



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Δίκτυα Σταθερών Επικοινωνιών Ευρείας Ζώνης με τη
χρήση Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Φ. ΜΗΛΑΣ

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

Επιβλέπων Καθηγητής:

ΦΙΛΙΠΠΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

Αθήνα, Μάιος 2006



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

Δίκτυα Σταθερών Επικοινωνιών Ευρείας Ζώνης με τη χρήση
Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Φ. ΜΗΛΑΣ

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

Συμβουλευτική Επιτροπή: Φίλιππος Κωνσταντίνου
Χρήστος Καψάλης
Αθανάσιος Κανάτας

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την

...
Φίλιππος Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

...
Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

...
Αθανάσιος Κανάτας
Επ. Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιά

...
Νικόλαος Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

...
Μιχαήλ Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

...
Ιωάννης Κανελλόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

...
Παναγιώτης Φράγκος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2006

...

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Φ. ΜΗΛΑΣ

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

Copyright © ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Φ. ΜΗΛΑΣ, 2006.

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.

*Αφιερώνεται στους γονείς μου Φώτη και Λίτσα,
για την στήριξη τους σε κάθε μου προσπάθεια.*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διατριβή εστιάζει στην ερευνητική περιοχή των Δικτύων Σταθερών Επικοινωνιών με τη χρήση Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών. Εξετάζονται δύο από τα πιο κρίσιμα θέματα που αφορούν στην τεχνολογία των Στρατοσφαιρικών Δικτύων (ΣΔ). Το πρώτο σχετίζεται με το υπάρχον περιορισμένο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων, και με το γεγονός ότι η εκχώρηση συχνοτήτων λειτουργίας για τα ΣΔ είναι σε ζώνες συχνοτήτων στις οποίες λειτουργούν το Επίγειο Δίκτυο (ΕΔ), και το Δορυφορικό Δίκτυο (ΔΔ) με προτεραιότητα. Απαραίτητη λοιπόν προϋπόθεση για την χρήση των ζωνών αυτών από τα ΣΔ είναι η εύρεση των κατάλληλων μεθόδων συντονισμού τους με τα προαναφερόμενα δίκτυα, η ανάπτυξη εφαρμόσιμων κριτηρίων συνύπαρξης και η μελέτη πιθανών περιοριστικών μέτρων στη λειτουργία τους, έτσι ώστε αυτά να μην προκαλούν ανεπιθύμητες παρεμβολές. Το δεύτερο αφορά στην αστάθεια των στρατοσφαιρικών πλατφορμών και τις συνέπειες που συνεπάγεται αυτή η αδυναμία σταθερής κίνησης. Και τα δύο αυτά θέματα αποτελούν αντικείμενο της συγκεκριμένης διδακτορικής διατριβής.

Η αυξανόμενη ζήτηση για σταθερές ευρυζωνικές υπηρεσίες έχει οδηγήσει στην επιτυχή και ραγδαία ανάπτυξη τόσο των επίγειων όσο και των δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών. Τα τελευταία χρόνια παράλληλα με αυτά τα δύο καθιερωμένα πλέον συστήματα, έχει προταθεί μια νέα τεχνολογία η οποία βασίζεται σε στρατοσφαιρικές πλατφόρμες (HAPS, High Altitude Platform Stations) οι οποίες μπορεί να είναι αεροσκάφη, αερόπλοια, ή μη-επανδρωμένα ηλιακά τροφοδοτούμενα αεροσκάφη, τα οποία λειτουργούν σε σχεδόν στατική θέση σε υψόμετρο ανάμεσα στα 15 και τα 30 Km από την επιφάνεια της Γης. Τα συστήματα που βασίζονται στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες έχουν την δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας, αλλά μπορούν επίσης να λειτουργήσουν συμπληρωματικά στα επίγεια και δορυφορικά συστήματα. Χάρη στην μοναδική θέση από την οποία παρέχουν υπηρεσίες, υπερτερούν σημαντικά έναντι των υπάρχοντων συστημάτων. Το πρώτο μέρος της διδακτορικής διατριβής πραγματεύεται την τεχνολογία, και τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των συστημάτων που βασίζονται στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες. Καταγράφονται αναλυτικά οι ζώνες συχνοτήτων στις οποίες μπορούν να λειτουργήσουν καθώς και οι υπηρεσίες που μπορούν να προσφέρουν τα ΣΔ. Αναλύονται οι συνθήκες που

επικρατούν στην στρατόσφαιρα, μελετώνται η γεωμετρία και η επιφάνεια κάλυψης από στρατοσφαιρική πλατφόρμα, το περιβάλλον διάδοσης για $\Sigma\Delta$ στην χιλιοστομετρική ζώνη συχνοτήτων, και οι δυνατότητες των $\Sigma\Delta$.

Το δεύτερο μέρος αφορά στη μελέτη όλων των πιθανών διαδρομών διάδοσης παρεμβολής μεταξύ Στρατοσφαιρικών Δικτύων και Επίγειων Δικτύων. Προτείνεται μια νέα μέθοδος συντονισμού για τις παρεμβολές που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης (στρατόσφαιρα-προς-Γη) των $\Sigma\Delta$ προς τους δέκτες του $\text{E}\Delta$. Η μέθοδος αυτή αφορά στην εύρεση αποστάσεων διαχωρισμού μεταξύ της περιοχής κάλυψης του $\Sigma\Delta$ και της περιοχής λειτουργίας του $\text{E}\Delta$, και βασίζεται στην εκτίμηση της κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας του $\text{E}\Delta$, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της μελέτης επίδρασης της κίνησης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στη στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής που προκαλείται στον επίγειο δέκτη, την προτεινόμενη ρεαλιστική κατανομή γωνιών ανύψωσης του $\text{E}\Delta$, και το βαθμιαία αναπτυσσόμενο $\Sigma\Delta$. Παράλληλα προτείνεται ένα θεωρητικό μοντέλο εκτίμησης της αθροιστικής παρεμβολής που προκαλείται από τους επίγειους σταθμούς του $\Sigma\Delta$ προς σταθμό του $\text{E}\Delta$, με βάση το οποίο μελετώνται νέες αποστάσεις συντονισμού μεταξύ επίγειου δέκτη και του σημείου ναδίρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας.

Το τρίτο μέρος αφορά στη μελέτη όλων των πιθανών διαδρομών διάδοσης παρεμβολής μεταξύ Στρατοσφαιρικών Δικτύων και Δορυφορικών Δικτύων, και στην πρόταση νέων τρόπων και μεθόδων εξασφάλισης της αρμονικής τους συνύπαρξης. Μελετώνται οι παρεμβολές που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της άνω ζεύξης (Γη-προς-στρατόσφαιρα) και κάτω ζεύξης (στρατόσφαιρα-προς-Γη) του $\Sigma\Delta$ προς τους γεωστατικούς δέκτες του $\Delta\Delta$, λαμβάνοντας υπόψη για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία ότι τα δύο δίκτυα λειτουργούν στην ίδια περιοχή κάλυψης. Προτείνονται νέα όρια ισχύος για το $\Sigma\Delta$ και αναπτύσσονται νέα κριτήρια συνύπαρξης τα οποία εξάγονται με την πραγματοποίηση προσομοιώσεων σε ποικίλα περιβάλλοντα παρεμβολών με χρήση κατάλληλου λογισμικού, εξειδικευμένου στην ανάλυση παρεμβολών μεταξύ ασύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

Με την υιοθέτηση των προτεινόμενων μεθόδων και κριτηρίων, εξασφαλίζονται αποδοτικότερες συνθήκες συνύπαρξης (μικρότερες αποστάσεις διαχωρισμού μεταξύ των γεωγραφικών περιοχών κάλυψης του $\Sigma\Delta$ και του $\text{E}\Delta$, μικρότερες αποστάσεις συντονισμού μεταξύ σταθμών του $\text{E}\Delta$ και του σημείου ναδίρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, δυνατότητα λειτουργίας του $\Sigma\Delta$ και του $\Delta\Delta$ στην ίδια περιοχή κάλυψης κα.) μεταξύ των υπό μελέτη δικτύων, από αυτές που εξασφαλίζονται με τις υπάρχουσες μεθόδους στη διεθνή βιβλιογραφία.

ABSTRACT

The thesis focuses on the research area of Fixed Service using High Altitude Platform Stations (HAPS). Two of the most critical issues, related to High Altitude Platform Networks (HAPN), are studied. The first is related to the limited spectrum resources, and the fact that the allocated frequency bands for HAPN, are already in primary use by Terrestrial Networks (TN), and Satellite Networks (SN). It is of crucial importance that appropriate coordination methods and sharing criteria are developed between HAPN, TN, and SN, as well as to study potential limits for HAPN, in a way that they do not cause harmful interference to TN and SN. The second issue is High Altitude Platform's movement and the consequences of this movement to the interference environment. Both these issues are thoroughly studied in this thesis.

The increasing demand for fixed broadband services has led to the successful and rapid deployment of both terrestrial and satellite communication systems. In parallel to these two well-established systems, in recent years a new technology has been proposed, based on High Altitude Platform Stations (HAPS), which can be aircraft, airship, or unmanned solar-powered aircraft operating in quasi-stationary position at heights between 15 and 30 Km from the surface of Earth. High Altitude Platform Systems can operate as standalone or complementary to terrestrial and satellite systems. Due to the unique position of HAPS, they outperform the current existing technologies. The first part of the thesis deals with the study of the technology, the technical and operational characteristics of the systems which are based on HAPS. The frequency allocations and the associated services by HAPS are presented. The propagation mechanisms, the conditions in the stratosphere, the radiocoverage parameters, the architecture and all the basic aspects of HAPN are thoroughly studied.

The second part deals with the study of all the potential interference propagation paths between HAPN and TN. A new method is proposed for estimating the impact of stratosphere-

to-Earth co-channel interference from high altitude platforms to terrestrial systems, based on the evaluation of fractional degradation in performance of terrestrial systems considering parameters such as high altitude platform's movement, different HAPN configurations and realistic allocation of azimuth and elevation angles of the terrestrial microwave links. New concepts which could be used in spectrum sharing studies between HAPN and TN operating in adjacent geographical areas in the millimeter-wave bands are presented. Moreover this section proposes a calculation model of the aggregate interference produced by ground stations of HAPN to receivers of TN, on which new coordination distances between the terrestrial receiver and the nadir point below the platform are derived.

The third part of the thesis is dedicated to the study of all the potential interference propagation paths between HAPN and SN, and the proposal of new coordination methods and criteria which could help the harmonic sharing between the two networks. In particular, the interference produced by uplink (Earth-to-stratosphere), and downlink (stratosphere-to-Earth) emissions of HAPN to the geostationary satellite receivers of SN is studied, taking into consideration that the two networks operate in the same coverage area. New power limits for the HAPN are proposed, and new sharing criteria are developed through simulations in various environments based on a software specialized in interference analysis of telecommunication systems.

By adopting the proposed methods and criteria, a more efficient use of the spectrum shared between HAPN, TN and SN is obtained.

Λέξεις Κλειδιά:

Ελληνικά: Στρατοσφαιρικό Δίκτυο, Επίγειο Δίκτυο, Δορυφορικό Δίκτυο, παρεμβολή, μέθοδος συντονισμού, κριτήρια συνύπαρξης, κίνηση στρατοσφαιρικής πλατφόρμας.

Αγγλικά: High Altitude Platform Network, Terrestrial Network, Satellite Network, interference, coordination method, sharing criteria, high altitude platform's movement.

Θα ήθελα να αφιερώσω αυτές τις λίγες γραμμές, για να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους, των οποίων η συνεργασία και η παρουσία ήταν παραπάνω από σημαντική για την ολοκλήρωση της ερευνητικής μου προσπάθειας.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του Ε.Μ.Π και επιβλέποντα της διατριβής μου κ. Φίλιππο Κωνσταντίνου, για την καθοριστική καθοδήγηση του και την αμέριστη υποστήριξη του στη διάρκεια της διδακτορικής διατριβής. Ήταν πραγματικά χαρά για μένα που δούλεψα μαζί του τα τελευταία τεσσεράμιση χρόνια. Η εμπιστοσύνη με την οποία με περιέβαλλε, και αυτά που έμαθα κοντά του, ήταν πολύτιμα ώστε να μπορέσω να ανταπεξέλθω στο στόχο που έθεσα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και συνάδελφους στο Εργαστήριο Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών του Ε.Μ.Π, για την συνεργασία και τις εμπειρίες που ζήσαμε μαζί όλα αυτά τα χρόνια. Ιδιαίτερα ευχαριστώ την Δρ. Μαρία Κωλέττα για την δημιουργική συνεργασία σε θέματα παρεμβολών, και τον υποψήφιο διδάκτορα Νικόλαο Σκέντο για τις συζητήσεις μας και τις συμβουλές του από την αρχή της προσπάθειας μου. Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τον φίλο μου και μηχανικό τηλεπικοινωνιών, Γεώργιο Γεωργιάκο, για την σημαντική βοήθεια του με τις ζεύξεις του Επίγειου Δικτύου στην Ελλάδα. Επίσης ευχαριστώ τους προπτυχιακούς φοιτητές, στους οποίους είχα την τιμή να είμαι επιβλέπων, για τις φρέσκιες ιδέες τους και για το πολύ καλό αποτέλεσμα της συνεργασίας μας.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου, γιατί είναι πάντα δίπλα μου με αγάπη και κατανόηση. Η διδακτορική διατριβή είναι αφιερωμένη ολόψυχα σε αυτήν. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Μάριο, για το αμέριστο ενδιαφέρον του, και την Ιωάννα γιατί έκανε πιο όμορφη τη διαδρομή αυτή.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
1.1	Επιστημονικές Δημοσιεύσεις	6
1.2	Ορολογία και Μεταβλητές	9
	Βιβλιογραφία	12
2	Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα με τη χρήση Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών	13
2.1	Εισαγωγή	13
2.1.1	Ιστορική Αναδρομή	14
2.2	Τύποι Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών	15
2.2.1	Στρατόσφαιρα	17
2.3	Παράμετροι Ραδιοκάλυψης από Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα	18
2.4	Ζώνες Συχνοτήτων για παροχή Υπηρεσιών από Στρατοσφαιρικά Δίκτυα	22
2.5	Ανάλυση των Παρεμβολών που επιβαρύνουν ένα Στρατοσφαιρικό Σύστημα	25
2.5.1	Επιτρεπτά Όρια Παρεμβολής	29
2.6	Περιβάλλον Διάδοσης	33
2.6.1	Χαρακτηρισμός του Διαύλου	33
2.6.2	Δεδομένα Διάδοσης και Μοντέλα Πρόβλεψης	34
2.7	Προδιαγραφές Κεραιών	36
2.8	Τεχνικά Χαρακτηριστικά Τυπικών Στρατοσφαιρικών Δικτύων στην Χιλιοστομετρική Ζώνη (ITU-R)	37
2.8.1	Αρχιτεκτονική Δικτύου	37
2.8.2	Χαρακτηριστικά Εκπομπής	39
2.8.3	Διαγράμματα Ακτινοβολίας Κεραιών	41
2.9	Δυνατότητες των Στρατοσφαιρικών Δικτύων	44
2.9.1	Γενικές Τάσεις στην Εξέλιξη των Στρατοσφαιρικών Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων	47

2.10 Συμπεράσματα	49
Βιβλιογραφία.....	51
3 Νέες Μέθοδοι Συντονισμού και Ανάπτυξη Κριτηρίων Συνύπαρξης μεταξύ Επίγειων και Στρατοσφαιρικών Δικτύων	55
3.1 Εισαγωγή	55
3.2 Σταθερά Επίγεια Δίκτυα	60
3.2.1 Ανάπτυξη και Κατηγορίες Δικτύων	60
3.2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Τυπικών Επίγειων Δικτύων στην Χιλιοστομετρική Ζώνη (ITU-R)	62
3.2.3 Στόχοι λειτουργίας	63
3.2.3.1 Στόχοι Διαθεσιμότητας	63
3.2.3.2 Στόχοι Λειτουργικών Λαθών	67
3.2.4 Μέγιστη Επιτρεπτή Παρεμβολή	69
3.3 Διαδρομή Διάδοσης Παρεμβολής A1	75
3.3.1 Υπάρχοντα Κριτήρια Συνύπαρξης	75
3.3.2 Προτεινόμενη Μέθοδος Συντονισμού.....	76
3.3.2.1 Ενσωμάτωση της Κίνησης της Στρατοσφαιρικής Πλατφόρμας ...	77
3.3.2.1.1 Μοντέλα Κίνησης Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών.....	79
3.3.2.1.2 Μεταβλητές και Διαδικασία Στατιστικής Μελέτης.	80
3.3.2.1.3 Αποτελέσματα Μελέτης	82
3.3.2.2 Κλασματική Υποβάθμιση της Λειτουργίας του Επίγειου Δικτύου	88
3.3.2.3 Προτεινόμενη Κατανομή Γωνιών Ανύψωσης Επίγειων Ζεύξεων ..	91
3.3.2.4 Σταδιακή Ανάπτυξη Στρατοσφαιρικού Δικτύου.....	94
3.3.3 Ανάλυση με βάση την Προτεινόμενη Μέθοδο	95
3.3.3.1 Επίδραση Προσανατολισμού Στρατοσφαιρικού Δικτύου	95
3.3.3.2 Καθορισμός Αποστάσεων Διαχωρισμού μεταξύ των Γεωγραφικών Περιοχών Κάλυψης των δύο Δικτύων	96
3.3.4 Αποτελέσματα Αρχικής Μελέτης	101
3.3.4.1 Χρήστες στην Αστική Περιοχή Κάλυψης του Στρατοσφαιρικού Δικτύου.....	101
3.3.4.2 Χρήστες στην Αγροτική Περιοχή Κάλυψης του Στρατοσφαιρικού Δικτύου	106
3.4 Διαδρομή Διάδοσης Παρεμβολής A2	108
3.4.1 Υπάρχοντα Κριτήρια Συνύπαρξης	108

3.4.2	Θεωρητικό Μοντέλο Εκτίμησης Παρεμβολής	109
3.4.2.1	Ισχύς Αθροιστικής Παρεμβολής	109
3.4.2.2	Βασικές Απώλειες Διάδοσης	112
3.4.3	Μελέτη Αποστάσεων Συντονισμού	113
3.4.3.1	Μελέτη για Στρατοσφαιρικές Πλατφόρμες που Παρέχουν Κάλυψη στην Αστική Ζώνη	113
3.4.3.2	Μελέτη για Στρατοσφαιρικές Πλατφόρμες που Παρέχουν Κάλυψη στην Προαστιακή και Αγροτική Ζώνη	114
3.4.3.2.1	Περίπτωση I	116
3.4.3.2.2	Περίπτωση II	116
3.4.3.2.3	Περίπτωση III	118
3.4.3.2.4	Συμπέρασμα	120
3.5	Προστασία του Στρατοσφαιρικού Δικτύου από Παρεμβολές που Προκαλεί το Επίγειο Δίκτυο	121
3.5.1	Εισαγωγή	121
3.5.2	Παρεμβολή από Σταθμό του Επίγειου Δικτύου προς Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα	122
3.5.3	Παρεμβολή από Σταθμό του Επίγειου Δικτύου προς Επίγειο Σταθμό του Στρατοσφαιρικού Δικτύου	124
3.6	Συμπεράσματα	128
	Βιβλιογραφία	131
4	Ανάπτυξη Νέων Κριτηρίων Συνύπαρξης μεταξύ Δορυφορικών και Στρατο- σφαιρικών Δικτύων	137
4.1	Εισαγωγή	137
4.2	Γεωστατικά Δορυφορικά Δίκτυα	141
4.2.1	Ιδιαίτερα Χαρακτηριστικά των Δορυφορικών Δικτύων στα 50/40 GHz ...	142
4.2.2	Τεχνικά Χαρακτηριστικά Τυπικών Δορυφορικών Δικτύων στη Χιλιοστομετρική Ζώνη (ITU-R)	145
4.2.3	Στόχοι Λειτουργίας	152
4.2.3.1	Στόχοι Διαθεσιμότητας	153
4.2.3.2	Στόχοι Λειτουργικών Λαθών	154
4.2.4	Μέγιστη Επιτρεπτή Παρεμβολή	154
4.3	Διαδρομή Διάδοσης Παρεμβολής A1	157
4.3.1	Υπάρχοντα Κριτήρια Συνύπαρξης	157

4.3.2	Προτεινόμενη Μέθοδος	158
4.3.2.1	Μοντέλο Εκτίμησης Λόγου Παρεμβολής-προς-Θόρυβο	159
4.3.2.1.1	Περίπτωση Α - Ανάπτυξη κοντά στον Ισημερινό	160
4.3.2.1.2	Περίπτωση Β - Ανάπτυξη κοντά στους Πόλους	161
4.3.2.1.3	Συνολικό Κέρδος $G_{(H-S)i}(\varphi_{HSi})$	162
4.3.2.2	Αποτελέσματα Ανάλυσης I/N	163
4.3.3	Νέα Όρια Ισχύος	167
4.4	Διαδρομή Διάδοσης Παρεμβολής A2	170
4.4.1	Υπάρχουσες Μελέτες	170
4.4.2	Μοντέλο Εκτίμησης Αθροιστικής Παρεμβολής	170
4.4.3	Θεωρητική Μελέτη	174
4.4.3.1	V Ζώνη Συχνοτήτων	174
4.4.3.2	Ka Ζώνη Συχνοτήτων	175
4.4.4	Μελέτη Προσομοίωσης	179
4.5	Προστασία του Στρατοσφαιρικού Δικτύου από Παρεμβολές που Προκαλεί το Δορυφορικό Δίκτυο	181
4.5.1	Εισαγωγή	181
4.5.2	Παρεμβολή από Δορυφορικό Σταθμό Εδάφους προς Επίγειο Δέκτη Στρατοσφαιρικού Δικτύου	182
4.5.3	Παρεμβολή από Δορυφορικό Σταθμό Εδάφους προς Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα	187
4.6	Συμπεράσματα	188
	Βιβλιογραφία	189
5	Γενικά Συμπεράσματα και Μελλοντικά Θέματα	193
5.1	Καινοτομίες	193
5.2	Προτάσεις Επέκτασης	195
	Βιβλιογραφία	196
A'	Περιοχές Ανάθεσης Συχνοτήτων ITU-R	197
	Βιβλιογραφία	199
B'	Ομοδιαυλική Παρεμβολή από Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα που λειτουργεί σαν Σταθμός Βάσης IMT-2000	201
	Βιβλιογραφία	206

Γ' Λογισμικό Προσομοίωσης Παρεμβολών	209
Δ' Βασικές Αρχές Κλασματικής Υποβάθμισης Λειτουργίας	215
Βιβλιογραφία.....	217

Κατάλογος Σχημάτων

2.1	Μη επανδρωμένα στρατοσφαιρικά αερόπλοια	15
2.2	Μη επανδρωμένα στρατοσφαιρικά αεροσκάφη	16
2.3	επανδρωμένα στρατοσφαιρικά αεροσκάφη	16
2.4	Ακτίνα κάλυψης της πλατφόρμας	18
2.5	Επιφάνεια Κάλυψης της πλατφόρμας από 5 έως 45 μοίρες	19
2.6	Επιφάνεια Κάλυψης της πλατφόρμας από 50 έως 90 μοίρες	20
2.7	Παρεμβολές σε Στρατοσφαιρικό Σύστημα	28
2.8	Χαρακτηριστικά απόσβεσης λόγω βροχής - Γεωγραφικό πλάτος: 35°N, Γωνία ανύψωσης: 20°, Ρυθμός βροχόπτωσης: 50mm/h	35
2.9	Παραδείγματα ίχνους πολλαπλών δεσμών (a) Ελλειπτικής δέσμης ενιαίο μοντέλο ίχνους (367 δέσμες) (b) Κυκλικής δέσμης πολυζωνικό μοντέλο ίχνους (397 δέσμες)	36
2.10	Απεικόνιση ενός Στρατοσφαιρικού Δικτύου παροχής σταθερών υπηρεσιών στην V ζώνη	38
2.11	Διάγραμμα ακτινοβολίας επίγειου σταθμού ΣΔ σύμφωνα με την σύσταση ITU-R F.699	42
2.12	Ενοποιημένο Στρατοσφαιρικό Δίκτυο Μεσογειακών Χωρών	48
3.1	Διαδρομές Διάδοσης Παρεμβολής μεταξύ του Επίγειου Δικτύου και του Στρατοσφαιρικού Δικτύου	56
3.2	Μοντέλο Προτεινόμενης Μεθόδου	58
3.3	Μοντέλο Προτεινόμενης Μεθόδου	76
3.4	Προφίλ ανέμων στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας (πηγή: COSPAR International Reference Atmosphere)	78
3.5	Γεωμετρία παρεμβολής με επίγειο δέκτη	81
3.6	Συγκεντρωτικές κατανομές πυκνότητας παρεμβολής- Περίπτωση A, Συνθήκη I ..	85
3.7	Συγκεντρωτικές κατανομές πυκνότητας παρεμβολής- Περίπτωση B, Συνθήκη I ..	85
3.8	Συγκεντρωτικές κατανομές πυκνότητας παρεμβολής- Περίπτωση C, Συνθήκη I ..	86
3.9	Συγκεντρωτικές κατανομές πυκνότητας παρεμβολής- Περίπτωση A, Συνθήκη II ..	86
3.10	Συγκεντρωτικές κατανομές πυκνότητας παρεμβολής- Περίπτωση B, Συνθήκη II ..	87
3.11	Συγκεντρωτικές κατανομές πυκνότητας παρεμβολής- Περίπτωση C, Συνθήκη II ..	87
3.12	Γεωμετρία παρεμβολής μεταξύ στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και επίγειας ζεύξης .	90
3.13	Κατανομή γωνιών ανύψωσης κεραιών επίγειων σταθμών σε αστικό και προαστιακό περιβάλλον (Αττική), μέση τιμή=2.5, τυπική απόκλιση=2.6	92
3.14	Θέσεις των πιο χαρακτηριστικών επίγειων σταθμών	93
3.15	Στατιστικά κλασματικής υποβάθμισης της λειτουργίας των επίγειων ζεύξεων από 10% ανεπτυγμένο ΣΔ βόρεια και δυτικά της περιοχής λειτουργίας των επίγειων σταθμών - μηδενική απόσταση διαχωρισμού	96

3.16	Στατιστικά κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας των επίγειων ζεύξεων από 10% και 25% ανεπτυγμένο ΣΔ 130 Km μακριά από την περιοχή εγκατάστασης του ΕΔ.....	98
3.17	Στατιστικά κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας των επίγειων ζεύξεων από 50% και 75% ανεπτυγμένο στρατοσφαιρικό δίκτυο 130 Km μακριά από την περιοχή εγκατάστασης του ΕΔ	98
3.18	Στατιστικά κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας των επίγειων ζεύξεων, σύγκριση της επίδρασης των ζεύξεων με τους τερματικούς χρήστες και με τους πυλαίους (gateway) σταθμούς	99
3.19	Στατιστικά κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας των επίγειων ζεύξεων, από 75% και 100% ανεπτυγμένο στρατοσφαιρικό δίκτυο 180 Km και 230 Km αντίστοιχα μακριά από την περιοχή εγκατάστασης του ΕΔ	99
3.20	Σύγκριση απόστασεων διαχωρισμού μεταξύ ΕΔ και ΣΔ.....	100
3.21	Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι σταθμοί του ΕΔ από μια ζεύξη της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας της αστικής ζώνης	102
3.22	Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι σταθμοί του ΕΔ από 36 ζεύξεις της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας της αστικής ζώνης	103
3.23	Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι σταθμοί του ΕΔ από 144 ζεύξεις τεσσάρων στρατοσφαιρικών πλατφόρμων της αστικής ζώνης	105
3.24	Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι σταθμοί του ΕΔ από 36 ζεύξεις της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας της αγροτικής ζώνης	107
3.25	Γεωμετρία παρεμβολής μεταξύ των επίγειων σταθμών του ΣΔ και των σταθμών του ΕΔ.....	110
3.26	Απόστασεις συντονισμού μεταξύ του σταθμού του ΕΔ και του ναδίρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στην περίπτωση αθροιστικής παρεμβολής από 100 ομοδιαυλικούς χρήστες στην αστική περιοχή συναρτήσει της γωνίας δ	114
3.27	Απόσταση συντονισμού μεταξύ του σταθμού του ΕΔ και του ναδίρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στην περίπτωση αθροιστικής παρεμβολής από 100 ομοδιαυλικούς χρήστες στην αστική περιοχή συναρτήσει της γωνίας ζ	115
3.28	Συμπεριφορά στάθμης ομοδιαυλικής παρεμβολής για τυχαίες θέσεις του σταθμού του ΕΔ μέσα στην προαστιακή περιοχή κάλυψης του ΣΔ - Περίπτωση I	117
3.29	Συμπεριφορά στάθμης ομοδιαυλικής παρεμβολής για τυχαίες θέσεις του σταθμού του ΕΔ μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ - Περίπτωση I...	117
3.30	Συμπεριφορά στάθμης ομοδιαυλικής παρεμβολής για τυχαίες θέσεις του σταθμού του ΕΔ μέσα στην προαστιακή περιοχή κάλυψης του ΣΔ - Περίπτωση II	118
3.31	Συμπεριφορά στάθμης ομοδιαυλικής παρεμβολής για τυχαίες θέσεις του σταθμού του ΕΔ μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ - Περίπτωση II ..	119
3.32	Συμπεριφορά στάθμης ομοδιαυλικής παρεμβολής για τυχαίες θέσεις του σταθμού του ΕΔ μέσα στην προαστιακή περιοχή κάλυψης του ΣΔ - Περίπτωση III	119
3.33	Συμπεριφορά στάθμης ομοδιαυλικής παρεμβολής για τυχαίες θέσεις του σταθμού του ΕΔ μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ - Περίπτωση III .	120
3.34	Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες της αστικής ζώνης από σταθμούς του ΕΔ	123

