	23	23	11.6	11.6	0	0	-2	-2	0	0	11.6	11.6	23	23

Πίνακας 6.4: Blocking Mask του δέκτη LTE.



Εικόνα 6.1: Blocking Mask του Receiver (LTE Mobile Station).

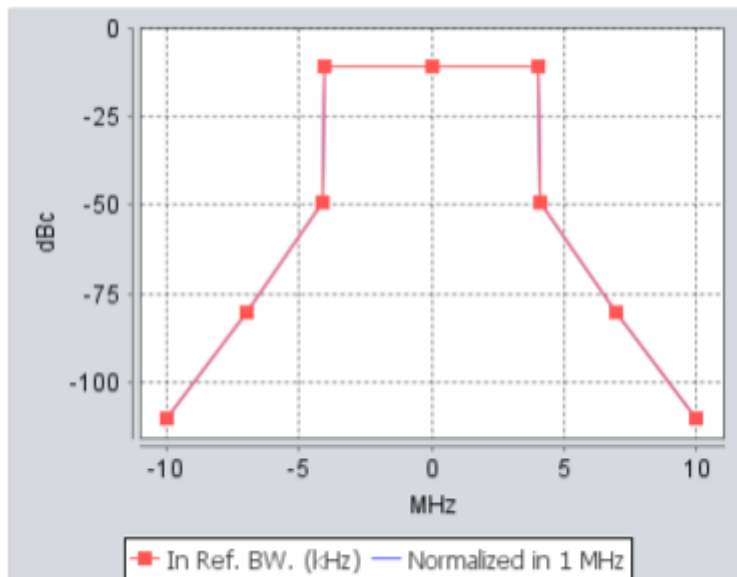
Interfering Link			
System Selection: Generic			
Frequency: 514MHz			
Transmitter	Receiver	Transmitter to Receiver Path	Transmitter to Victim Link Receiver Path
Antenna height: 30m	Antenna height: 10m	Corr. distance: X:0.5km Y:0.5km	Corr.(Victim Link→LITx)
Antenna peak gain: 0dBi	Antenna peak gain: 10dBi	Propagation Model: Extended Hata – Urban	Position Relative to: Victim Link Transmitter X:100km Y:100km
Power: 5dBm	Sensitivity: -83dBm		Propagation Model: Free Space

Πίνακας 6.5: Αριθμητικά δεδομένα του Interfering Link.

Η μάσκα εκπομπής που χρησιμοποιεί η ψηφιακή τηλεόραση έχει την παρακάτω μορφή :

Emission Mask-DTV Transmitter		
Offset(MHz)	Mask(dBc)	Reference Bandwidth(kHz)
-10	-110	1000
-7	-80	1000
-4.1	-49	1000
-4	-11	1000
0	-11	1000
4	-11	1000
4.1	-49	1000
7	-80	1000
10	-110	1000

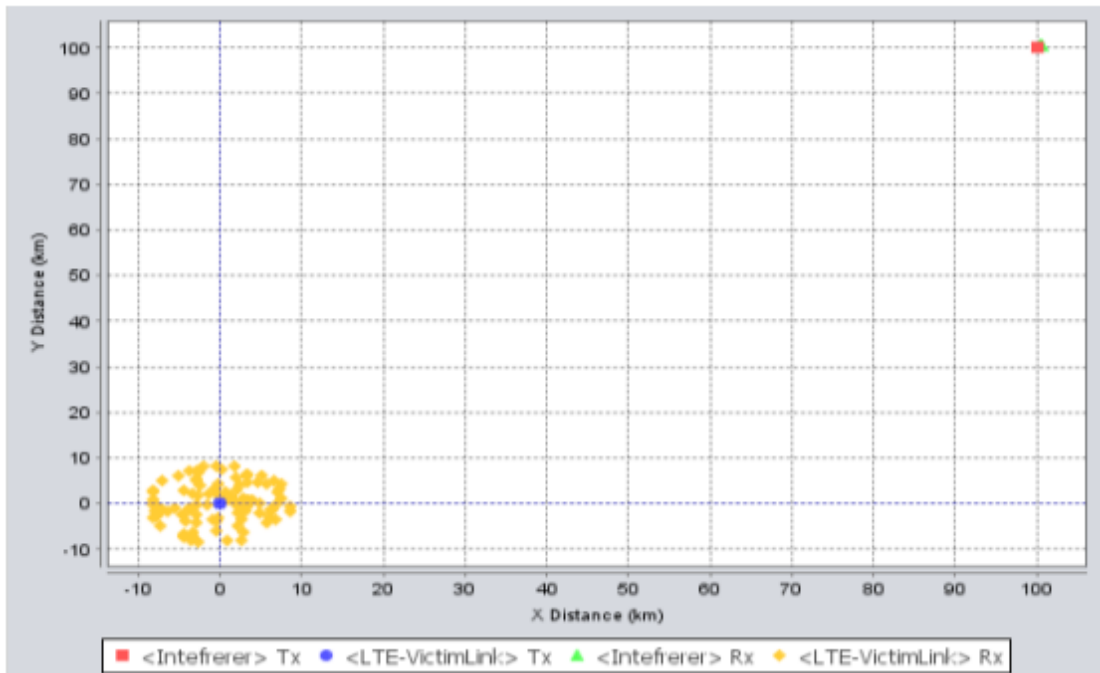
Πίνακας 6.6: Emission Mask του πομπού DTV.



Εικόνα 6.2: Emission Mask - Transmitter (DTV).

6.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Η αποτύπωση της τοπολογίας του σεναρίου είναι η παρακάτω:



Εικόνα 6.3: Τοπολογία του 1ου σεναρίου.

Όπως ήταν και ο στόχος της μελέτης, δημιουργήσαμε ένα περιβάλλον όπου υπάρχει ένας πομπός LTE (Base Station-μπλε κουκίδα) και γύρω του πολλοί δέκτες LTE (Mobile Station-κίτρινες κουκίδες) δημιουργώντας έτσι πολλές ζεύξεις LTE. Η ζεύξη που παρεμβάλλει είναι τοποθετημένη μακριά όπως φαίνεται και στο σχήμα (ζεύξη DTV-κόκκινη και πράσινη κουκίδα). Έτσι η επίδρασή της θεωρείται αμελητέα οπότε μπορούμε να μελετήσουμε αποκλειστικά την επίδραση του θορύβου τηλεόρασης στη ζεύξη LTE.

Τρέχοντας την προσομοίωση προκύπτει πιθανότητα παρεμβολής 76.96%. Αν τρέξουμε και άλλες φορές το πρόγραμμα με ίδιες τιμές παραμέτρων προκύπτουν διαφορετικές αλλά παραπλήσιες τιμές πιθανότητας. Αυτές οι μικρές αποκλίσεις στα αποτελέσματα έχουν να κάνουν με το ότι το Seacat βασίζεται στην μέθοδο ανάλυσης με Monte Carlo, που κάθε φορά θεωρεί νέα τυχαία δείγματα της κάθε κατανομής που βάζουμε στις παραμέτρους. Αυτό θα συμβαίνει σε κάθε σενάριο όπου θα υπολογίζεται η πιθανότητα παρεμβολής.

6.1.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πιθανότητα παρεμβολής που προέκυψε για τη λειτουργία της υπηρεσίας LTE, σχεδόν 77%, είναι τόσο μεγάλη ώστε είναι αποτρεπτική για τον πάροχο αυτής της υπηρεσίας. Κάτι τέτοιο όμως είναι αναμενόμενο καθώς ο λόγος της μεγάλης αυτής πιθανότητας είναι η παρεμβολή που δέχεται από την τηλεόραση που είναι πρωτεύουσα υπηρεσία. Αυτό σημαίνει πως μια υπηρεσία που λειτουργεί στις ενδιάμεσες συχνότητες της τηλεόρασης είναι υποχρεωμένη να αποδεχτεί τις παρεμβολές τις πρωτεύουσας υπηρεσίας. Επίσης, σε περίπτωση που η υπηρεσία αυτή, στην περίπτωση μας η LTE, προκαλέσει παρεμβολές στην υπηρεσία της τηλεόρασης με τη λειτουργία της, είναι υποχρεωμένη να διορθώσει το πρόβλημα αυτό.

Έτσι λοιπόν, η υπηρεσία LTE πρέπει να βρει τρόπους ώστε και να λειτουργήσει αποδοτικά για τους χρήστες της αλλά και τρόπους ώστε να μη παρεμβάλλει στην πρωτεύουσα υπηρεσία της τηλεόρασης. Σε αυτό το σενάριο ασχολούμαστε με το πρώτο σκέλος ενώ στο επόμενο με το δεύτερο.

Όπως ειπώθηκε, η πιθανότητα παρεμβολής που δέχεται η υπηρεσία LTE είναι αποτρεπτικά μεγάλη. Ένας τρόπος για να μειώσουμε την πιθανότητα παρεμβολής είναι να μειώσουμε την ακτίνα κάλυψης του πομπού LTE, κρατώντας την ίδια ισχύ εκπομπής. Έτσι το σήμα που θα φτάνει στον δέκτη LTE θα είναι ισχυρότερο από πριν άρα θα βελτιώνεται ο λόγος σήματος προς παρεμβολή και θόρυβο. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η σχέση ανάμεσα στην ακτίνα κάλυψης της υπηρεσίας LTE και της πιθανότητας παρεμβολής.

Ακτίνα κάλυψης (km)	Πιθανότητα παρεμβολής
8.86	76.96%
4	58.93%
1	24.29%
0.5	12.26%

Πίνακας 6.7: Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει της ακτίνας κάλυψης.

Η ακτίνα κάλυψης επιλέγεται με βάση το είδος της υπηρεσίας ακριβώς που θέλουμε. Οι υπηρεσίες που μελετάται να λειτουργήσουν σε συχνότητες TVWS, πρόκειται να είναι τοπικές και οι ακτίνες κάλυψης να είναι σχετικά μικρές, καλύπτοντας γειτονιές, εκπαιδευτικά ιδρύματα κτλ. Στόχος είναι να μελετηθούν και άλλοι παράγοντες που θα συμβάλλουν στην αποδοτική λειτουργία τέτοιων υπηρεσιών ώστε να μειωθεί η πιθανότητα παρεμβολής.

6.2 ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

6.2.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ 2^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Στο δεύτερο σενάριο θα μελετηθούν τα επίπεδα ισχύος του πομπού LTE που είναι ανεκτά. Όπως γνωρίζουμε, όταν ο πομπός LTE έχει μεγαλύτερη ισχύ απ'όσο επιτρέπεται δημιουργεί παρεμβολές στη λειτουργία της ψηφιακής τηλεόρασης, κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό καθώς η ψηφιακή τηλεόραση είναι πρωτεύουσα υπηρεσία και η πιθανότητα παρεμβολής σε αυτή πρέπει να είναι κοντά στο 0%.

Θα κάνουμε τις προσομοιώσεις για διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας του LTE. Στην αρχή θα θεωρήσουμε ως συχνότητα λειτουργίας του τη συχνότητα της ψηφιακής τηλεόρασης και στη συνέχεια θα απομακρυνόμαστε από αυτήν μέχρι να βγούμε οριακά έξω από το κανάλι της DTV.

Άλλες παράμετροι που θα μελετηθούν ως προς το πώς επηρεάζουν τα επιτρεπόμενα επίπεδα ισχύος του πομπού LTE είναι η απόσταση ανάμεσα στον πομπό και δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης καθώς και η απόσταση ανάμεσα στον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης και τον πομπό LTE.

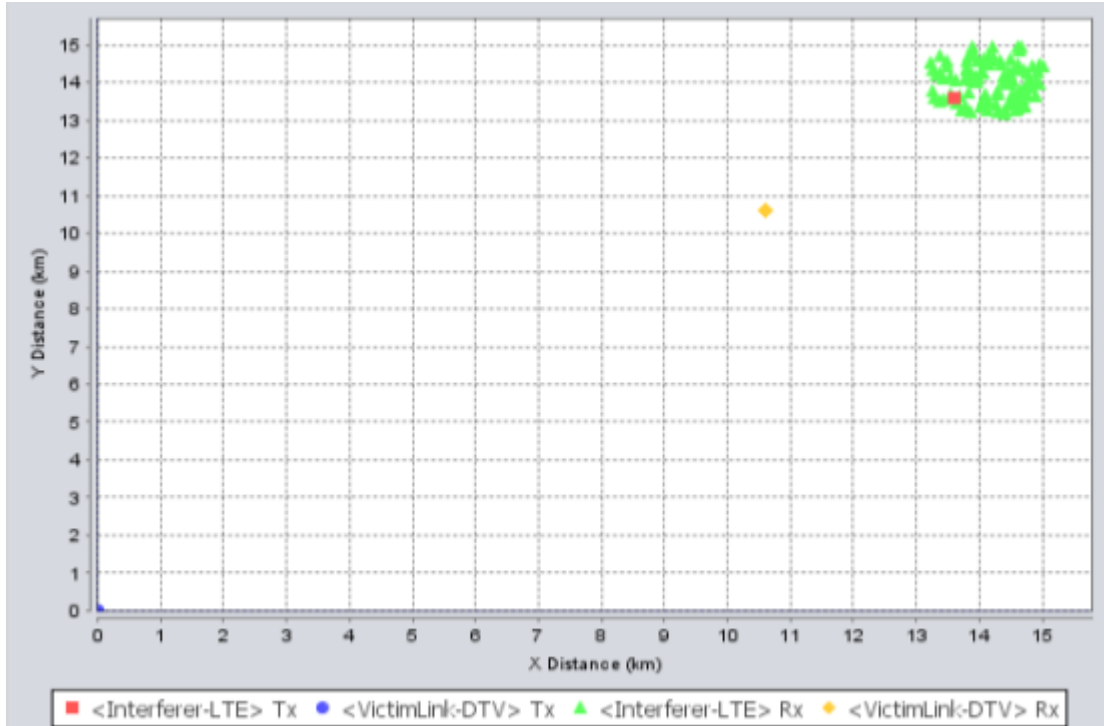
Victim Link	Receiver	DTV δέκτης (στα σπίτια)
	Transmitter	DTV πομπός
Interfering Link	Receiver	LTE Mobile Station
	Transmitter	LTE Base Station

Πίνακας 6.8: Προσδιορισμός του Victim Link και Interfering Link του 2^{ου} σεναρίου.