3.35	Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες της προαστιακής (SAC) και της αγροτικής (RAC) ζώνης από σταθμούς του ΕΔ	124
3.36	Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι επίγειοι σταθμοί του ΣΔ της αστικής ζώνης από σταθμούς του ΕΔ	125
3.37	Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι επίγειοι σταθμοί του ΣΔ της προαστιακής και αγροτικής ζώνης από σταθμούς του ΕΔ σε περιοχή με επίπεδη μορφολογία εδάφους	126
3.38	Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι επίγειοι σταθμοί του ΣΔ της της προαστιακής και αγροτικής ζώνης από σταθμούς του ΕΔ σε περιοχή με ορεινή μορφολογία εδάφους	126
4.1	Διαδρομές Διάδοσης Παρεμβολής μεταξύ του Δορυφορικού Δικτύου και του Στρατοσφαιρικού Δικτύου	138
4.2	Απαιτούμενο περιθώριο εξασθένησης λόγω βροχής, στην ζώνη των 40 GHz με γωνία ανύψωσης 25 °, για διαθεσιμότητα 99.7%	144
4.3	Επιτεύξιμοι Στόχοι Διαθεσιμότητας, στην ζώνη των 40 GHz με γωνία ανύψωσης 25 °, περιθώριο ισχύος λόγω εξασθένησης από βροχή 18 dB	144
4.4	Υποθετική διαδρομή αναφοράς για Δορυφορικό Δίκτυο ψηφιακής μετάδοσης	152
4.5	Γεωμετρία παρεμβολής - Περίπτωση Α	161
4.6	Γεωμετρία παρεμβολής - Περίπτωση Β	162
4.7	Γεωμετρία εύρεσης φ_{HS_i}	163
4.8	Συμπεριφορά του λόγου I/N συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους ανάπτυξης του ΣΔ όταν η παρεμβολή προκαλείται από εκπομπές ισχύος στην αστική περιοχή κάλυψης	166
4.9	Συμπεριφορά του λόγου I/N συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους ανάπτυξης του ΣΔ όταν η παρεμβολή προκαλείται από εκπομπές ισχύος στην προαστιακή περιοχή κάλυψης	166
4.10	Συμπεριφορά του λόγου I/N συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους ανάπτυξης του ΣΔ όταν η παρεμβολή προκαλείται από εκπομπές ισχύος στην αγροτική περιοχή κάλυψης	167
4.11	Επίπεδα λόγου ανθροιστικής παρεμβολής-προς-θόρυβο συναρτήσει της ακτίνας ραδιοκάλυψης και των ορίων ισχύος των επίγειων σταθμών του ΣΔ	169
4.12	Μοντέλο εκτίμησης παρεμβολής από στρατοσφαιρική πλατφόρμα προς γεωστατικό δορυφορικό δέκτη	172
4.13	Γεωμετρικό μοντέλο σημείου αναφοράς για γεωστατικό δορυφόρο	172
4.14	Σηματοπαρεμβολικός λόγος - Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα προς Δορυφορικό Δέκτη	175
4.15	Μοντέλο ανάπτυξης στρατοσφαιρικών πλατφορμών	176
4.16	Αποτελέσματα λόγου I/N για τον συνδυασμό 121 ΣΠ HAPS-1, με απόσταση διαχωρισμού μεταξύ των ΣΠ 100 Km	177
4.17	Αποτελέσματα λόγου I/N για τον συνδυασμό 81 ΣΠ HAPS-1, με απόσταση διαχωρισμού μεταξύ των ΣΠ 75 Km	178
4.18	Στατιστικά Πυκνότητας Παρεμβολής	180
4.19	Στατιστικά Πυκνότητας Προσθετικής Παρεμβολής	180
4.20	Πυκνότητα παρεμβολής από δορυφορικό σταθμό εδάφους προς επίγειο δέκτη ΣΔ ..	183
4.21	Σηματοπαρεμβολικός λόγος επίγειου σταθμού ΣΔ όταν παρεμβάλλεται από σταθμό εδάφους ΔΔ	183

4.22	Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής από σταθμό εδάφους του ΔΔ προς επίγειο δέκτη ΣΔ σε επίπεδο έδαφος	186
4.23	Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής από σταθμό εδάφους του ΔΔ προς επίγειο δέκτη ΣΔ σε ορεινό έδαφος	186
4.24	Τιμές που λαμβάνει η γωνία ανύψωσης του σταθμού εδάφους του ΔΔ στην προσομοίωση	187
A'.1	Περιοχές Εκχώρησης Συχνότητων Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών	198
B'.1	Απόσταση Συντονισμού συναρτήσει αζιμουθίου και γωνίας κάλυψης (HAPS με χρήση IMT-2000 CDMA - Σταθερή Υπηρεσία)	204
Γ'.1	Σχηματική αναπαράσταση της απόστασης διαχωρισμού μεταξύ των περιοχών λειτουργίας του ΣΔ και του ΕΔ	213
Γ'.2	Σχηματική αναπαράσταση των τριών περιοχών κάλυψης (αστική, προαστιακή, αγροτική) μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας η οποία λειτουργεί πάνω από το κέντρο της Αθήνας.....	213
Γ'.3	Γεωμετρία αθροιστικής παρεμβολής που προκαλείται από τις εκπομπές ισχύος της άνω ζεύξης (Γη-προς-στρατόσφαιρα) στη λήψη γεωστατικού δορυφόρου όταν το ΣΔ είναι ανεπτυγμένο σε γεωγραφικό μήκος 75°, (RAC ζώνη).	214
Γ'.4	Σχηματική αναπαράσταση των τριών περιοχών κάλυψης (αστική, προαστιακή, αγροτική) μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας η οποία λειτουργεί πάνω από το κέντρο της Αθήνας, και της δέσμης γεωστατικού δορυφόρου από την τροχιακή θέση των 39°E (Hellas-Sat).	214

Κατάλογος Πινάκων

1.1	Ζώνες Συχνότητων	10
2.1	Σύγκριση των 3 διαφορετικών τύπων στρατοσφαιρικής πλατφόρμας	16
2.2	Ορατή Απόσταση από Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα	21
2.3	Ανάθεση Συχνότητων για τα Δίκτυα με τη χρήση Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών	23
2.4	Κριτήρια Παρεμβολών για το ΣΔ	32
2.5	Διάμετρος Κάλυψης από Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα	39
2.6	Παράμετροι εκπομπής στρατοσφαιρικής πλατφόρμας	40
2.7	Παράμετροι εκπομπής επίγειων σταθμών Στρατοσφαιρικού Δικτύου	40
2.8	Σύγκριση Επίγειων, Δορυφορικών και Στρατοσφαιρικών Συστημάτων	46
3.1	Προτεινόμενα επίγεια συστήματα από την ITU-R στην V-ζώνη	63
3.2	Κριτήρια Παρεμβολών για το ΕΔ	74
3.3	Σύγκριση στάθμης παρεμβολής συναρτήσει του μοντέλου κίνησης	84
3.4	Κατανομή γωνιών ανύψωσης ΕΔ (UAC/SAC)	93
3.5	Συσχέτιση ποσοστού ανάπτυξης του ΣΔ με τον αριθμό των επίγειων σταθμών του	94
3.6	Στατιστικά FDP	100
3.7	Αποστάσεις Διαχωρισμού επίγειας ζεύξης από το όριο της αστικής περιοχής κάλυψης στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στα 21 Km, στα 48/47 GHz	105
3.8	Αποστάσεις Διαχωρισμού επίγειας ζεύξης από το όριο της αγροτικής περιοχής κάλυψης στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στα 21 Km, στα 48/47 GHz	107
3.9	Παράμετροι του ΕΔ και του ΣΔ	113
3.10	Ποσοστά υπέρβασης του κριτηρίου παρεμβολής όταν οι σταθμοί του ΕΔ αναπτύσσονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στην περιοχή κάλυψης του ΣΔ	120
4.1	Όρια Πυκνότητας Ροής Ισχύος ($dB(W/m^2)$) στην V ζώνη	143
4.2	Δορυφορικό Σύστημα GEOSAT-X	146
4.3	Δορυφορικό Σύστημα GEOSAT-X <i>συνέχεια</i>	147
4.4	Δορυφορικό Σύστημα GSOV-B1	148
4.5	Χαρακτηριστικά εκπομπής GSOV-B1	149
4.6	Δορυφορικό Σύστημα GEO-SV	150
4.7	Δορυφορικό Σύστημα GEO-SV <i>συνέχεια</i>	151
4.8	Στόχοι Λειτουργικών Λαθών για Δορυφορικά Δίκτυα	155
4.9	Συνολικό Κέρδος	164
4.10	Αποτελέσματα I/N - Περίπτωση Α	164
4.11	Αποτελέσματα I/N - Περίπτωση Β	165
4.12	Παράμετροι ΣΔ στην Ka ζώνη	176

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η αυξανόμενη ζήτηση για σταθερές ευρυζωνικές υπηρεσίες έχει οδηγήσει στην επιτυχή και ραγδαία ανάπτυξη τόσο των επίγειων όσο και των δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών. Τα τελευταία χρόνια παράλληλα με αυτά τα δύο καθιερωμένα πλέον συστήματα, έχει προταθεί μια νέα τεχνολογία η οποία βασίζεται σε εναέριες πλατφόρμες για την παροχή σταθερών ευρυζωνικών υπηρεσιών στις χιλιοστομετρικές ζώνες συχνοτήτων [1] - [5].

Οι εναέριες πλατφόρμες γνωστές και ως πλατφόρμες μεγάλου υψόμετρου¹ ή αλλιώς στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, μπορούν να λειτουργήσουν σε σχεδόν στατική θέση σε υψόμετρο ανάμεσα στα 15 και τα 30 Km [6] από την επιφάνεια της Γης (στρατόσφαιρα). Τα συστήματα που βασίζονται στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες διατηρούν τα πλεονεκτήματα των επίγειων και δορυφορικών συστημάτων. Η μοναδική θέση από την οποία λειτουργούν προσφέρει σημαντικό πλεονέκτημα προϋπολογισμού ζεύξης, και αμελητέες καθυστερήσεις διάδοσης του ραδιοσήματος σε σύγκριση με τα δορυφορικά συστήματα, καθώς και αρκετά μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης σε σύγκριση με τα επίγεια συστήματα. Επιπλέον παρέχουν μεγαλύτερου μήκους ζεύξεις σημείου προς σημείο και σημείου προς πολλαπλά σημεία με μικρότερη εξασθένιση βροχής σε σύγκριση με τις επίγειες ζεύξεις.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας [4], [5], [7], τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών έχουν την δυνατότητα ταχείας εγκατάστασης, προσαρμοστικότητας υπηρεσιών, υποστήριξης γρήγορων ρυθμών μεταδόσεων, και αυξημένης χωρητικότητας

¹ Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU χρησιμοποιεί τον όρο High Altitude Platform Station (HAPS) για να περιγράψει τον σταθμό που βρίσκεται σε υψόμετρο 20 έως 50 Km σε καθορισμένο σταθερό σημείο σχετικά με την Γη

σε χαμηλό κόστος και με χαμηλές απαιτήσεις ισχύος. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών για να βοηθήσει στην ανάπτυξη των δικτύων αυτών, έχει προβεί σταδιακά από το Παγκόσμιο Συνέδριο Τηλεπικοινωνιών του 1997 στην εκχώρηση φάσματος ραδιοσυχνοτήτων στα 48/47 GHz (V ζώνη) παγκοσμίως, και στα 31/28 GHz (Ka ζώνη) σε συγκεκριμένες χώρες, ενώ υπάρχει ενδιαφέρον και για την χρήση ακόμα χαμηλότερων ζωνών, όπως στα 3-18 GHz.

Ωστόσο ένα από τα προβλήματα που αναδύονται από την χρήση των προαναφερθέντων συχνοτήτων από τα Στρατοσφαιρικά Δίκτυα (ΣΔ) είναι η εξασφάλιση της αρμονικής τους συνύπαρξης με εκείνα τα ασύρματα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα που λειτουργούν ήδη στις ζώνες αυτές και μάλιστα με πρωτεύουσα προτεραιότητα. Για τις προτεινόμενες ζώνες προς κοινή χρήση από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών, τέτοια δίκτυα είναι το Επίγειο Δίκτυο (ΕΔ) και το Δορυφορικό Δίκτυο (ΔΔ).

Απαραίτητη λοιπόν προϋπόθεση για την χρήση των ζωνών αυτών από τα ΣΔ είναι η εύρεση των κατάλληλων μεθόδων συντονισμού τους με τα προαναφερόμενα δίκτυα, η ανάπτυξη των κατάλληλων κριτηρίων συνύπαρξης και η μελέτη πιθανών περιοριστικών μέτρων στη λειτουργία τους, έτσι ώστε αυτά να μην προκαλούν ανεπιθύμητες παρεμβολές. Αυτό είναι και το αντικείμενο της συγκεκριμένης Διδακτορικής Διατριβής.

Στην Διδακτορική Διατριβή όλες οι διαδρομές παρεμβολών που προκαλούνται από ένα ΣΔ προς ένα ΕΔ και ένα ΔΔ μελετώνται και αναλύονται εκτενώς. Για κάθε μία από αυτές τις διαδρομές αυτές προτείνονται οι κατάλληλοι τρόποι επίλυσης του προβλήματος και εκείνα τα περιοριστικά μέτρα που πρέπει να υιοθετηθούν.

Συγκεκριμένα για τις παρεμβολές που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης (στρατόσφαιρα-προς-Γη) των ΣΔ προς τους δέκτες του ΕΔ μια νέα μέθοδος συντονισμού παρουσιάζεται και αναλύεται. Η μέθοδος αυτή αφορά στην εύρεση αποστάσεων διαχωρισμού μεταξύ της περιοχής κάλυψης του ΣΔ και της περιοχής λειτουργίας του ΕΔ, και βασίζεται στις ακόλουθες παραμέτρους:

- Ενσωμάτωση της κίνησης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Μελετώνται τα τρία βασικά μοντέλα κίνησης που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία και επιλέγεται το βέλτιστο ως προς την προκαλούμενη στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής προς τον δέκτη του ΕΔ.
- Μελέτη της επίδρασης της παρεμβολής σε όρους κλασματικής υποβάθμισης της λειτουργίας του παρεμβαλλόμενου δικτύου, με δεδομένη τη χρονομεταβλητή φύση της συγκεκριμένης

Κεφάλαιο 1.

διαδρομής διάδοσης παρεμβολής.

- Ανάλυση με προσέγγιση σταδιακά αναπτυσσόμενου ΣΔ, συσχετίζοντας το ποσοστό ανάπτυξης του ΣΔ με τον αριθμό των επίγειων τερματικών του ΣΔ στην αστική, προαστιακή και αγροτική περιοχή κάλυψης, καθώς και με τον αριθμό των πυλαίων σταθμών στην αστική και προαστιακή περιοχή κάλυψης.
- Χρήση κατανομής γωνιών ανύψωσης των ζεύξεων του ΕΔ, η οποία εξάγεται από πραγματικό δείγμα 1224 ζεύξεων στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής.

Με την υιοθέτηση της προτεινόμενης μεθόδου συντονισμού, εξασφαλίζονται ευνοϊκότερες συνθήκες συνύπαρξης μεταξύ των δύο δικτύων, σε σχέση με αυτές που προκύπτουν από την υπάρχουσα μέθοδο της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών.

Για τις παρεμβολές που προκαλούνται από τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ προς σταθμό του ΕΔ, προτείνεται ένα θεωρητικό μοντέλο εκτίμησης της ανθροιστικής παρεμβολής με βάση το οποίο μελετώνται νέες αποστάσεις συντονισμού μεταξύ επίγειου δέκτη και του σημείου ναδίρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας για στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που παρέχουν κάλυψη στην αστική ζώνη. Για στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που παρέχουν κάλυψη στην προαστιακή και αγροτική ζώνη, μελετάται η πιθανότητα συνύπαρξης των σταθμών του ΕΔ και των σταθμών του ΣΔ, στην περίπτωση που οι πρώτοι αναπτύσσονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στην προαστιακή περιοχή, και μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ.

Για τις παρεμβολές που προκαλούνται μεταξύ του Στρατοσφαιρικού Δικτύου και του Δορυφορικού Δικτύου, προτείνεται μια νέα μέθοδος για την έως τώρα μη προσδιορισμένη περίπτωση συντονισμού μεταξύ των εκπομπών της άνω ζεύξης (Γη-προς-στρατόσφαιρα) του Στρατοσφαιρικού Δικτύου και της άνω ζεύξης (Γη-προς-διάστημα) του Δορυφορικού Δικτύου. Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται στην εκτίμηση του λόγου ομοδιαυλικής παρεμβολής-προς-θερμικό θόρυβο που προκαλείται από τις εκπομπές ισχύος της άνω ζεύξης του Στρατοσφαιρικού Δικτύου προς τους γεωστατικούς δορυφορικούς δέκτες, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δύο δίκτυα λειτουργούν στην ίδια περιοχή κάλυψης. Για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της θεωρητικής ανάλυσης, αλλά και για να εκτιμηθεί η πιθανότητα ομαλούς συνύπαρξης μεταξύ των δύο συστημάτων σε ρεαλιστικό περιβάλλον, πραγματοποιήθηκαν αρκετές προσομοιώσεις σε ποικίλα περιβάλλοντα παρεμβολών (Αστικές, Ημιαστικές & Αγροτικές περιοχές), με χρήση κατάλληλου λογισμικού, εξειδικευμένου στην ανάλυση παρεμβολών μεταξύ ασύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Παράλληλα προτείνονται νέα όρια ισχύος για τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ. Στη συνέχεια μελετάται η

στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής που προκαλείται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης (στρατόσφαιρα-προς-Γη) του ΣΔ προς τους γεωστατικούς δορυφορικούς δέκτες.

Η Διδακτορική Διατριβή είναι δομημένη σε 5 Κεφάλαια. Το παρόν Κεφάλαιο είναι εισαγωγικό, και στη συνέχειά του παρουσιάζονται οι επιστημονικές δημοσιεύσεις που προέκυψαν, και καταγράφονται οι βασικές έννοιες και οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται.

Στο Κεφάλαιο 2 μελετώνται και παρουσιάζονται αναλυτικά τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών: οι τύποι στρατοσφαιρικών πλατφορμών που χρησιμοποιούν, οι συνθήκες της στρατόσφαιρας, οι συχνότητες λειτουργίας τους, η αρχιτεκτονική τους, τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, το περιβάλλον διάδοσης, οι παράμετροι ραδιοκάλυψης, οι εφαρμογές και οι δυνατότητες τους. Αναλύονται επίσης οι παρεμβολές που επιβαρύνουν ένα στρατοσφαιρικό σύστημα. Έμφαση δίνεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά των τυπικών στρατοσφαιρικών συστημάτων στην χιλιοστομετρική ζώνη (ITU-R).

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύονται όλες οι διαδρομές διάδοσης παρεμβολής μεταξύ του Στρατοσφαιρικού Δικτύου και του Επίγειου Δικτύου, όπου γίνεται μελέτη για κάθε ένα από τα σενάρια και τις ειδικές του παραμέτρους. Περιγράφονται οι νέες μέθοδοι συντονισμού που προτείνονται αλλά και αυτές που εφαρμόζονται διεθνώς για την επίτευξη αρμονικής συνύπαρξης μεταξύ των δύο συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες λειτουργίας του κάθε συστήματος. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις παρεμβολές που προκαλεί το ΣΔ, και στην προστασία των σταθμών του ΕΔ.

Το Κεφάλαιο 3 αποτελείται από τέσσερις θεματικές ενότητες. Το πρώτο μέρος πραγματεύεται τα είδη των ΕΔ που υπάρχουν σήμερα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ΕΔ που λειτουργούν στην χιλιοστομετρική ζώνη συχνοτήτων σύμφωνα με την ITU-R. Επίσης αναλύονται οι στόχοι διαθεσιμότητας και λειτουργικών λαθών για όλα τα είδη ΕΔ και η μέγιστη επιτρεπτή υποβάθμιση στους προαναφερόμενους στόχους την οποία μπορεί να δεχτεί ένα ΕΔ λόγω παρεμβολών από άλλα συστήματα που λειτουργούν στις ίδιες συχνότητες. Το δεύτερο μέρος αφορά στις παρεμβολές που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης των ΣΔ προς τους δέκτες του ΕΔ. Εξηγείται γιατί τα υπάρχοντα κριτήρια δεν επαρκούν και περιγράφεται η νέα προτεινόμενη μέθοδος συντονισμού. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης που πραγματοποιήθηκε με βάση την προτεινόμενη μέθοδο, για τον χαρακτηρισμό της κλασματικής υποβάθμισης της λειτουργίας του ΕΔ λόγω παρεμβολών από ΣΔ σε ρεαλιστικό περιβάλλον ανάπτυξης των δύο συστημάτων και οι αποστάσεις διαχωρισμού που εξάγονται μεταξύ της περιοχής κάλυψης του ΣΔ και της περιοχής λειτουργίας του ΕΔ. Το τρίτο μέρος αφορά στις παρεμβολές που προκαλούνται

Κεφάλαιο 1.

από τις εκπομπές ισχύος της άνω ζεύξης των ΣΔ προς τους δέκτες του ΕΔ. Παρουσιάζονται τα υπάρχοντα κριτήρια συνύπαρξης, από τα οποία διαφαίνεται ότι η συνύπαρξη του ΕΔ και του ΣΔ σε κοινή περιοχή και συχνότητα παρουσιάζει σημαντική δυσκολία λόγω του μεγάλου ορατού πεδίου της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το θεωρητικό μοντέλο εκτίμησης της ανθροιστικής παρεμβολής με βάση το οποίο μελετώνται νέες αποστάσεις συντονισμού, και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης πιθανής συνύπαρξης των σταθμών του ΕΔ και των σταθμών του ΣΔ. Το τέταρτο μέρος αφορά στα υπάρχοντα κριτήρια συνύπαρξης και στα αποτελέσματα της αρχικής μελέτης για την προστασία του ΣΔ.

Στο Κεφάλαιο 4 αναλύονται όλες οι διαδρομές διάδοσης παρεμβολής μεταξύ του Στρατοσφαιρικού Δικτύου και του Δορυφορικού Δικτύου, όπου γίνεται μελέτη για κάθε ένα από τα σενάρια και τις ειδικές του παραμέτρους. Περιγράφονται οι μέθοδοι συντονισμού που προτείνονται αλλά και αυτές που εφαρμόζονται διεθνώς για την επίτευξη αρμονικής συνύπαρξης μεταξύ των δύο συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες λειτουργίας του κάθε συστήματος. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις παρεμβολές που προκαλεί το ΣΔ, και στην προστασία των σταθμών του ΔΔ. Το Κεφάλαιο 4 αποτελείται από τέσσερις θεματικές ενότητες. Το πρώτο μέρος πραγματεύεται τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των ΔΔ που λειτουργούν στην χιλιοστομετρική ζώνη συχνοτήτων σύμφωνα με την ITU-R. Επίσης αναλύονται οι στόχοι διαθεσιμότητας και λειτουργικών λαθών για τα ΔΔ και η μέγιστη επιτρεπτή υποβάθμιση στους προαναφερόμενους στόχους την οποία μπορεί να δεχτεί ένα ΔΔ λόγω παρεμβολών από άλλα συστήματα που λειτουργούν στις ίδιες συχνότητες. Το δεύτερο μέρος αφορά τις παρεμβολές που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της άνω ζεύξης του ΣΔ προς τους γεωστατικούς δορυφορικούς δέκτες. Παρουσιάζονται τα υπάρχοντα κριτήρια συνύπαρξης, και προτείνεται μια νέα μέθοδος με βάση την οποία μελετώνται οι συνθήκες συνύπαρξης μεταξύ ΣΔ και ΔΔ όταν λειτουργούν στην ίδια περιοχή κάλυψης, και εξάγονται νέα όρια ισχύος για τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ. Το τρίτο μέρος αφορά τις παρεμβολές που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης του ΣΔ προς τους γεωστατικούς δορυφορικούς δέκτες. Τέλος παρουσιάζονται τα υπάρχοντα κριτήρια συνύπαρξης και τα αποτελέσματα της αρχικής μελέτης για την προστασία του ΣΔ από παρεμβολές που προκαλεί το ΔΔ.

Η Διδακτορική Διατριβή ολοκληρώνεται στο Κεφάλαιο 5 όπου παρατίθενται τα συμπεράσματα καθώς και προτάσεις επέκτασης της. Συμπεραίνεται πως η χρήση των χιλιοστομετρικών ζωνών συχνοτήτων από τα Στρατοσφαιρικά Δίκτυα είναι εφικτή και μάλιστα με ευνοϊκότερους όρους σε σχέση με αυτούς που προκύπτουν από τις υπάρχουσες μεθόδους συντονισμού.

1.1 Επιστημονικές Δημοσιεύσεις

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν στο πλαίσιο της Διδακτορικής Διατριβής έχουν δημοσιευτεί στο διεθνές περιοδικό [A1] και στα πρακτικά των διεθνών συνεδρείων [B1-B10], θα δημοσιευτούν μέσα στο 2006 στα διεθνή περιοδικά [A2-A3], και είναι υπό κρίση στο διεθνές περιοδικό [A4]. Επιπλέον μέσω της συγκεκριμένης εργασίας έχει πραγματοποιηθεί συνεισφορά στα Ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα Satellite Network of Excellence [Γ1], και COST Action 297, High Altitude Platforms for Communications and Other Services [Γ2].

A. Διεθνή Περιοδικά

1. Vasilis F. Milas, Prof. Philip Constantinou, “Interference Environment between High Altitude Platform Networks (HAPN) Geostationary (GEO) Satellite and Wireless Terrestrial Systems”, *Wireless Personal Communications, An International Journal*, Kluwer Academic Publishers, Vol. 32, pp. 257-274, February 2005.
2. Vasilis F. Milas, Prof. Philip Constantinou, “A New Methodology for Estimating the Impact of Co-channel Interference from High-altitude Platforms to Terrestrial Systems”, *Journal of Communications and Networks*, accepted for publication. Publication date: June 2006.
3. Vasilis F. Milas, Prof. Philip Constantinou, “Co-channel Interference between High-altitude Platforms and Terrestrial Systems”, *AIJCT Journal of Information and Communications Technology*, accepted for publication.
4. Vasilis F. Milas, Prof. Philip Constantinou, “The Effect of High Altitude Platform Network Earth-to-stratosphere Aggregate Interference to GEO Satellite Receivers”, *IEEE Communications Letters*, under review.

B. Διεθνή Συνέδρια

1. Vasilis F. Milas, Demosthenes Vouyioukas, Prof. Philip Constantinou, “Spectrum Sharing between High Altitude Platform and Fixed Satellite Networks in the 50/40 GHz band”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, ICC 2006*, 11-15 June 2006, Istanbul, Turkey.

Κεφάλαιο 1.

2. Vasilis F. Milas, Prof. Philip Constantinou, “Simulations of Fractional Degradation in Performance of Terrestrial Networks due to Interference by High-Altitude Platforms”, Proceedings of the 11th International Workshop on Computer-Aided Modeling, Analysis and Design of Communication Links and Networks, 8-9 June 2006, Trento, Italy.
3. Vasilis F. Milas, Prof. Philip Constantinou, “A New Approach for Efficient Spectrum Sharing between High-altitude Platforms and Terrestrial Systems”, Proceedings of the 3rd Advanced Satellite Mobile Systems Conference, ASMS 2006, 29-31 May 2006, Germany.
4. Vasilis F. Milas, Prof. Philip Constantinou, “Co-channel Interference between High-altitude Platforms and Terrestrial Systems”, Proceedings of the 1st International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications., March 13-16 2006. Sydney, Australia.
5. Vasilis Milas, Maria Koletta, Demosthenes Vouyioukas, Demetres Dres, Prof. Philip Constantinou, “High Altitude Platforms Instability Effect on Co-channel Interference Levels when Sharing the V band with Terrestrial Services”, Proceedings of the 61st IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference May 30 - June 1, 2005, Sweden.
6. Anggorro Widiawan, Rahim Tafazolli, Barry Evans, Vasilis Milas, Philip Constantinou, “Coexistence of High Altitude Platform Station, Satellite, and Terrestrial Systems for Fixed and Mobile Services”, Proceedings of the First International Workshop on High Altitude Platform Systems, September 5, 2005, Athens, Greece.
7. Vasilis Milas, Maria Koletta, Prof. Philip Constantinou, “Interference Simulations between High Altitude Platform Stations (HAPS) and Fixed Wireless Access (FWA) Systems”, IST Mobile and Wireless Communications Summit 27-30 June 2004 - Lyon, France
8. Vasilis Milas, Ioannis Ganas, Maria Koletta, Prof. Philip Constantinou, “Compatibility Analysis of High Altitude Platform Stations and Fixed Wireless Access Systems”, Proceedings of the 22nd AIAA International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit 2004, Monterey, California, 9-12 May 2004.
9. Vasilis Milas, Maria Koletta, Philip Constantinou, “Interference and Compatibility Studies between Satellite Service Systems and Systems using High Altitude Platform Stations”, Proceedings of the First International Conference on Advanced Satellite Mobile Systems, ASMS 2003, 10-11 July 2003, ESRIN, Frascati, Italy.

10. Vasilis Milas, Maria Koletta, Prof. Philip Constantinou, “Interference Analysis between Fixed Satellite Service Systems and Fixed Service using High Altitude Platform Stations in the V-band”, Proceedings of the International Workshop on COST actions 272 and 280, Satellite Communications, 26-28 May 2003 ESTEC, Noordwijk, The Netherlands

Γ. Ευρωπαϊκά Ερευνητικά Προγράμματα

1. “Interference Studies for High Altitude Platform Station (HAPS) Systems providing Fixed and Mobile Communication Services”, Section 1.8 of IST-507052 SatNEx D3, System Studies JER Report
2. “Methodology for Estimating the Impact of Co-channel Interference from High Altitude Platforms to Terrestrial Systems”, Vasilis F. Milas, Prof. Philip Constantinou, Action Document for COST 297 HAPCOS, WG 1, April 2006.

1.2 Ορολογία και Μεταβλητές

1. Συντομεύσεις ²

ATPC	:	Αυτόματος Έλεγχος Ισχύος Εκπομπής
AWGN	:	Προσθετικός Λευκός Θόρυβος
BEP	:	Πιθανότητα Λειτουργικών Λαθών
EIRP	:	Ισοδύναμη Ισοτροπικά Ακτινοβολούμενη Ισχύς
FM	:	Περιθώριο Εξασθένησης
FS	:	Επίγειο Δίκτυο (ΕΔ)
FSS	:	Δορυφορικό Δίκτυο (ΔΔ)
FWA	:	Σταθερή Ασύρματη Πρόσβαση
GEO	:	Δορυφόρος Γεωσύγχρονης Τροχιάς
HAPS	:	Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα
HAPN	:	Στρατοσφαιρικό Δίκτυο (ΣΔ)
HAPGW	:	Επίγειος Πυλαίος Σταθμός ΣΔ
HAPUT	:	Επίγειος Τερματικός Σταθμός ΣΔ
HALE	:	Πλατφόρμα Μεγάλης Διάρκειας
HALO	:	Στρατοσφαιρικό Επανδρωμένο Αεροσκάφος
HCDR	:	Μεγάλης Χωρητικότητας Ρυθμός Δεδομένων
HRC	:	Υποθετικό Αναλογικό Κύκλωμα Αναφοράς
HRDP	:	Υποθετική Ψηφιακή Διαδρομή Αναφοράς
ITU-R	:	Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών-Τομέας Ραδιοεπικοινωνιών
ITU-T	:	Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών-Τομέας Τυποποίησης
IMT-2000	:	Κυψελωτό Δίκτυο 3ης Γενιάς
MTBF	:	Μέσος Χρόνος Μεταξύ Αποτυχιών
MTTR	:	Μέσος Χρόνος Αποκατάστασης της Αποτυχίας
NFM	:	Καθαρό Περιθώριο Εξασθένησης
NIB	:	Λειτουργία σε Καθεστώς Μη-Παρεμβολής
PDTN	:	Δημόσιο Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο Δεδομένων
PSTN	:	Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο Μεταγωγής
RAC	:	Αγροτική Περιοχή Κάλυψης
RF	:	Ραδιοσυχνότητα
SAC	:	Προαστιακή Περιοχή Κάλυψης
UAC	:	Αστική Περιοχή Κάλυψης

² Η χρήση ξενόγλωσσων όρων στη διατριβή έχει περιοριστεί στο ελάχιστο. Οι αγγλικές συντομεύσεις παρατίθενται για τον αναγνώστη που θα ανατρέξει στη βιβλιογραφία.