6.2.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ 2ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Η τοπολογία και τα χαρακτηριστικά των κεραιών είναι ίδια με το προηγούμενο σενάριο. Τα κύρια χαρακτηριστικά να παρατίθενται παρακάτω:

- $f(\text{DTV})=514\text{MHz}$
- Δέκτες της υπηρεσίας LTE από τον πομπό LTE σε ακτίνα = 1km
- Ισχύς πομπού LTE=43dBm



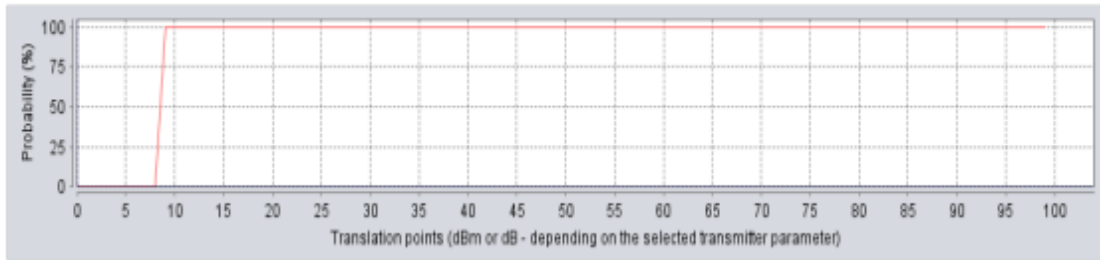
Εικόνα 6.4: Τοπολογία 2ου σεναρίου.

6.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ 2ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

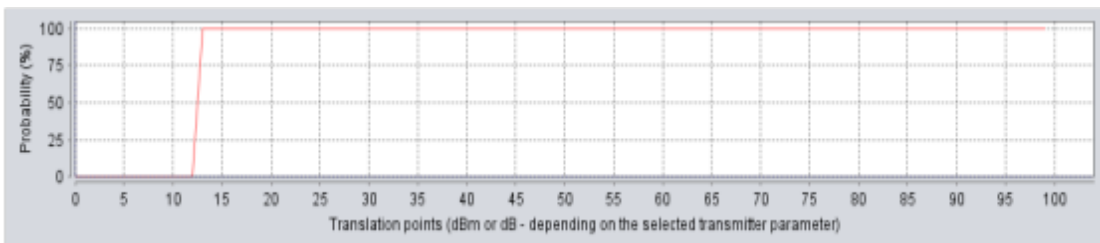
A) Στην πρώτη περίπτωση των προσομοιώσεων κρατάμε σταθερή την απόσταση ανάμεσα στον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης και τον πομπό LTE και ίση με 4km. Οι παράμετροι που αλλάζουν είναι η συχνότητα λειτουργίας του LTE και το μήκος της ζεύξης της ψηφιακής τηλεόρασης.

Σε κάθε προσομοίωση, το Seamcat μας δίνει την επιλογή να παίρνουμε ως αποτέλεσμα το παρακάτω είδος διαγράμματος.

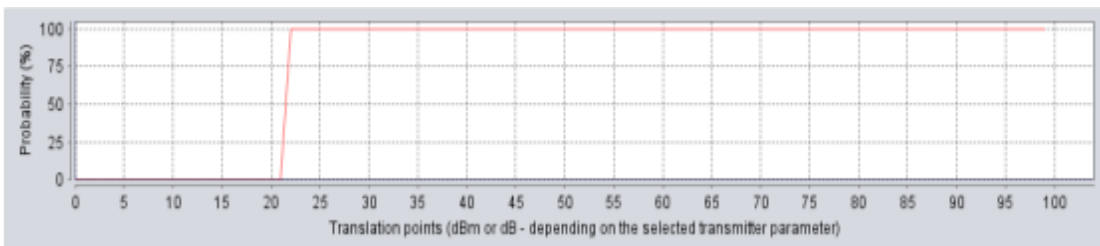
Τα παρακάτω διαγράμματα δείχνουν την μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ για τον πομπό LTE για απόσταση πομπού DTV και δέκτη DTV ίση με 10km.



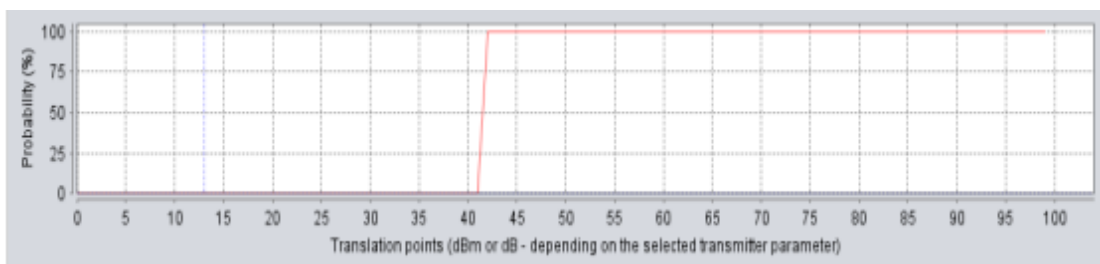
Εικόνα 6.5: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 514MHz.



Εικόνα 6.6: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 510MHz.



Εικόνα 6.7: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 509MHz.



Εικόνα 6.8: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 508MHz.

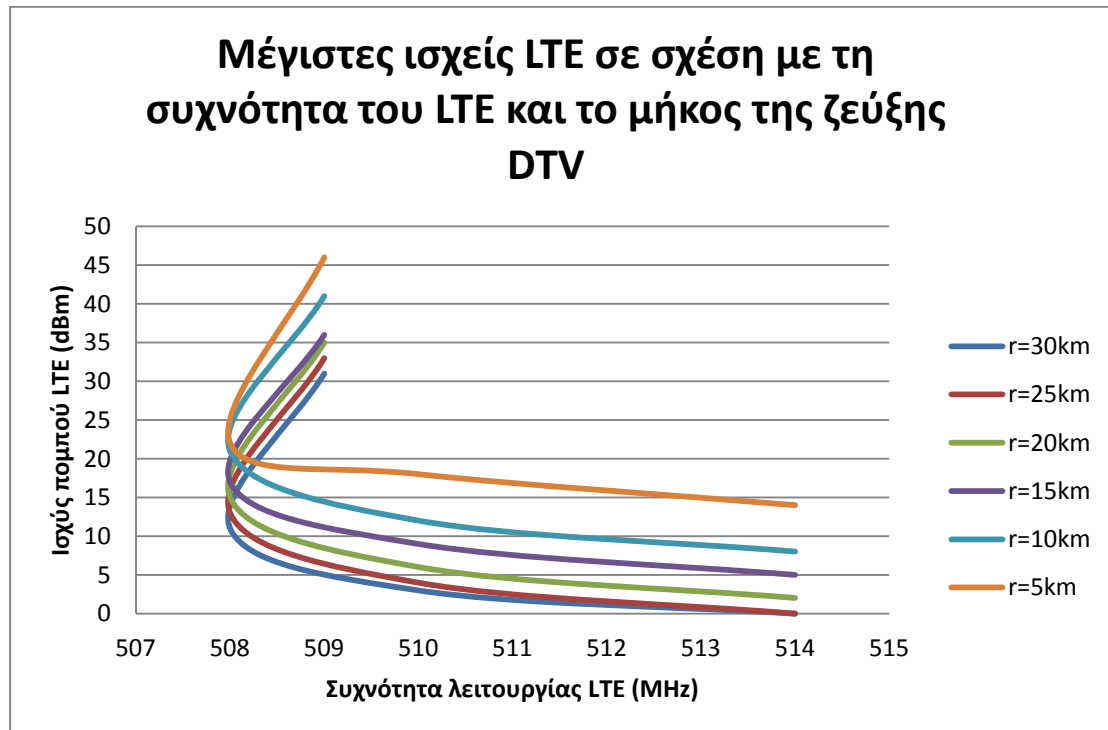
Στα παραπάνω διαγράμματα, η κόκκινη γραμμή δείχνει πώς η ισχύς του πομπού LTE επηρεάζει την πιθανότητα παρεμβολής στη λειτουργία της ψηφιακής τηλεόρασης. Είναι αναμενόμενο πως όταν αυξηθεί αρκετά η ισχύς του πομπού LTE, η πιθανότητα παρεμβολής στη λειτουργία της ψηφιακής τηλεόρασης είναι 100%, κάτι το οποίο δεν

είναι επιθυμητό καθώς, όπως είπαμε, η ψηφιακή τηλεόραση είναι πρωτεύουσα υπηρεσία και η πιθανότητα παρεμβολής πρέπει να είναι κοντά στο 0%. Σε κάθε διάγραμμα υπάρχει χοντρικά ένα κατώφλι στην ισχύ πάνω από το οποίο η πιθανότητα παρεμβολής είναι 100% ενώ κάτω από αυτό το κατώφλι είναι μηδενική, που είναι και το επιθυμητό.

Ο στόχος των συγκεκριμένων προσομοιώσεων είναι να βρεθεί η ανώτατη ισχύς εκπομπής του πομπού LTE ώστε η λειτουργία της τηλεόρασης να μην επηρεάζεται καθόλου. Οι ισχύεις αυτές φαίνονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα και διαγραμματικά στο παρακάτω γράφημα.

	r=30km	r=25km	r=20km	r=15km	r=10km	r=5km
f=514MHz	0dBm	0dBm	2dBm	5dBm	8dBm	14dBm
f=510MHz	3dBm	4dBm	6dBm	9dBm	12dBm	18dBm
f=509MHz	11dBm	13dBm	15dBm	17dBm	21dBm	22dBm
f=508MHz	31dBm	33dBm	35dBm	36dBm	41dBm	46dBm

Πίνακας 6.9: Μέγιστες ισχύεις του πομπού LTE σε σχέση με την συχνότητα λειτουργίας του και το μήκος της ζεύξης DTV.



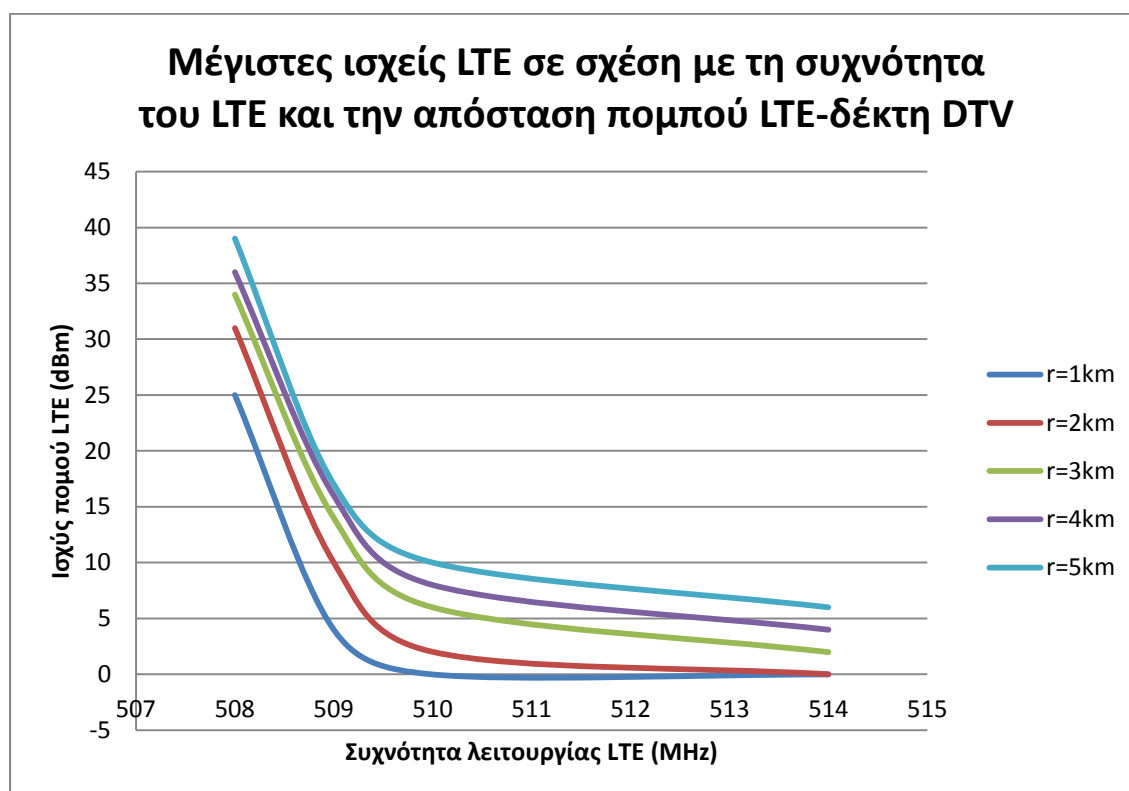
Εικόνα 6.9: Μέγιστες ισχύεις του πομπού LTE σε σχέση με την συχνότητα λειτουργίας του και το μήκος της ζεύξης DTV.