2. Μεταβλητές

$(C/N)_{\min req}$: Ελάχιστος Σηματοθορυβικός Λόγος στον Δέκτη
FDP	: Κλασματική Υποβάθμιση Λειτουργίας
I/N	: Λόγος Παρεμβολής-προς-Θερμικό Θόρυβο
C/I	: Σηματοπαρεμβολικός Λόγος
$C/(N + I)$: Λόγος Σήματος-προς-Παρεμβολή-και-Θόρυβο
C/N	: Σηματοθορυβικός Λόγος
$P_r(p_1)$: Μέγιστη τιμή της Παρεμβολής η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνεται για περισσότερο από $p_1\%$ του χρόνου
ESR	: Λόγος Λανθασμένων Δευτερολέπτων
$SESR$: Λόγος Εξαιρετικά Λανθασμένων Δευτερολέπτων

3. Κοινές Ζώνες Συχνότητων

Πίνακας 1.1: Ζώνες Συχνότητων

Ζώνη Συχνότητων	Χαμηλότερη Ζώνη	Υψηλότερη Ζώνη
	GHz	GHz
UHF	0.3	1
L	1	2
S	2	4
C	4	8
X	8	12
Ku	12	18
K	18	27
Ka	27	40
V	40	75
W	75	110
Mm	110	300

4. Ορισμοί και Βασικές Έννοιες

- **Παρεμβολή:** Η επίδραση μη επιθυμητής ενέργειας λόγω μίας ή και συνδυασμού εκπομπών, ακτινοβολιών στη λήψη ενός συστήματος ραδιοεπικοινωνιών η οποία εκδηλώνεται ως υποβάθμιση της λειτουργίας του συστήματος, ή ως απώλεια πληροφορίας που θα μπορούσε να εξαχθεί ελλείψει της μη επιθυμητής αυτής ενέργειας.
- **Επιτρεπτή Παρεμβολή:** Παρατηρούμενη ή προβλεπόμενη παρεμβολή η οποία συμμορφώνεται με τα ποσοτικά κριτήρια παρεμβολών και συνύπαρξης, καθορισμένα στους ραδιοκανονισμούς (Radio Regulations) ή στις συστάσεις (Recommendations) της ITU-R.
- **Αποδεκτή Παρεμβολή:** Παρεμβολή σε μεγαλύτερα επίπεδα (υψηλότερη στάθμη) από αυτή που έχει καθοριστεί ως επιτρεπτή, και η οποία έχει συμφωνηθεί μεταξύ δύο ή περισσότερων διαχειριστών συστημάτων.
- **Επιτρεπτή Υποβάθμιση Λειτουργίας:** Υποβάθμιση μετά από συμφωνία στη λειτουργία ενός συστήματος ραδιοεπικοινωνιών λόγω παρεμβολής η οποία βρίσκεται σε χαμηλή στάθμη έτσι ώστε η προκαλούμενη υποβάθμιση να είναι σε κάποια όρια, και που συνήθως μετράται σε ποσοστό χρόνου ή πιθανότητας διακοπής.
- **Κριτήρια (Προστασίας) Παρεμβολών:** Σχετική ή απόλυτη στάθμη σήματος παρεμβολής καθορισμένη στην είσοδο του δέκτη, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, τέτοια ώστε να μην γίνεται υπέρβαση της επιτρεπτής υποβάθμισης της λειτουργίας. Συνήθως ορίζεται ως απόλυτη τιμή στάθμης ισχύος παρεμβολής I , λόγου παρεμβολής-προς-θόρυβο I/N , ή λόγου επιθυμητού σήματος-προς-σήμα παρεμβολής C/I .
- **Κριτήρια Συνύπαρξης:** Αποδεκτά κριτήρια που εγγυούνται την συμμόρφωση με τα κριτήρια παρεμβολών, με τον καθορισμό τεχνικών και λειτουργικών περιορισμών που επιτρέπουν την συνύπαρξη δύο ή περισσότερων συστημάτων ραδιοεπικοινωνιών σε συγκεκριμένες ζώνες του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων.
- **Απόσταση Συντονισμού:** Η απόσταση σε συγκεκριμένη αζιμουθιακή γωνία από επίγειο σταθμό που μοιράζεται την ίδια ζώνη συχνοτήτων με άλλους επίγειους σταθμούς, πέρα από την οποία δεν θα γίνεται υπέρβαση της στάθμης επιτρεπτής παρεμβολής και ως εκ τούτου δεν θα απαιτείται συντονισμός.

Βιβλιογραφία

- [1] D. Grace, J.Thornton, G. Chen, G. White T. Tozer, “Improving the System Capacity of Broadband Services Using Multiple High-Altitude Platforms”, *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 4, no.2, pp. 700-709, March 2005.
- [2] D. Grace, N. E. Daly, T. C. Tozer, A. G. Burr and D. A. J. Pearce, “Providing multimedia communications services from high altitude platforms”, *International Journal of Satellite Communications, Wiley InterScience*, vol. 19, no. 6, pp. 559-580, November/December 2001.
- [3] G. M. Djuknic, J. Freidenfelds, and Y. Okunev, “Establishing Wireless Communications Services via High-Altitude Aeronautical Platforms: A Concept Whose Time Has Come?”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 9, pp. 128-135, Sept. 1997.
- [4] <http://www.capanina.org> (CAPANINA Project 2003-2006).
- [5] <http://www.helinet.polito.it> (HeliNet Project 2000-2003).
- [6] R. Miura, M.Suzuki, “Preliminary Flight Test Program on Telecom and Broadcasting Using High Altitude Platform Stations”, *Wireless Personal Communications, An International Journal*, Kluwer Academic Publishers, vol.24, no.2, pp. 341-361, Jan. 2003.
- [7] <http://www.hapcos.org> (COST Action 297 - High Altitude Platforms for Communications and Other Services 2004-2008).

Κεφάλαιο 2

Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα με τη χρήση Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών

2.1 Εισαγωγή

Στο πρώτο κεφάλαιο συζητήθηκε το πρόβλημα που προκύπτει από την συνύπαρξη των Στρατοσφαιρικών Δικτύων (ΣΔ) με τα ήδη υπάρχοντα στην χιλιοστομετρική ζώνη συχνοτήτων Επίγεια Δίκτυα και Δορυφορικά Δίκτυα, τα οποία έχουν πρωτεύουσα ανάθεση. Στο παρόν κεφάλαιο δίνεται βαρύτητα στην μελέτη και αναλυτική παρουσίαση των νέων χαρακτηριστικών των τηλεπικοινωνιακών δικτύων με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών.

Οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες προτάθηκαν το 1997 στο Παγκόσμιο Συνέδριο Τηλεπικοινωνιών (WRC-03) της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών [37] για την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών. Η τεχνολογία στην οποία βασίζονται, έχει την ονομασία, πλατφόρμα μεγάλου υψομέτρου - *HAPS* [12] ή αλλιώς στρατοσφαιρική πλατφόρμα. Η ονομασία *HAPS*, η οποία θα υιοθετηθεί και στην παρούσα διατριβή για τον στρατοσφαιρικό σταθμό, προέρχεται από τις λέξεις *High Altitude Platform Station*, ενώ συναντώνται αρκετά συχνά και οι όροι *HALE (High Altitude Long Endurance)*, *SPR (Stratospheric Platform Radio)*, και *HALO (High Altitude Long Operation)* για να περιγράψουν τις πλατφόρμες, οι οποίες μπορούν να στηθούν και να λειτουργήσουν σε αρκετά μεγάλα ύψη μεταξύ 20 και 50 Km [12] (σύμφωνα με την Διεθνή Ένω-

ση Τηλεπικοινωνιών, ITU), ή μεταξύ 15 και 30 Km [16] (σύμφωνα με τα έως τώρα ερευνητικά αποτελέσματα) πάνω από την επιφάνεια της Γης, μέσα από το στρώμα της στρατόσφαιρας για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Το διάστημα παραμονής τους στην στρατόσφαιρα εξαρτάται από τον τύπο της πλατφόρμας. Οι υπάρχουσες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες στην διεθνή βιβλιογραφία παρουσιάζονται στην §2.2

Στις επόμενες ενότητες καταγράφονται αναλυτικά οι ζώνες συχνοτήτων στις οποίες μπορούν να λειτουργήσουν καθώς και οι υπηρεσίες που μπορούν να προσφέρουν τα Στρατοσφαιρικά Δίκτυα. Εν συνεχεία αναλύονται οι συνθήκες που επικρατούν στην στρατόσφαιρα, μελετώνται η γεωμετρία και η επιφάνεια κάλυψης από στρατοσφαιρική πλατφόρμα, και καταγράφεται η υπάρχουσα έρευνα όσον αφορά τις προδιαγραφές των κεραιών και τις αρχιτεκτονικές των δεσμών κηλίδας για σταθμούς του Στρατοσφαιρικού Δικτύου. Τέλος ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του δευτέρου κεφαλαίου αφιερώνεται στην μελέτη και καταγραφή των τεχνικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών τυπικών ΣΔ στην V ζώνη συχνοτήτων όπου εστιάζεται η συγκεκριμένη Διδακτορική Διατριβή. Τέλος μελετώνται οι δυνατότητες των συστημάτων με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών.

2.1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η ιστορία των στρατοσφαιρικών πλατφορμών ξεκινάει από τον 18ο αιώνα και φτάνει έως σήμερα με τα ηλιακά τροφοδοτούμενα αερόπλοια.

Τον 18ο αιώνα, εμφανίζεται το πρώτο αερόπλοιο και το 1783 πραγματοποιείται η πρώτη πτήση.

Τον 19ο αιώνα πραγματοποιείται η πρώτη πτήση αερόπλοιοι με κινητήρα, Zeppelin LZ1 (1900). Γύρω στο 1930 κατασκευάζεται αερόπλοιο με ήλιο (μη-εύφλεκτο).

Το 1980 εμπορευματοποιούνται τα αερόπλοια σε ύψη έως τα 3 Km.

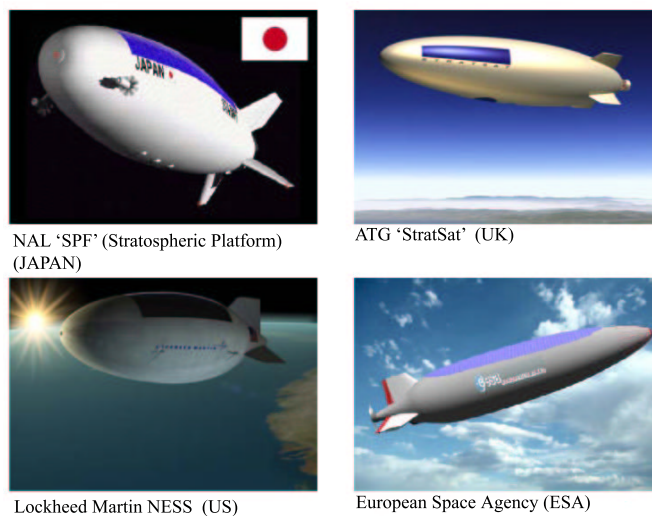
Το 1990 αναπτύσσονται οι πρώτες ηλιακά τροφοδοτούμενες πλατφόρμες.

Για τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές η ιστορία των στρατοσφαιρικών πλατφορμών ξεκινάει με τις αναμεταδόσεις μέσω του γιγαντιαίου μπαλονιού Echo (εργαστήρια Bell) το 1960 [4] και φτάνει μέχρι σήμερα με τις πειραματικές μεταδόσεις ψηφιακής τηλεόρασης και τηλεφωνίας μέσω του Helios - NASA [16].

2.2 Τύποι Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών

Τα τελευταία χρόνια οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που φέρονται ως υποψήφιες για την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών θα μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

1. μη επανδρωμένα αερόπλοια με ειδικά συστήματα προώθησης και ηλιακές κυψέλες. Τα αερόπλοια αυτά αναμένεται να έχουν μήκος 100-200 m με ωφέλιμο φορτίο γύρω στα 1000-2000 Kg (Σχήμα 2.1). Στόχος τους είναι να μπορούν να μένουν σε λειτουργία στην στρατόσφαιρα για χρονική περίοδο μέχρι και 5 χρόνια.



Σχήμα 2.1: Μη επανδρωμένα στρατοσφαιρικά αερόπλοια

2. ηλιακά τροφοδοτούμενα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, γνωστά ως High Altitude Long Endurance Platforms (HALE Platforms), με άνοιγμα φτερών έως και 70 m και ωφέλιμο φορτίο μεταξύ 50-300 Kg (Σχήμα 2.2). Στόχος τους είναι να μπορούν να μένουν σε λειτουργία στην στρατόσφαιρα για χρονική περίοδο μέχρι και 6 μήνες.
3. επανδρωμένα αεροσκάφη (Σχήμα 2.3), τα οποία έχουν μικρό χρόνο παραμονής (περίπου 8 ώρες) στην στρατόσφαιρα λόγω των περιορισμένων καυσίμων, με ωφέλιμο φορτίο γύρω στα 900 Kg, και την ανάγκη ενός στόλου 3 αεροσκαφών για 24ωρη κάλυψη.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των στρατοσφαιρικών πλατφορμών.



AeroVironment/NASA
'Helios' (US)
Wingspan: 75m
Payload: 50-100Kgr



AeroVironment/NASA
'Pathfinder Plus' (US)
Wingspan: 36.9m
Payload: 50Kgr



HELINET project/ HELIPLAT
(Artist impression)
Wingspan: 70m
Payload: 100K

Σχήμα 2.2: Μη επανδρωμένα στρατοσφαιρικά αεροσκάφη



Angel Technologies HALO (Proteus)



M-55 Stratospheric aircraft
(Geoscan Network)

Σχήμα 2.3: επανδρωμένα στρατοσφαιρικά αεροσκάφη

Πίνακας 2.1: Σύγκριση των 3 διαφορετικών τύπων στρατοσφαιρικής πλατφόρμας

Μέγεθος	Μη Επανδρωμένα Αερόπλοια	Ηλιακά Τροφοδοτούμενα Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη	Επανδρωμένα Αεροσκάφη
Διάσταση	Μήκος 150-200 m	Άνοιγμα 35-70 m	Μήκος έως 30 m
Πηγή Ισχύος	Ηλιακές Κυψέλες Κυψέλες Καυσίμων	Ηλιακές Κυψέλες Κυψέλες Καυσίμων	Φυσικό Καύσιμο
Φιλικά προς το περιβάλλον	ναι	ναι	όχι
Διάρκεια πτήσης	εώς 5 χρόνια	εώς 6 μήνες	4-8 ώρες
Ωφέλιμο Φορτίο	1000-2000 Kg	50-300 Kg	εώς 2000Kg
Ισχύς εκπομπής	εώς 10 kW	εώς 3 kW	εώς 40 kW
Παραδείγματα	Ιαπωνία, Κορέα, Κίνα ATG, Lockheed Martin SkyStation	Helios, Pathfinder Plus (AeroVironment) Heliplat	HALO (Angel Techn.) M-55 (Geoscan)

2.2.1 Στρατόσφαιρα

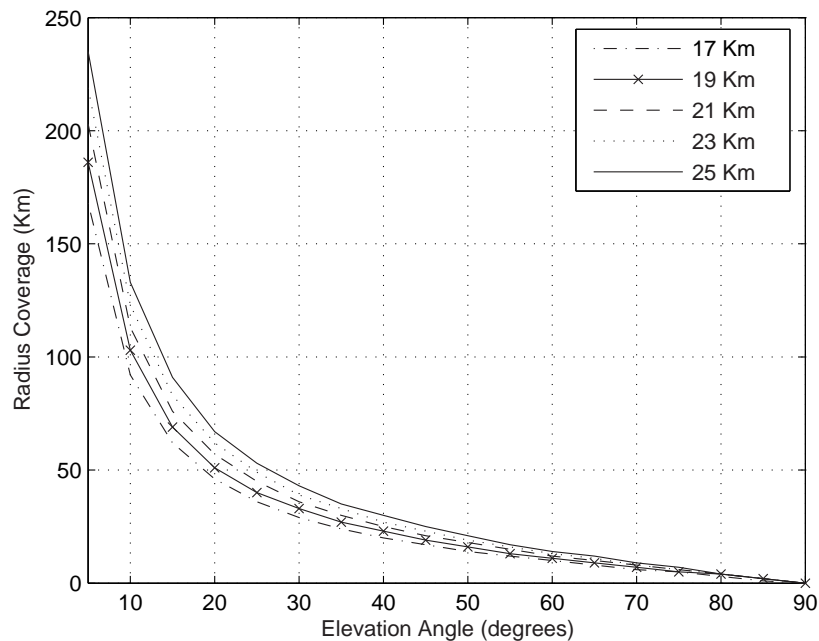
Το υψόμετρο λειτουργίας της νέας τεχνολογίας των στρατοσφαιρικών πλατφορμών ορίζεται από την ITU-R μεταξύ των 20-50 Km πάνω από την επιφάνεια της γης [12]. Σε αυτά τα ύψη συναντάμε την στρατόσφαιρα, ένα από τα στρώματα της ατμόσφαιρας της Γης που βρίσκεται πάνω από την τροπόσφαιρα. Η στρατόσφαιρα ξεκινάει από ύψη 6 Km στους πόλους της Γης, και από 17 Km πάνω από τον Ισημερινό και εκτείνεται ως και τα 50 Km πάνω από την επιφάνεια της Γης. Στην στρατόσφαιρα είναι συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο ποσοστό του όζοντος, που προφυλάσσει την Γη από τις υπεριώδεις ακτίνες του Ηλίου. Η θερμοκρασία στην στρατόσφαιρα κυμαίνεται από -2 °C, στα κατώτερα επίπεδα της, έως και -55 °C στο ανώτερο όριο της, που βρίσκεται η στρατόπαυση (50 Km) όπου η πίεση μπορεί να φτάσει και το 1 hPa. Μετά την στρατόσφαιρα ακολουθεί το στρώμα της μεσόσφαιρας, η οποία φτάνει μέχρι τα 90 Km με τιμές πίεσης έως και 0.001 hPa. Ακολουθεί η θερμόσφαιρα που φτάνει μέχρι τα 300 Km, και η εξώσφαιρα που αποτελεί την μεταβατική ζώνη μεταξύ της γήινης ατμόσφαιρας και του διαστήματος.

Η επιλογή του στρατοσφαιρικού στρώματος για την λειτουργία του νέου συστήματος και το αυξημένο ενδιαφέρον της πλειοψηφίας των ερευνητών στα ύψη από τα 15 Km έως και τα 30 Km [2], [16], [32] για την λειτουργία των HAPS έγινε με βάση το γεγονός ότι το προφίλ των ανέμων σε αυτά τα ύψη είναι αρκετά ήπιο, και ότι όσο πιο ψηλά σε σχέση με την επιφάνεια της γης, βρίσκεται ένας σταθμός, τόσο πιο καλές συνθήκες οπτικής επαφής επιτυγχάνονται μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Η εναέρια κυκλοφορία των αεροπλάνων γίνεται μέχρι τα 11-12 Km, οπότε δεν υπάρχει πρόβλημα με την εναέρια κυκλοφορία παρά μόνο κατά την διαδικασία τοποθέτησης των πλατφορμών στα προτεινόμενα ύψη λειτουργίας

Οι άνεμοι που επικρατούν στην στρατόσφαιρα είναι μεταβαλλόμενοι, εξαρτώνται από το γεωγραφικό πλάτος και αλλάζουν κατεύθυνση 2 φορές το χρόνο. Ενδεικτικά η ταχύτητα των στρατοσφαιρικών ανέμων στον ισημερινό είναι της τάξης των 18 Km/h ενώ στους πόλους η αντίστοιχη ταχύτητα είναι της τάξης των 200 Km/h [7]. Περισσότερα στοιχεία και μετρήσεις σχετικά με την συμπεριφορά των στρατοσφαιρικών ανέμων παρουσιάζονται στην αναφορά [18]. Ένας από τους παράγοντες που αποτρέπει τους ερευνητές στην χρησιμοποίηση των υψομέτρων μεταξύ 30 και 50 Km είναι η πυκνότητα του αέρα. Όσο μεγαλώνει το υψόμετρο τόσο μειώνεται η πυκνότητα του αέρα καθιστώντας την τοποθέτηση της πλατφόρμας αρκετά δύσκολη. Για παράδειγμα σε υψόμετρο 12 Km (μέγιστο υψόμετρο πτήσης αεροπλάνων) η πυκνότητα είναι το 25% σε σύγκριση με αυτή στο επίπεδο της θάλασσας, ενώ στα 24 Km είναι μόνο το 3.6%.

2.3 Παράμετροι Ραδιοκάλυψης από Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα

Στα Σχήματα 2.4, 2.5, 2.6 έχει γίνει υπολογισμός όσον αφορά την ακτίνα ραδιοκάλυψης και την επιφάνεια ραδιοκάλυψης ενδεικτικά από πλατφόρμα τοποθετημένη από τα 17 Km έως τα 25 Km ανά 2 Km για όλο το εύρος γωνιών (5 μοίρες-90 μοίρες) ενός επίγειου τερματικού χρήστη του συστήματος. Ενδεικτικά για γωνία ανύψωσης 15 μοιρών, που είναι και η πιο πιθανή ελάχιστη γωνία ανύψωσης με την οποία θα λειτουργήσει το σύστημα¹, παρατηρεί κανείς ότι μια στρατοσφαιρική πλατφόρμα στα 25 Km μπορεί να καλύψει ένα κύκλο ακτίνας 91 Km και μια επιφάνεια 25754 Km². Μια επιφάνεια αρκετά σημαντική αν σκεφτεί κανείς ότι η συνολική έκταση της Ελλάδας είναι 131900 Km².



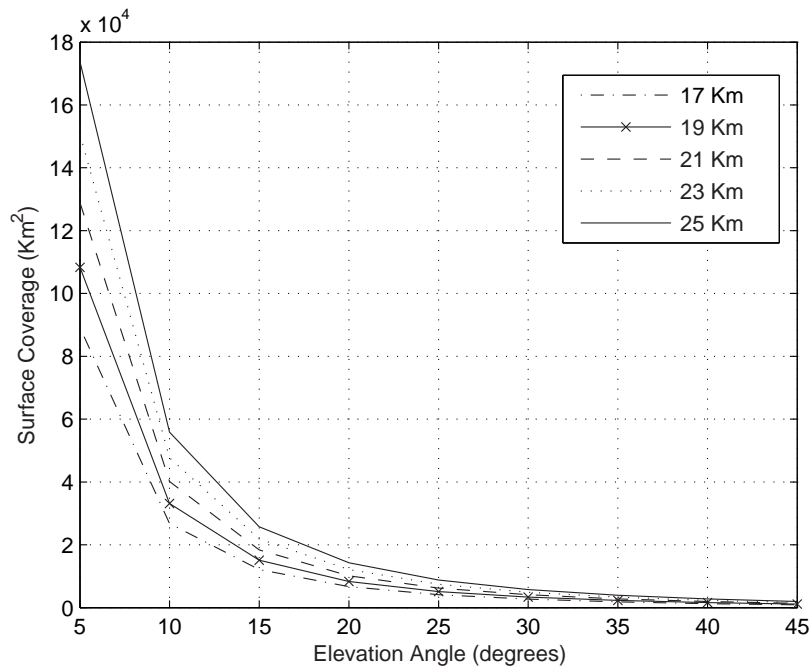
Σχήμα 2.4: Ακτίνα κάλυψης της πλατφόρμας

Η ελάχιστη γωνία ανύψωσης καθορίζει την περιοχή κάλυψης και παροχής υπηρεσιών στους επίγειους χρήστες από μια στρατοσφαιρική πλατφόρμα. Εάν υιοθετηθεί η ελάχιστη πιθανή γωνία ανύψωσης, τότε επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης. Ωστόσο αυξάνονται οι απώλειες ελευθέρου χώρου και οι απώλειες λόγω βροχής καθώς μεγαλώνει το μήκος της ραδιοζεύξης

¹ για γωνίες μικρότερες από αυτήν παρατηρούνται σημαντικές απώλειες λόγω εμποδίων, υψηλών ατμοσφαιρικών αποσβέσεων (μεγαλύτερη ραδιοζεύξη), και λόγω σημαντικής αύξησης του θορύβου της κεραίας

Κεφάλαιο 2.

και έτσι απαιτείται μεγαλύτερη ακτινοβολούμενη ισχύς για να καλύψει το αυξημένο περιθώριο εξασθένησης. Μια τυπική τιμή ελάχιστης γωνίας ανύψωσης για στρατοσφαιρικά συστήματα θα μπορούσε να είναι οι 10-20 μοίρες ανάλογα με τη συχνότητα λειτουργίας του συστήματος. Λειτουργία με μικρότερες γωνίες θα δημιουργούσε ακόμα δυσκολότερες συνθήκες συνύπαρξης με τις άλλες υπηρεσίες (δορυφορικές, σταθερές, ραδιοαστρονομίας). Επιπρόσθετα σκιάσεις από κτίρια και βουνά θα υποβίβαζαν την διαθεσιμότητα του συστήματος σε αστικές και αγροτικές περιοχές.

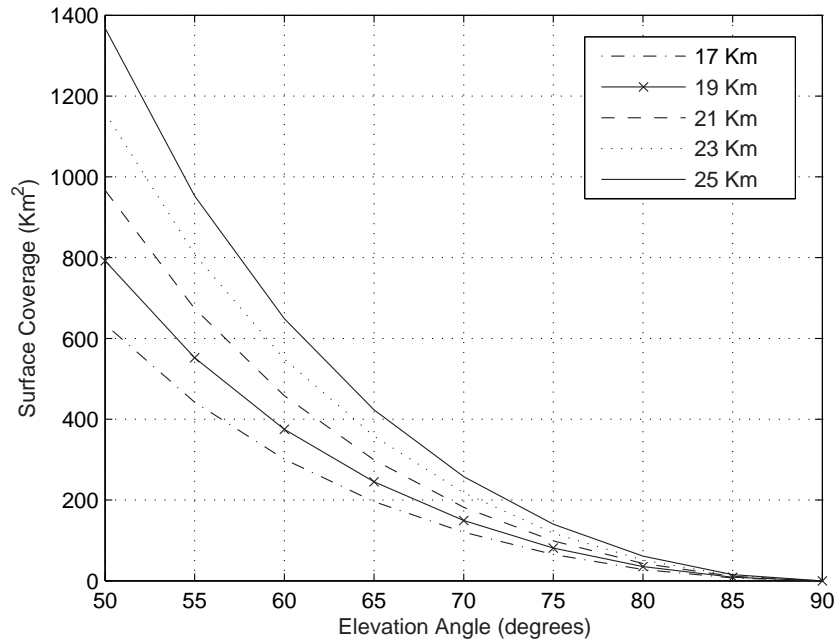


Σχήμα 2.5: Επιφάνεια Κάλυψης της πλατφόρμας από 5 έως 45 μοίρες

Γωνίες ανύψωσης μικρότερες των 10 μοιρών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν με τις εξής προϋποθέσεις [32]:

1. η ισοδύναμη ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς στην άνω και την κάτω ζεύξη να διατηρούνται σταθερές για γωνίες ανύψωσης μεγαλύτερες της ελάχιστης,
2. οι ελάχιστες γωνίες να καθορίζονται και από τις συνθήκες συνύπαρξης με τις άλλες υπηρεσίες,
3. να γίνεται χρήση της τεχνικής του αυτόματου ελέγχου ισχύος.

Μεγαλύτερες ελάχιστες γωνίες ανύψωσης (π.χ 40 μοίρες) θα μπορούσαν να υιοθετηθούν



Σχήμα 2.6: Επιφάνεια Κάλυψης της πλατφόρμας από 50 έως 90 μοίρες

για την ελαχιστοποίηση της παρεμβολής προς/από άλλες υπηρεσίες αλλά και για την αποφυγή εμποδίων στην ραδιοζεύξη. Όσο μεγαλύτερη η ελάχιστη γωνία ανύψωσης τόσο μεγαλύτερος ο αριθμός των στρατοσφαιρικών πλατφορμών που απαιτούνται για την κάλυψη της ίδιας περιοχής στο έδαφος.

Η ορατή απόσταση D (Km) από στρατοσφαιρική πλατφόρμα, στην επιφάνεια της Γης υπολογίζεται με βάση το ακόλουθο ολοκλήρωμα [13]:

$$D(h) = \int_0^h \frac{r}{r + x \tan \varphi} dx \quad (2.3.1)$$

όπου:

r : η ακτίνα της Γης (6370 Km)

h : το υψόμετρο της πλατφόρμας (Km)

φ : η γωνία ανύψωσης της διαδρομής διάδοσης

Κεφάλαιο 2.

Η γωνία φ υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$\cos \varphi = \frac{r \cdot n(0)}{(r + x) \cdot n(x)} \quad (2.3.2)$$

όπου $n(x)$ ο δείκτης ατμοσφαιρικής διάθλασης σε υψόμετρο x (Km).

Η ορατή απόσταση $D(h)$ επομένως εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τον δείκτη ατμοσφαιρικής διάθλασης. Επιλέγεται η ακόλουθη συνάρτηση για τον δείκτη $n(x)$ με βάση το μοντέλο της ITU-R SF.765:

$$n(x) = 1 + a \cdot \exp(-bx) \quad (2.3.3)$$

όπου:

$$a = 10^{-6} \cdot N_0$$

$$b = \ln(N_0 / (N_0 + \Delta N))$$

$$N_0 = 400$$

$$\Delta N = -68$$

Στον Πίνακα 2.2 έχει υπολογιστεί η ορατή απόσταση σε Km από στρατοσφαιρική πλατφόρμα ανάλογα με το υψόμετρο της.

Πίνακας 2.2: Ορατή Απόσταση από Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα

Υψόμετρο Πλατφόρμας (Km)	Ορατή Απόσταση (Km)
20	613.1
25	676.1
30	732.4
35	783.7
40	831.1
45	875.4
50	917.1

2.4 Ζώνες Συχνοτήτων για παροχή Υπηρεσιών από Στρατοσφαιρικά Δίκτυα

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών και οι ανά τον κόσμο εθνικές τηλεπικοινωνιακές αρχές μετά από εξέταση της τεχνολογίας των συστημάτων με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών, την κατέταξαν στις υψηλής πυκνότητας σταθερές υπηρεσίες (high density fixed service) και με το πέρας του Παγκόσμιου Συνεδρείου Τηλεπικοινωνιών του 2003 (WRC-03), οι συχνότητες που οριστικοποιήθηκαν για τα συστήματα HAPS είναι στις ζώνες συχνοτήτων των 2.1 GHz, των 31/28 GHz και των 48/47 GHz.

Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι ζώνες συχνοτήτων στις οποίες μπορούν να παρέχουν σταθερές και κινητές υπηρεσίες τα στρατοσφαιρικά συστήματα ανά περιοχή. Ο τρόπος ανάθεσης συχνοτήτων και οι περιοχές της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών επεξηγούνται αναλυτικά στο Παράρτημα Α'. Η Ελλάδα και οι υπόλοιπες χώρες της Ευρώπης ανήκουν στην περιοχή 1. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στο γεγονός ότι η ανάπτυξη συστημάτων με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών σε μια χώρα μπορεί να επηρεάζει διαχειριστές συστημάτων σε γειτονικές χώρες, και ιδιαίτερα όταν πρόκειται για μικρές χώρες. Αυτό εξηγείται από την θέση της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, από την οποία η ορατή περιοχή μπορεί να περιλαμβάνει και άλλες γειτονικές χώρες.

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.3, το νέο αυτό τηλεπικοινωνιακό σύστημα μπορεί να παρέχει σταθερές υπηρεσίες στις Ka, V ζώνες συχνοτήτων. Στην V ζώνη συχνοτήτων έχει ανατεθεί φάσμα 300 MHz σε κάθε κατεύθυνση, ανάθεση η οποία είναι βασισμένη σε αρχές μη-επιβλαβούς παρεμβολής² για σταθερές ευρυζωνικές υπηρεσίες (δεδομένα/φωνή/video) καθώς και για υπηρεσίες τηλεμετρίας και ελέγχου της πλατφόρμας. Η ανάθεση είναι στις συχνότητες 47.2-47.5 GHz και 47.9-48.2 GHz για όλες τις χώρες. Στις συχνότητες αυτές πρωτεύουσα ανάθεση έχουν οι επίγειες σταθερές υπηρεσίες, και οι σταθερές δορυφορικές υπηρεσίες. Η ανάθεση βασίζεται στην ανακοίνωση 122 της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών [37]. Τα κύρια σημεία που τονίζονται στην ανακοίνωση αυτή της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών είναι τα εξής:

1. συστήματα βασισμένα σε στρατοσφαιρικές πλατφόρμες βρίσκονται σε ανάπτυξη σε αρκετές χώρες και ήδη έχουν ανακοινωθεί τέτοια συστήματα στην ITU-R στις ζώνες 47.2-47.5 GHz και 47.9-48.2 GHz,

²δεν πρέπει να προκαλούνται παρεμβολές πάνω από τα επιτρεπτά όρια στις πρωτεύουσες υπηρεσίες

Κεφάλαιο 2.

2. τα χαρακτηριστικά συστημάτων με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών για παροχή σταθερών υπηρεσιών περιγράφονται στην αναφορά [24],
3. η περαιτέρω μελέτη παρεμβολών (διαφορετικά λειτουργικά σενάρια και νέες τεχνικές μείωσης των παρεμβολών) μεταξύ συστημάτων με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών, γεωστατικών δορυφορικών και επίγειων συστημάτων κρίνεται αναγκαία,
4. η μελέτη περιορισμών ισχύος για τους επίγειους σταθμούς που να επιτρέπει την ομαλή συνύπαρξη τους με τους δορυφορικούς δέκτες είναι πρωτεύουσας σημασίας.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάθεση στις ραδιοσυχνότητες γύρω από τα 30 GHz που περιλαμβάνει το εύρος των 27.5-28.35 GHz για την λειτουργία της ζεύξης στρατόσφαιρα-προς-Γη, και 31.0-31.3 GHz για την λειτουργία της ζεύξης Γη-προς-στρατόσφαιρα. Η ανάθεση αυτή έχει γίνει για 40 χώρες παγκοσμίως, κυρίως της περιοχής 3, αλλά υπάρχει ζήτηση χρήσης αυτής της ανάθεσης και από άλλες χώρες. Η ανάθεση αυτή βασίζεται στην ανακοίνωση 145 της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών [21]. Προς το παρόν η χρήση των συχνοτήτων 27.5-28.35 GHz για την λειτουργία της ζεύξης στρατόσφαιρα-προς-Γη, έχει τον περιορισμό του εύρους ζώνης λειτουργίας των 300 MHz.

Πίνακας 2.3: Ανάθεση Συχνοτήτων για τα Δίκτυα με τη χρήση Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών

Ζώνη Συχνοτήτων	Περιοχές	Κατεύθυνση Ζεύξης	Υπηρεσίες	Υπηρεσίες που μοιράζεται το φάσμα
47.9-48.2 GHz 47.2-47.5 GHz	Παγκόσμια	Άνω και κάτω ζεύξεις	Σταθερές	Σταθερές, Κινητές Σταθερές Δορυφορικές
31.0-31.3 GHz 27.5-28.35 GHz	40 χώρες παγκοσμίως (Ασία, Αφρική, Περιοχή 2) 40 χώρες παγκοσμίως (Ασία, Αφρική, Περιοχή 2)	Άνω ζεύξη Κάτω Ζεύξη	Σταθερές Σταθερές	Σταθερές, Κινητές Διαστήματος Σταθερές, Κινητές Σταθερές Δορυφορικές
1885-1980 GHz 2010-2025 GHz 2110-2160 GHz 1885-1980 GHz 2110-2160 GHz	Περιοχή 1 και 3 Περιοχή 2	Άνω και κάτω ζεύξεις Άνω και κάτω ζεύξεις	IMT-2000 IMT-2000	Σταθερές, Κινητές IMT-2000, PCS Σταθερές, Κινητές IMT-2000, PCS

Τα συστήματα με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών, μπορούν να παρέχουν πέρα από τις υπηρεσίες σε σταθερούς χρήστες, και κινητές υπηρεσίες. Στην ζώνη συχνοτήτων γύρω από τα 2.1 GHz έχει ανατεθεί συνολικό εύρος 50/60 MHz σαν εναλλακτική λύση των σταθμών

βάσης κινητής τηλεφωνίας. Η ανάθεση είναι παγκόσμια με μικρές διαφορές στις συχνότητες λειτουργίας ανά περιοχή. Οι συχνότητες είναι στα 1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz και 2110-2170 MHz για τις περιοχές 1 και 3 και στα 1885-1980 MHz και 2110-2160 MHz για την περιοχή 2. Η ανάθεση δεν είναι αποκλειστική ούτε έχει προτεραιότητα έναντι σε άλλες υπηρεσίες που χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες. Ένα Στρατοσφαιρικό Δίκτυο προσφέρει ένα νέο τρόπο παροχής υπηρεσιών (IMT-2000, International Mobile Telecommunications-2000) με ελάχιστη υποδομή δικτύου, ικανό να εξασφαλίσει μεγάλη περιοχή κάλυψης υψηλής πυκνότητας. Η ανάθεση αυτή βασίζεται στην ανακοίνωση 221 της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών [36]. Τα κύρια σημεία που τονίζονται στην ανακοίνωση αυτή της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών για την ανάθεση των HAPS στις L, S ζώνες συχνοτήτων είναι τα εξής:

1. οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες θα μπορούσαν να λειτουργήσουν σαν σταθμοί βάσης ενσωματωμένοι στο επίγειο IMT-2000 δίκτυο,
2. στις προαναφερθείσες ζώνες συχνοτήτων βρίσκονται ήδη σε λειτουργία σταθερές και κινητές υπηρεσίες,
3. οι σταθμοί HAPS μπορούν να εκπέμπουν στην ζώνη 2110-2170 MHz για τις περιοχές 1 και 3 και 2110-2160 MHz για την περιοχή 2,

Οι τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες που παρέχονται από τα στρατοσφαιρικά συστήματα μπορούν να διακριθούν σε *χαμηλού ρυθμού* για κινητούς χρήστες και σε *υψηλού ρυθμού* για σταθερά τεμαχικά. Λόγω της μεγάλης περιοχής κάλυψης, τα δίκτυα με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών υπερέρχουν έναντι των επίγειων σε δύο τύπους εφαρμογών:

- *ευρυεκπομπή ή πολυεκπομπή (broadcasting ή multicasting)* στην οποία τα στρατοσφαιρικά συστήματα διατηρούν πολλά από τα πλεονεκτήματα των γεωστατικών δορυφορικών συστημάτων, παρέχοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα για διαδραστικό video και πρόσβαση internet.
- *παροχή υπηρεσιών σε απομακρυσμένες γεωγραφικά περιοχές*, σε περιοχές με χαμηλό πληθυσμό και εκεί όπου υπάρχει αυξημένη ανάγκη για κινητές επικοινωνίες (νησιά, ωκεανοί, κα). Το κόστος ανά χρήστη είναι πολύ μεγαλύτερο για τα επίγεια συστήματα στην περίπτωση χαμηλής κίνησης φορτίου και έτσι τα συστήματα με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών φαίνεται να υπερέρχουν. Επιπρόσθετα τα συστήματα αυτά παρέχουν εσωτερική κάλυψη με καλή ποιότητα υπηρεσίας και χαμηλό κόστος. [14]

2.5 Ανάλυση των Παρεμβολών που επιβαρύνουν ένα Στρατοσφαιρικό Σύστημα

Η θεώρηση των παρεμβολών είναι ένας από του πιο σημαντικούς παράγοντες κατά την σχεδίαση του νέου τηλεπικοινωνιακού συστήματος που βασίζεται στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες. Στις προηγούμενες ενότητες μελετήθηκαν οι τύποι των στρατοσφαιρικών πλατφορμών και οι ζώνες συχνότητων που έχουν ανατεθεί από την ITU-R για την λειτουργία των στρατοσφαιρικών δικτύων. Όπως είδαμε τα Στρατοσφαιρικά Δίκτυα μπορούν να λειτουργήσουν στις χώρες της Ευρώπης στις υψηλες συχνότητες της V ζώνης, όπου οι παρεμβολές από τα ήδη υπάρχοντα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και οι δυσμενείς συνθήκες διάδοσης, αποτελούν τις δύο πιο σημαντικές αιτίες υποβάθμισης της λειτουργίας του στρατοσφαιρικού συστήματος. Όσον αφορά τις συνθήκες διάδοσης, αυτές περιγράφονται στην §2.6. Στην συγκεκριμένη ενότητα περιγράφονται τα διαφορετικά είδη παρεμβολής που μπορούν να επιβαρύνουν το στρατοσφαιρικό δίκτυο και η έννοια των αποδεκτών ορίων παρεμβολής.

Ως *παρεμβολή*, *καταρχήν*, ορίζεται οποιαδήποτε μη επιθυμητή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, προερχόμενη από εκπομπές του ίδιου ή διαφορετικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος που λειτουργεί στην ίδια ή σε γειτονική ζώνη συχνότητων, ικανή να προκαλέσει τον υποβιβασμό της λειτουργίας ενός ασύρματου τηλεπικοινωνιακού συστήματος ή ακόμα και την ολοκληρωτική διακοπή της λειτουργίας του. Το σήμα παρεμβολής γίνεται αντιληπτό από τον δέκτη του επιθυμητού συστήματος σαν μια επιπλέον πηγή θορύβου, πέρα από το λευκό προσθετικό θόρυβο *AWGN* που υπάρχει πάντα, και η ισχύς του προστίθεται σε αυτή του θορύβου. Άμεση συνέπεια είναι η περαιτέρω επιβάρυνση του συστήματος στο τμήμα λήψης, με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η άρτια ανάκτηση του σήματος πληροφορίας και η επικοινωνία πομπού-δέκτη. Ο λόγος για τον οποίο η παρεμβολή μελετάται διαφορετικά από τον θόρυβο και όχι σαν μέρος αυτού, είναι επειδή το ηλεκτρομαγνητικό σήμα που παρεμβάλλει σε ένα σύστημα έχει χρήσιμο περιεχόμενο, αλλά μόνο για το σύστημα που προορίζεται. Αντιθέτως, ο θόρυβος είναι σήμα με μηδενικό πληροφοριακό περιεχόμενο. Επίσης, ενώ ο φυσικός θόρυβος δεν μπορεί να αποφευχθεί, ούτε να ελεγχθεί πλήρως, η παρεμβολή, δεδομένου ότι προέρχεται από γνωστή θεωρητικά πηγή είναι δυνατόν να περιοριστεί σε ικανοποιητικά επίπεδα, ώστε να μην δυσχεραίνει σημαντικά την τηλεπικοινωνιακή ζεύξη.

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών βασίζονται σε κεραιές πολλαπλών δεσμών και μοιάζουν στην ουσία σαν ένα κυψελωτό σύστημα όπου κάθε δέσμη είναι μια κυψέλη. Κατά συνέπεια είναι πολύ σημαντικό ο σχεδιασμός του δικτύου να γίνεται

με βάση τις παρεμβολές που μπορεί να προκύψουν ανεξάρτητα από τον θερμικό θόρυβο και τα φαινόμενα διαλείψεων.

Οι παρεμβολές σε ένα στρατοσφαιρικό δίκτυο διακρίνονται σε:

1. παρεμβολές που προκαλούνται από τους χρήστες του ίδιου του δικτύου,
2. παρεμβολές που προέρχονται από άλλα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, κατά κύριο λόγο επίγεια μικροκυματικά και δορυφορικά δίκτυα που λειτουργούν στις ίδιες ή γειτονικές ζώνες συχνοτήτων.

Όσον αφορά την πρώτη περίπτωση είναι σημαντική η διαφορά μεταξύ επίγειων και στρατοσφαιρικών συστημάτων, στα επίπεδα παρεμβολών που προκαλούνται από το ίδιο το σύστημα. Στα επίγεια συστήματα είναι δύσκολη η πρόβλεψη των επιπέδων παρεμβολής για διαφορετικό περιβάλλον εγκατάστασης καθώς παρατηρείται ισχυρή εξάρτηση από την γεωμορφολογία της κάθε περιοχής. Εν αντιθέσει, στα στρατοσφαιρικά συστήματα, η διάδοση γίνεται σε συνθήκες καθαρού ουρανού και έτσι η πρόβλεψη των παρεμβολών που προκαλούνται από τους χρήστες του ίδιου του δικτύου είναι πιο αξιόπιστη.

Η διατριβή εστιάζει στην μελέτη του προβλήματος των παρεμβολών της δεύτερης περίπτωσης όπου συνυπάρχουν περισσότερα του ενός τηλεπικοινωνιακά συστήματα στην ίδια ζώνη συχνοτήτων (ομοδιαυλική παρεμβολή). Ομοδιαυλική παρεμβολή εμφανίζεται όταν το ηλεκτρομαγνητικό σήμα που παρεμβάλλει έχει την ίδια συχνότητα φέροντος με το σήμα του συστήματος που υφίσταται την παρεμβολή και το εύρος ζώνης του σήματος βασικής ζώνης της παρεμβολής επικαλύπτει μέρος ή ολόκληρο το εύρος ζώνης του σήματος βασικής ζώνης του παρεμβαλλόμενου σήματος. Το παραπάνω φαινόμενο είναι δυνατό να εμφανιστεί όταν τηλεπικοινωνιακά συστήματα που χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνοτήτων λειτουργούν σε χωρικά μικρές αποστάσεις. Κυρίως συντελείται λόγω των πλαϊνών λοβών του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραίας, αλλά συνεισφέρει και ο κύριος λοβός όταν υπάρχει επικάλυψη της δέσμης. Έτσι, σήμα παρεμβολής εμφανίζεται στο δέκτη και περιορίζει κατ'αυτόν τον τρόπο την αξιόπιστη λειτουργία της ζεύξης, ακόμα και αν τα επίπεδα του είναι χαμηλά.

Επιγραμματικά κάποιοι από τους τρόπους αντιμετώπισης της ομοδιαυλικής παρεμβολής είναι:

- διατήρηση γεωγραφικής απόστασης ασφαλείας ανάμεσα στον δέκτη και τον παρεμβάλλοντα πομπό,

Κεφάλαιο 2.

- χρήση κατευθυντικών κεραιών που περιορίζουν σημαντικά τα επίπεδα ισχύος που εκπέμπονται σε διευθύνσεις διαφορετικές από αυτή του μεγίστου,
- έλεγχος και περιορισμός της ισχύος εκπομπής των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων

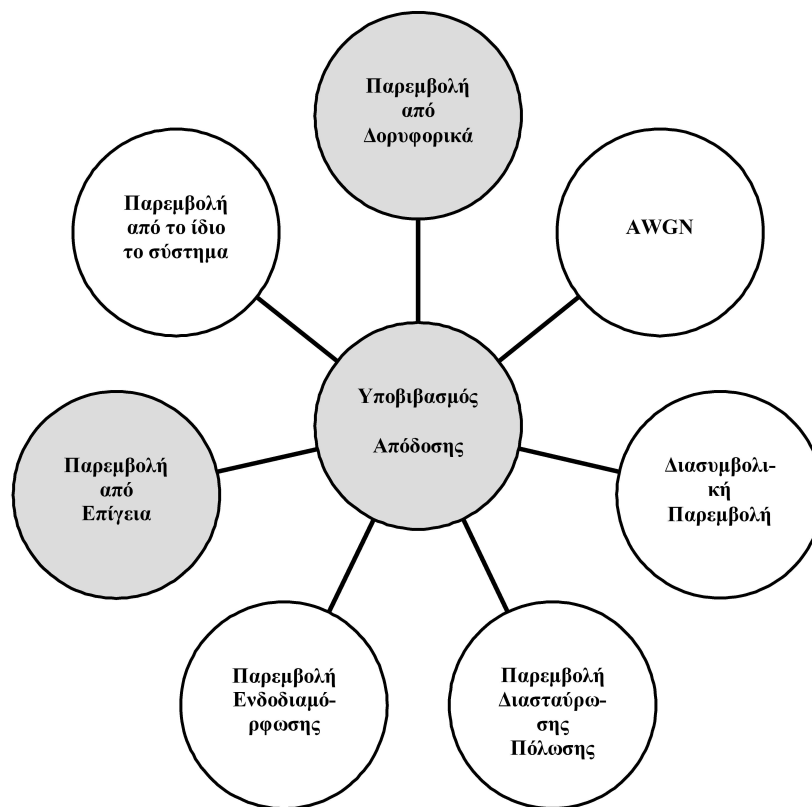
Στην περίπτωση που κάποιο τηλεπικοινωνιακό σύστημα χρησιμοποιεί διαφορετική ζώνη συχνοτήτων, γειτονική με αυτή του στρατοσφαιρικού συστήματος, εμφανίζεται παρεμβολή γειτονικού διαύλου. Βασική αιτία εμφάνισης του συγκεκριμένου είδους παρεμβολής είναι η αδυναμία των RF φίλτρων εκπομπής και λήψης να αποκόπτουν τις συχνότητες που βρίσκονται εκτός του εύρους ζώνης λειτουργίας του συστήματος στο οποίο είναι εγκατεστημένα. Το παραπάνω δεν είναι εύκολο να αποφευχθεί αφού η κατασκευή ενός φίλτρου στην περιοχή των RF συχνοτήτων με απότομη συνάρτηση μεταφοράς, όπως θα έπρεπε να είναι στην ιδανική περίπτωση, είναι πρακτικά ανέφικτη και οικονομικά ιδιαίτερα ασύμφορη.

Οι δυνατότητες αντιμετώπισης της παρεμβολής γειτονικού διαύλου είναι γενικά περιορισμένες. Συνήθως επιδιώκεται η καταπίεση των φασματικών ουρών των φίλτρων, οι οποίες βρίσκονται εκτός του εύρους ζώνης του συστήματος. Συγκεκριμένα, τα φίλτρα εκπομπής και λήψης σχεδιάζονται ώστε να ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές υπό τους όρους που θέτουν οι διεθνείς προδιαγραφές για την συνολική απόκριση ενός τηλεπικοινωνιακού διαύλου.

Επιπλέον των παρεμβολών που αναφέρθηκαν, παρατηρούνται και τα ακόλουθα είδη παρεμβολής σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα:

- παρεμβολή ενδοδιαμόρφωσης,
- παρεμβολή λόγω διασταύρωσης πόλωσης,
- διασυμβολική παρεμβολή.

Η παρεμβολή ενδοδιαμόρφωσης παρουσιάζεται στον δέκτη ενός συστήματος λόγω της εμφάνισης προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης κατά τη μη γραμμική ενίσχυση πολλαπλών σημάτων, πολυπλεγμένων κατά συχνότητα (*FDMA*). Οι παρεμβολές αυτές έχουν δυσμενή αποτελέσματα στην αποδιαμόρφωση των σημάτων πληροφορίας που ακολουθεί το στάδιο ενίσχυσης. Συνήθως αυτό το είδος της παρεμβολής αντιμετωπίζεται με την λειτουργία των ενισχυτών στη γραμμική περιοχή ενίσχυσης. Το κόστος μιας τέτοιας επιλογής βέβαια είναι προφανώς ότι στην γραμμική περιοχή οι ενισχυτές δεν αποδίδουν το σήμα στο μέγιστο της ενισχυτικής τους δυνατότητας, όπως θα



Σχήμα 2.7: Παρεμβολές σε Στρατοσφαιρικό Σύστημα

συνέβαινε αν λειτουργούσαν στην περιοχή κόρου. Σημειώνεται ότι στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα στα οποία χρησιμοποιείται ένα φέρον ανά ενισχυτή και τα σήματα είναι πολυπλεγμένα στο χρόνο (*TDMA*), δεν εμφανίζεται το συγκεκριμένο είδος παρεμβολής.

Η παρεμβολή λόγω διασταύρωσης πόλωσης εμφανίζεται σε συστήματα τα οποία λειτουργούν με τεχνική αναχρησιμοποίησης συχνότητας, με χρήση δύο ή πιο σπάνια περισσότερων πολώσεων. Οφείλεται στην αποπόλωση που δημιουργείται εξαιτίας του μέσου διάδοσης του σήματος (ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις) και στην ατελή ηλεκτρομαγνητική αποπόλωση των διαφορετικών πολώσεων. Το φαινόμενο της παρεμβολής λόγω διασταύρωσης πόλωσης είναι πιο έντονο για συχνότητες μεγαλύτερες από 10 GHz.

Η διασυμβολική παρεμβολή εμφανίζεται στα ψηφιακά συστήματα επικοινωνιών. Συγκεκριμένα η χρονική εξάπλωση των ψηφίων που μεταδίδονται στο δίαυλο έχει δυσμενή επίδραση στην ανάκτηση και αποκωδικοποίηση άλλου ή άλλων γειτονικών ψηφίων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού λαθών (*BER*), τη μείωση της διαθεσιμότητας του τηλεπικοινωνιακού

Κεφάλαιο 2.

συστήματος και την υποβάθμιση των παρεχόμενων υπηρεσιών. Βασική αιτία εμφάνισης του εν λόγω φαινομένου είναι η ανεπάρκεια εύρους ζώνης συχνοτήτων, ο μη ακριβής συγχρονισμός μεταξύ πομπού και δέκτη και η παραμόρφωση που μπορεί να δημιουργήσει στα σήματα ο διάυλος επικοινωνίας.

Όλες αυτές οι μορφές παρεμβολής έχουν ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της λειτουργίας του στρατοσφαιρικού συστήματος και την μη τήρηση των στόχων λειτουργίας του (στόχοι διαθεσιμότητας, στόχοι λειτουργικών λαθών).

2.5.1 Επιτρεπτά Όρια Παρεμβολής

Για την περίπτωση της ομοδιαυλικής παρεμβολής που προκαλούν/δέχονται τα στρατοσφαιρικά δίκτυα προς/από τα επίγεια και τα δορυφορικά δίκτυα, μια από τις προφανείς λύσεις είναι η χρήση διαφορετικών ζωνών συχνοτήτων για κάθε τηλεπικοινωνιακή υπηρεσία. Ωστόσο, λόγω του περιορισμένου διαθέσιμου φάσματος ραδιοσυχνοτήτων, αυτή η λύση δεν είναι πρακτικά εφικτή. Οι σύγχρονες ανάγκες για αναθέσεις συχνοτήτων ξεπερνούν κατά πολύ το διαθέσιμο ραδιοφάσμα, ενώ η εγκατάσταση νέων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων συντελεί στην αύξηση της αμοιβαίας παρεμβολής μεταξύ δικτύων που μοιράζονται το ίδιο φάσμα. Επομένως είναι απαραίτητη η μελέτη *επιτρεπτών ορίων (κριτηρίων) παρεμβολής*, η εύρεση *κριτηρίων συνύπαρξης* αλλά και η αξιοποίηση νέων ζωνών συχνοτήτων.

Η εύρεση αποδεκτών ορίων εκπομπής των συστημάτων που δημιουργούν παρεμβολή σε άλλα δίκτυα ή ζεύξεις, είναι ένα πολύ σημαντικό και συνάμα δύσκολο θέμα. Η δυσκολία του έγκειται στο διαφορετικό αντίκτυπο που έχει το κάθε κριτήριο στα εμπλεκόμενα δίκτυα. Για παράδειγμα μια αύξηση στο αποδεκτό όριο παρεμβολής έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της χωρητικότητας του παρεμβαλλόμενου δικτύου και την αύξηση της χωρητικότητας ή του αριθμού των δικτύων που προκαλούν την παρεμβολή. Έτσι τα αποδεκτά κριτήρια είναι πάντα αποτέλεσμα συμβιβασμού. Για την εύρεση των κατάλληλων κριτηρίων, χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες για να χαρακτηρίσουν την επίδραση της παρεμβολής στην λειτουργία του δικτύου οι οποίοι σχετίζονται με:

- την διαθεσιμότητα του διαύλου ή του δικτύου,
- την αύξηση της ισοδύναμης θερμοκρασίας θορύβου της παρεμβαλλόμενης ζεύξης,
- τον ρυθμό λαθών,

- τον υποβιβασμό της απόδοσης του συστήματος,

οι οποίοι όμως καθιστούν δύσκολη την σύγκριση των διαφόρων κριτηρίων που προκύπτουν στηρίζόμενα σε αυτούς καθώς εξαρτώνται από τα χρησιμοποιούμενα σήματα, τις μεθόδους μετάδοσης και λήψης και την αρχιτεκτονική του δικτύου.

Μια άλλη δυσκολία στην εξαγωγή των κατάλληλων κριτηρίων είναι το γεγονός ότι κατά κανόνα η τιμή της παρεμβολής και η επίδραση της στο παρεμβαλλόμενο δίκτυο στηρίζεται στις χειρότερες συνθήκες που θα μπορούσαν να προκύψουν ανεξάρτητα από την πιθανότητα μιας τέτοιας κατάστασης. Μια συνήθης μέθοδος εργασίας για την εξαγωγή αντιπροσωπευτικών κριτηρίων, είναι η στατιστική ανάλυση με βάση τους λόγους C/I , $C/(N + I)$, I/N όπου ως C ορίζουμε την ισχύ του επιθυμητού σήματος, N τον θερμικό θόρυβο του δέκτη και I την ισχύ του σήματος παρεμβολής. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία και στις μελέτες της ITU-R που αφορούν παρεμβολές προς και από Στρατοσφαιρικά Δίκτυα, γίνεται ευρεία χρήση του λόγου I/N . Στις επόμενες παραγράφους εξηγούμε πως εξάγονται τα κριτήρια παρεμβολής για το συγκεκριμένο λόγο.

Οι παρεμβολές που υφίσταται ένα σύστημα έχουν ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του, αφού προκαλούν τη μείωση στη διαθεσιμότητα του και την αύξηση στους ρυθμούς λειτουργικών λαθών.

Για τη μοντελοποίηση της παρεμβολής, η μέγιστη επιτρεπτή υποβάθμιση της διαθεσιμότητας και των λειτουργικών λαθών μπορεί να χωριστεί σε ποσοστά ανάλογα με την πηγή, η οποία την προκαλεί. Έτσι, οι παρεμβολές που προέρχονται από άλλα Στρατοσφαιρικά Δίκτυα μπορούν να προκαλέσουν υποβάθμιση στη διαθεσιμότητα και στα λειτουργικά λάθη κατά $X\%$ (σε αυτό το ποσοστό περιλαμβάνονται η αστοχία και οι ατέλειες του εξοπλισμού). Οι παρεμβολές που προέρχονται από άλλα τηλεπικοινωνιακά συστήματα με την ίδια προτεραιότητα στη συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων μπορούν να προκαλέσουν υποβάθμιση στη διαθεσιμότητα και στα λειτουργικά λάθη κατά $Y\%$ (σε αυτή την κατηγορία υπάγονται και οι παρεμβολές που προκαλούνται από το Σταθερό Δορυφορικό Δίκτυο, και το Επίγειο Δίκτυο), ενώ οι υπόλοιπες τυχόν παρεμβολές μπορούν να προκαλέσουν υποβάθμιση κατά ένα ποσοστό $Z\%$. Το άθροισμα $X\%+Y\%+Z\%$ πρέπει να ικανοποιεί τους εκάστοτε στόχους διαθεσιμότητας και λειτουργικών λαθών ανάλογα με τη σχεδίαση του δικτύου.

Οι στόχοι στη διαθεσιμότητα και στα λειτουργικά λάθη μεταφράζονται σε έναν ελάχιστο σηματοθορυβικό λόγο στο δέκτη, $(C/N)_{\min req}$. Ο λόγος αυτός εξαρτάται από τα συγκεκριμένα

Κεφάλαιο 2.