Β) Στη δεύτερη περίπτωση των προσομοιώσεων, κρατάμε σταθερή την απόσταση ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης η οποία είναι ίση με 15km. Οι παράμετροι που αλλάζουν είναι η συχνότητα λειτουργίας του LTE και η απόσταση ανάμεσα στον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης και τον πομπό LTE.

Οι ανώτατες επιτρεπόμενες ισχύεις φαίνονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα και διαγραμματικά στο παρακάτω γράφημα.

	r=1km	r=2km	r=3km	r=4km	r=5km
f=514MHz	0 dBm	0 dBm	2 dBm	4 dBm	6 dBm
f=510MHz	0 dBm	2 dBm	6 dBm	8 dBm	10 dBm
f=509MHz	4 dBm	10 dBm	14 dBm	16 dBm	17 dBm
f=508MHz	25 dBm	31 dBm	34 dBm	36 dBm	39 dBm

Πίνακας 6.10: Μέγιστες ισχύεις του πομπού LTE σε σχέση με την συχνότητα λειτουργίας του και την απόσταση μεταξύ του πομπού LTE και του δέκτη DTV.



Εικόνα 6.10: Μέγιστες ισχύεις του πομπού LTE σε σχέση με την συχνότητα λειτουργίας του και την απόσταση μεταξύ του πομπού LTE και του δέκτη DTV.

6.2.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ 2^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

A) Όπως είναι αναμενόμενο, καθώς απομακρυνόμαστε από την συχνότητα εκπομπής της ψηφιακής τηλεόρασης (514MHz), οι παρεμβολές που δημιουργεί μια άλλη υπηρεσία σε αυτή μειώνονται. Έτσι λοιπόν, στο πρώτο σετ προσομοιώσεων ήταν αναμενόμενο να παρατηρήσουμε μια αύξηση των επιπέδων της επιτρεπόμενης ισχύος εκπομπής του LTE.

Επιπλέον, αν θεωρήσουμε πως ο δέκτης της ψηφιακής τηλεόρασης βρίσκεται πιο κοντά στον πομπό του, τότε θα είναι πιο ισχύρο το επιθυμητό σήμα που φτάνει σε αυτόν. Έτσι θα ανέχεται σε μεγαλύτερο βαθμό τις παρεμβολές και ως εκ τούτου θα είναι ανεκτές και μεγαλύτερες ισχύεις του πομπού LTE.

Στο πρακτικό κομμάτι, συμπεραίνουμε πως δεν είναι ουσιαστικά εφικτή η λειτουργία υπηρεσίας LTE πάνω στη συχνότητα λειτουργίας της ψηφιακής τηλεόρασης αλλά ούτε σε συχνότητες πολύ κοντά σε αυτή διότι οι παρεμβολές είναι αρκετά μεγάλες και σαν αποτέλεσμα υπάρχει μεγάλος περιορισμός στην ισχύ του πομπού LTE. Παρατηρούμε όμως πως από τα 510MHz και κάτω, ανάλογα και με την απόσταση που βρισκόμαστε μακριά από τον πομπό της ψηφιακής τηλεόρασης, είναι δυνατή η χρήση πομπών LTE με μεγαλύτερη ισχύ που θα εξυπηρετεί καλύτερα και περισσότερους χρήστες.

B) Στο δεύτερο σετ προσομοιώσεων, ουσιαστικά μελετάμε την επίδραση που έχει η απόσταση των ζεύξεων LTE από τον δέκτη της πρωτεύουσας υπηρεσίας. Συγκεκριμένα, όσο απομακρύνονται οι ζεύξεις LTE από τον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης, οι παρεμβολές μειώνονται και η ισχύς του πομπού LTE μπορεί να βρίσκεται σε πιο υψηλά επίπεδα.

Η συχνότητα επηρεάζει με τον ίδιο τρόπο όπως και πριν την ισχύ εκπομπής του LTE. Όσο απομακρυνόμαστε από τη συχνότητα λειτουργίας της ψηφιακής τηλεόρασης (514MHz), οι παρεμβολές που δημιουργούνται σε αυτή από τις ζεύξεις LTE μειώνονται οπότε και ο πομπός LTE μπορεί να λειτουργεί σε υψηλότερες ισχύεις.

Επίσης έγιναν προσομοιώσεις όπου θεωρήσαμε πως οι ζεύξεις LTE βρίσκονται γύρω από τον δέκτη DTV. Δηλαδή η απόσταση μεταξύ του δέκτη LTE και του πομπού LTE είναι μηδενική. Τα αποτελέσματα δείχνανε ότι ακόμα και σε συχνότητα έξω από το άκρο του καναλιού, δεν είναι δυνατή η λειτουργία της υπηρεσίας LTE καθώς οι παρεμβολές είναι πολύ ισχυρές. Βέβαια τα αποτελέσματα αυτά εξήχθησαν για ένα μέσο μήκος της ζεύξης DTV. Είναι πολύ πιθανό, πως αν μειώσουμε το μήκος της ζεύξης DTV, οι επιτρεπόμενες ισχύεις του LTE θα είναι αυξημένες. Ακόμα ίσως και στην περίπτωση που οι ζεύξεις LTE βρίσκονται γύρω από τον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης.

6.3 ΤΡΙΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

6.3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ 3^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Στο τρίτο σενάριο θα μελετηθεί η παρεμβολή που δημιουργούν πολλές ζεύξεις LTE σε έναν δέκτη τηλεόρασης. Στο σενάριο αυτό θα χρησιμοποιηθούν τα χαρακτηριστικά των κεραιών που χρησιμοποιήθηκαν και πριν. Στην αρχή με σταθερή τη συχνότητα εκπομπής της ψηφιακής τηλεόρασης, θα μεταβάλλεται η συχνότητα λειτουργίας του συστήματος LTE. Επίσης, θα μεταβάλλεται η απόσταση r μεταξύ του πομπού και του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης και θα μετράται η πιθανότητα παρεμβολής κάθε φορά. Έτσι λοιπόν για κάθε νέα διαφορά συχνότητας, θα γίνονται πολλές προσομοιώσεις όπου θα μεταβάλλεται η προαναφερθείσα απόσταση r .

Ο στόχος του τρίτου σεναρίου είναι διπλός. Πρώτον, θα μελετηθεί η πιθανότητα παρεμβολής σε σχέση με τη διαφορά συχνότητας μεταξύ των συχνοτήτων που χρησιμοποιούν οι δύο υπηρεσίες. Είναι αναμενόμενο πως όταν οι υπηρεσίες λειτουργούν στην ίδια ή σε πολύ κοντινές συχνότητες, η παρεμβολή στην τηλεόραση να είναι αποτρεπτικά μεγάλη. Όταν όμως μεγαλώσει η διαφορά συχνότητας, τότε περιμένουμε η παρεμβολή να είναι σαφώς μειωμένη. Επιπλέον, θα εξαχθούν συμπεράσματα και για τον ρόλο της απόστασης r μεταξύ του πομπού και του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης σε σχέση με την παρεμβολή. Είναι αναμενόμενο πως όταν ο πομπός και ο δέκτης είναι κοντά, οι παρεμβολές θα είναι ασθενείς σε σχέση με το επιθυμητό σήμα που θα είναι ισχυρό λόγω μειωμένης απόστασης. Αντιθέτως, όσο απομακρύνονται, οι παρεμβολές θα υπερισχύουν. Θα δούμε λοιπόν τον συνδυασμό των δύο αυτών παραγόντων και πώς επηρεάζουν την πιθανότητα παρεμβολής καθώς μεταβάλλονται και οι δύο.

Στη συνέχεια θα δούμε πώς αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν την πιθανότητα παρεμβολής όταν υπάρχουν παραπάνω από ένας πομποί LTE, όπου πλέον θα αλλάζουν και οι θέσεις τους μέσα στην τοπολογία.

Victim Link	Receiver	DTV δέκτης (στα σπίτια)
	Transmitter	DTV πομπός
Interfering Link	Receiver	LTE Mobile Station
	Transmitter	LTE Base Station

Πίνακας 6.11: Προσδιορισμός του Victim Link και Interfering Link του τρίτου σεναρίου.

6.3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ 3ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Θα θεωρήσουμε έναν πομπό ψηφιακής τηλεόρασης και έναν δέκτη του σε μια απόσταση r . Σε απόσταση 4km από τον δέκτη ψηφιακής τηλεόρασης, τοποθετείται ένας πομπός LTE και γύρω του σε ακτίνα 1km διασπείρονται οι δέκτες LTE. Στη συνέχεια θα δοκιμάσουμε το ενδεχόμενο τοποθέτησης πάνω από έναν πομπό LTE.

Για τις προσομοιώσεις αυτού του σεναρίου θα χρησιμοποιηθούν οι συχνότητες λειτουργίας της ψηφιακής τηλεόρασης στον Κορύλοβο Δράμας.

Δράμα								
f(MHz)	514	530	562	586	626	666	722	730

Πίνακας 6.12: Συχνότητες λειτουργίας ψηφιακής τηλεόρασης στη Δράμα.

Αρχικά λοιπόν θα θέσουμε τη συχνότητα λειτουργίας της ψηφιακής τηλεόρασης στα 514MHz και την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης στα 50km. Στο (Α) μέρος του σεναρίου θα μελετηθεί το ενδεχόμενο τοποθέτησης ενός πομπού LTE ανάμεσα στις συχνότητες 514MHz και 530MHz. Στο (Β) μέρος του σεναρίου θα μελετηθεί το ενδεχόμενο τοποθέτησης δύο πομπών LTE ανάμεσα στις συχνότητες 530MHz και 562MHz αφού το διάστημα μεταξύ των δύο αυτών συχνοτήτων λειτουργίας της ψηφιακής τηλεόρασης είναι μεγαλύτερο από το προηγούμενο. Στο (Γ) μέρος θα μελετηθεί το ενδεχόμενο τοποθέτησης και τρίτου πομπού LTE στο διάστημα 530MHz-562MHz.

Τα αριθμητικά δεδομένα της προσομοίωσης για έναν πομπό LTE παρατίθενται παρακάτω:

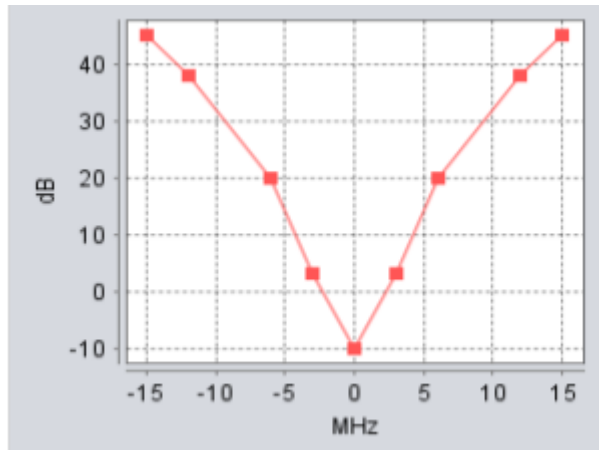
Victim Link		
System Selection: Generic		
Frequency : 514MHz		
Receiver	Transmitter	Transmitter to Receiver Path
Antenna height: 10m	Antenna height: 30m	Correlated Distance: DeltaX:35.36km DeltaY:35.36km
Antenna peak gain: 10dBi	Antenna peak gain:0dBi	Propagation Model: Free Space
Sensitivity: -83dBm	Power: 59dBm	
Reception Bandwidth: 8 KHz		
Noise Floor = -102dBm		
C/I=19dB C/(I+N)=16dB (N+I)/N=3dB I/N=0dB		

Πίνακας 6.13: Αριθμητικά δεδομένα του Victim Link.

Η μάσκα που χρησιμοποιεί ο δέκτης DTV έχει την παρακάτω μορφή :

Blocking Mask – Receiver-DTV δέκτης									
ΔFrequency (MHz)	-15	-12	-6	-3	0	3	6	12	15
Blocking (dB)	45	38	20	3	-10	3	20	38	45

Πίνακας 6.14: Blocking Mask του δέκτη τηλεόρασης DTV.



Εικόνα 6.11: Blocking Mask του δέκτη τηλεόρασης DTV.

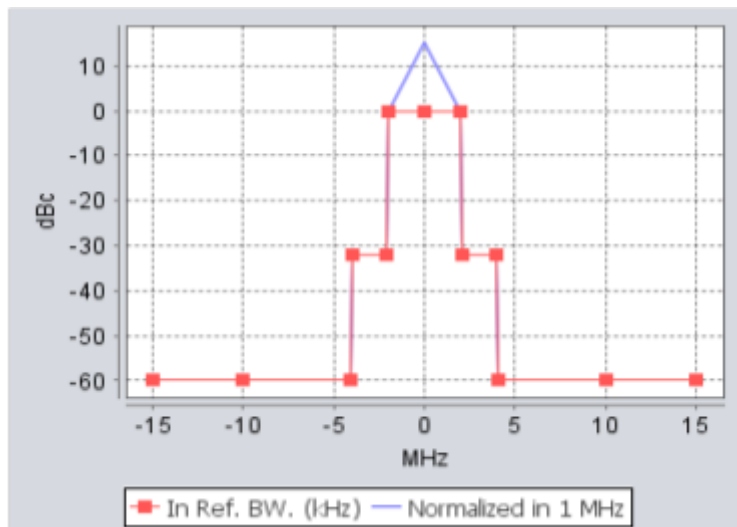
Interfering Link			
System Selection: Generic			
Frequency: 519MHz			
Transmitter	Receiver	Transmitter to Receiver Path	Transmitter to Victim Link Receiver Path
Antenna height: 30m	Antenna height: 1.5m	Coverage Radius: 1km	Mode: Corr (victim link → ILTx) Position Relative to: Victim Link Receiver
Antenna peak gain: 18dBi	Antenna peak gain: 0dBi	Propagation Model: Extended Hata – Urban	Delta X: 3km Delta Y: 3km
Power: 37dBm	Sensitivity: -101.5dBm		Free Space

Πίνακας 6.15: Αριθμητικά δεδομένα του Interfering Link.

Η μάσκα εκπομπής που χρησιμοποιεί ο πομπός LTE έχει την παρακάτω μορφή :

Emission Mask-Transmitter (LTE Base Station)		
Offset(MHz)	Mask(dBc)	Reference Bandwidth(kHz)
-15	-60	1000
-10	-60	1000
-4.1	-60	1000
-4	-32	1000
-2.1	-32	1000
-2	0	30
0	0	1000
2	0	1000
2.1	-32	1000
4	-32	1000
4.1	-60	1000
10	-60	1000
15	-60	1000

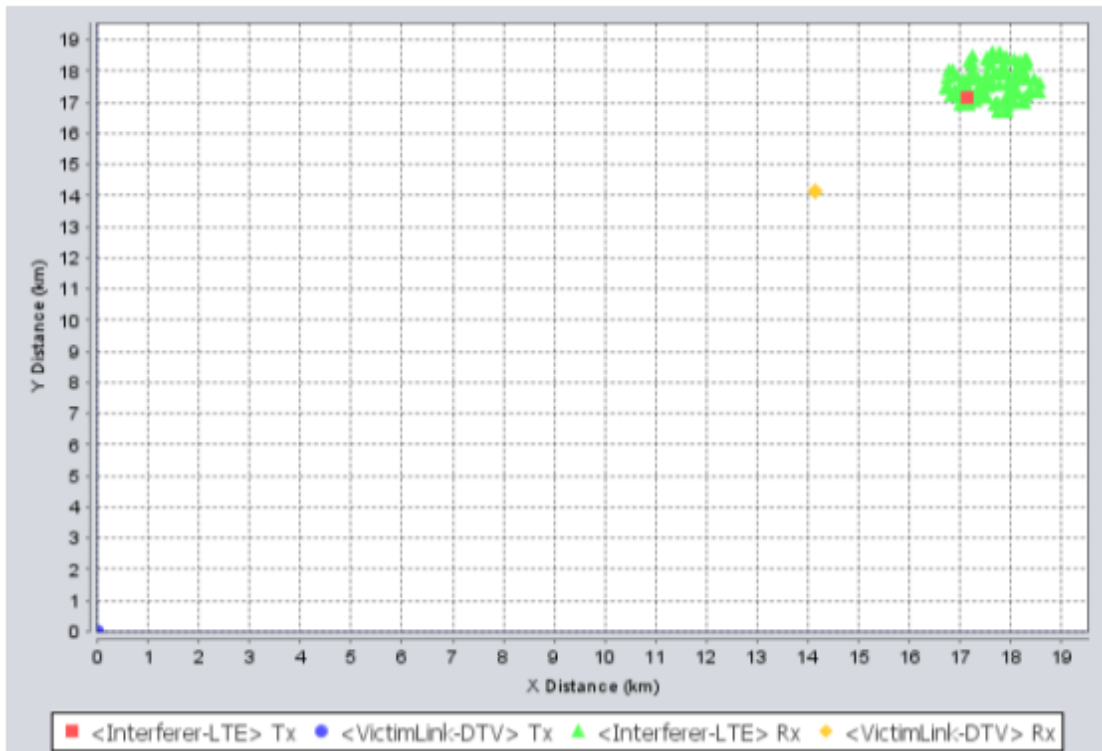
Πίνακας 6.16: Μάσκα εκπομπής του πομπού LTE Base Station.



Εικόνα 6.12: Μάσκα εκπομπής του πομπού LTE Base Station.

6.3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ 3^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥΣ

Α) Για το Α μέρος η αποτύπωση της τοπολογίας του σεναρίου είναι η παρακάτω:



Εικόνα 6.13: Τοπολογία Α μέρους του 3ου σεναρίου.

Όπως ήταν και ο στόχος της μελέτης, δημιουργήσαμε ένα περιβάλλον όπου υπάρχει ένας πομπός τηλεόρασης (DTV Transmitter-μπλε κουκίδα) και ένας δέκτης τηλεόρασης (DTV Receiver- κίτρινη κουκίδα) που αποτελούν το Victim Link. Το Interfering Link αποτελείται από τις ζεύξεις του πομπού LTE (LTE Transmitter- κόκκινη κουκίδα) και δεκτών LTE (LTE Receiver-πράσινες κουκίδες) που βρίσκονται γύρω από τον πομπό LTE και σε σταθερή απόσταση ίση με 4km από τον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης. Επιλέξαμε να μην τοποθετήσουμε τον πομπό LTE πιο κοντά στον δέκτη DTV καθώς οι παρεμβολές θα ήταν πολύ ισχυρές και δεν θα μπορούσαμε να μελετήσουμε τις παραμέτρους που έχουμε θέσει στο σενάριο αυτό. Όπως θα δούμε και παρακάτω, όσο πιο κοντά φέρουμε τις ζεύξεις LTE σε έναν δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης, τόσο θα πρέπει να μειωθεί η ισχύς του πομπού LTE ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα παρεμβολών.

Σε κάθε προσομοίωση μετράται η πιθανότητα παρεμβολής στη ψηφιακή τηλεόραση. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων καθώς αλλάζει η συχνότητα λειτουργίας της υπηρεσίας LTE και η απόσταση μεταξύ του πομπού και δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης.

Συχνότητα λειτουργίας πομπού LTE (MHz)				
Απόσταση r (km)	519MHz	520MHz	521MHz	522MHz
50km	100%	100%	*100%	0%
45km	100%	100%	* 100%	0%
40km	100%	100%	* 100%	0%
35km	100%	100%	0%	0%
30km	100%	100%	0%	0%
25km	100%	100%	0%	0%
20km	100%	*100%	0%	0%
15km	100%	0%	0%	0%
10km	100%	0%	0%	0%
5km	100%	0%	0%	0%

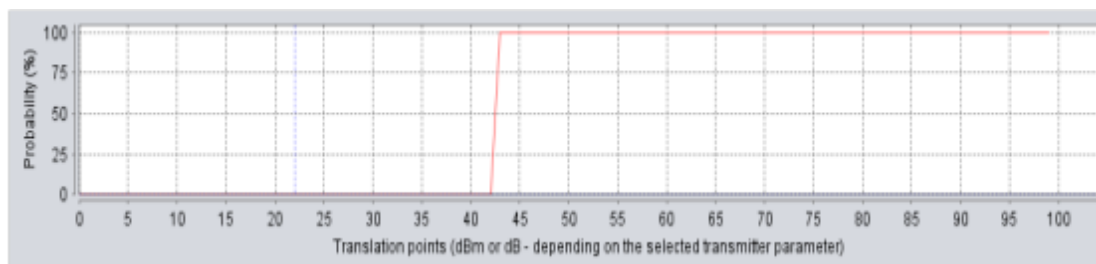
Πίνακας 6.17: Πιθανότητες παρεμβολής στην ψηφιακή τηλεόραση αναλογα με τη συχνότητα λειτουργίας του πομπού LTE και το μήκος της ζεύξης DTV.

Από τα αποτελέσματα παρατηρούμε πως όσο η συχνότητα λειτουργίας της υπηρεσίας LTE απομακρύνεται από την συχνότητα λειτουργίας της ψηφιακής τηλεόρασης, που είναι τα 514MHz, τόσο πιο πιθανό είναι να μη παρεμβάλλει σε αυτή. Επίσης, οι προσομοιώσεις γίνανε και για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ του πομπού και του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης. Από τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε πως όταν το μήκος της ζεύξης DTV μειώνεται, δηλαδή ο δέκτης της τηλεόρασης είναι πιο κοντά στον πομπό της, μειώνεται και η πιθανότητα να επηρεαστεί η λήψη του επιθυμητού σήματος από την υπηρεσία LTE. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς το σήμα της ψηφιακής τηλεόρασης θα γίνεται πιο ισχυρό και άρα πιο ανθεκτικό στα σήματα παρεμβολής.

Συγκεκριμένα παρατηρούμε πως σε απόσταση 5MHz από τη συχνότητα της ψηφιακής τηλεόρασης θα δημιουργείται σίγουρα πρόβλημα από την υπηρεσία LTE, ακόμα και αν θεωρήσουμε τον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης πολύ κοντά στον πομπό της. Το σημείο στο οποίο μπορούμε να πούμε πως φαίνεται δυνατή η λειτουργία ζεύξεων LTE χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα στην ψηφιακή ευρυεκπομπή είναι στα 521MHz και μάλιστα χωρίς να υπάρχει ιδιαίτερος περιορισμός από τη θέση του δέκτη DTV από τον πομπό DTV. Στα 522MHz πλέον δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα παρεμβολής.

Μάλιστα, η ισχύς του παρεμβολέα στα 522MHz είναι δυνατόν να βρίσκεται σε λίγο υψηλότερα επίπεδα από τα 37dBm που έχουμε θέσει στις προσομοιώσεις, διατηρώντας την παρεμβολή σε μηδενικό επίπεδο. Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει την πιθανότητα παρεμβολής στην ψηφιακή τηλεόραση συναρτήσει της

ισχύος του πομπού LTE στα 522MHz. Η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης τέθηκε στα 30km που είναι μια μέση απόσταση από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις.



Εικόνα 6.14: Η πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει της ισχύος του πομπού LTE στα 522MHz και με μήκος της ζεύξης DTG ίσο με 30km.

Όπως ήταν αναμενόμενο, βλέπουμε πως μια αύξηση της ισχύος μέχρι τα 42dBm περίπου διατηρεί την πιθανότητα παρεμβολής σε μηδενικό επίπεδο.