χαρακτηριστικά της ζεύξης, από τις απαιτήσεις ποιότητας και διαθεσιμότητας και από τη χρήση ή όχι αυτόματου ελέγχου ισχύος στο δέκτη. Κριτήριο ομαλής λειτουργίας της ζεύξης είναι ο σηματοθυρβικός λόγος να μην πέσει κάτω από την ελάχιστη επιτρεπτή τιμή του για περισσότερο από συγκεκριμένο ποσοστό χρόνου. Πτώση του κάτω από την προκαθορισμένη τιμή για περισσότερο χρόνο, μετατρέπει τη ζεύξη σε μη διαθέσιμη. Το περιθώριο αυτό ονομάζεται *περιθώριο εξασθένησης (Fade Margin)* της ζεύξης. Η χρήση αυτόματου ελέγχου ισχύος στο δέκτη, μειώνει το περιθώριο εξασθένησης. Η νέα τιμή που προκύπτει ονομάζεται *καθαρό περιθώριο εξασθένησης (Net Fade Margin, NFM)* [10].

Υποθέτουμε ότι ένας από τους προβλεπόμενους στόχους λειτουργίας P (στόχοι διαθεσιμότητας, στόχοι λειτουργικών λαθών), συσχετίζεται με το καθαρό περιθώριο εξασθένησης. Αν οι στόχοι λειτουργίας του συστήματος μπορεί να υποβαθμιστούν λόγω παρεμβολής, π.χ κατά ένα ποσοστό Y ($0 \leq Y \leq 10$) τότε ο νέος στόχος λειτουργίας καθορίζεται ως εξής:

$$P' = (1 + Y) \cdot P \quad (2.5.1)$$

Επίσης το καθαρό περιθώριο κέρδους θα γίνει NFM' . Έτσι η διαφορά περιθωρίων κέρδους $\Delta NFM'$ (σε dB) υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta NFM = NFM' - NFM = 10 \cdot \log \left(\frac{P'}{P} \right) = 10 \cdot \log(1 + Y) \quad (2.5.2)$$

Αν I η λαμβανόμενη παρεμβολή, N ο θερμικός θόρυβος του συστήματος και N_{Total} ο συνολικός θόρυβος του συστήματος, ισχύει ότι:

$$10^{I/10} + 10^{N/10} = 10^{N_{Total}/10} = 10^{(N+\Delta NFM)/10} \quad (2.5.3)$$

$$10^{I/10} = 10^{N/10} \left(10^{\Delta NFM/10} - 1 \right) \quad (2.5.4)$$

$$I = N + 10 \cdot \log \left(10^{\Delta NFM/10} - 1 \right) \quad (2.5.5)$$

Άρα για παράδειγμα, αν η μέγιστη επιτρεπτή υποβάθμιση στους στόχους λειτουργίας του Στρατοσφαιρικού Δικτύου είναι σε ποσοστό $Y = 10\% = 0.1$, τότε $\Delta NFM = 10 \cdot \log(1.1) = 0.41 \text{ dB}$ και $I/N = -10 \text{ dB}$

Οι χαρακτηριστικές τιμές του επιτρεπού κριτηρίου παρεμβολής για τα συστήματα αναφοράς, όπως αυτά θα περιγραφούν στην §2.8 είναι οι ακόλουθες:

Πίνακας 2.4: Κριτήρια Παρεμβολών για το ΣΔ

Ποσοστό	ΔNFM	I/N	Μεγιστη Επιτρεπτή Στάθμη Παρεμβολής	
Επιτρεπτής	Υποβιβασμός	dB	dB(W/MHz)	
Παρεμβολής	Απόδοσης		Επίγειος Σταθμός ΣΔ	Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα
1%	0.04	-20.3	-159.4	-161.9
6%	0.25	-12.2	-151.3	-153.8
10%	0.41	-10	-149.1	-151.6
15%	0.6	-8.2	-147.3	-149.8
20%	0.79	-7	-146.1	-148.6

2.6 Περιβάλλον Διάδοσης

2.6.1 Χαρακτηρισμός του Διαύλου

Τα μοντέλα διάδοσης στοχεύουν στην πρόβλεψη της μέσης τιμής ισχύος του λαμβανόμενου σήματος σε μια δεδομένη απόσταση από τον πομπό (*μακρόχρονα μοντέλα διάδοσης*), όσο και των διακυμάνσεων της λαμβανόμενης ισχύος για πολύ μικρές αποστάσεις (κάποια μήκη κύματος) ή για μικρές χρονικές περιόδους (*βραχύχρονα μοντέλα διάδοσης ή μοντέλα διαλείψεων*) [3], [25]. Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές συμβαίνουν διαλείψεις λόγω της επικράτησης συνθηκών μη-οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη. Ακόμα και όταν υπάρχουν συνθήκες οπτικής επαφής, συμβαίνουν διαλείψεις πολλαπλών διαδρομών λόγω των ανακλάσεων από το έδαφος και από τις υπόλοιπες δομές που περιβάλλουν το χώρο διάδοσης.

Κατά την διάδοση των ραδιοκυμάτων μεταξύ του δορυφόρου ή της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και ενός επίγειου σταθμού, ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής ενέργειας φτάνει μέσω του απευθείας κύματος. Η υπόλοιπη ισχύς λαμβάνεται μέσω του ανακλώμενου από το έδαφος κύματος και των σκεδαζόμενων ακτινών που διαμορφώνουν ένα διαχεόμενο κύμα. Έτσι το σήμα λαμβάνεται μέσω διαφορετικών διαδρομών διάδοσης και κατά ένα τρόπο όλες αυτές οι εκδοχές του σήματος λήψης είναι όλες αντίγραφα του αρχικού εκπεμπόμενου σήματος με διαφορά σε πλάτος, φάση, καθυστέρηση και γωνία άφιξης. Η σύνθεση των εκδοχών αυτών στον δέκτη μπορεί να είναι εποικοδομητική ή μη ωφέλιμη.

Η διάδοση στις δορυφορικές ζεύξεις είναι ελευθέρου χώρου, όπου η λαμβανόμενη ισχύς εξασθενεί συναρτήσει του τετραγώνου της απόστασης πομπού-δέκτη, με τις σκιάσεις να ακολουθούν *λογαριθμοκανονική κατανομή*. Ο στρατοσφαιρικός διάυλος ³ έχει πολλά κοινά με τον δορυφορικό, με την διαφορά ότι οι απώλειες διάδοσης είναι ακόμα μικρότερες και από αυτές του LEO δορυφορικού διαύλου. Η εξασθένιση μικρής κλίμακας περιγράφεται από κατανομή *Rice* τόσο για τον δορυφορικό όσο και για τον στρατοσφαιρικό διάυλο, με την διαφορά ότι κάποια μοντέλα χρησιμοποιούν *Rayleigh* κατανομή για τα φαινόμενα εξασθένισης μικρής κλίμακας σε αστικές περιοχές.

Όσον αφορά την μοντελοποίηση διαύλου για στρατοσφαιρικά συστήματα στην διεθνή βιβλιογραφία, έχουν προταθεί ένα φυσικό στατιστικό macro- και mega- κυψελωτό μοντέλο [19] διάδοσης για IMT-2000 επικοινωνίες στην S ζώνη (1550-5200 MHz) το οποίο εκτιμήθηκε μέ-

³μεταξύ στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και επίγειου σταθμού του ΣΔ

σω μετρήσεων στα 1.6 GHz, καθώς και μια επέκταση ενός θεωρητικού μοντέλου για επίγεια συστήματα που προσδιορίζει τις εξασθενήσεις μικρής κλίμακας για ζεύξη στα 2 GHz μεταξύ στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και σταθερών αλλά και κινητών επίγειων χρηστών [5].

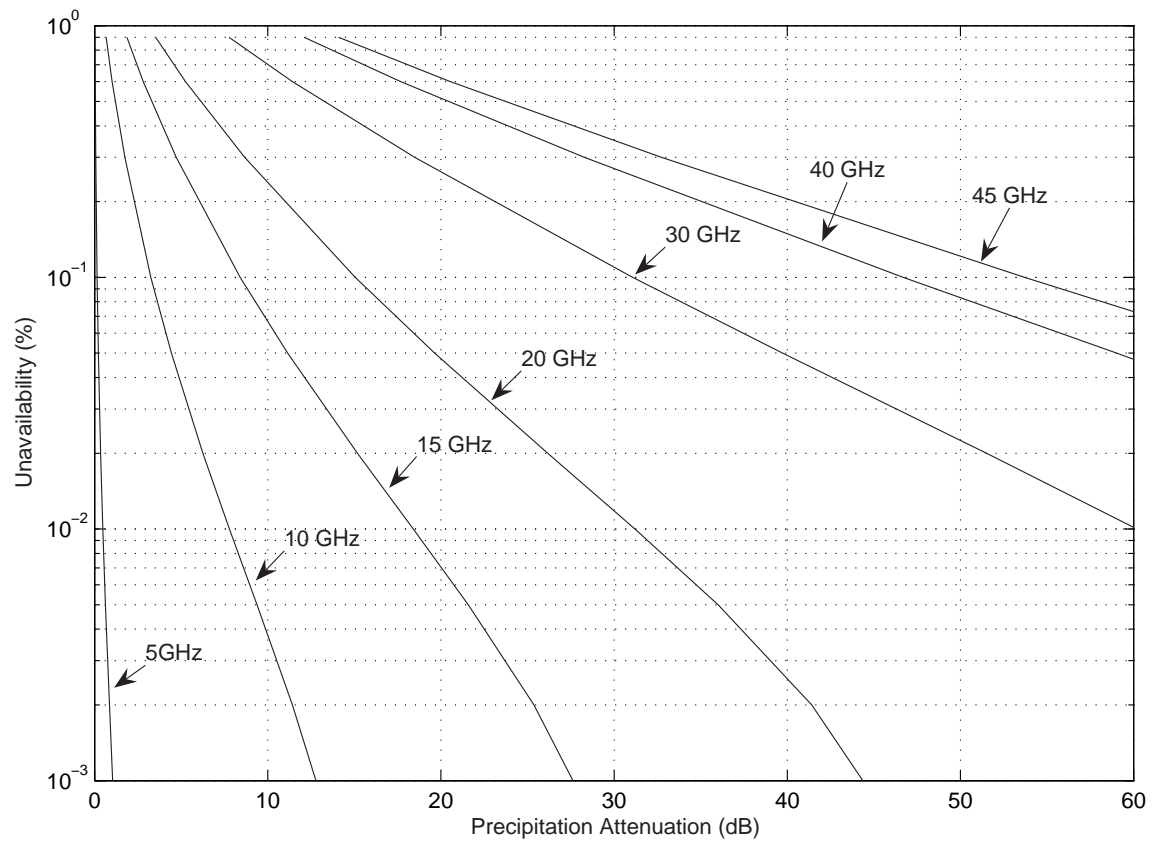
2.6.2 Δεδομένα Διάδοσης και Μοντέλα Πρόβλεψης

Στη μελέτη της παρούσας διατριβής θεωρήθηκαν οι μηχανισμοί διάδοσης που περιγράφονται στην σύσταση ITU-R P.1409 [22]. Στην σύσταση αυτή προτείνονται οι παρακάτω μηχανισμοί διάδοσης και επιδράσεις της ατμόσφαιρας που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην σχεδίαση συστημάτων με στρατοσφαιρικές πλατφόρμες και στις μελέτες παρεμβολών στις συχνότητες των 48/47 GHz:

1. απώλειες ελευθέρου χώρου,
2. ατμοσφαιρικές αποσβέσεις λόγω απορρόφησης αερίων στην τροπόσφαιρα (Θεωρώντας ότι όλες οι αποσβέσεις γίνονται σε υψόμετρα κάτω από την πλατφόρμα),
3. εξασθένιση λόγω βροχής,
4. εξασθένιση λόγω νεφών (για ποσοστό χρόνου μικρότερο από 1% η επίδραση της εξασθένισης λόγω νεφών συνυπολογίζεται στην μέθοδο πρόβλεψης εξασθένισης λόγω βροχής),
5. σκέδαση από την επιφάνεια της γης (σκέδαση από την πάνω επιφάνεια των κυψελών βροχής αναμένεται να είναι λιγότερο σημαντική),
6. σκέδαση λόγω βροχής,
7. τροποσφαιρικές κατακρημνίσεις.

Στο Σχήμα 2.8 υπολογίστηκε η σχέση μεταξύ εξασθένισης λόγω βροχής σε διάφορες συχνότητες και της μη διαθεσιμότητας για επίγειο σταθμό ΣΔ που λειτουργεί με συγκεκριμένη γωνία με την στρατοσφαιρική πλατφόρμα χρησιμοποιώντας το μοντέλο ITU-R P.618 [23]. Θεωρούμε ότι ο επίγειος σταθμός είναι εγκατεστημένος σε γεωγραφικό πλάτος 35°N σε περιοχή με βροχόπτωση (50mm/h). Επιλέξαμε να μελετήσουμε τα στατιστικά μη διαθεσιμότητας σε περιοχή με μεσαίο γεωγραφικό πλάτος και μέτρια βροχόπτωση. Επιπρόσθετα για τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά υπήρχαν καμπύλες αναφοράς από άλλους ερευνητές, ώστε να επιβεβαιώσουμε την ορθότητα της ανάλυσης μας.

Κεφάλαιο 2.



Σχήμα 2.8: Χαρακτηριστικά απόσβεσης λόγω βροχής - Γεωγραφικό πλάτος: $35^{\circ}N$, Γωνία ανύψωσης: 20° , Ρυθμός βροχόπτωσης: $50mm/h$

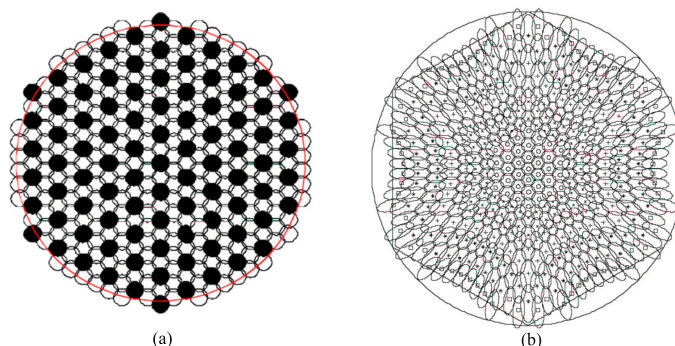
Είναι φανερό ότι ένα στρατοσφαιρικό σύστημα που λειτουργεί σε χαμηλή ζώνη συχνότητων έχει σημαντικό συγκριτικά πλεονέκτημα έναντι εκείνου του συστήματος που λειτουργεί σε υψηλότερες συχνότητες (40 GHz, 45 GHz). Εάν η απαιτούμενη διαθεσιμότητα ζεύξης είναι μικρότερη από 99.5%, ένα στρατοσφαιρικό σύστημα θα μπορεί να παρέχει το απαραίτητο περιθώριο ζεύξης ακόμα και στις υψηλές συχνότητες. Εντούτοις, πολύ υψηλοί στόχοι διαθεσιμότητας (π.χ 99.99%) είναι επιτεύξιμοι μόνο στις χαμηλότερες ζώνες συχνότητων.

2.7 Προδιαγραφές Κεραιών

Το σύστημα της κεραίας είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που καθορίζουν την απόδοση σε ένα στρατοσφαιρικό δίκτυο. Στα επίγεια συστήματα, η ακτινοβολία σε περιοχές έξω από την περιοχή παροχής υπηρεσιών, είναι εξαρτώμενη από τα χαρακτηριστικά της κεραίας του επίγειου σταθμού και από την εξασθένηση λόγω διάδοσης στο συγκεκριμένο περιβάλλον. Στα στρατοσφαιρικά συστήματα, η εξάρτηση είναι κυρίως από τα χαρακτηριστικά της κεραίας της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, και ιδιαίτερα από την απόδοση των πλαϊνών λοβών ακτινοβολίας. Όσο πιο μεγάλη είναι η περιοχή κάλυψης, τόσο πιο αναγκαία είναι η καλή απόδοση της κεραίας.

Οι βασικές προδιαγραφές για τις κεραίες των στρατοσφαιρικών συστημάτων ακολουθούν, ενώ χαρακτηριστικά ίχνος κεραιών με 300-400 κυψέλες όπως προτείνονται από την ITU-R για την Ka ζώνη απεικονίζονται στο Σχήμα 2.9:

1. μειωμένο βάρος, μέγεθος και μειωμένη κατανάλωση ισχύος και καλή απόδοση στο περιβάλλον της στρατόσφαιρας,
2. υψηλές συχνότητες λειτουργίας ώστε να εξασφαλίζεται η ευρυζωνική λειτουργία,
3. κατευθυντικότητα με υψηλή απολαβή έτσι ώστε να εξισορροπούνται οι εξασθενήσεις που οφείλονται στην διάδοση σε υψηλές συχνότητες,
4. χρήση πολλαπλών δεσμών κηλίδας,
5. μηχανισμό ελέγχου της δέσμης για την αναίρεση της επίδρασης των μεταβολών ύψους και θέσης της πλατφόρμας στο ίχνος της κεραίας στην επιφάνεια της γης [15, 16],



Σχήμα 2.9: Παραδείγματα ίχνους πολλαπλών δεσμών (a) Ελλειπτικής δέσμης ενιαίο μοντέλο ίχνους (367 δέσμες) (b) Κυκλικής δέσμης πολυζωνικό μοντέλο ίχνους (397 δέσμες)

2.8 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Τυπικών Στρατοσφαιρικών Δικτύων στην Χιλιοστομετρική Ζώνη (ITU-R)

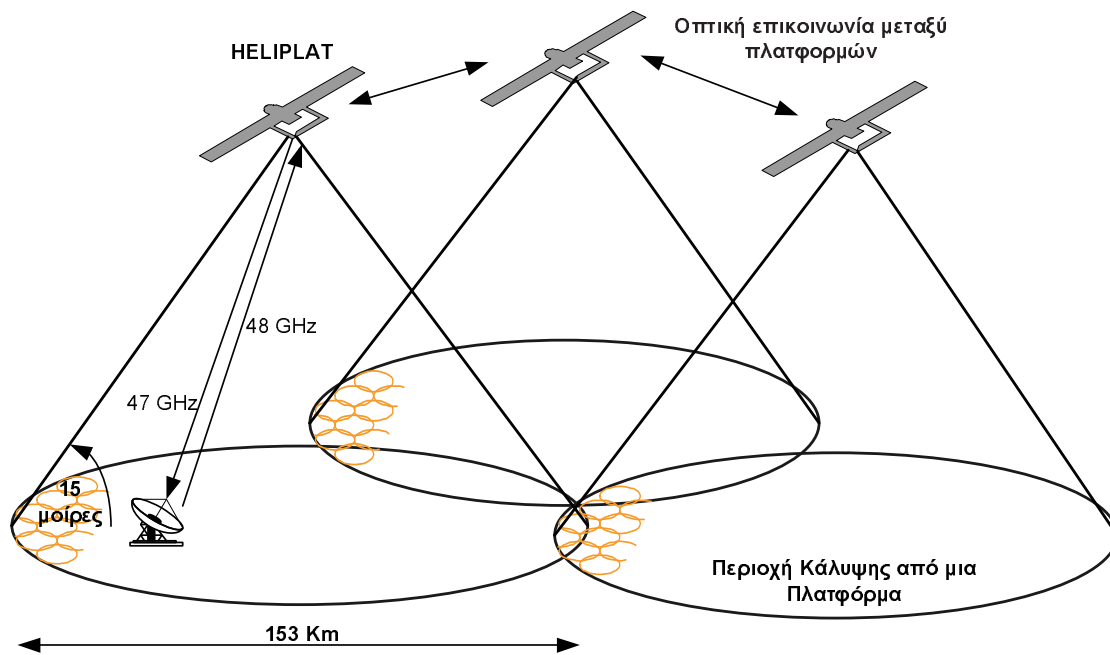
Στα Κεφάλαια 3 και 4 μελετώνται οι παρεμβολές που δημιουργούνται μεταξύ Στρατοσφαιρικών, Επίγειων και Δορυφορικών Δικτύων. Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την διεξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων κατά την μελέτη παρεμβολών και την ανάπτυξη κριτηρίων συνυπαρξης είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος. Τα ΣΔ συνεχώς εξελίσσονται και ήδη υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων αναμεταδόσεων που λειτουργούν ή αναπτύσσονται για να ικανοποιήσουν μελλοντικές απαιτήσεις. Επιλέξαμε στην παρούσα διατριβή να μην χρησιμοποιηθεί ένα απλό ‘τυπικό’ σύστημα ράδιο-αναμετάδοσης ως μοντέλο γενικού σκοπού, αλλά να χρησιμοποιήσουμε ως σύστημα αναφοράς για την μελέτη, τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά που προτείνει η ITU-R για στρατοσφαιρικά συστήματα που λειτουργούν στην ζώνη συχνοτήτων μεταξύ 47.2-47.5 GHz και 47.9-48.2 GHz.

Στην §2.8.1 περιγράφεται η αρχιτεκτονική του ΣΔ και οι τρεις βασικές περιοχές κάλυψης. Οι §2.8.2, 2.8.3 πραγματεύονται τις παραμέτρους εκπομπής της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και των επίγειων σταθμών και τα διαγράμματα ακτινοβολίας των κεραιών που θα χρησιμοποιηθούν για την πλατφόρμα και τους επίγειους χρήστες στην χιλιοστομετρική ζώνη συχνοτήτων.

2.8.1 Αρχιτεκτονική Δικτύου

Η αρχιτεκτονική και ο σχεδιασμός του τηλεπικοινωνιακού δικτύου με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών είναι ένα από τα θέματα έρευνας τα τελευταία χρόνια. Η μελέτη στο πλαίσιο της διατριβής στηρίζεται σε διάταξη αστερισμού όπως προτείνεται στην σύσταση ITU-R F.1500 [24], όπου η πλατφόρμα λειτουργεί ως ο κύριος εξυπηρετητής. Το φορτίο αποτελείται από πολλαπλές δέσμες προς την Γη παρέχοντας επαρκή κάλυψη σε μια κυκλική περιοχή με διάμετρο κάλυψης έως και 548 Km, εξαρτώμενη από την γωνία ανύψωσης των τερματικών του ΣΔ. Στον Πίνακα 2.5 παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές διαμέτρου κάλυψης από στρατοσφαιρική πλατφόρμα στα 15.5, 21, και 30 Km ανάλογα με τη γωνία ανύψωσης της κεραιάς του επίγειου σταθμού του ΣΔ.

Τα τερματικά είναι φορητές συσκευές οι οποίες επικοινωνούν με το φορτίο απευθείας. Ένα τερματικό αποτελείται από την μονάδα της κεραιάς και μια ψηφιακή μονάδα. Η επικοινωνία μεταξύ χρήστη-προς-χρήστη επιτυγχάνεται μέσω της πλατφόρμας και ενός ασύγχρονου διακόπτη. Πέρα από τους τερματικούς χρήστες υπάρχουν και οι πυλαίοι σταθμοί μέσω των οποίων επιτυγχάνεται



Σχήμα 2.10: Απεικόνιση ενός Στρατοσφαιρικού Δικτύου παροχής σταθερών υπηρεσιών στην V ζώνη

η σύνδεση με τα υπάρχοντα δημόσια δίκτυα τηλεφωνίας και δεδομένων (PSTN, PDTN, internet). Η σχεδίαση του δικτύου είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει στους πυλαίους σταθμούς να βρίσκονται οπουδήποτε μέσα στην περιοχή κάλυψης, με στόχο την μείωση των απαιτήσεων επίγειας υποδομής.

Η συνολική περιοχή κάλυψης μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας διαιρείται σε τρεις ζώνες [24]:

- *Ζώνη αστικής κάλυψης UAC (Urban Area Coverage):* Οι γωνίες ανύψωσης των επίγειων σταθμών ως προς την πλατφόρμα κυμαίνονται μεταξύ 30 και 90 μοιρών. Η περιοχή κάλυψης στην περίπτωση αυτή εκτείνεται από το σημείο ναδίρ κάτω από την πλατφόρμα έως τα 35 ή 43 Km, για υψόμετρο λειτουργίας 21 και 25 Km αντιστοίχως. Οι χρήστες της αστικής ζώνης μπορούν να έχουν φορητές τερματικές συσκευές με εύρος δέσμης περίπου 11 μοίρες ή κεραίες κέρδους 26 dBi και διαστάσεων 10 cm επί 10 cm. Τα τερματικά αυτά χρειάζονται κατά προσέγγιση 0.15 watt εκπεμπόμενης RF ισχύος. Οι κεραίες στον εναέριο σταθμό πρέπει να έχουν κέρδος 30 dBi (1 watt RF ισχύος ανά κανάλι).
- *Ζώνη προαστιακής κάλυψης SAC (Suburban Area Coverage):* Οι γωνίες ανύψωσης των επίγειων σταθμών είναι μεταξύ 15 και 30 μοιρών. Η περιοχή κάλυψης στην περίπτωση αυτή εκτείνεται από τα όρια της ζώνης UAC έως τα 76.5 ή 90.5 Km, για υψόμετρο λειτουργίας 21 και 25 Km αντιστοίχως. Στα τερματικά απαραίτητη είναι η χρήση κατευθυντικών κεραιών

Πίνακας 2.5: Διάμετρος Κάλυψης από Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα

Γωνία Ανύψωσης ($^{\circ}$)	Ζώνη Κάλυψης	Διάμετρος Ραδιοκάλυψης (Km)		
		Πλατφόρμα στα 15.5 Km	Πλατφόρμα στα 21 Km	Πλατφόρμα στα 30 Km
5	RAC	310	405	548
10	RAC	169	226	316
15	RAC/SAC	114	153	216
20	SAC	84	114	161
25	SAC	66	89	127
30	SAC/UAC	53	72	103
35	UAC	44	60	85
40	UAC	37	50	71
45	UAC	31	42	60
50	UAC	26	35	50
55	UAC	22	29	42
60	UAC	18	24	34

υψηλότερου κέρδους (41 dBi) με ισχύ εκπομπής 0.2 watt. Οι ίδιες κεραίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις ζώνες UAC για σταθερή εγκατάσταση σε οροφές κτιρίων. Η εναέρια πλατφόρμα έχει όπως και πριν κεραίες κέρδους 30 dBi.

- *Ζώνη αγροτικής κάλυψης RAC (Rural Area Coverage)*: Οι γωνίες ανύψωσης κυμαίνονται από 5 ως 15 μοίρες και η περιοχή κάλυψης υπολογίζεται ότι φτάνει από τα όρια της ζώνης SAC ως τα 203 ή 234 Km, ανάλογα αν η πλατφόρμα βρίσκεται στα 21 ή 25 Km από την επιφάνεια της θάλασσας. Η αγροτική ζώνη αναμένεται να αφιερωθεί στην υψηλής ταχύτητας, σημείου προς σημείο πρόσβαση και στην ευρεία κάλυψη περιοχών κάνοντας χρήση χαμηλότερων συχνοτήτων, μεταξύ 800 MHz και 5 GHz, καθώς η εξασθένηση που προκαλείται από τη βροχή και άλλα ατμοσφαιρικά φαινόμενα στα 47/48 GHz είναι πολύ μεγάλη.

2.8.2 Χαρακτηριστικά Εκπομπής

Οι παράμετροι εκπομπής της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας [24] για την V ζώνη συχνοτήτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.6. Η επικοινωνία με τους τερματικούς χρήστες γίνεται με διαμόρφωση TDM 4-PSK με εύρος ζώνης 11 MHz για την κάτω ζεύξη και 2.2 MHz για την άνω

ζεύξη. Η επικοινωνία με τους πυλαίους σταθμούς (Gateways) γίνεται με χρήση διαμόρφωσης 64-QAM με εύρος ζώνης 88 MHz (11 MHz ανά φέρον). Αυτά με την υπόθεση ότι γίνεται χρήση 2x100 MHz φάσματος. Αν το φάσμα συχνοτήτων είναι στα 2x300 MHz, τότε θα μπορούσε η επικοινωνία της πλατφόρμας με τους τερματικούς χρήστες να πραγματοποιείται με εύρος 33 MHz στην κάτω ζεύξη.

Οι αντίστοιχες παράμετροι για τους επίγειους σταθμούς παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.7. Για την άνω ζεύξη οι τερματικοί χρήστες κάνουν χρήση multicarrier TDMA με QPSK διαμόρφωση, ενώ οι πυλαίοι σταθμοί χρησιμοποιούν παρόμοιες τεχνικές με αυτές της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας.