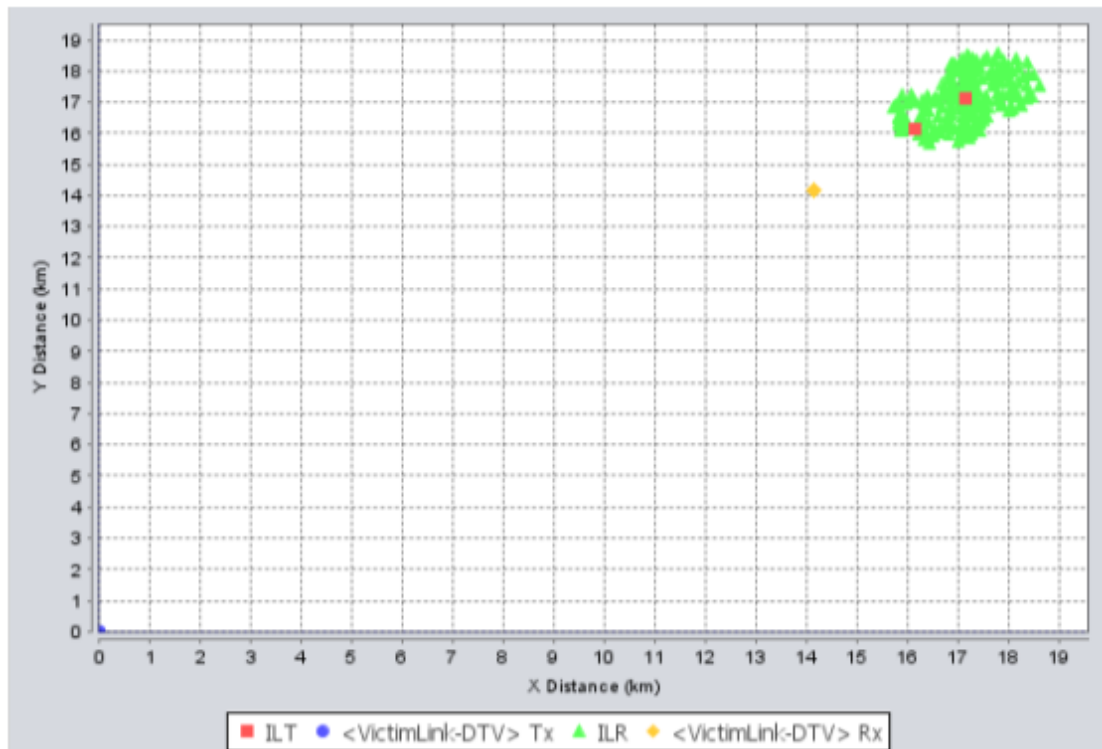
Ορισμένες πιθανότητες 100% είναι σημειωμένες με αστερίσκο. Αυτό σημαίνει πως στις προσομοιώσεις αυτές είχαμε την εξής ιδιομορφία. Όταν λαμβανόταν σαν παρεμβολή μόνο το unwanted signal, η παρεμβολή ήταν μηδενική. Όταν λαμβανόταν σαν παρεμβολή και το blocking signal τότε η παρεμβολή γινόταν 100%.

Υπενθυμίζουμε πως το blocking signal έχει να κάνει με τις ατέλειες στην επιλεκτικότητα του δέκτη, στην περίπτωση μας του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης. Έτσι λοιπόν στις περιπτώσεις αυτές, αν ο δέκτης διαθέτει καλύτερη μάσκα (blocking mask), τότε είναι δυνατόν η πιθανότητα παρεμβολής σε αυτόν να μειωθεί αρκετά από το αποτρεπτικό 100% που τώρα έχουμε με βάση τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί πως μετά τα 514MHz, η επόμενη συχνότητα εκπομπής της ψηφιακής τηλεόρασης στη Δράμα είναι τα 530MHz. Γι' αυτό και οι προσομοιώσεις γίνανε μέχρι τη συχνότητα 522MHz που αποτελεί το μέσο των δύο συχνοτήτων. Όμοια αποτελέσματα θα προέκυπταν αν θεωρούσαμε τις αντίστοιχες συχνότητες για συχνότητα λειτουργίας τηλεόρασης στα 530MHz και συχνότητες λειτουργίας του πομπού LTE στα 525MHz, 524MHz, 523MHz και 522MHz.

Β) Στο Β μέρος θα μελετηθεί το ενδεχόμενο λειτουργίας δύο πομπών LTE σε συχνότητες ανάμεσα στις συχνότητες της ψηφιακής τηλεόρασης στη Δράμα που είναι 530MHz και 562MHz. Οι δύο πομποί θεωρούμε πως θα λειτουργούν σε συχνότητες ώστε να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο συμμετρικά μέσα στο φασματικό διάστημα. Έτσι λοιπόν επιλέγουμε συχνότητες λειτουργίας των δύο πομπών LTE στα 541MHz και στα 551MHz με ισχύ εκπομπής 37dBm για τον καθένα.

Για το Β μέρος η αποτύπωση της τοπολογίας του σεναρίου είναι η παρακάτω:



Εικόνα 6.15: Τοπολογία Β μέρους του 3ου σεναρίου.

Όπως ήταν και ο στόχος του Β μέρους, υπάρχουν ένας πομπός DTV (μπλε κουκίδα), ένας δέκτης DTV (κίτρινη κουκίδα), δύο πομποί LTE (κόκκινες κουκίδες) και γύρω από τους τελευταίους διασπαρμένοι δέκτες LTE(πράσινες κουκίδες). Στις προσομοιώσεις κάθε φορά θα αλλάζει η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης, όπως και πρηγουμένως. Οι προσομοιώσεις αυτές θα γίνονται για διαφορετικές θέσεις των πομπών LTE.

Οι πομποί LTE συγκεκριμένα τοποθετούνται σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων ή μέτρων από τον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης. Οι δύο πομποί τοποθετούνται είτε στην ίδια πλευρά του δέκτη της τηλεόρασης (και οι δύο ΒΑ) είτε εκατέρωθεν (ο ένας ΒΑ και ο άλλος ΝΔ).

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων φαίνονται συγκεντρωμένα στους δύο παρακάτω πίνακες. Η κάθε περίπτωση προσομοίωσης θα αναλυθεί και θα σχολιαστεί ξεχωριστά.

Απόσταση DTV πομπού – DTV δέκτη = 50km			
	Θέση πομπού με $f_1 = 541MHz$	Θέση πομπού με $f_2 = 551MHz$	Πιθανότητα παρεμβολής
(i)	4km BA από δέκτη DTV	3km BA από δέκτη DTV	0%
(ii)	5.5km BA από δέκτη DTV	1.5 km BA από δέκτη DTV	0%
(iii)	4km BA από δέκτη DTV	1.5 km BA από δέκτη DTV	0%
(iv)	1.5km BA από δέκτη DTV	4km BA από δέκτη DTV	0%
(v)	4km BA από δέκτη DTV	30km ΝΔ από δέκτη DTV	0%
(vi)	4km BA από δέκτη DTV	15km ΝΔ από δέκτη DTV	0%
(vii)	1.5km BA από δέκτη DTV	5km ΝΔ από δέκτη DTV	0%
(viii)	1.5km BA από δέκτη DTV	2km ΝΔ από δέκτη DTV	100%

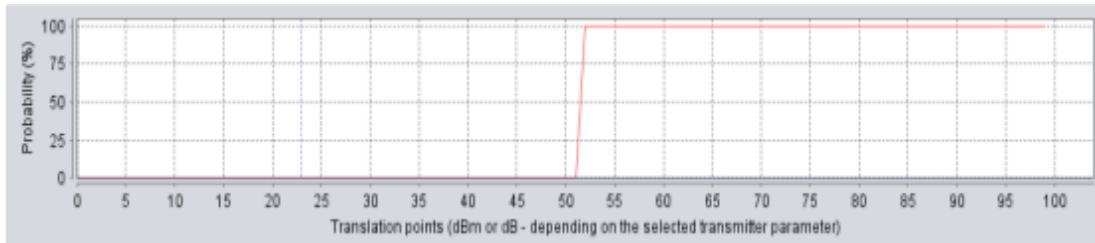
Πίνακας 6.18: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για τοποθέτηση δύο πομπών LTE και μήκος ζεύξης DTV ίσο με 50km.

Απόσταση DTV πομπού – DTV δέκτη = 20km			
	Θέση πομπού με $f_1 = 541MHz$	Θέση πομπού με $f_2 = 551MHz$	Πιθανότητα παρεμβολής
(α)	1.5km BA από δέκτη DTV	2km ΝΔ από δέκτη DTV	0%
(β)	0.7km BA από δέκτη DTV	1.5km BA από δέκτη DTV	0%
(γ)	0.7km BA από δέκτη DTV	1km ΝΔ από δέκτη DTV	0%
(δ)	0.5km BA από δέκτη DTV	1.5km BA από δέκτη DTV	*100%
(ε)	1.5km BA από δέκτη DTV	0.5km BA από δέκτη DTV	0%
(στ)	1.5km BA από δέκτη DTV	0.5km ΝΔ από δέκτη DTV	0%

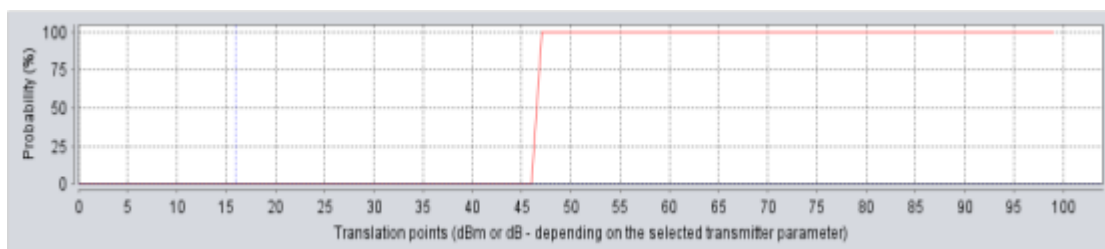
Πίνακας 6.19: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για τοποθέτηση δύο πομπών LTE και μήκος ζεύξης DTV ίσο με 20km.

Στην πρώτη περίπτωση προσομοιώσεων, όπου η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης είναι ίση με 50km, παρατηρούμε πως στην πλειονότητα των προσομοιώσεων η πιθανότητα παρεμβολής στην ψηφιακή τηλεόραση είναι μηδενική. Το αποτέλεσμα αυτό είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικό καθώς η απόσταση των 50km μεταξύ του πομπού και του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης είναι αρκετά μεγάλη και είναι αρκετά πιθανό οι παρεμβολές να είναι μεγαλύτερες από το επιθυμητό σήμα. Εντούτοις, η σχετικά μεγάλη φασματική απόσταση (10MHz) των εκπομπών LTE τόσο μεταξύ τους όσο και από τις συχνότητες λειτουργίας της ψηφιακής τηλεόρασης διασφαλίζουν τις μηδενικές εντέλει παρεμβολές, με βάση τα 37dBm ισχύος για κάθε εκπομπό LTE. Παρακάτω αναφέρονται οι περιπτώσεις πιο αναλυτικά.

- Στην (i) προσομοίωση θεωρήσαμε και τους δύο εκπομπούς στην ίδια πλευρά του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης, πάνω στην ευθεία της ζεύξης DTV και στην αντίθετη πλευρά από αυτή του πομπού της ψηφιακής ευρυεκπομπής. Αφού προέκυψε μηδενική παρεμβολή στην υπηρεσία της τηλεόρασης, πήραμε τα διαγράμματα 1 και 2 που δείχνουν τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ εκπομπής των πομπών LTE.



Εικόνα 6.16: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 541MHz και βρίσκεται στα 4km από τον δέκτη DTV.

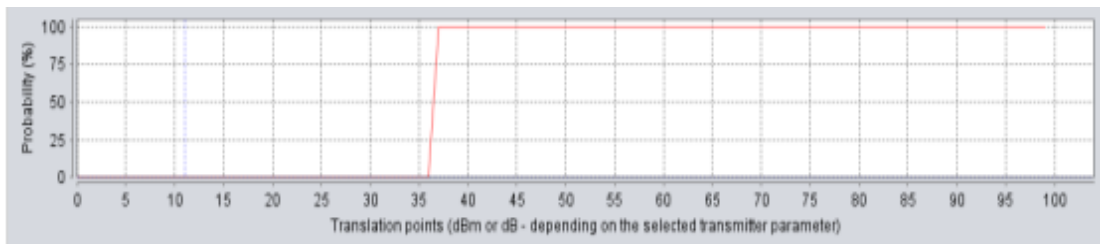


Εικόνα 6.17: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 551MHz και βρίσκεται στα 3km από τον δέκτη DTV.

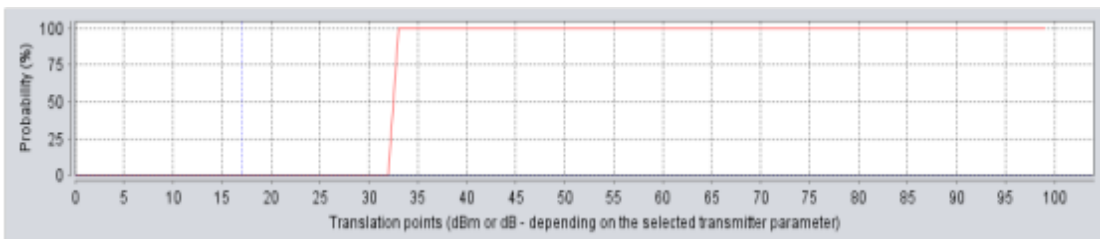
Ο πρώτος πομπός μπορεί να λειτουργήσει με μέγιστη ισχύ τα 50dBm ενώ ο δεύτερος μέχρι και με 45dBm. Η διαφορά αυτή έγκειται στην μεγαλύτερη απόσταση που έχει ο πρώτος πομπός LTE από τον δέκτη DTV, το οποίο σημαίνει μειωμένες παρεμβολές σε σχέση με τον πιο κοντινό πομπό LTE.

- Στις προσομοιώσεις (ii), (iii), (iv) ακολουθήθηκε το μοτίβο του (i). Κάθε φορά μεταβάλλονταν οι αποστάσεις των πομπών LTE από τον δέκτη DTV κρατώντας όμως τον πομπό με συχνότητα λειτουργίας 541MHz πιο κοντά από τον άλλον. Τα αποτελέσματα δείχνανε μηδενική παρεμβολή. Στην (iv) όμως εναλλάξαμε τις αποστάσεις με τις συχνότητες των πομπών. Τελικά δεν υπήρξε μεταβολή στο αποτέλεσμα.
- Στις προσομοιώσεις (v), (vi), (vii) και (viii) αλλάζει η τοπολογία και οι πομποί τοποθετούνται εκατέρωθεν του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης πάνω στην ευθεία της ζεύξης DTV. Σε κάθε προσομοίωση φέρνουμε τους πομπούς πιο κοντά στον δέκτη χωρίς να παρουσιάζεται όπως αποδείχτηκε πρόβλημα παρεμβολής. Επίσης δεν παίζει ρόλο η θέση ενός πομπού LTE ως προς τον

πομπό DTV παρά μόνο ως προς τον δέκτη DTV όπως ήταν και αναμενόμενο. Στην τελευταία όμως περίπτωση που και οι δύο πομποί έρχονται σε απόσταση 1.5km και 2km από τον δέκτη (περίπτωση ελάχιστης απόστασης), η πιθανότητα παρεμβολής γίνεται 100%. Όσο πιο κοντά έρχονται οι πομποί LTE στον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης, τόσο θα αυξάνεται η πιθανότητα παρεμβολής. Ένας πιθανός τρόπος διόρθωσης του προβλήματος αυτού είναι να αυξήσουμε το φασματικό διάστημα μεταξύ των χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων, κάτι όμως που σε αυτή την περίπτωση δεν μπορεί να γίνει. Μια άλλη λύση στο πρόβλημα είναι να χαμηλώσουμε την ισχύ των πομπών LTE. Τα παρακάτω διαγράμματα 1 και 2 δείχνουν τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ εκπομπής των πομπών LTE.



Εικόνα 6.18: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 541MHz και βρίσκεται στα 1.5km από τον δέκτη DTV.



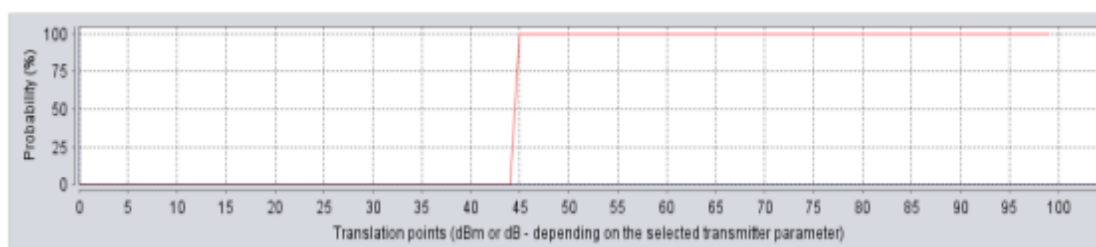
Εικόνα 6.19: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 551MHz και βρίσκεται στα 2km από τον δέκτη DTV.

Από τα διαγράμματα φαίνεται πως ο πρώτος πομπός μπορεί να λειτουργήσει με μέγιστη ισχύ τα 35dBm ενώ ο δεύτερος μέχρι και με 32dBm ώστε να έχουμε μηδενική παρεμβολή.

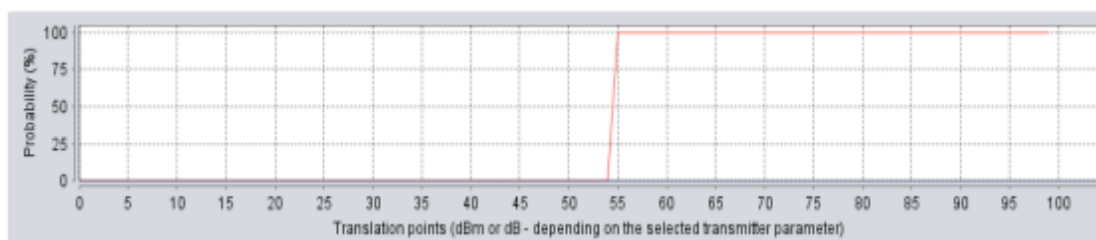
Στη δεύτερη περίπτωση προσομοιώσεων, όπου η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης είναι ίση με 20km, παρατηρούμε και πάλι πως στην πλειονότητα των προσομοιώσεων η πιθανότητα παρεμβολής στην ψηφιακή τηλεόραση είναι μηδενική. Καθώς η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης μειώθηκε στα 20km, αναμένουμε πως το επιθυμητό σήμα θα είναι ισχυρότερο και άρα ανθεκτικότερο. Γι' αυτό θα φέρνουμε τους πομπούς LTE όλο και πιο κοντά στον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης ώστε να διακρίνουμε τα όρια που θέτουν οι αποστάσεις αυτές στην πιθανότητα παρεμβολής. Οι πομποί LTE

εξακολουθούν να έχουν ισχύ εκπομπής 37dBm. Παρακάτω αναφέρονται οι περιπτώσεις πιο αναλυτικά.

- Στην προσομοίωση (α) η τοπολογία είναι ίδια με αυτή της (viii), δηλαδή είναι τοποθετημένοι δύο πομποί LTE εκατέρωθεν του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης σε αποστάσεις 1.5km και 2km. Στην (viii) η πιθανότητα παρεμβολής ήταν 100%, ενώ τώρα με τα νέα δεδομένα η πιθανότητα παρεμβολής είναι μηδέν. Η διαφορά αυτή έγκειται στη μείωση της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης, κάτι που όπως εξηγήσαμε ισχυροποιεί το επιθυμητό σήμα. Έτσι λοιπόν η μείωση του μήκους της ζεύξης DTV αποτελεί ακόμα μία περίπτωση στην οποία δεν υφίσταται το παραπάνω πρόβλημα παρεμβολής. Το βασικό πλεονέκτημα της περίπτωσης αυτής είναι ότι τα επιτρεπτά όρια ισχύος εκπομπής των σταθμών LTE είναι υψηλότερα από πριν διατηρώντας την παρεμβολή σε μηδενικά επίπεδα.



Εικόνα 6.20: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 541MHz και βρίσκεται στα 1.5km από τον δέκτη DTV..

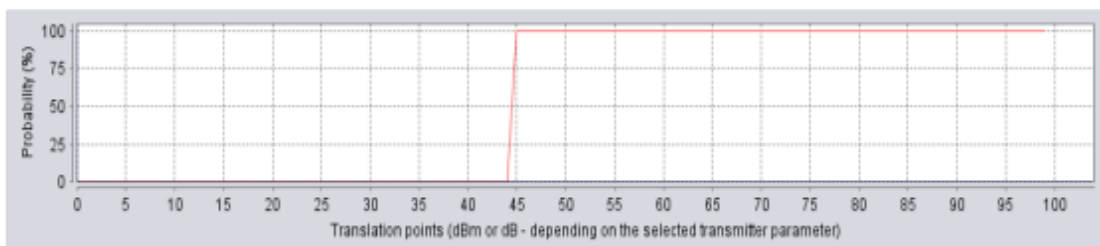


Εικόνα 6.21: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 551MHz και βρίσκεται στα 2km από τον δέκτη DTV.

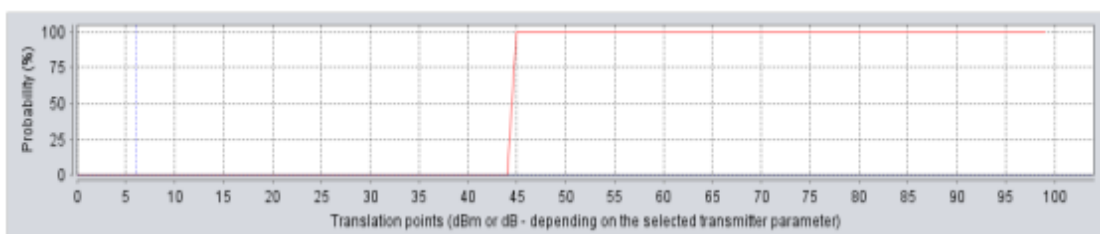
Παρατηρούμε λοιπόν πως οι μέγιστες ισχύεις καθορίζονται πλέον στα 45dBm και 54dBm για τους πομπούς LTE σε συχνότητες λειτουργίας 541MHz και 551MHz αντίστοιχα. Συμπεραίνουμε λοιπό πως η μείωση της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης από τα 50km στα 20km, επιφέρει μεγάλη αλλαγή στα επίπεδα της επιτρεπόμενης ισχύος εκπομπής των πομπών LTE.

- Στις προσομοιώσεις (β), (γ) μειώνουμε τις αποστάσεις των πομπών από τον δέκτη DTV τοποθετώντας τους πομπούς LTE είτε από την ίδια μεριά ήταν εκατέρωθεν του δέκτη-θύμα. Η πιθανότητα παρεμβολής παραμένει μηδενική.

- Στην προσομοίωση (δ), οι αποστάσεις μειώνονται και άλλο και οι δύο πομποί LTE-των 541MHz και των 551MHz- τοποθετούνται στην ίδια μεριά του δέκτη DTV σε αποστάσεις 0.5km και 1.5km αντίστοιχα. Η πιθανότητα παρεμβολής γίνεται 100%. Τα αποτελέσματα έδειξαν ακόμα πως το πρόβλημα δεν λύνεται ακόμα και αν μειωθούν οι ισχύεις των πομπών LTE.
- Στην προσομοίωση (ε), το μόνο που αλλάζει είναι η εναλλαγή που γίνεται μεταξύ των πομπός και των αποστάσεων. Συγκεκριμένα, ο πομπός με συχνότητα λειτουργίας τα 541MHz τοποθεείται 1.5km μακριά από τον δέκτη-θύμα ενώ ο πομπός με συχνότητα λειτουργίας τα 551MHz τοποθεείται 0.5km μακριά από τον δέκτη-θύμα στην ίδια μεριά με τον άλλον πομπό LTE. Η πιθανότητα παρεμβολής μειώνεται στον μηδέν, ακόμα και με αυτή την πολύ μικρή αλλαγή. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί με βάση το ότι ο σταθμός με συχνότητα πιο κοντά στην συχνότητα λειτουργίας της ψηφιακής τηλεόρασης τοποθετείται πιο μακριά μειώνοντας έτσι τις παρεμβολές γειτονικού καναλιού.
- Στην προσομοίωση (στ) οι πομποί τοποθετούνται εκατέρωθεν του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης στις ίδιες αποστάσεις με το (ε). Και εδώ ο πομπός των 541MHz τοποθετείται πιο μακριά σε σχέση με τον άλλον. Η πιθανότητα παρεμβολής παραμένει μηδενική. Τα παρακάτω διαγράμματα δείχνουν την μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ για τον κάθε πομπό LTE στην περίπτωση (στ).



Εικόνα 6.22: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 541MHz και βρίσκεται στα 1.5km από τον δέκτη DTV.



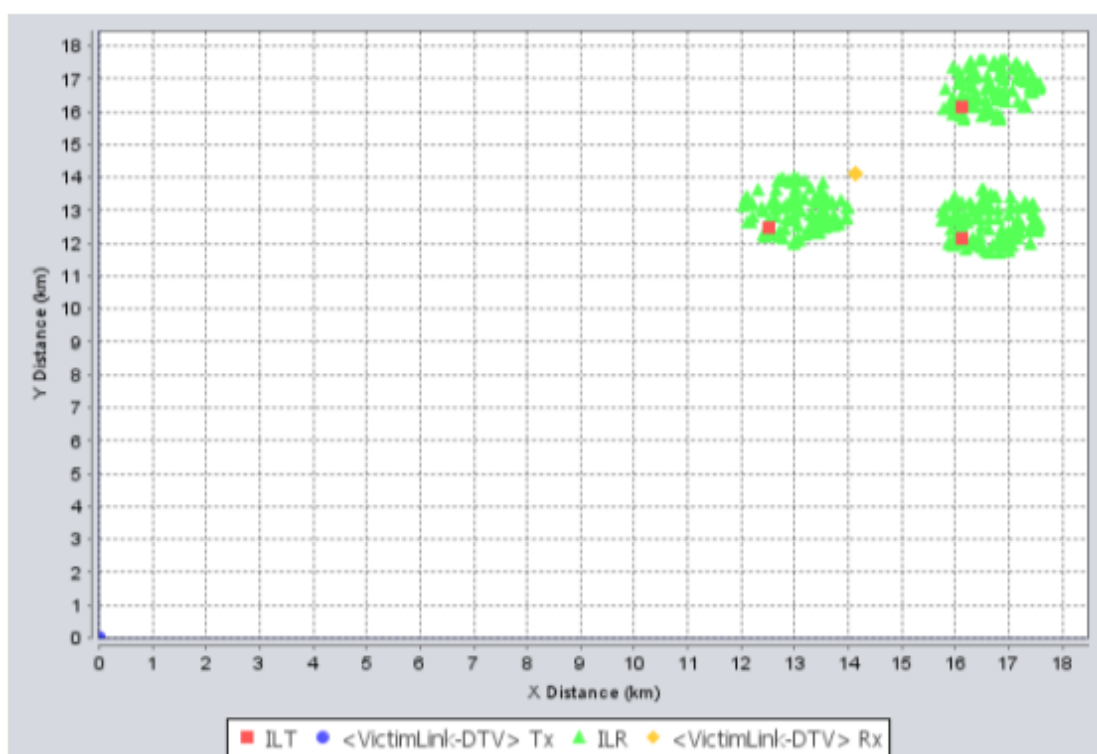
Εικόνα 6.23: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 551MHz και βρίσκεται στα 0.5km από τον δέκτη DTV.