Πίνακας 2.6: Παράμετροι εκπομπής στρατοσφαιρικής πλατφόρμας

Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα		
Ζεύξη	Ισχύς Εκπομπής (dBW)	Κέρδος Κεραίας (dBi)
Αστική	1.3	30
Προαστιακή	1.3	30
Αγροτική	3.5	41
Gateway-Αστική	0	35
Gateway-Προαστιακή	9.7	38

Πίνακας 2.7: Παράμετροι εκπομπής επίγειων σταθμών Στρατοσφαιρικού Δικτύου

Επίγειοι Σταθμοί		
Ζεύξη	Ισχύς Εκπομπής (dBW)	Κέρδος Κεραίας (dBi)
Αστική	-8.2	23
Προαστιακή	-7	38
Αγροτική	-1.5	38
Gateway-Αστική	1.7	46
Gateway-Προαστιακή	13.4	46

2.8.3 Διαγράμματα Ακτινοβολίας Κεραιών

Στη παρούσα διατριβή μελετάμε τις παρεμβολές με βάση τα διαγράμματα ακτινοβολίας των κεραιών που προτείνει η ITU-R. Τα διαγράμματα ακτινοβολίας των κεραιών των επίγειων σταθμών (τερματικοί χρήστες, πυλαιοί σταθμοί) του στρατοσφαιρικού συστήματος βασίζονται στο ακόλουθο μαθηματικό μοντέλο [27]:

$$G(\varphi) = G_{\max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{για } 0^\circ < \varphi < \varphi_m \quad (2.8.1)$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{για } \varphi_m \leq \varphi < 100 \frac{\lambda}{D} \quad (2.8.2)$$

$$G(\varphi) = 52 - 10 \log \frac{D}{\lambda} - 25 \log \varphi \quad \text{για } 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 48^\circ \quad (2.8.3)$$

$$G(\varphi) = 10 - 10 \log \frac{D}{\lambda} \quad \text{για } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \quad (2.8.4)$$

$$G_1 = 2 + 15 \log \frac{D}{\lambda} \quad (2.8.5)$$

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{\max} - G_1} \quad (2.8.6)$$

$$20 \log \frac{D}{\lambda} \approx G_{\max} - 7.7 \quad (2.8.7)$$

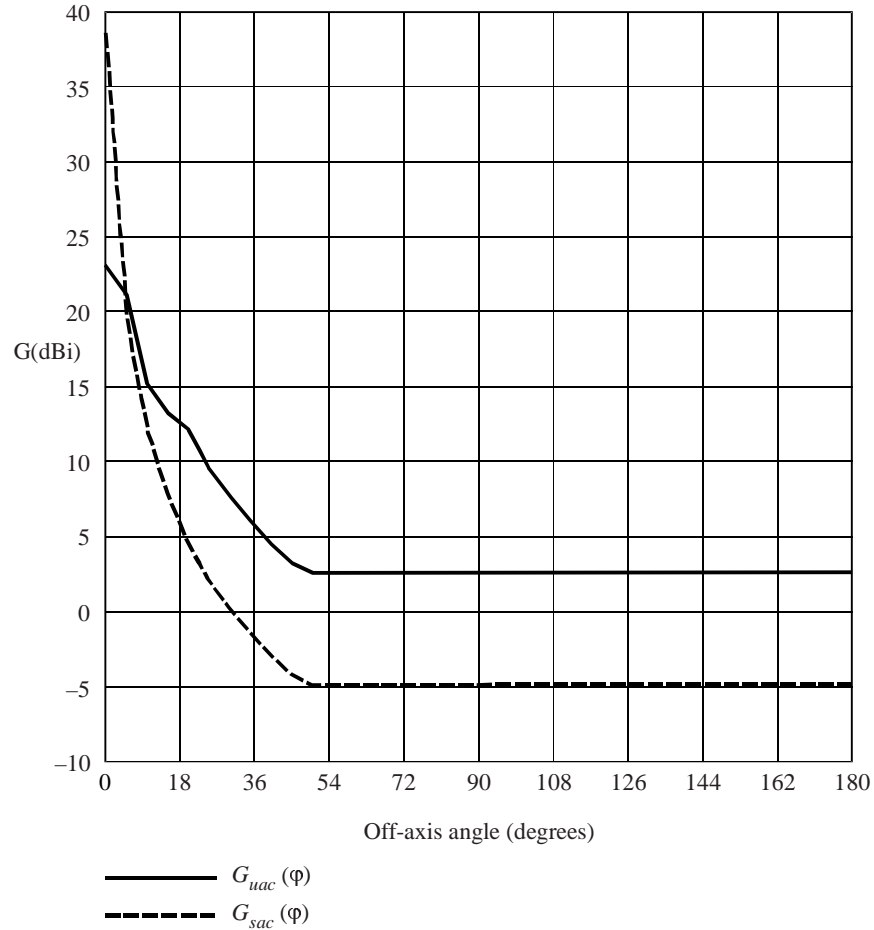
D : η διάμετρος της κεραίας,

λ : το μήκος κύματος (εκφρασμένο στις ίδιες μονάδες),

$G(\varphi)$: το κέρδος της κεραίας σε γωνία φ ως προς την κύρια κατεύθυνση (dBi),

φ : η γωνία απόκλισης (μοίρες),

Ενδεικτικά στο Σχήμα 2.8.3, απεικονίζεται το διάγραμμα ακτινοβολίας για τους τερματικούς χρήστες του ΣΔ στην αστική (UAC) και προαστιακή (SAC) περιοχή κάλυψης.



Σχήμα 2.11: Διάγραμμα ακτινοβολίας επίγειου σταθμού ΣΔ σύμφωνα με την σύσταση ITU-R F.699

Τα διαγράμματα ακτινοβολίας των κεραιών των στρατοσφαιρικών πλατφορμών βασίζονται στο ακόλουθο μαθηματικό μοντέλο [31]:

$$G(\varphi) = G_m - \left(\varphi/\varphi_b\right)^a \quad \text{για } \varphi_b \leq \varphi \leq \alpha\varphi_b \quad (2.8.8)$$

$$G(\varphi) = G_m + L_N + 20 \log z \quad \text{για } \alpha\varphi_b \leq \varphi \leq 0.5b\varphi_b \quad (2.8.9)$$

$$G(\varphi) = G_m + L_N \quad \text{για } 0.5b\varphi_b < \varphi \leq b\varphi_b \quad (2.8.10)$$

Κεφάλαιο 2.

$$G(\varphi) = X - 25 \log \varphi \quad \text{για } b\varphi_b < \varphi \leq Y \quad (2.8.11)$$

$$G(\varphi) = L_F \quad \text{για } Y < \varphi \leq 90^\circ \quad (2.8.12)$$

όπου:

$$X = G_m + L_N + 25 \log(b\varphi_b) \quad (2.8.13)$$

$$Y = b\varphi_b 10^{0.04(G_m + L_N - L_F)} \quad (2.8.14)$$

$$\varphi_b = \sqrt{\frac{27000}{10^{0.1G_m}}} / 2 \quad (2.8.15)$$

$$L_B = 15 + L_N + 0.25G_m + 5 \log z \quad (2.8.16)$$

$G(\varphi)$: το κέρδος της κεραίας σε γωνία φ ως προς την κύρια κατεύθυνση (dB_i),

G_m : το μέγιστο κέρδος (dB_i),

$L_N = -20 \text{ dB}_i$, $L_F = -10 \text{ dB}_i$, για την καλύτερη απόδοση των κεραιών της πλατφόρμας,

z : ο λόγος μεγίστου προς μικρότερου άξονα για την ακτινοβολούμενη δέσμη.

2.9 Δυνατότητες των Στρατοσφαιρικών Δικτύων

Τα συστήματα που βασίζονται στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες διατηρούν τα πλεονεκτήματα των επίγειων και δορυφορικών συστημάτων. Η μοναδική θέση από την οποία λειτουργούν προσφέρει σημαντικό πλεονέκτημα προϋπολογισμού ζεύξης και αμελητέες καθυστερήσεις διάδοσης του ραδιοσήματος σε σύγκριση με τα δορυφορικά συστήματα και αρκετά μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης σε σύγκριση με τα επίγεια συστήματα. Επιπλέον παρέχουν μεγαλύτερου μήκους ζεύξεις σημείο-προς-σημείο και σημείο-προς-πολλαπλά σημεία με μικρότερη εξασθένιση βροχής από τις επίγειες ζεύξεις.

Λόγω της γεωμετρίας και της αρχιτεκτονικής του συστήματος, οι γωνίες ανύψωσης των επίγειων τερματικών ως προς τις εναέριες πλατφόρμες λαμβάνουν μεγάλες τιμές στο εύρος των 10° - 90° . Οι γεωστατικοί δορυφόροι είναι ως επί το πλείστον ορατοί με πολύ μικρότερες γωνίες, επειδή η τροχιά τους περιορίζεται στο επίπεδο του Ισημερινού. Στα επίγεια συστήματα οι χρησιμοποιούμενες γωνίες ανύψωσης είναι ακόμα μικρότερες. Ενδεικτικά από μια κατανομή που θα παρουσιαστεί στην ενότητα §3.3.2.3 φαίνεται ότι περίπου το 90% των τιμών είναι στο εύρος των 0-4 μοιρών. Οι στρατοσφαιρικές μεταδόσεις χρησιμοποιούν υψηλή επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων επιτυγχάνοντας εξαιρετικά μικρά μεγέθη κυψελών, συνεπώς και αυξημένη χωρητικότητα. Οι κυψέλες που σχηματίζονται από τους δορυφόρους στη γήινη επιφάνεια είναι αναγκαστικά πολύ μεγαλύτερες και η χωρητικότητα των ζεύξεων περιορισμένη. Η διάμετρος των στρατοσφαιρικών κυψελών κυμαίνεται από 1 έως 10 Km, για τους LEO δορυφόρους η αντίστοιχη τιμή είναι 50 Km, ενώ η κυψέλη που σχηματίζεται από γεωστατικό δορυφόρο δεν μπορεί να έχει διάμετρο μικρότερη των 400 Km.

Λόγω του μεγάλου ύψους τροχιάς των δορυφόρων, τα μεταδιδόμενα σήματα υπόκεινται σε καθυστερήσεις που φτάνουν τα 250 με 300 msec. Οι καθυστερήσεις αυτές είναι απαγορευτικές για ευρυζωνικές διαδραστικές εφαρμογές, όπου είναι κρίσιμη η έγκαιρη λήψη των σημάτων. Τα στρατοσφαιρικά συστήματα λειτουργούν πολύ πλησιέστερα στην επιφάνεια της γης με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν αμελητέες καθυστερήσεις διάδοσης της τάξης των 0.35 msec. Οι απώλειες ελευθέρου χώρου είναι ανάλογες του τετραγώνου της απόστασης που διανύει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Επειδή τα δορυφορικά σήματα καλούνται να ταξιδέψουν πολλαπλάσια απόσταση σε σχέση με τα στρατοσφαιρικά, είναι επόμενο να υποφέρουν από μεγαλύτερες αποσβέσεις. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι στα 2 GHz ο προϋπολογισμός ζεύξης ενός στρατοσφαιρικού συστήματος πλεονεκτεί κατά 34 dB σε σχέση με ένα LEO δορυφόρο και κατά 66 dB σε σχέση με έναν GEO. Τα στρατοσφαιρικά συστήματα υποστηρίζουν γρήγορους ρυθμούς μεταδόσεων

Κεφάλαιο 2.

που φτάνουν τα 155 Mbps. Οι γεωστατικοί δορυφόροι επιτυγχάνουν εξίσου μεγάλες ταχύτητες, όμως οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς λειτουργούν την προς τα κάτω ζεύξη στα 64 Mbps και την προς τα άνω ζεύξη μόλις στα 2 Mbps.

Μια μόνο πλατφόρμα είναι ικανή να παρέχει επικοινωνία σε δεδομένη περιοχή, ενώ το δίκτυο μπορεί σταδιακά να επεκτείνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις κάλυψης και χωρητικότητας. Στην περίπτωση δορυφόρων χαμηλής τροχιάς χρειάζεται να εκτοξευθούν πολλοί LEO δορυφόροι προτού το σύστημα τεθεί σε λειτουργία. Οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες επαναφέρονται στη Γη αρκετές φορές κατά τη διάρκεια της ζωής τους για έλεγχο, συντήρηση ή επισκευή. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία τους και παράλληλα γίνεται διαρκής αναβάθμιση του ωφέλιμου φορτίου. Στους δορυφόρους δεν υπάρχει τέτοια δυνατότητα. Η δυναμική ανάθεση πόρων και η αναπροσαρμογή των σχημάτων επαναχρησιμοποίησης συχνότητας σε πραγματικό χρόνο καθιστούν τα στρατοσφαιρικά συστήματα ιδανικά για εξυπηρέτηση περιοχών με μεταβαλλόμενες απαιτήσεις κίνησης. Συγχρόνως αποτελούν ακόμα ένα συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών.

Παρά το γεγονός ότι το κόστος ενός Στρατοσφαιρικού Δικτύου δεν μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια, αναμένεται να είναι χαμηλότερο από το κόστος οποιουδήποτε δορυφορικού συστήματος. Πράγματι τα στρατοσφαιρικά συστήματα δεν απαιτούν μηχανισμό εκτόξευσης, ούτε πολύπλοκη επίγεια υποδομή. Κάνουν χρήση μικρών, φθηνών τερματικών συσκευών ή ακόμα και του συμβατικού επίγειου εξοπλισμού. Ακόμα χρησιμοποιούν εναέριες κεραίες πολύ μικρότερων διαστάσεων από τα μεγάλα παραβολικά κάτοπτρα που φέρουν οι δορυφορικοί αναμεταδότες.

Οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια προκειμένου να κινούνται ή να αιωρούνται στη στρατόσφαιρα. Δεν εκτοξεύονται από τη Γη όπως οι δορυφόροι και συνεπώς δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον με καύσιμη ύλη. Οι μεγάλες απώλειες ελευθέρου χώρου στα δορυφορικά συστήματα καθιστούν απαραίτητη την εκπομπή σε υψηλές στάθμες ισχύος, προκειμένου οι δέκτες να λαμβάνουν ένα ανιχνεύσιμο σήμα. Τα στρατοσφαιρικά συστήματα έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν με χαμηλότερη απαιτούμενη ισχύ. Στις περιπτώσεις δορυφόρων μικρού ή μεσαίου ύψους εισάγεται πρόσθετη πολυπλοκότητα στο σύστημα από τον καθορισμό και έλεγχο σύνθετων τροχιών κίνησης. Οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες παραμένουν σχεδόν στατικές ή κινούνται σε μικρές τροχιές γύρω από δεδομένο σημείο, οπότε δεν απαιτούν επιπλέον προγραμματισμό. Οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες μπορούν να εγκατασταθούν και να παρέχουν άμεσα υπηρεσίες. Αντίθετα οι δορυφόροι απαιτούν τη μεσολάβηση ενός μεγάλου χρονικού διαστήματος από την κατασκευή ως την εκτόξευση και τη λειτουργία τους επί τροχιάς.

Πίνακας 2.8: Σύγκριση Επίγειων, Δορυφορικών και Στρατοσφαιρικών Συστημάτων

Χαρακτηριστικό	Επίγεια Ασύρματα	Δορυφορικά	Στρατοσφαιρικά
Καθυστερήση Διάδοσης	χαμηλή	Πρόβλημα εξασθένησης στις επικοινωνίες φωνής για GEO-MEO	χαμηλή
Ποιότητα Διαύλου Μετάδοσης	Rayleigh-διάυλος, απ. έως και 50dB/δεκάδα καλή ποιότητα σήματος με σωστή τοποθέτηση κεραίας	free-space-like διάυλος με Ricean διαλείψεις, απώλειες έως 20dB/δεκάδα	free-space-like διάυλος με Ricean διαλείψεις στις ιδ. αποστ. με τα επίγεια
Ανάπτυξη Συστήματος	Σταδιακή ανάπτυξη για πλήρη κάλυψη	Παροχή υπηρεσιών μόνο όταν αναπτυχθεί πλήρως το σύστημα	Παροχή υπηρεσιών με μια πλατφόρμα και επίγεια υποστήριξη
Επέκταση Συστήματος	Αύξηση Χωρητικότητας με διάσπαση κυψελών	Αύξηση Χωρητικότητας με περισσότερους δορυφόρους	Spot-beam Resizing Ανάπτυξη πλατφορμών
Πολυπλοκότητα λόγω κίνησης	Κινητά Τερματικά	Κίνηση LEO-MEO	Αστάθεια πλατφόρμας
Κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους	Ικανοποιητική κάλυψη	Μη εφικτή	Κάλυψη πιθανή
Εύρος γεωγραφικής κάλυψης	Λίγα χιλιόμετρα ανά σταθμό βάσης	1/3 της Γης από GEO Παγκόσμια κάλυψη από MEO-LEO	έως και 200 Km ανά πλατφόρμα
Θέματα προστασίας υγείας από εκπομπές	Χαμηλής ισχύος τερματικά	Υψηλής ισχύος τερματικά (λόγω υψηλών απωλειών)	Επίπεδα ισχύος παρόμοια με επίγεια συστήματα (εκτός απο μεγ. περ. καλ.)
Κυψέλες (Διάμετρος)	0.1-1 Km	50 Km για LEOs άνω των 400 Km για GEOs	1-10 Km
Κόστος	Κυμαίνεται	άνω των €200 εκ. για GEO €5-10 εκ. για LEO	Πιθανώς άνω των €50 εκ.
Σχίαση από περιβάλλον διαδ.	Προβλήματα στην κάλυψη Χρήση επαναληπτών	Προβλήματα μόνο στις χαμηλές γων. ανύψωσης	Παρόμοια με δορυφορικά

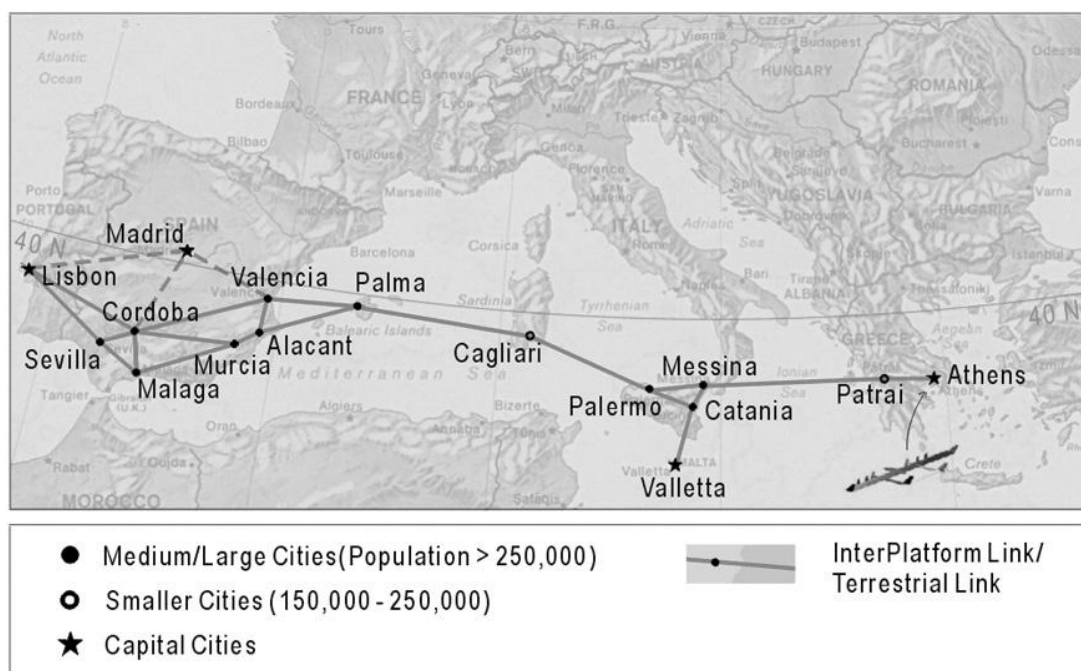
2.9.1 Γενικές Τάσεις στην Εξέλιξη των Στρατοσφαιρικών Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια ραγδαία ανάπτυξη στην περιοχή των ραδιοεπικοινωνιών με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών. Αυτή η τάση αντικατοπτρίζεται και στα διεθνή ερευνητικά προγράμματα όπως είναι η Ευρωπαϊκή Δράση 297, (COST 297, High Altitude Platforms for Communications and Other Services, 2005-2009), με στόχο την έρευνα στον τομέα της χρήσης των στρατοσφαιρικών πλατφορμών για παροχή τηλεπικοινωνιακών και όχι μόνο υπηρεσιών [33], το διεθνές ερευνητικό πρόγραμμα CAPANINA (IST 6ο πλαίσιο, 2004-2008), με στόχο την δημιουργία ενός υβριδικού στρατοσφαιρικού/δορυφορικού/επίγειου τηλεπικοινωνιακού δικτύου για παροχή υπηρεσιών τόσο σε αστικές όσο και σε γεωγραφικά απομακρυσμένες περιοχές [1].

Έντονη είναι και η ερευνητική δραστηριότητα των ομάδων εργασίας της ITU-R για την περίοδο 2003-2007 όπως διαφαίνεται και από τις ερωτήσεις 212-2/9, 218-1/9, 251-1/4 που προέκυψαν μετά το πέρας του παγκόσμιου συνεδρείου τηλεπικοινωνιών WRC-2003 [38]. Το 2003 ολοκληρώθηκε το πρώτο ευρωπαϊκό δίκτυο στρατοσφαιρικών πλατφορμών HELINET (IST) 5ο πλαίσιο, 2000-2003) με εφαρμογές όπως ευρυζωνικό ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών, περιβαλλοντική παρακολούθηση, πλοήγηση και εντοπισμό θέσης [9].

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν το πρόγραμμα έρευνας και ανάπτυξης από το 1998 έως σήμερα των ερευνητικών κέντρων της Ιαπωνίας (CRL (Communications Research Laboratory) και TAO (Yokosuka Research Center of Telecommunications Advancement Organization of Japan)), που περιλαμβάνει και τις πρώτες επιτυχείς δοκιμές ραδιομετάδοσης από ύψος 20 Km (2002) [16], και το πρόγραμμα έρευνας και ανάπτυξης για Στρατοσφαιρικό Δίκτυο παροχής κινητών υπηρεσιών 3ης γενιάς και σταθερών υπηρεσιών στην ζώνη 48/47 GHz από τα Ινστιτούτα Τηλεπικοινωνιών και Αεροδιαστημικής της Κορέας (Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI) and Korean Aerospace Research Institute (KARI)) [20].

Θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να δούμε σε κάποια χρόνια ένα δίκτυο από στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που θα συνδέει τηλεπικοινωνιακά μικρές και μεγάλες πόλεις της Μεσογείου, όπως αυτό που εμπνεύστηκαν οι ερευνητές του προγράμματος HELINET (Σχήμα 2.12) [9].



Σχήμα 2.12: Ενοποιημένο Στρατοσφαιρικό Δίκτυο Μεσογειακών Χωρών

2.10 Συμπεράσματα

Τα Στρατοσφαιρικά Δίκτυα παρουσιάζουν τεράστιες δυνατότητες, αυτό έχει διαφανεί από τα έως τώρα ερευνητικά αποτελέσματα, αλλά και από το συνεχές ενδιαφέρον των ερευνητών με ειδικά θέματα σε διεθνή περιοδικά [29], [30] και διεθνή συνέδρια [11]. Αυτό που λείπει έως σήμερα είναι να αποδειχθεί η εφαρμοσιμότητά τους σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, μέσω πειραματικών μεταδόσεων μακράς διάρκειας, ή μέσω κάποιας εφαρμογής σε οποιοδήποτε μέρος του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων στο οποίο έχουν ανάθεση (2.1 GHz, 31/28 GHz, 48/47 GHz). Για την Ελλάδα και τις χώρες της Ευρώπης, θα ήταν σημαντικό πέρα από την ανάθεση των 48/47 GHz για σταθερές υπηρεσίες, να υπάρξει και μια συντονισμένη προσπάθεια για την εύρεση και μιας νέας εναλλακτικής χαμηλότερης ζώνης συχνοτήτων.

Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάστηκε η τελευταία λέξη της τεχνολογίας ⁴ των στρατοσφαιρικών πλατφορμών και μελετήθηκαν θέματα όπως:

Μηχανισμοί διάδοσης στα 48/47 GHz: Υπολογίστηκε η σχέση μεταξύ εξασθένησης λόγω βροχής σε διάφορες συχνότητες και της μη διαθεσιμότητας για επίγειο σταθμό ΣΔ που λειτουργεί με συγκεκριμένη γωνία με την στρατοσφαιρική πλατφόρμα χρησιμοποιώντας το μοντέλο ITU-R P.618. Εάν η απαιτούμενη διαθεσιμότητα ζεύξης είναι μικρότερη από 99.5%, ένα στρατοσφαιρικό σύστημα θα μπορεί να παρέχει το απαραίτητο περιθώριο ζεύξης ακόμα και στις υψηλές συχνότητες. Εντούτοις, πολύ υψηλοί στόχοι διαθεσιμότητας όπως 99.99%, είναι επιτεύξιμοι μόνο στις χαμηλότερες ζώνες συχνοτήτων.

Ανάλυση των παρεμβολών που επιβαρύνουν το ΣΔ, και μέγιστη επιτρεπτή παρεμβολή: Τα ΣΔ βασίζονται σε κεραίες πολλαπλών δεσμών και μοιάζουν στην ουσία σαν ένα κυψελωτό σύστημα όπου κάθε δέσμη είναι μια κυψέλη. Κατά συνέπεια είναι πολύ σημαντικό ο σχεδιασμός του δικτύου να γίνεται με βάση τις παρεμβολές που μπορεί να προκύψουν ανεξάρτητα από τον θερμικό θόρυβο και τα φαινόμενα διαλείψεων. Παρουσιάστηκαν όλα τα είδη παρεμβολής που επιβαρύνουν ένα ΣΔ, και εξήχθησαν τα επιτρεπτά όρια ομοδιαυλικής παρεμβολής που δέχεται ένα ΣΔ.

Τύποι στρατοσφαιρικών πλατφορμών: Παρουσιάστηκαν οι τρεις πιο διαδεδομένες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, τα ηλιακά τροφοδοτούμενα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, τα αερόπλοια, και τα επανδρωμένα αεροσκάφη, και έγινε μια πρώτη σύγκριση από την οποία διαφαίνονται επι-

⁴state-of-the-art, Βάση τηλεπικοινωνιακών όρων, ΕΛΟΤ, ΟΤΕ. www.moto-teleterm.gr

κρατέστερα τα αερόπλοια.

Παράμετροι ραδιοκάλυψης από στρατοσφαιρική πλατφόρμα: Έγιναν υπολογισμοί για τις δυνατότητες ραδιοκάλυψης, και την ορατή απόσταση μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Ενδεικτικά μια στρατοσφαιρική πλατφόρμα στα 25 Km μπορεί να καλύψει ένα κύκλο ακτίνας 91 Km και μια επιφάνεια 25754 Km^2 , ενώ η ορατή απόσταση προσεγγίζει τα 676 Km.

Αρχιτεκτονική ΣΔ: Η μελέτη στο πλαίσιο της διατριβής στηρίζεται σε διάταξη αστερισμού όπως προτείνεται στην σύσταση ITU-R F.1500, όπου η πλατφόρμα λειτουργεί ως ο κύριος εξυπηρετητής. Το φορτίο αποτελείται από πολλαπλές δέσμες προς την Γη παρέχοντας επαρκή κάλυψη σε μια κυκλική περιοχή με διάμετρο κάλυψης έως και 548 Km, εξαρτώμενη από την γωνία ανύψωσης των τερματικών του ΣΔ. Στην ενότητα αυτή παρουσιάστηκαν οι τρεις βασικές ζώνες λειτουργίας του ΣΔ (Αστική, Προαστιακή, Αγροτική), τα χαρακτηριστικά εκπομπής και τα διαγράμματα ακτινοβολίας των κεραιών των επίγειων σταθμών (τερματικοί χρήστες, πυλαίοι σταθμοί), και των στρατοσφαιρικών πλατφορμών.

Τα δύο κρίσιμα θέματα που αφορούν:

1. τις συνθήκες συνύπαρξης των Στρατοσφαιρικών Δικτύων με τα πρωτεύοντα Επίγεια και Δορυφορικά Δίκτυα,
2. την αστάθεια των στρατοσφαιρικών πλατφορμών και τις συνέπειες που συνεπάγεται αυτή η αδυναμία σταθερής κίνησης,

μελετώνται εκτενώς στα επόμενα δύο Κεφάλαια.

Βιβλιογραφία

- [1] <http://www.capanina.org> (CAPANINA Project).
- [2] N.Colella, J.Martin, I.Akyildiz, “The HALO Network,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 38,no. 6, 2000, pp. 142-148, 2000.
- [3] R.K. Crane “Propagation Handbook for Wireless Communication System Design”, CRC Press LLC, 2003.
- [4] G. M. Djuknic, J. Freidenfelds, and Y. Okunev, “Establishing Wireless Communications Services via High-Altitude Aeronautical Platforms: A Concept Whose Time Has Come?”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 9, September 1997, pp. 128-135,
- [5] F. Dovis, R. Fantini, M. Mondin, and P. Savi, “Small-Scale Fading for High-Altitude Platform (HAP) Propagation Channels”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 20, no. 3, April 2002, pp. 641-647.
- [6] “Feasibility of use of high altitude platform stations in the fixed and mobile services in the frequency bands above 3 GHz allocated exclusively for terrestrial radiocommunication,” ITU-R Resolution 734 (Rev.WRC-03).
- [7] D. Grace, N. E. Daly, T. C. Tozer, A. G. Burr and D. A. J. Pearce, “Providing multimedia communications services from high altitude platforms”, *International Journal of Satellite Communications*, Wiley InterScience, vol. 19, no. 6, November/December 2001, pp. 559-580.
- [8] “Handbook on Satellite Communications”, International Telecommunication Union, Wiley Interscience, Third Edition, 2002.
- [9] <http://www.helinet.polito.it> (HeliNet Project).
- [10] H. Tsuji, M. Oodo, R. Miura, M. Suzuki, “The Development of Intelligent Beamforming Antenna Systems for Stratospheric Platforms in the Millimeter-Wave Band,” *Wireless Personal Communications, An International Journal*, Kluwer Academic Publishers, Special Issue ”High Altitude Platforms - Technologies and Applications”,Vol. 32, pp. 237-255, February 2005
- [11] International Workshop on High Altitude Platform Systems - WHAPS 05, Athens, September 5, 2005

- [12] ITU Radio Regulations 1.66A
- [13] ITU-R document 4-9S/11-E “Coordination distance for high altitude platform stations”
- [14] S. Karapantazis, F.N. Pavlidou, “Broadband Communications via High Altitude Platforms (HAPs)- a survey” to be published on IEEE online surveys & tutorials
- [15] R. Miura and M. Oodo, “Wireless Communications System Using Stratospheric Platforms, R&D Program on Telecom and Broadcasting System Using High Altitude Platform Stations”, *Journal of the Communications Research Laboratory*, Communications Research Laboratory, Tokyo, Japan, vol. 48, no. 4, pp. 33-48, 2001.
- [16] R. Miura, M.Suzuki, “Preliminary Flight Test Program on Telecom and Broadcasting Using High Altitude Platform Stations”, *Wireless Personal Communications, An International Journal*, Kluwer Academic Publishers, vol.24, no.2, Jan. 2003, pp. 341-361
- [17] V.Milas, P.Constantinou, “Interference Environment between High Altitude Platform Networks (HAPN) Geostationary (GEO) Satellite and Wireless Terrestrial Systems”, *Wireless Personal Communications, An International Journal*, Kluwer Academic Publishers, Special Issue ”High Altitude Platforms - Technologies and Applications”, Vol. 32, pp. 257-274, February 2005
- [18] D. Ortland, W. Skinner, et al “Measurements of stratospheric winds by the high resolution doppler imager” *Journal of Geophysical Research*, vol. 101, pp. 10, 351-10,363,1996.
- [19] Oestges C., “A Stochastic Geometrical Vector Model of Macro- and Megacellular Communication Channels”, *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 51, no. 6, November 2002, pp. 1352-1360.
- [20] J. Park, B. Ku, Y. Kim and D. Ahn, “Technology Development for Wireless Communications System Using Stratospheric Platform in Korea”, *The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2002 (PIMRC 2002)*, Proceedings, vol. 4, pp. 1596-1600, 15-18 Sept. 2002, Lisbon, Portugal.
- [21] “Potential use of the bands 27.5-28.35 GHz and 31-31.3 GHz by high altitude platform stations (HAPS) in the fixed service,” ITU-R Resolution 145 (Rev.WRC-03).
- [22] “Propagation data and prediction methods required for the design of systems using high altitude platform stations at about 47 GHz,” ITU-R Recommendation P.1409.