Παρατηρούμε λοιπόν πως οι μέγιστες ισχύεις καθορίζονται πλέον στα 44dBm και για τους δύο πομπούς LTE. Παρατηρούμε πως τα επιτρεπόμενα επίπεδα ισχύος στην προσομοίωση (στ) είναι χαμηλότερα από αυτά της προσομοίωσης (α), πράγμα που

είναι αναμενόμενο καθώς εδώ έχει μειωθεί η απόσταση του ενός πομπού LTE από τον δέκτη-θύμα και συνεπώς οι παρεμβολές είναι πλέον πιο ισχυρές.

Γ) Στο Γ μέρος θα μελετηθεί το ενδεχόμενο λειτουργίας τριών πομπών LTE στο ίδιο φάσμα που μελετήθηκε και πριν, δηλαδή ανάμεσα στις συχνότητες 530MHz και 562MHz. Οι πομποί θεωρούμε πως θα λειτουργούν σε συχνότητες ώστε να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο συμμετρικά μέσα στο φασματικό διάστημα. Έτσι λοιπόν επιλέγουμε συχνότητες λειτουργίας των τριών πομπών LTE στα 538MHz, 546MHz και στα 554MHz με ισχύ εκπομπής 37dBm για τον καθένα.

Για το Γ μέρος η αποτύπωση της τοπολογίας του σεναρίου είναι η παρακάτω:



Εικόνα 6.24: Τοπολογία Γ μέρους του 3ου σεναρίου.

Όπως ήταν και ο στόχος του Γ μέρους, υπάρχουν ένας πομπός DTV (μπλε κουκίδα), ένας δέκτης DTV (κίτρινη κουκίδα), τρεις πομποί LTE (κόκκινες κουκίδες) και γύρω από τους τελευταίους διασπαρμένοι δέκτες LTE (πράσινες κουκίδες). Στις προσομοιώσεις κάθε φορά θα αλλάζει η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης, όπως και πρηγουμένως. Οι προσομοιώσεις αυτές θα γίνονται για διαφορετικές θέσεις των πομπών LTE.

Οι πομποί LTE συγκεκριμένα τοποθετούνται σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων από τον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης. Οι πομποί τοποθετούνται είτε αντιδιαμετρικά ως προς τον δέκτη είτε περιμετρικά του.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων φαίνονται συγκεντρωμένα στους τρεις παρακάτω πίνακες. Η κάθε περίπτωση προσομοίωσης θα αναλυθεί και θα σχολιαστεί ξεχωριστά.

Απόσταση DTV πομπού – DTV δέκτη = 50km				
	Θέση πομπού με $f_1 = 538MHz$	Θέση πομπού με $f_2 = 546MHz$	Θέση πομπού με $f_3 = 554MHz$	Πιθανότητα παρεμβολής
(α)	3km ΒΑ από δέκτη DTV	4km ΒΑ από δέκτη DTV	5km ΝΔ από δέκτη DTV	100%
(β)	3km ΒΑ από δέκτη DTV	5.5km ΒΑ από δέκτη DTV	10km ΝΔ από δέκτη DTV	100%

Πίνακας 6.20: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για τοποθέτηση τριών πομπών LTE και μήκος ζεύξης DTV ίσο με 50km.

Απόσταση DTV πομπού – DTV δέκτη = 35km				
	Θέση πομπού με $f_1 = 538MHz$	Θέση πομπού με $f_2 = 546MHz$	Θέση πομπού με $f_3 = 554MHz$	Πιθανότητα παρεμβολής
(γ)	3km ΒΑ από δέκτη DTV	5.5km ΒΑ από δέκτη DTV	10km ΝΔ από δέκτη DTV	0%
(δ)	3km ΒΑ από δέκτη DTV	4km ΒΑ από δέκτη DTV	5km ΝΔ από δέκτη DTV	0%
(ε)	1.5km ΒΑ από δέκτη DTV	3km ΒΑ από δέκτη DTV	2km ΝΔ από δέκτη DTV	100%
(στ)	3km ΒΑ από δέκτη DTV	4km Νότια του πομπού	5km ΝΔ από δέκτη DTV	0%
(ζ)	3km ΒΑ από δέκτη DTV	4km Νότια του πομπού	2km ΝΔ από δέκτη DTV	0%

Πίνακας 6.21: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για τοποθέτηση τριών πομπών LTE και μήκος ζεύξης DTV ίσο με 35km.

Απόσταση DTV πομπού – DTV δέκτη = 20km				
	Θέση πομπού με $f_1 = 538MHz$	Θέση πομπού με $f_2 = 546MHz$	Θέση πομπού με $f_3 = 554MHz$	Πιθανότητα παρεμβολής
(η)	3km ΒΑ από δέκτη DTV	4km Νότια του πομπού	2.5km ΝΔ από δέκτη DTV	0%

Πίνακας 6.22: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για τοποθέτηση τριών πομπών LTE και μήκος ζεύξης DTV ίσο με 20km.

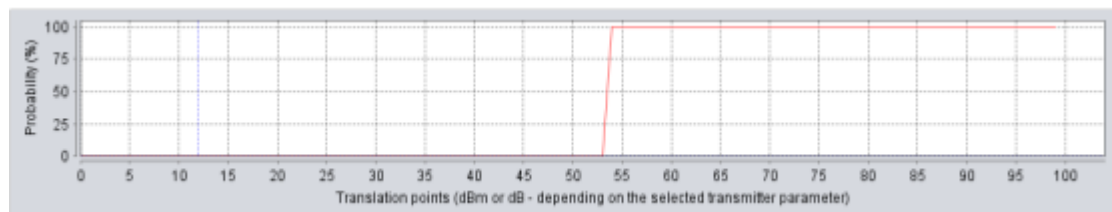
Στην πρώτη περίπτωση προσομοιώσεων, όπου η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης είναι ίση με 50km, παρατηρούμε πως η πιθανότητα παρεμβολής στην ψηφιακή τηλεόραση και στις δύο περιπτώσεις είναι 100%.

- Στην προσομοίωση (α) οι δύο πομποί LTE έχουν τοποθετηθεί βορειοανατολικά στην ίδια πλευρά του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης ενώ ο τρίτος πομπός έχει τοποθετηθεί στην άλλη πλευρά, δηλαδή νοτιοδυτικά του δέκτη. Για τις αποστάσεις που θέσαμε η πιθανότητα παρεμβολής είναι 100% που δείχνει πως ένα τέτοιο σενάριο λειτουργίας της υπηρεσίας LTE δεν είναι δυνατό.

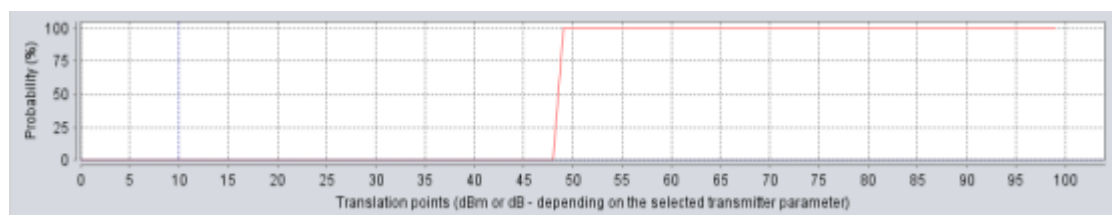
- Στην προσομοίωση (β) κρατώντας την ίδια τοπολογία αυξήσαμε τις αποστάσεις των δύο πομπών LTE από τον δέκτη-θύμα. Μια τέτοια αλλαγή ίσως οδηγούσε σε μείωση της πιθανότητας παρεμβολής καθώς όσο μακρύτερα τοποθετούνται οι παρεμβάλλοντες πομποί τόσο λιγότερο επηρεάζουν τη πρωτεύουσα υπηρεσία. Παρ'όλα αυτά η πιθανότητα παρεμβολής παραμένει 100%. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως όταν το μήκος της ζεύξης της ψηφιακής τηλεόρασης είναι 50km τότε είναι αρκετά δύσκολη η μείωση της πιθανότητας παρεμβολής στην ψηφιακή τηλεόραση.

Στη δεύτερη περίπτωση προσομοιώσεων η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης μειώνεται στα 35km. Έτσι αναμένουμε βελτίωση στην πιθανότητα παρεμβολής καθώς πλέον το επιθυμητό σήμα είναι πιο ισχυρό.

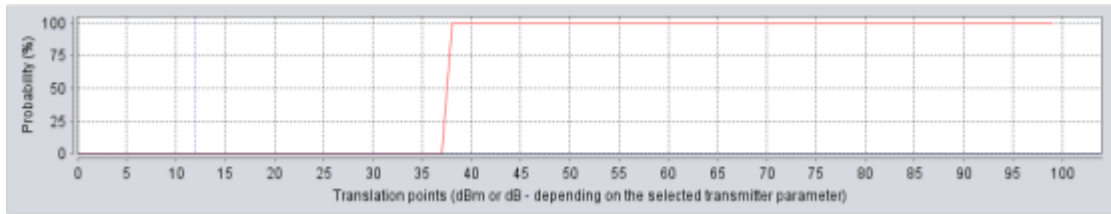
- Στην προσομοίωση (γ) η τοπολογία και οι αποστάσεις των πομπών LTE από τον δέκτη DTV παραμένουν ίδιες με την προσομοίωση (β). Παρατηρούμε πως πλέον η παρεμβολή είναι 0%, κάτι που οφείλεται αποκλειστικά στη μείωση του μήκους της ζεύξης της ψηφιακής τηλεόρασης. Τα παρακάτω διαγράμματα δείχνουν την μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ για τον κάθε πομπό LTE στην περίπτωση (γ).



Εικόνα 6.25: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 554MHZ και βρίσκεται στα 10km ΝΔ από τον δέκτη DTV..



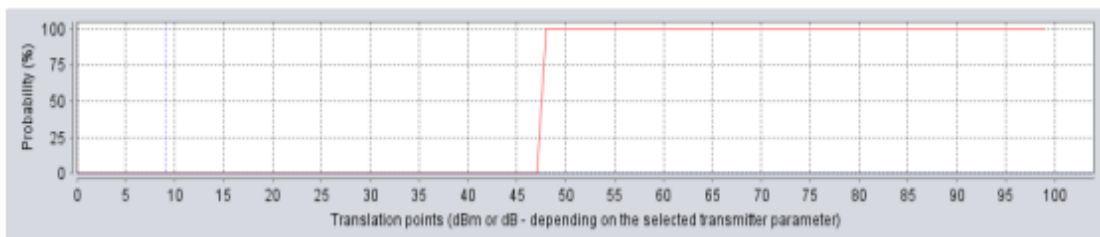
Εικόνα 6.26: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 546MHZ και βρίσκεται στα 5.5km ΒΑ από τον δέκτη DTV.



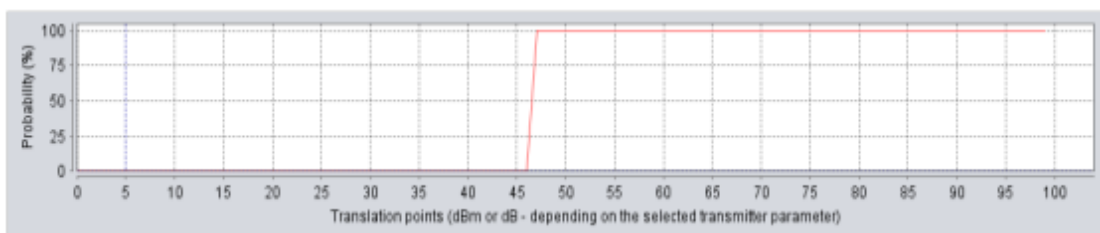
Εικόνα 6.27: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 538MHz και βρίσκεται στα 3km ΒΑ από τον δέκτη DTV.

Παρατηρούμε λοιπόν πως οι μέγιστες ισχύεις καθορίζονται πλέον στα 53dBm, 47dBm και 37dBm για τους πομπούς LTE σε συχνότητες λειτουργίας 554MHz, 546MHz και 538MHz αντίστοιχα.

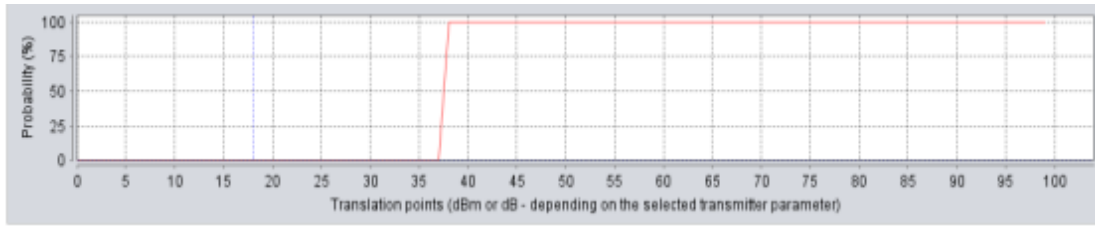
- Στην προσομοίωση (δ) μειώνονται οι αποστάσεις των δύο πομπών LTE από τον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης κατά λίγα χιλιόμετρα. Η πιθανότητα παρεμβολής παραμένει μηδενική. Τα παρακάτω διαγράμματα δείχνουν την μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ για τον κάθε πομπό LTE στην περίπτωση (δ).



Εικόνα 6.12: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 554MHz και βρίσκεται στα 5km ΝΔ από τον δέκτη DTV.



Εικόνα 6.29: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 546MHz και βρίσκεται στα 4km ΒΑ από τον δέκτη DTV.



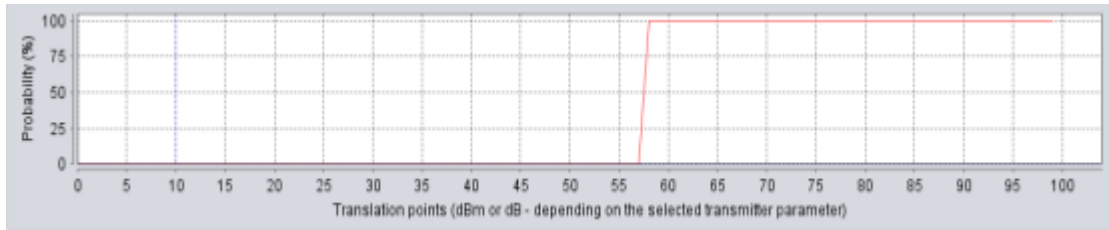
Εικόνα 6.30: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 538MHz και βρίσκεται στα 3km ΒΑ από τον δέκτη DTV.

Παρατηρούμε πως οι μέγιστες ισχύεις καθορίζονται τώρα στα 47dBm, 45dBm και 37dBm για τους πομπούς LTE σε συχνότητες λειτουργίας 554MHz, 546MHz και 538MHz αντίστοιχα. Αυτή η μείωση των επιτρεπόμενων μέγιστων επιπέδων ισχύος είναι αναμενόμενη καθώς στην προσομοίωση (δ) οι παρεμβολές της υπηρεσίας LTE είναι ισχυρότερες καθώς οι πομποί είναι πιο κοντά στον δέκτη-θύμα.

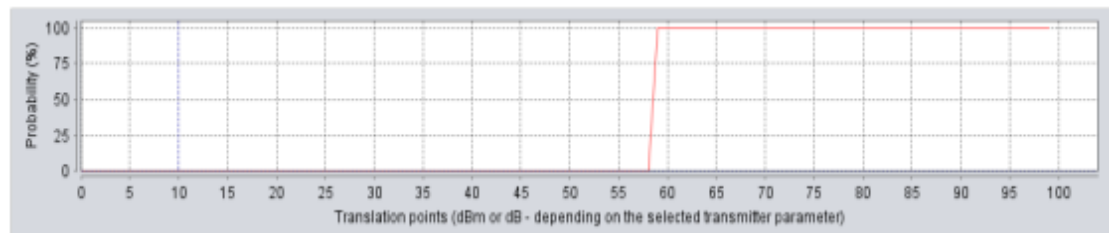
- Στην προσομοίωση (ε) μειώνουμε και άλλο τις αποστάσεις των πομπών LTE από τον δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης με αποτέλεσμα η πιθανότητα παρεμβολής στην πρωτεύουσα υπηρεσία να είναι 100%. Η πιθανότητα παραμένει σε αυτά τα επίπεδα ακόμα και αν μειωθούν οι ισχύεις των πομπών. Αυτό υποδεικνύει πως η συγκεκριμένη τοπολογία δεν επιτρέπεται να υλοποιηθεί.
- Στην προσομοίωση (στ) η τοπολογία αλλάζει λίγο και οι πομποί τοποθετούνται περιμετρικά του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης σε ορισμένες αποστάσεις, παρόμοιες με αυτές της προσομοίωσης (δ). Η πιθανότητα παρεμβολής προκύπτει 0%.
- Στην προσομοίωση (ζ), κρατώντας τους πομπούς περιμετρικά του δέκτη-θύμα, μειώνουμε την απόσταση του ενός πομπού LTE. Η πιθανότητα παρεμβολής παραμένει μηδενική.

Στην τρίτη περίπτωση προσομοιώσεων η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης μειώνεται στα 20km. Η μείωση της απόστασης αυτής ισχυροποιεί το επιθυμητό σήμα άρα αναμένουμε ενθαρρυντικά αποτελέσματα ως προς την πιθανότητα παρεμβολής.

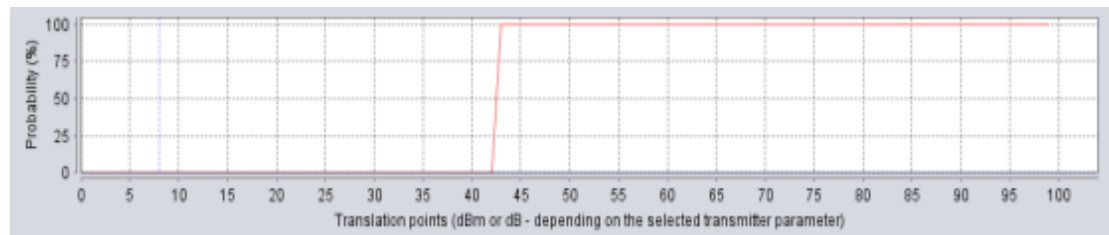
- Στην προσομοίωση (η) συγκεκριμένα, κρατάμε την τοπολογία ίδια με την προσομοίωση (ζ). Η πιθανότητα παρεμβολής είναι 0%, όπως ήταν και αναμενόμενο. Εδώ έχει σημασία να δούμε την μέγιστη ισχύ με την οποία μπορεί να εκπέμπει ο κάθε πομπός LTE. Τα παρακάτω διαγράμματα δείχνουν την μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ για τον κάθε πομπό LTE στην περίπτωση (η).



Εικόνα 6.31: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 554MHz και βρίσκεται στα 2.5km ΝΔ από τον δέκτη DTV.



Εικόνα 6.32: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 546MHz και βρίσκεται στα 4km Νότια από τον πομπό LTE με συχνότητα λειτουργίας τα 538MHz.



Εικόνα 6.33: Πομπός LTE που λειτουργεί στα 538MHz και βρίσκεται στα 3km ΒΑ από τον δέκτη DTV.

Παρατηρούμε πως οι μέγιστες ισχύεις καθορίζονται στα 56dBm, 57dBm και 42dBm για τους πομπούς LTE σε συχνότητες λειτουργίας 554MHz, 546MHz και 538MHz αντίστοιχα.

6.3.4 ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Στο Α μέρος μελετήθηκε πώς η συχνότητα λειτουργίας της υπηρεσίας LTE επηρεάζει την παρεμβολή καθώς και η σημασία που έχει η απόσταση του δέκτη της ψηφιακής τηλεόρασης από τον πομπό της. Συγκεκριμένα, όσο η υπηρεσία LTE απομακρύνεται φασματικά από την συχνότητα λειτουργίας της ψηφιακής τηλεόρασης, τόσο θα μειώνονται οι παρεμβολές στην πρωτεύουσα υπηρεσία. Επιπλέον, όσο πιο κοντά έρχονται ο πομπός και ο δέκτης της ψηφιακής τηλεόρασης, τόσο πιο ισχυρό γίνεται το επιθυμητό σήμα και συνεπώς τόσο μειώνεται η επίδραση των παρεμβολών.

Στο Β και Γ μέρος, οι πομποί λειτουργούν σε συγκεκριμένες συχνότητες, οι οποίες διασφαλίζουν και τη μεγαλύτερη φασματική απόσταση που μπορούν να έχουν στο δοσμένο εύρος συχνοτήτων.

Και από τα δύο μέρη συμπεραίνουμε κατ' αρχάς πως έχει μεγάλη σημασία η θέση του δέκτη DTV ως προς τον πομπό DTV. Μειώνοντας την απόσταση μεταξύ τους, μειώνεται και η πιθανότητα παρεμβολής. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς επιτρέπονται και μεγαλύτερα επίπεδα ισχύος των πομπών LTE. Για παράδειγμα, γύρω από δέκτες της ψηφιακής τηλεόρασης που βρίσκονται σε απόσταση 20km από τον πομπό τους, οι πομποί LTE θα μπορούν να εκπέμπουν με μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με πομπούς LTE γύρω από δέκτες της ψηφιακής τηλεόρασης που βρίσκονται σε απόσταση 40km από τον πομπό τους. Επιπλέον παρατηρήσαμε πως δεν παίζει ρόλο αν οι πομποί LTE βρίσκονται προς την ίδια πλευρά του δέκτη-θύμα ή εκατέρωθεν. Αυτό που παίζει ρόλο είναι οι αποστάσεις που έχουν και οι ισχείς που εκπέμπουν. Όλοι αυτοί οι παράγοντες λοιπόν θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν σε ένα πραγματικό σχέδιο μελέτης και ανάλογα με την τοποθεσία και την υπηρεσία θα γίνει το κατάλληλο trade-off.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Zhao Zhao, Malte Schellmann, Houcine Boulaaba and Egon Schulz, « Interference Study for Cognitive LTE-Femtocell in TV White Spaces», 2011 Technical Symposium at ITU Telecom World (ITU WT), 2011, pages 153-158.
2. Federal Communications Commission, «Office of Engineering and Technology Authorizes TV White Space Database Administrators to Provide Service to Unlicensed Devices Operating on Unused TV Spectrum Nationwide», March 1, 2013.
3. <http://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T>
4. Αναστάσιος Δ. Κονταράτος, Νικόλαος Ε. Παναγιώτου, «Διπλωματική εργασία: Εξέταση συνύπαρξης συστημάτων ευρυεκπομπής με κινητή υπηρεσία», Ιούλιος 2008.
5. ETSI TS 136 104, «LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 version 9.4.0 Release 9)», 2010-07.
6. <http://www.radio-electronics.com/info/broadcast/digital-video-broadcasting/what-is-dvb-t-basics-tutorial.php>
7. Jaap VAN DE BEEK, Janne RIIHJARVI, Petri MAHONEN, «Intrinsic challenges (and opportunities) to deploy LTE in Europe's TV white spaces», IIMC International Information Management Corporation, 2012.
8. http://en.wikipedia.org/wiki/White_spaces_%28radio%29
9. <http://blogs.gartner.com/paul-debeasi/files/2011/01/TV-White-Space-Spectrum.png>
10. Βασίλειος Β. Αθανασίου, «Διπλωματική εργασία: Η χρήση γενετικών αλγορίθμων για την κατανομή φασματικών πόρων σε δίκτυα IMT που παρεμβάλλονται από DVB-T υπηρεσίες», Οκτώβριος 2011.
11. E.Pietrosemoli and M.Zennaro, «TV WHITE SPACES A PRAGMATIC APPROACH», ICTP-The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics T/ICT4D Lab, December 2013.
12. SEAMCAT Handbook, January 2010.
13. <http://www.bhphotovideo.com/find/newsLetter/White-Spaces.jsp>
14. http://el.wikipedia.org/wiki/White_Spaces_Coalition
15. CEPT Report 25, «Technical considerations regarding harmonisation options for the Digital Dividend», Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), 27 June 2008.

- 16.** CEPT Report 30, «The identification of common and minimal (least restrictive) technical conditions for 790 - 862 MHz for the digital dividend in the European Union», Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), 30 October 2009
- 17.** ECC REPORT 131, «DERIVATION OF A BLOCK EDGE MASK (BEM) FOR TERMINAL STATIONS IN THE 2.6 GHz FREQUENCY BAND (2500-2690 MHz)», Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) ,January, 2009.
- 18.** Ιωάννης Δ. Σταυρόπουλος, «Διπλωματική εργασία: Μελέτη παρεμβολής προτύπου DVB-T επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κινητές υπηρεσίες τέταρτης γενιάς (4G) LTE FDD», Ιούλιος 2011.
- 19.** In-kyoung Cho, Il-kyoo Lee and Youn-ok Park, «Study on Coexistence between Long Term Evolution and Digital Broadcasting services », International Journal of Advanced Science and Technology, January, 2012, pages 75-92.
- 20.** <http://www.moto-teleterm.gr>