- [23] “Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems,” ITU-R Recommendation P.618-7.
- [24] “Preferred characteristics of systems in the fixed service using high altitude platforms operating in the bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz,” ITU-R Recommendation F.1500.
- [25] T.S.Rappaport “Wireless Communications, Principles and Practice” Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, 1996.
- [26] F. Rango, M. Tropea, and S. Marano “Integrated Services on High Altitude Platform: Receiver Driven Smart Selection of HAP-Geo Satellite Wireless Access Segment and Performance Evaluation,” *International Journal of Wireless Information Networks*, Vol. 13, No. 1, pp. 77-94, January 2006.
- [27] “Reference radiation patterns for line-of-sight radio-relay system antennas for use in coordination studies and interference assessment in the frequency range from 1 GHz to about 70 GHz,” ITU-R Recommendation F.699-5.
- [28] ‘Σχεδίαση Μικροκυματικών Ζεύξεων’, Ι.Δ. Κανελλόπουλος, ΕΠΙΣΕΥ, Αθήνα 1999.
- [29] Special Issue on “High Altitude Platform (HAP) Systems: Technologies and Applications,” *Wireless Personal Communications: An International Journal*, Volume 32, Issue 3-4 (February 2005).
- [30] Special Issue on “Communications via High Altitude Platforms: Technologies and Trials,” *International Journal of Wireless Information Networks*, Issue: Volume 13, Number 1 Date: January 2006
- [31] “Satellite antenna radiation pattern for use as a design objective in the fixed-satellite service employing geostationary satellites,” ITU-R Recommendation S.672-4.
- [32] “Technical and operational characteristics for the fixed service using high altitude platform stations in the bands 27.5-28.35 GHz and 31-31.3 GHz,” ITU-R Recommendation F. 1569.
- [33] T.C.Tozer “High Altitude Platform for Communications and Other Services - HAPCOS”, *Proposal for COST Action 297*, March 2004.

- [34] J. Thornton, D. Grace, C. Spillard, T. Konefal, T. Tozer, “Broadband Communications from a High-Altitude Platform: The European Helinet programme”, *IEE Electronics & Communications Engineering Journal*, pp.138-144, June 2001
- [35] J. Thornton, D. Grace, M. H. capstick, and T. C. Tozer, “Optimizing an Array of Antennas for Cellular Coverage From High Altitude Platform”, *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 2, no. 3, May 2003, pp. 484-492.
- [36] “Use of high altitude platform stations providing IMT-2000 in the bands 1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz and 2110-2170 MHz in Regions 1 and 3 and 1885-1980 MHz and 2110-2160 MHz in Region 2,” ITU-R Resolution 221 (Rev.WRC-03).
- [37] “Use of the bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz by high altitude platform stations (HAPS) in the fixed service and by other services,” ITU-R Resolution 122 (Rev.WRC-03).
- [38] World Radio Conference 2003, ITU, Final Acts

Κεφάλαιο 3

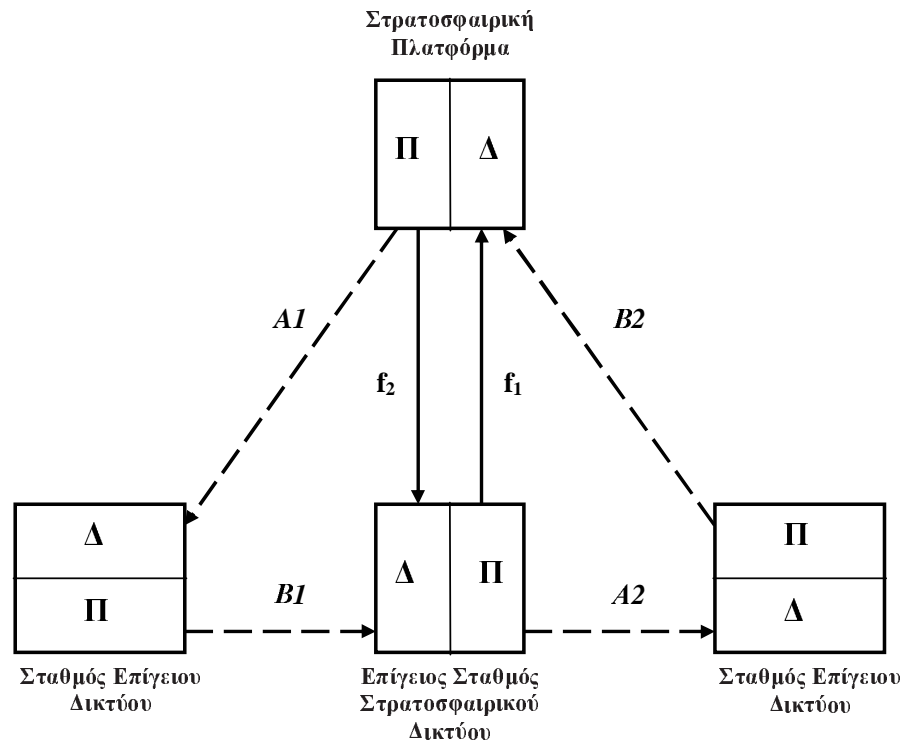
Νέες Μέθοδοι Συντονισμού και Ανάπτυξη Κριτηρίων Συνύπαρξης μεταξύ Επίγειων και Στρατοσφαιρικών Δικτύων

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται το περιβάλλον παρεμβολών που δημιουργείται μεταξύ του **Στρατοσφαιρικού Δικτύου (ΣΔ)** και του **Επίγειου Δικτύου (ΕΔ)**, και παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος συντονισμού για το σενάριο των παρεμβολών που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης (στρατόσφαιρα-προς-Γη) των ΣΔ προς τους δέκτες του ΕΔ. Στη συνέχεια προτείνεται ένα θεωρητικό μοντέλο εκτίμησης της αθροιστικής παρεμβολής που προκαλείται από τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ προς σταθμό του ΕΔ, με βάση το οποίο μελετώνται νέες αποστάσεις συντονισμού μεταξύ επίγειου δέκτη και του σημείου ναδύρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας.

Όπως προαναφέρθηκε στην §2.4, το ΣΔ μπορεί να λειτουργήσει στις συγκεκριμένες περιοχές της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών, ή στις συγκεκριμένες χώρες που καθορίζονται στην αναφορά [20] με τα ίδια δικαιώματα που έχουν και τα δίκτυα με πρωτεύουσα ανάθεση σε αυτές τις περιοχές, με την βασική όμως προϋπόθεση να έχει εξασφαλιστεί ότι η λειτουργία τους δεν προκαλεί ανεπίτρεπτα επίπεδα παρεμβολής στα πρωτεύοντα δίκτυα. Η κοινή λειτουργία των δύο

δικτύων μπορεί να οδηγήσει στην πρόκληση ανεπιθύμητων παρεμβολών και την διακοπή της ομαλής και σταθερής λειτουργίας των ΕΔ αλλά και των ΣΔ. Οι διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους οι σταθμοί του ΕΔ μπορούν να παρεμβάλλουν και να παρεμβάλλονται σε/από ένα ΣΔ απεικονίζονται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Διαδρομές Διάδοσης Παρεμβολής μεταξύ του Επίγειου Δικτύου και του Στρατοσφαιρικού Δικτύου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μελέτη έχει επικεντρωθεί στις συχνότητες των 47.2-47.5 GHz και 47.9-48.2 GHz, οι οποίες έχουν εκχωρηθεί από την ITU-R για την λειτουργία του ΣΔ για παροχή σταθερών υπηρεσιών στις χώρες της Ευρώπης. Το ΣΔ έχει συχνότητα άνω ζεύξης f_1 (ανάθεση στα 47.9-48.2 GHz) και κάτω ζεύξης f_2 (ανάθεση στα 47.2-47.5 GHz). Το ΕΔ έχει συχνότητα λειτουργίας f_3 (ανάθεση στα 47.2-50.2 GHz).

Οι διαδρομές διάδοσης παρεμβολής που προκαλούνται από την λειτουργία του ΣΔ είναι δύο: οι διαδρομές A1 και A2. Η διαδρομή A1 αναφέρεται στις παρεμβολές που προκαλούνται από τις πλατφόρμες του ΣΔ προς τους δέκτες του ΕΔ. Η παρεμβολή γίνεται στην συχνότητα κάτω ζεύξης του ΣΔ f_2 . Η διαδρομή A2 αναφέρεται στις παρεμβολές που προκαλούνται από τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ προς τους δέκτες του ΕΔ. Η παρεμβολή γίνεται στην συχνότητα άνω ζεύξης του ΣΔ f_1 .

Κεφάλαιο 3.

Οι διαδρομές διάδοσης παρεμβολής που προκαλούνται από την λειτουργία του ΕΔ είναι οι B1 και B2. Η διαδρομή B1 αναφέρεται στις παρεμβολές που προκαλούνται από τους σταθμούς του ΕΔ προς τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ. Η διαδρομή B2 αναφέρεται στις παρεμβολές που προκαλούνται από τους σταθμούς του ΕΔ προς τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες. Και στα δύο σενάρια η παρεμβολή γίνεται στην συχνότητα λειτουργίας του ΕΔ f_3 .

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αναλύονται και συζητώνται εκτενώς όλες οι διαδρομές διάδοσης παρεμβολής μεταξύ του ΣΔ και του ΕΔ, και γίνεται μέλετη για κάθε ένα από τα σενάρια και τις ειδικές του παραμέτρους. Περιγράφονται επίσης οι μέθοδοι που προτείνονται αλλά και αυτές που εφαρμόζονται διεθνώς για την επίτευξη αρμονικής συνύπαρξης μεταξύ των δύο δικτύων, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες λειτουργίας του κάθε δικτύου. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις παρεμβολές που προκαλεί το ΣΔ, και στην προστασία των σταθμών του ΕΔ.

Στην §3.2 γίνεται εκτενής αναφορά στα είδη των Επίγειων Δικτύων που υπάρχουν σήμερα. Έμφαση δίνεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά των ΕΔ που λειτουργούν στην χιλιοστομετρική ζώνη συχνοτήτων σύμφωνα με την ITU-R. Επίσης αναλύονται οι στόχοι διαθεσιμότητας και λειτουργικών λαθών για όλα τα είδη ΕΔ και η μέγιστη επιτρεπτή υποβάθμιση στους προαναφερόμενους στόχους την οποία μπορεί να δεχτεί ένα ΕΔ λόγω παρεμβολών από άλλα συστήματα που λειτουργούν στις ίδιες συχνότητες.

Στην §3.3 εξηγείται γιατί τα υπάρχοντα κριτήρια δεν επαρκούν και προτείνεται μια νέα μέθοδος συντονισμού που αφορά τις παρεμβολές που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης (στρατόσφαιρα-προς-Γη) των ΣΔ προς τους δέκτες του ΕΔ.

Η μέθοδος αυτή αφορά στην εύρεση αποστάσεων διαχωρισμού μεταξύ της περιοχής κάλυψης του ΣΔ και της περιοχής λειτουργίας του ΕΔ, και βασίζεται στις ακόλουθες παραμέτρους:

- Ενσωμάτωση της κίνησης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Μελετώνται τα τρία βασικά μοντέλα κίνησης που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία και επιλέγεται το βέλτιστο ως προς την προκαλούμενη στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής προς τον δέκτη του ΕΔ.
- Μελέτη της επίδρασης της παρεμβολής σε όρους κλασματικής υποβάθμισης της λειτουργίας του παρεμβαλλόμενου δικτύου, με δεδομένη τη χρονομεταβλητή φύση της συγκεκριμένης διαδρομής διάδοσης παρεμβολής.
- Ανάλυση με προσέγγιση σταδιακά αναπτυσσόμενου ΣΔ, συσχετίζοντας το ποσοστό ανά-



Σχήμα 3.2: Μοντέλο Προτεινόμενης Μεθόδου

πτυξης του ΣΔ με τον αριθμό των επίγειων τερματικών του ΣΔ στην αστική, προαστιακή και αγροτική περιοχή κάλυψης, καθώς και με τον αριθμό των πυλαίων σταθμών στην αστική και προαστιακή περιοχή κάλυψης.

- Χρήση κατανομής γωνιών ανύψωσης των ζεύξεων του ΕΔ, η οποία εξάγεται από πραγματικό δείγμα 1224 ζεύξεων στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής.

Στην §3.3.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν με βάση την προτεινόμενη μέθοδο, για τον χαρακτηρισμό της κλασματικής υποβάθμισης της λειτουργίας του ΕΔ λόγω παρεμβολών από ΣΔ σε ρεαλιστικό περιβάλλον ανάπτυξης των δύο δικτύων και οι αποστάσεις διαχωρισμού που εξάγονται μεταξύ της περιοχής κάλυψης του ΣΔ και της περιοχής λειτουργίας του ΕΔ οι οποίες εξασφαλίζουν αποδοτικότερες συνθήκες συνύπαρξης μεταξύ των δύο δικτύων.

Η §3.4 είναι αφιερωμένη στη μελέτη της διαδρομής διάδοσης παρεμβολής A2. Παρουσιάζονται τα υπάρχοντα κριτήρια συνύπαρξης, από τα οποία διαφαίνεται ότι η συνύπαρξη του ΕΔ και του ΣΔ σε κοινή περιοχή και συχνότητα παρουσιάζει σημαντική δυσκολία λόγω του μεγάλου ορατού πεδίου της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Περαιτέρω μελέτη θα ήταν σημαντική για την εύρεση επιπρόσθετων λειτουργικών σεναρίων και τεχνικών που θα διευκολύνουν την συνύπαρξη των σταθμών του ΕΔ και του ΣΔ στην χιλιοστομετρική ζώνη.

Στη λογική αυτή προτείνεται ένα θεωρητικό μοντέλο εκτίμησης της αθροιστικής παρεμβολής που προκαλείται από τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ προς σταθμό του ΕΔ, με βάση το οποίο μελετώνται νέες αποστάσεις συντονισμού μεταξύ επίγειου δέκτη και του σημείου ναδύρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας [37]. Η μελέτη αυτή γίνεται για την αστική ζώνη. Στην περίπτωση της προαστιακής και αγροτικής ζώνης διαπιστώθηκε ότι η συνύπαρξη των επίγειων σταθμών των δύο δικτύων είναι εφικτή ακόμα και στην ίδια περιοχή κάλυψης. Για αυτό το λόγο μελετάται η

Κεφάλαιο 3.

πιθανότητα συνύπαρξης των σταθμών του ΕΔ και των σταθμών του ΣΔ, στην περίπτωση που οι πρώτοι αναπτύσσονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στην προαστιακή περιοχή, και μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ.

Στην §3.5 περιγράφονται τα υπάρχοντα κριτήρια της ITU-R για την συνύπαρξη μεταξύ του ΕΔ και του ΔΔ, τα οποία θα μπορούσαν να υιοθετηθούν και για τις διαδρομές διάδοσης παρεμβολής B1, B2 λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των σταθμών του ΣΔ. Στις §3.5.2, 3.5.3 περιγράφονται το πλαίσιο της αρχικής μελέτης [35], [36] και τα αποτελέσματα για τη διαδρομή διάδοσης παρεμβολής B1 (παρεμβολή από σταθμό του ΕΔ προς επίγειο σταθμό του ΣΔ) και B2 (παρεμβολή από σταθμό του ΕΔ προς στρατοσφαιρική πλατφόρμα) αντίστοιχα. Στο τέλος κάθε ενότητας καταγράφονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από αυτή τη μελέτη καθώς και από την υπάρχουσα μελέτη της ITU-R [19].

3.2 Σταθερά Επίγεια Δίκτυα

3.2.1 Ανάπτυξη και Κατηγορίες Δικτύων

Ο μεγάλος ανταγωνισμός που επικρατεί τα τελευταία χρόνια στον τομέα των τηλεπικοινωνιών έχει οδηγήσει στην ταχεία ανάπτυξη ασύρματων Επίγειων Δικτύων (ΕΔ), είτε για την παροχή σταθερής ασύρματης πρόσβασης για τη διασύνδεση συνδρομητών, είτε επικουρικά ως υποστήριξη των ήδη υπάρχοντων τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Η απαίτηση για την ανάπτυξη νέων ασύρματων τεχνολογιών προστίθεται στις ήδη αναπτυγμένες υποδομές σταθερών ασύρματων δικτύων, τα οποία χρησιμοποιούνται εδώ και καιρό από πολλούς παρόχους σαν μέρος του σταθερού τηλεφωνικού δικτύου PSTN και για άλλες εφαρμογές [4].

Η μεγαλύτερη αύξηση στις αναθέσεις συχνοτήτων για ασύρματα ΕΔ τα τελευταία χρόνια προέρχεται από τον τομέα της υποστήριξης στις υποδομές των δημόσιων κινητών δικτύων, όπου ο καταγεγραμμένος αριθμός ζεύξεων σημείου προς σημείο (Point-to-Point, PP links) αυξήθηκε κατά 141% από το 1997 έως το 2001. Η παροχή υποστήριξης στις υποδομές μέσω ζεύξεων σημείου προς πολλαπλά σημεία (Point-to-MultiPoint, PMP links) (όπως για παράδειγμα τα δίκτυα σταθερής ασύρματης πρόσβασης) αυξήθηκε επίσης σημαντικά, λόγω της χρήσης τους σαν εναλλακτική επιλογή σε περιβάλλοντα με μεγάλη πυκνότητα σταθμών βάσεων (π.χ. σε αστικές περιοχές).

Η τάση αυτή της ανάπτυξης των Επίγειων Δικτύων τα τελευταία χρόνια υπογραμμίζει την προσοχή που θα πρέπει να δοθεί ώστε να εξασφαλιστούν οι βέλτιστες συνθήκες για την αρμονική τους συνύπαρξη με τα άλλα δίκτυα που χρησιμοποιούν τις ίδιες ζώνες συχνοτήτων.

Οι σταθερές επίγειες ζεύξεις παρέχουν διασύνδεση μεταξύ δύο ή περισσότερων σημείων για την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών όπως τη μετάδοση φωνής, video ή δεδομένων. Χρήση τέτοιων δικτύων κάνουν οι εταιρείες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών (υποδομή, δίκτυο κορμού κ.ά.), μεγάλες ομάδες χρηστών (ιδιωτικά ασύρματα δίκτυα, πρόσβαση σε απομακρυσμένες περιοχές) και ιδιωτικοί χρήστες (πρόσβαση συνδρομητή στο σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο ή σε άλλα δίκτυα).

Κεφάλαιο 3.

Τα σταθερά Επίγεια Δίκτυα διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

1. Τα δίκτυα κορμού μακρινής διαδρομής.

Τα δίκτυα αυτά αποτελούν πιθανόν την πιο συνηθισμένη εφαρμογή σταθερών ΕΔ. Τέτοια δίκτυα χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για τη μετάδοση τηλεφωνικής κίνησης σε μακρινές αποστάσεις μεταξύ των τοπικών κέντρων μέσα στο εθνικό σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο PSTN. Συχνά αποτελούν μέρος διεθνών τηλεπικοινωνιακών συνδέσεων. Τα δίκτυα αυτά δημιουργούνται από μεγάλες αλυσίδες ζεύξεων μεγάλης χωρητικότητας (συχνά με πολλά παράλληλα κανάλια) με ένα μέσο μήκος ανά ζεύξη 40-50 Km ή και περισσότερο. Λόγω των μεγάλων αποστάσεων και της μεγάλης χωρητικότητας των καναλιών, τα δίκτυα μακρινής διαδρομής λειτουργούν στις ζώνες συχνοτήτων κοντά στα 4 και στα 6 GHz. Κάποια δίκτυα ωστόσο, λειτουργούν στα 7/8 GHz ή στα 11 GHz. Σήμερα, τέτοια δίκτυα χρησιμοποιούνται μόνο σαν υποστήριξη σε άλλους τύπους δικτύων (κυρίως δικτύων οπτικών ινών) για να παρέχουν εφεδρικότητα στο εθνικό δίκτυο ή σε περιπτώσεις όπου δεν είναι εφικτή η χρήση οπτικών ινών για τη διασύνδεση κάποιας περιοχής. Αυτό σημαίνει ότι τέτοια δίκτυα είναι πιθανό να υπάρχουν για αρκετά χρόνια ακόμα, αλλά η ανάπτυξη τους αναμένεται να είναι αργή.

2. Τα δίκτυα υποστήριξης υποδομών.

Τα δίκτυα υποστήριξης υποδομών χρησιμοποιούνται κυρίως για τη διασύνδεση μεταξύ δύο ή περισσότερων κέντρων μεταγωγής και πολλών κόμβων σε διάφορα επίπεδα τηλεπικοινωνιακών δικτύων όπως είναι τα δημόσια κινητά τηλεφωνικά δίκτυα (Public Mobile Telephony Networks) ή τα δίκτυα σταθερής ασύρματης πρόσβασης (FWA). Τα δίκτυα αυτά ξεχωρίζουν από τα δίκτυα κορμού λόγω της παρουσίας πολλαπλών επιπέδων και διαφορετικών διατάξεων διασύνδεσης. Οι διατάξεις διακρίνονται σε αλυσίδες που συνδέουν απομακρυσμένα τμήματα του δικτύου, δακτυλίους δρομολόγησης και συνδυασμούς δακτυλίου/αστέρα δικτύων για τη διασύνδεση πολλών σταθμών βάσεων (ή άλλων ειδών τερματικών σταθμών) με τα τοπικά κέντρα μεταγωγής ή πολυπλεξίας. Οι ρυθμοί μετάδοσης μέσω τέτοιων δικτύων κυμαίνονται από 2 Mbps μέχρι NxSTM-1 (155-655 Mbps). Στην ουσία όλες οι διαθέσιμες συχνότητες για ασύρματα δίκτυα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και χρησιμοποιούνται από δίκτυα υποστήριξης υποδομών.

3. Τα δίκτυα σταθερής ασύρματης πρόσβασης.

Τα δίκτυα σταθερής ασύρματης πρόσβασης έχουν σχεδιαστεί για την παροχή απευθείας σύνδεσης μεταξύ του τερματικού εξοπλισμού ενός χρήστη και του δικτύου του παρόχου

κάποιων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών (τηλεφωνικό δίκτυο, δίκτυο μετάδοσης δεδομένων). Χρησιμοποιούν την ασύρματη τεχνολογία σημείου προς σημείο και σημείου προς πολλαπλά σημεία για να εξυπηρετήσουν ένα μεγάλο αριθμό χρηστών μέσα στην περιοχή κάλυψης ενός σταθμού βάσης. Η βασική δομή είναι αυτή ενός κυψελωτού συστήματος ενσωματωμένο σε ένα σενάριο ακίνητων τερματικών σταθμών. Τα δίκτυα σταθερής ασύρματης πρόσβασης στοχεύουν στην παροχή εναλλακτικών λύσεων σε περιπτώσεις όπου η χρήση χάλκινων καλωδίων είναι αδύνατη. Χρησιμεύουν για την παροχή υπηρεσιών τόσο στενού εύρους ζώνης όσο και ευρυζωνικών υπηρεσιών όπως μετάδοση πολυμέσων.

3.2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Τυπικών Επίγειων Δικτύων στην Χιλιοστομετρική Ζώνη (ITU-R)

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την διεξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων κατά την μελέτη παρεμβολών και την ανάπτυξη κριτηρίων συνύπαρξης μεταξύ του $\Sigma\Delta$ ¹ και του $\text{E}\Delta$ είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων αναμεταδόσεων που λειτουργούν ή αναπτύσσονται για να ικανοποιήσουν μελλοντικές απαιτήσεις. Επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε ως σύστημα αναφοράς για την μελέτη, τα τεχνικά χαρακτηριστικά που προτείνει η ITU-R για επίγεια συστήματα που λειτουργούν στην ζώνη συχνοτήτων μεταξύ 47.2 και 50.2 GHz [6].

Οι βασικές παράμετροι που απαιτούνται για την μελέτη παρεμβολής σε/από άλλα συστήματα είναι η συχνότητα του φέροντος, τα φασματικά χαρακτηριστικά, η ισοδύναμη ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς, το μοντέλο ακτινοβολίας της κεραίας, η στάθμη θερμικού θορύβου του δέκτη, το IF εύρος ζώνης συχνοτήτων, η λαμβανόμενη ισχύς σημάτων για διαφορετικές τιμές BER (ψηφιακά συστήματα), το ονομαστικό επίπεδο εισόδου δεκτών κα. Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι βασικές παράμετροι των συστημάτων που χρησιμοποιούνται στην μελέτη της Διατριβής.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στη μελέτη που ακολουθεί και αφορά τις παρεμβολές που δέχεται το $\text{E}\Delta$ από το $\Sigma\Delta$, χρησιμοποιούμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Σταθμών 3 και 4, καθώς όπως θα αναλύσουμε στην §3.2.4, είναι και οι πιο ευάλωτοι στις παρεμβολές. Στις περιπτώσεις που μελετάμε τις παρεμβολές που προκαλεί το $\text{E}\Delta$ στο $\Sigma\Delta$, τότε λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά του Σταθμού 1 που εμφανίζει την μεγαλύτερη τιμή ισοδύναμης ιστροπικά ακτινοβολούμενης ισχύος.

¹Τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του $\Sigma\Delta$ μελετήθηκαν στο Κεφάλαιο 2.

Πίνακας 3.1: Προτεινόμενα επίγεια συστήματα από την ITU-R στην V-ζώνη

Ασύρματα Επίγεια Συστήματα - Χαρακτηριστικά από ITU-R				
Ζώνη Συχνοτήτων (GHz)	47.2 - 50.2			
Τύπος σταθμού	Σταθμός 1	Σταθμός 2	Σταθμός 3	Σταθμός 4
Διαμόρφωση	2-FSK	4-QAM	16-QAM	256-QAM
Χωρητικότητα	1.544 Mbit/s	44.736 Mbit/s	90 Mbit/s	310 Mbit/s
Διαχωρισμός καναλιών (MHz)	5	50	50	50
Κέρδος κεραίας (μέγιστο) (dBi)	46	46	46	46
Απώλειες τροφοδοσίας (ελάχιστη) (dB)	0	0	0	0
Τύπος κεραίας	Παραβολικό	Παραβολικό	Παραβολικό	Παραβολικό
Μέγιστη ισχύς εξόδου Tx (dBW)	-11	-12	-2	-2
E.I.R.P. (μέγιστη) (dBW/MHz)	28	17	27	27
Εύρος ζώνης δέκτη IF (MHz)	2	50	50	50
Θερμικός θόρυβος δέκτη (dBW)	-130	-114	-122	-122
Rx επίπεδο εισόδου για 1×10^{-3} BER (dBW)	-122	-105	-106	-94

3.2.3 Στόχοι λειτουργίας

Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη αξιόπιστων κριτηρίων συνύπαρξης και την ρεαλιστική ανάλυση παρεμβολών μεταξύ δύο διαφορετικών τηλεπικοινωνιακών δικτύων είναι η ικανοποίηση των στόχων λειτουργίας που έχουν καθοριστεί από την ITU-T και την ITU-R για το κάθε δίκτυο. Οι στόχοι αυτοί έχουν καθοριστεί λαμβάνοντας υπόψη την ολοένα αυξανόμενη χρήση ραδιοφάσματος. Υπάρχουν πολλές συστάσεις που σχετίζονται με τους συνολικούς λειτουργικούς στόχους για διάφορα είδη υπηρεσιών και για διάφορα είδη ζεύξεων. Οι κυριότεροι στόχοι είναι η διαθεσιμότητα και ο ρυθμός λειτουργικών λαθών όπως περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες ενότητες.

3.2.3.1 Στόχοι Διαθεσιμότητας

Οι στόχοι στη διαθεσιμότητα κατά το σχεδιασμό ενός ασύρματου επίγειου συστήματος έχουν καθοριστεί στην σύσταση ITU-T F.557 [1]. Σύμφωνα με τη σύσταση αυτή, ο στόχος στη διαθεσιμότητα για ένα υποθετικό αναλογικό κύκλωμα αναφοράς (*Hypothetical Reference Circuit*,

HRC) μήκους 2500 km και για μία ψηφιακή διαδρομή αναφοράς (*Hypothetical Reference Digital Path, HRDP*) μήκους 2500 km πρέπει να είναι 99,7% του χρόνου. Το % ποσοστό υπολογίζεται για ένα χρονικό διάστημα, αρκετά μεγάλο ώστε να είναι στατιστικώς ορθό. Συνήθως αυτό το χρονικό διάστημα είναι μεγαλύτερο από ένα έτος αλλά η περίπτωση αυτή είναι ακόμα υπό εξέταση. Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η τιμή διαθεσιμότητας 99,7% είναι ενδεικτική. Συνήθως, η διαθεσιμότητα ενός επίγειου συστήματος κυμαίνεται από 99,5% έως 99,9%. Η ακριβής τιμή διαθεσιμότητας μέσα σε αυτό το εύρος εξαρτάται από τους συγκεκριμένους παράγοντες που επιδρούν στη ζεύξη, όταν ληφθούν υπόψη οι τοπικές συνθήκες (το περιβάλλον και οι μηχανισμοί διάδοσης του σήματος, η γεωγραφική θέση των σταθμών, η κατανομή του πληθυσμού).

Για ένα αναλογικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα, η περίοδος μη διαθεσιμότητας ξεκινά όταν, για τουλάχιστον μια από τις δύο κατευθύνσεις μετάδοσης, μία τουλάχιστον από τις παρακάτω συνθήκες συμβαίνει για τουλάχιστον 10 συνεχόμενα δευτερόλεπτα:

- το επίπεδο των συχνοτήτων βασικής ζώνης πέφτει το λιγότερο κατά 10 dB κάτω από το επίπεδο αναφοράς,
- για ένα τηλεφωνικό κανάλι, η μη σταθμισμένη ισχύς θορύβου (unweighted noise power) για χρόνο 5 ms είναι μεγαλύτερη από 10^6 pW0.

Για ένα ψηφιακό τηλεπικοινωνιακό σύστημα, η περίοδος μη διαθεσιμότητας ξεκινά μετά από 10 συνεχόμενα εξαιρετικά λανθασμένα δευτερόλεπτα (*Severely Errored Seconds, SES*), τουλάχιστον κατά τη μία κατεύθυνση μετάδοσης. Αυτά τα 10 δευτερόλεπτα θεωρούνται μη διαθέσιμος χρόνος. Ο ορισμός των SES υπάρχει στις συστάσεις ITU-T G.821 και G.826. Μια νέα περίοδος διαθέσιμου χρόνου ξεκινάει μετά από 10 συνεχόμενα μη εξαιρετικά λανθασμένα δευτερόλεπτα (*non-SES*) και για τις δύο κατευθύνσεις της μετάδοσης. Αυτά τα 10 δευτερόλεπτα θεωρούνται διαθέσιμος χρόνος. Σύμφωνα με τους παραπάνω ορισμούς, η συνολική διαθεσιμότητα μιας ζεύξης δίνεται από τον τύπο:

$$A = 100 [1 - \{(T_1 + T_2 - T_b)/T_e\}] \quad (3.2.1)$$

όπου:

A : η % διαθεσιμότητα της ζεύξης,

T_1 : ο συνολικός μη διαθέσιμος χρόνος στη μια κατεύθυνση μετάδοσης,

Κεφάλαιο 3.

T_2 : ο συνολικός μη διαθέσιμος χρόνος στη αντίθετη κατεύθυνση μετάδοσης,

T_b είναι ο μη διαθέσιμος χρόνος για αμφίδρομη μετάδοση,

T_e είναι η περίοδος εκτίμησης της διαθεσιμότητας.

Για μη αμφίδρομη μετάδοση, ισχύει: $T_2 = 0, T_b = 0$

Σε σενάρια παρεμβολών που εμπεριέχουν χρονομεταβλητά φαινόμενα και μελετώνται καλύτερα με την προσομοίωση και την εξαγωγή RF στατιστικών, μπορεί να γίνει μια απλουστευμένη προσέγγιση για τον υπολογισμό του μη διαθέσιμου χρόνου. Εφόσον υποτεθεί ότι η μόνη διαθέσιμη πληροφορία για τη ζεύξη είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (probability density function, pdf) του λόγου $C/(N+I)$, η μη διαθεσιμότητα μπορεί να υπολογιστεί ως το ποσοστό του χρόνου όπου ο ρυθμός λανθασμένων ψηφίων (BER) ξεπερνά το 10^{-3} . Ο μη διαθέσιμος χρόνος T_U ορίζεται λοιπόν ως εξής:

$$T_U = N_S \sum_{i=a}^x pdf_i \quad (3.2.2)$$

όπου:

N_S : ο συνολικός χρόνος της προσομοίωσης σε sec,

pdf_i : η υπολογισμένη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του λόγου $C/(N+I)$

a : η μικρότερη τιμή του λόγου $C/(N+I)$ στην κατανομή

x : η τιμή του λόγου $C/(N+I)$ που αντιστοιχεί σε $BER = 10^{-3}$

Η εκατοστιαία μη διαθεσιμότητα είναι λοιπόν: $100T_U/N_S$

Οι σχεδιαστές τηλεπικοινωνιακών δικτύων θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους όλες τις αιτίες διακοπής ή υποβιβασμού της ποιότητας της ζεύξης, οι οποίες επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του συστήματος. Οι κυριότεροι λόγοι μη διαθεσιμότητας σε ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα είναι οι εξής:

- αποτυχία ή υποβιβασμός του ασύρματου εξοπλισμού συμπεριλαμβανομένων των κωδικοποιητών και των αποκωδικοποιητών,

- αποτυχία του δευτερεύοντος εξοπλισμού,
- αποτυχία του εξοπλισμού παροχής ηλεκτρικής ισχύος,
- αποτυχία της κεραίας ή του τροφοδοτητή.

Τα ασύρματα δίκτυα νέας τεχνολογίας έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ιδιαίτερα αξιόπιστα. Ο μέσος χρόνος μεταξύ αποτυχιών (*Mean Time Between Failures, MTBF*) είναι εξαιρετικά μεγάλος ενώ η μη διαθεσιμότητα του συστήματος εξαρτάται κυρίως από το μέσο χρόνο αποκατάστασης της αποτυχίας (*Mean Time To Restore, MTTR*). Σ' ένα τυπικό σύστημα, η μη διαθεσιμότητα λόγω αποτυχίας του εξοπλισμού είναι της τάξης του 0,01% [2]. Αυτή η τιμή θεωρείται αντιπροσωπευτική. Ο μέσος χρόνος μεταξύ αποτυχιών είναι της τάξης 10^4 ωρών ενώ ο μέσος χρόνος αποκατάστασης μιας αποτυχίας είναι της τάξης κάποιων δεκάδων ωρών. Γι' αυτό, για τη μέτρηση της διαθεσιμότητας ενός συστήματος, χρησιμοποιούνται μεγάλα διαστήματα μέτρησης, όπως π.χ. ένα έτος.

Οι διακοπές ενός συστήματος που οφείλονται σε μεγάλο βύθισμα του σήματος λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης διαρκούν τις περισσότερες φορές λιγότερο από 10 sec. Ωστόσο, κάποιες φορές διαρκούν περισσότερο, με αποτέλεσμα να προκαλούν τη μη διαθεσιμότητα του συστήματος. Η παρατεταμένη ατμοσφαιρική κατακρήμνιση ή απόσβεση του σήματος λόγω ισχυρής βροχόπτωσης ή χιονιού διαρκεί συνήθως μεγάλο χρονικό διάστημα και προκαλεί μη διαθεσιμότητα σε ασύρματα συστήματα τα οποία λειτουργούν σε συχνότητες μεγαλύτερες από 10 GHz. Είναι δυνατό να εξαχθούν στατιστικές προβλέψεις στα φαινόμενα διάδοσης εφαρμόζοντας τους τύπους και τις μεθόδους που περιγράφονται στη σειρά P των ITU-R Recommendations. Επίσης, μια που η πιθανότητα για μεγάλη απόσβεση του σήματος είναι γενικά πολύ μικρή, ο χρόνος μη διαθεσιμότητας μπορεί να διαφέρει από χρόνο σε χρόνο.

Ο μη προβλέψιμος θόρυβος, ο οποίος προέρχεται από πηγές εξωτερικές ως προς το παρεμβαλλόμενο σύστημα, μπορεί να προκαλέσει μη διαθεσιμότητα στο σύστημα όταν η ισχύς του ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο κατώφλι. Σε αυτό το είδος διακοπής συμπεριλαμβάνεται και ο θόρυβος που προέρχεται από παρεμβολές από radars και δορυφορικά συστήματα με ανώμαλη διάδοση. Επίσης, φυσικές καταστροφές όπως σεισμοί μπορεί να προκαλέσουν την κατάρρευση κτιρίων και τη διακοπή της λειτουργίας των ασύρματων δικτύων. Τέλος, η ανθρώπινη παρέμβαση κατά τη διάρκεια συντήρησης του δικτύου θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη μια που προκαλεί μη διαθεσιμότητα στο σύστημα. Το ποσοστό συνεισφοράς καθενός από τους παραπάνω παράγοντες στη μη διαθεσιμότητα του συστήματος είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί με ακρίβεια

Κεφάλαιο 3.

και να μοντελοποιηθεί. Ωστόσο, θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό του συστήματος.

3.2.3.2 Στόχοι Λειτουργικών Λαθών

Τα λειτουργικά λάθη για ψηφιακά ασύρματα επίγεια συστήματα μπορούν να μετρηθούν με τα εξής μεγέθη:

1. λόγος λανθασμένων δευτερολέπτων - Errored Seconds Ratio (ESR),
2. λόγος εξαιρετικά λανθασμένων δευτερολέπτων - Severely Errored Seconds Ratio (SESR),
3. λόγος λανθασμένων blocks στον διαθέσιμο χρόνο - Background Block Error Ratio (BBER).

Στην σύσταση ITU-T G.826 ορίζεται ένα λανθασμένο δευτερόλεπτο (Errored Second, ES) ως: η περίοδος ενός δευτερολέπτου με ένα ή περισσότερα λανθασμένα blocks, ή με ένα τουλάχιστον ελάττωμα. Ένα λανθασμένο block ορίζεται ως το block με ένα ή περισσότερα λανθασμένα bits. Στον υπολογισμό του λόγου λανθασμένων δευτερολέπτων, λαμβάνουμε υπόψη μας μόνο το διαθέσιμο χρόνο. Έτσι, ο λόγος λανθασμένων δευτερολέπτων ορίζεται ως:

$$ESR = \frac{ES}{N_s - T_U} \quad (3.2.3)$$

όπου ES είναι ο αριθμός των λανθασμένων δευτερολέπτων στη διάρκεια του διαθέσιμου χρόνου, N_s είναι ο συνολικός χρόνος της προσομοίωσης (σε sec) και T_U είναι ο μη διαθέσιμος χρόνος (σε sec).

Ο αριθμός των λανθασμένων δευτερολέπτων κατά τη διάρκεια του διαθέσιμου χρόνου μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$ES = N_s \sum_{i=x}^b pdf_i \min [1, blockE_s(i)] \quad (3.2.4)$$

όπου b είναι η μεγαλύτερη τιμή $C/(N+I)$ στην κατανομή και $BlockE_s(i)$ είναι ο μέσος αριθμός λανθασμένων blocks για $C/(N+I) = i$. Πρέπει να σημειωθεί ότι, εάν ο μέσος αριθμός λανθασμένων blocks ανά δευτερόλεπτο είναι μεγαλύτερος από 1, όλα τα δευτερόλεπτα με $C/(N+I) = i$ θεωρούνται λανθασμένα, δηλαδή:

$$BlockE_S(i) = N_{Blocks/S} \min [1, BE_{Block}(i)] \quad (3.2.5)$$

όπου $N_{Blocks/S}$ είναι ο αριθμός των blocks ανά δευτερόλεπτο και $BE_{Block}(i)$ είναι ο μέσος αριθμός λανθασμένων bits ανά block για $C/(N + I) = i$. Αν και πάλι, ο μέσος αριθμός λανθασμένων bits σε ένα block είναι μεγαλύτερος από 1, όλα τα blocks για $C/(N + I) = i$ θεωρούνται λανθασμένα. Ισχύει:

$$BE_{Block}(i) = BER_i \cdot N_{B/Block} \quad (3.2.6)$$

όπου BER_i είναι το BER που αντιστοιχεί σε $C/(N + I) = i$ και $N_{B/Block}$ είναι ο αριθμός των bits ανά block.

Η σύσταση ITU-T G.826 ορίζει ένα εξαιρετικά λανθασμένο δευτερόλεπτο (Severely Errored Second, SES) ως: την περίοδο ενός δευτερολέπτου το οποίο περιέχει $\geq 30\%$ λανθασμένα blocks ή τουλάχιστον ένα ελάττωμα. Μόνο ο διαθέσιμος χρόνος λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του λόγου εξαιρετικά λανθασμένων λαθών. Ισχύει:

$$SESR = \frac{SES}{N_S - T_U} \quad (3.2.7)$$

όπου SES είναι ο αριθμός των SES_S στον διαθέσιμο χρόνο:

$$SES = N_S \sum_{i=x}^b pdf_i CHECK1_i \quad (3.2.8)$$

όπου $CHECK1_i = 1$ εάν $BlockE_S(i) > 0.3N_{Blocks/S}$ αλλιώς $CHECK1_i = 0$.

Η σύσταση ITU-T G.826 ορίζει το Background Block Error ως: ένα λανθασμένο block που δεν συμβαίνει σαν μέρος ενός SES. Ισχύει:

$$BBER = \frac{BBE}{N_S - T_U} \quad (3.2.9)$$

όπου BBE είναι ο αριθμός των λανθασμένων blocks στον διαθέσιμο χρόνο:

$$BBE = N_S \cdot N_{Blocks/S} \sum_{i=x}^b pdf_i \min [1, BE_{Block}(i)] CHECK2_i \quad (3.2.10)$$

όπου $CHECK2_i = 1$ εάν $BlockES(i) > 0.3N_{Blocks/S}$ αλλιώς $CHECK2_i = 0$

Έχοντας ορίσει τους τρόπους μέτρησης των λαθών σε μία ασύρματη επίγεια ζεύξη, θα πρέπει να αναφερθεί ότι:

1. Όσον αφορά τις ψηφιακές ζεύξεις που λειτουργούν ως μέρος ενός δικτύου ISDN, τα ποσοστά λειτουργικών λαθών που επιτρέπονται στις ζεύξεις αυτές δίνονται στις αναφορές [13], [14], [15],[16] για τα διάφορα είδη δικτύων,
2. Όσον αφορά τις ψηφιακές ζεύξεις σημείου προς σημείο, τα ποσοστά λειτουργικών λαθών που επιτρέπονται στις ζεύξεις αυτές δίνονται στις αναφορές [18] και [17] ανάλογα με το αν η ζεύξη είναι μέρος του εθνικού ή του διεθνούς δικτύου.

3.2.4 Μέγιστη Επιτρεπτή Παρεμβολή

Όσον αφορά τα επίγεια συστήματα, παρεμβολές μπορούν να προκληθούν σε αυτά με μία ή περισσότερες από τις παρακάτω μορφές [26]:

1. παρεμβολές από άλλα επίγεια συστήματα που λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων
2. παρεμβολές από άλλα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες με την ίδια προτεραιότητα με τα επίγεια συστήματα,
3. παρεμβολές από άλλα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες με μικρότερη προτεραιότητα από τα επίγεια συστήματα,
4. παρεμβολές από μη επιθυμητές εκπομπές συστημάτων, τα οποία λειτουργούν σε άλλες ζώνες συχνοτήτων (διασπορά ενέργειας κλπ.),
5. παρεμβολές από ανεπιθύμητες ακτινοβολίες (εφαρμογές ISM).

Για τη μοντελοποίηση της παρεμβολής, η μέγιστη επιτρεπτή υποβάθμιση της διαθεσιμότητας και των λειτουργικών λαθών μπορεί να χωριστεί σε ποσοστά ανάλογα με την πηγή, η οποία την

προκαλεί. Έτσι, οι παρεμβολές που προέρχονται από επίγεια δίκτυα (περίπτωση 1) μπορούν να προκαλέσουν υποβάθμιση στη διαθεσιμότητα και στα λειτουργικά λάθη κατά $X\%$ (σε αυτό το ποσοστό περιλαμβάνονται η αστοχία και οι ατέλειες του εξοπλισμού). Οι παρεμβολές που προέρχονται από άλλα τηλεπικοινωνιακά συστήματα με την ίδια προτεραιότητα στη συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων (περίπτωση 2) μπορούν να προκαλέσουν υποβάθμιση στη διαθεσιμότητα και στα λειτουργικά λάθη κατά $Y\%$ (σε αυτή την κατηγορία υπάγεται και η παρεμβολή που προκαλείται από το σταθερό δορυφορικό δίκτυο), ενώ οι υπόλοιπες παρεμβολές (περιπτώσεις 3, 4, 5) μπορούν να προκαλέσουν υποβάθμιση κατά ένα ποσοστό $Z\%$.

Το άθροισμα $X\%+Y\%+Z\%$ πρέπει να προκαλεί την ικανοποίηση των στόχων διαθεσιμότητας και λειτουργικών λαθών, όπως αυτοί περιγράφονται στην ενότητα 3.2.3. Τα ποσοστά X , Y και Z παίρνουν τιμές: $X=89$, $Y=10$, $Z=1$.

Όσον αφορά τις παρεμβολές, που δέχεται ένα επίγειο δίκτυο από το σταθερό δορυφορικό δίκτυο (και κατ'επέκταση θα μπορούσαμε να πούμε και από το στρατοσφαιρικό δίκτυο), αυτές ταξινομούνται σύμφωνα με την περίπτωση 2. Οι νέοι στόχοι λειτουργίας και διαθεσιμότητας είναι ίσοι με το 10% των συνολικών στόχων λειτουργίας και διαθεσιμότητας του συστήματος. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τα επίγεια συστήματα τα οποία αποτελούν μέρος ενός δικτύου ISDN, οι εκπομπές από το σταθερό δορυφορικό δίκτυο δεν πρέπει να υποβαθμίζουν τη λειτουργία και τη διαθεσιμότητα των ζεύξεων για τα ποσοστά χρόνου που αναγράφονται στην αναφορά [27]. Όσον αφορά τις επίγειες ζεύξεις, οι οποίες αποτελούν μέρος του διεθνούς δικτύου, οι αντίστοιχες τιμές δίνονται στην αναφορά [40].

Οι στόχοι στη διαθεσιμότητα και στα λειτουργικά λάθη μεταφράζονται σε έναν ελάχιστο σηματοθορυβικό λόγο στο δέκτη, $(C/N)_{\min req}$. Ο λόγος αυτός εξαρτάται από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της ζεύξης, από τις απαιτήσεις ποιότητας και διαθεσιμότητας και από τη χρήση ή όχι αυτόματου ελέγχου ισχύος στο δέκτη *ATPC* (*Automatic Transmit Power Control*). Κριτήριο ομαλής λειτουργίας της ζεύξης είναι ο σηματοθορυβικός λόγος να μην πέσει κάτω από την ελάχιστη τιμή του για περισσότερο από το ποσοστό χρόνου που υπολογίζεται από τους λόγους λανθασμένων δευτερολέπτων ή εξαιρετικά λανθασμένων δευτερολέπτων. Πτώση του κάτω από την προκαθορισμένη τιμή για περισσότερο χρόνο, μετατρέπει τη ζεύξη σε μη διαθέσιμη. Ο λόγος αυτός ονομάζεται *περιθώριο εξασθένησης* (*Fade Margin*) της ζεύξης. Για τα σταθερά επίγεια συστήματα, ενδεικτικές τιμές του περιθωρίου εξασθένησης είναι από 25 έως 40 dB. Η χρήση *ATPC* στο δέκτη, μειώνει το περιθώριο εξασθένησης κατά 13 dB περίπου. Η νέα τιμή που προκύπτει ονομάζεται *καθαρό περιθώριο εξασθένησης* (*Net Fade Margin*) [22].

Κεφάλαιο 3.

Με δεδομένο το προκαθορισμένο ποσοστό χρόνου ($\Upsilon=10\%$) κατά το οποίο η ζεύξη μπορεί να δεχτεί παρεμβολή από ένα άλλο τηλεπικοινωνιακό σύστημα με την ίδια προτεραιότητα, πρέπει να οριστεί η μέγιστη τιμή παρεμβολής και το ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο αυτή μπορεί να υπερβαίνεται. Ωστόσο, η χρήση ενός και μόνου κριτηρίου παρεμβολής δεν επαρκεί, εξαιτίας της χρονικά μεταβαλλόμενης φύσης της παρεμβολής.

Στην αναφορά [8], δύο μέγιστες τιμές παρεμβολής ορίζονται. Η πρώτη αφορά ένα μικρό διάστημα χρόνου ($<1\%$) κατά τον οποίο επιτρέπεται η υπέρβαση της μέγιστης τιμής της παρεμβολής. Το κριτήριο αυτό ονομάζεται *κριτήριο μικρής διάρκειας (short-term interference criterion)*. Το δεύτερο κριτήριο αφορά ένα μεγάλο ποσοστό χρόνου (20%) κατά τον οποίο επιτρέπεται η υπέρβαση της μέγιστης τιμής της παρεμβολής. Το κριτήριο αυτό ονομάζεται *κριτήριο μεγάλης διάρκειας (long-term interference criterion)*. Για να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία της ζεύξης, πρέπει να ικανοποιούνται και τα δύο κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

Το κριτήριο παρεμβολής μεγάλης διάρκειας εκφράζει τις κανονικές συνθήκες (μέσες συνθήκες) λειτουργίας της επίγειας ζεύξης, όπου ο δέκτης υφίσταται παρεμβολή ταυτόχρονα από όλες τις πηγές παρεμβολής. Η μέγιστη τιμή της παρεμβολής στο εύρος ζώνης αναφοράς, την οποία δέχεται ο δέκτης και η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνεται για περισσότερο από 20% του χρόνου δίνεται από τη σχέση:

$$P_r(p_1) = 10 \log(kT_r B) + J - W \text{ (dBW)} \quad (3.2.11)$$

όπου:

p_1 : το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο μπορεί να υπερβαίνεται η παρεμβολή από όλες τις πηγές. Εδώ $p_1 = 20\%$,

k : η σταθερά του Boltzmann ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$),

T_r : η θερμοκρασία θορύβου του συστήματος λήψης (κάτω από συνθήκες καθαρού ουρανού). Αν η θερμοκρασία θορύβου της κεραίας είναι T_a , η θερμοκρασία θορύβου στην είσοδο του δέκτη, T_R και e οι απώλειες στο καλώδιο, τότε ισχύει: $T_r = T_a + (1 - e) \cdot 290 + e \cdot T_R$ (σε μονάδες K),

B : είναι το εύρος ζώνης αναφοράς (Hz),

W : ο ισοδύναμος παράγοντας θερμικού θορύβου (σε dB) για τις εκπομπές παρεμβολής μέσα στο εύρος ζώνης αναφοράς. Είναι θετικός όταν ο θόρυβος του σήματος παρεμβολής

προκαλεί μεγαλύτερη υποβάθμιση από το θερμικό θόρυβο. Ο παράγοντας αυτός εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά τόσο του επιθυμητού σήματος όσο και του σήματος παρεμβολής. Παρόλα αυτά, όταν το επιθυμητό σήμα είναι ψηφιακό, ο παράγοντας αυτός λαμβάνεται ίσος με 0, ανεξάρτητα από τα χαρακτηριστικά του σήματος παρεμβολής. Περισσότερα στοιχεία για τον παράγοντα W δίνονται στην αναφορά [30],

J : ο λόγος (σε dB) της επιτρεπτής τιμής παρεμβολής μεγάλης διάρκειας (20% του χρόνου) από κάθε μια από τις πηγές παρεμβολής προς τον θερμικό θόρυβο του συστήματος λήψης. Η τιμή του εξαρτάται από τον αριθμό των αναμενόμενων ταυτόχρονων συνεισφορών στην παρεμβολή ίσου επιπέδου. Οι παρεμβολείς βρίσκονται όλοι μέσα σε απόσταση οπτικής επαφής από το δέκτη. Ο αριθμός τους συμβολίζεται με n_1 .

Στην περίπτωση των ασύρματων επίγειων ζεύξεων, έχουμε ήδη θεωρήσει ότι 10% της επιτρεπτής υποβάθμισης του συστήματος μπορεί να προκληθεί από παρεμβολή από το στρατοσφαιρικό δίκτυο. Η μισή υποβάθμιση προκαλείται από κοντινούς σταθμούς παρεμβολής (μέσα σε απόσταση οπτικής επαφής) ενώ η υπόλοιπη υποβάθμιση προκαλείται από σταθμούς παρεμβολής που βρίσκονται πέρα από τον ορίζοντα. Τότε, για αναλογικά συστήματα ισχύει:

$$J = 10 \log(40/n_1) \quad (3.2.12)$$

ενώ για ψηφιακά ισχύει:

$$J = 10 \log(\sqrt{X} - 1) \quad (3.2.13)$$

όπου:

$$X = 1 + 3/n_1 \quad (3.2.14)$$

Σύμφωνα με την αναφορά [5], για συχνότητες από 1-10 GHz, ισχύει: $n_1 = 5$ και συνεπώς $J = 9dB$ για τα αναλογικά σήματα και $J = -6dB$ για τα ψηφιακά. Η τιμή αυτή ισχύει για περιπτώσεις όπου υπάρχει μικρή συσχέτιση μεταξύ της διάλειψης του επιθυμητού σήματος και του σήματος παρεμβολής. Σε περιπτώσεις όπου οι διαλείψεις του επιθυμητού σήματος και του σήματος παρεμβολής είναι ασυσχέτιστες, ισχύει ακόμα και $J = -2dB$. Αντιθέτως, σε συχνότητες μεγαλύτερες των 10 GHz, η συσχέτιση μεταξύ των διαλείψεων του επιθυμητού σήματος και του σήματος παρεμβολής είναι πιο μεγάλη και συνεπώς η τιμή του J μειώνεται και φτάνει

Κεφάλαιο 3.

$J = -10dB$. Αν θεωρήσουμε ότι $J = -6dB$, ο σηματοθορυβικός λόγος στο μικροκυματικό δέκτη μειώνεται κατά $1dB$ ενώ για $J = -10dB$, ο σηματοθορυβικός λόγος στο μικροκυματικό δέκτη μειώνεται κατά $0.5dB$.

Το κριτήριο παρεμβολής μικρής διάρκειας εκφράζει εξαιρετικά ακραίες συνθήκες παρεμβολής (για ποσοστά μικρότερα από 1% του χρόνου), στις οποίες η παρεμβολή από όλους τους σταθμούς δεν συμβαίνει ταυτόχρονα. Η μέγιστη τιμή της παρεμβολής P_r στο εύρος ζώνης αναφοράς, την οποία δέχεται ο επίγειος δέκτης και η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνεται για περισσότερο από χρονικό διάστημα $<1\%$ του συνολικού χρόνου δίνεται από τη σχέση:

$$P_r(p_2/n_2) = 10 \log(kT_r B) + 10 \log(10^{M_s/10} - 1) + N_L - W(dBW) \quad (3.2.15)$$

όπου:

p_2 : το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο μπορεί να υπερβαίνεται η παρεμβολή από όλες τις πηγές. Ισχύει: $p_2 \leq 1\%$. Το ακριβές ποσοστό όμως καθορίζεται από την υποβάθμιση στο ποσοστό λειτουργικών λαθών λόγω παρεμβολής,

n_2 : ο αριθμός των αναμενόμενων παρεμβολέων ίσης ισχύος και ίσης χρονικής διάρκειας, οι οποίοι παρεμβάλλουν στο δέκτη όχι ταυτόχρονα. Σύμφωνα με την αναφορά [5], για συχνότητες από 1-10 GHz, ισχύει: $n_2 = 3$,

N_L : είναι η συνεισφορά του θορύβου στη ζεύξη από το δορυφορικό αναμεταδότη. Περιλαμβάνει το θόρυβο της άνω ζεύξης, την ενδοδιαμόρφωση κ.ά. Γενικότερα ισχύει: $N_L = 1dB$ για σταθερές δορυφορικές ζεύξεις, $N_L = 0dB$ για σταθερές μικροκυματικές ζεύξεις,

M_s : είναι ο λόγος (σε dB) της επιτρεπόμενης παρεμβολής στον επίγειο δέκτη προς το θερμικό θόρυβο ($M_s = I/N$) για ποσοστό χρόνου p_2 . Προκύπτει από το καθαρό περιθώριο κέρδους της μικροκυματικής ζεύξης. Στην περίπτωση πάντως παρεμβολής μεταξύ των επίγειων ζεύξεων και του σταθερού δορυφορικού δικτύου, υποτίθεται ότι ολόκληρο το καθαρό περιθώριο κέρδους ανατίθεται για την παρεμβολή μικρής διάρκειας.

Για τα δύο προαναφερθέντα κριτήρια υπάρχουν διαθέσιμες τιμές των διαφορετικών παραμέτρων που τα καθορίζουν [8], μέχρι και τα 40 GHz. Για την ζώνη συχνοτήτων των 48/47 GHz χρησιμοποιούμε το κριτήριο παρεμβολής που σχετίζεται με τον θερμικό θόρυβο I/N , και οι χαρακτηριστικές τιμές του επιτρεπτού κριτηρίου παρεμβολής για τα συστήματα αναφοράς φαίνονται

στον Πίνακα 3.2²:

Πίνακας 3.2: Κριτήρια Παρεμβολών για το ΕΔ

Ποσοστό Επιτρεπτής Παρεμβολής	Δ NFM Υποβιβασμός Απόδοσης	I/N dB	Μεγιστη Επιτρεπτή Στάθμη Παρεμβολής dB(W/MHz)			
			Σταθμός 1	Σταθμός 2	Σταθμός 3	Σταθμός 4
1%	0.04	-20.3	-153.3	-151.3	-159.3	-159.3
6%	0.25	-12.2	-145.2	-143.2	-151.2	-151.2
10%	0.41	-10	-143	-141	-149	-149
15%	0.6	-8.2	-141.2	-139.2	-147.2	-147.2
20%	0.79	-7	-140	-138	-146	-146

²Η μέθοδος μελέτης της μέγιστης επιτρεπτής στάθμης παρεμβολής αναλύθηκε στην §2.5.1

3.3 Διαδρομή Διάδοσης Παρεμβολής A1

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η διαδρομή διάδοσης παρεμβολής A1 (Σχήμα 3.1), αφορά τις παρεμβολές που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης (στρατόσφαιρα-προς-Γη) των Στρατοσφαιρικών Δικτύων (ΣΔ) προς τους σταθμούς του Επίγειου Δικτύου (ΕΔ).

Στην §3.3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στην διεθνή βιβλιογραφία αναφορικά με το συγκεκριμένο σενάριο παρεμβολής. Στην §3.3.2 περιγράφεται μια νέα μέθοδος συντονισμού που στόχο έχει την αποτελεσματική χρήση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ των δύο δικτύων και την ανάπτυξη εφαρμόσιμων κριτηρίων συνύπαρξης σε ρεαλιστικές συνθήκες λειτουργίας.

3.3.1 Υπάρχοντα Κριτήρια Συνύπαρξης

Με τα υπάρχοντα κριτήρια συνύπαρξης της ITU-R [19] [5], οι σταθμοί του ΕΔ είναι δυνατόν να λειτουργήσουν μόνο έξω από το ορατό πεδίο της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Πρακτικά αυτό ισοδυναμεί σε πολύ μεγάλες αποστάσεις διαχωρισμού, που μπορούν να ξεπεράσουν τα 600 Km, και σε ακόμα μεγαλύτερες περιοχές αποκλεισμού για τους σταθμούς του ΕΔ της τάξης των 25000 Km²³.

Στη σύσταση ITU-R F1501 [5] προτείνεται μια προκαθορισμένη αρχική απόσταση συντονισμού μεταξύ του ΣΔ και των σταθμών του ΕΔ που οδηγεί σε απόσταση 772 Km για στρατοσφαιρική πλατφόρμα στα 21 Km. Απόσταση που θα έκανε την συνύπαρξη των δύο συστημάτων ανέφικτη σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Στις υπάρχουσες μελέτες μεταξύ ΣΔ και ΕΔ μελετώνται κατά κύριο λόγο οι παρεμβολές με στατική ανάλυση σταθμού προς σταθμό. Εντούτοις το περιβάλλον παρεμβολών μεταξύ ΣΔ και ΕΔ εμπεριέχει χρονομεταβλητά φαινόμενα όπως η κίνηση της πλατφόρμας, η γεωμετρία της παρεμβολής, και οι συνθήκες διάδοσης του ραδιοσήματος.

Από τα παραπάνω, αναδύεται η ανάγκη για τον καθορισμό μιας νέας πιο αποδοτικής μεθόδου συντονισμού μεταξύ των σταθμών των δύο δικτύων.

³όπως μελετήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, στην §2.3

3.3.2 Προτεινόμενη Μέθοδος Συντονισμού

Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται στην εκτίμηση της κλασματικής υποβάθμισης της λειτουργίας του Επίγειου Δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη τα κίνηση της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, ρεαλιστική κατανομή των γωνιών αζιμουθίου και ανύψωσης για τους επίγειους σταθμούς, και βαθμιαία αναπτυσσόμενο Στρατοσφαιρικό Δίκτυο [32] (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Μοντέλο Προτεινόμενης Μεθόδου

Στις μελέτες που έχουν γίνει έως σήμερα για τη συγκεκριμένη διαδρομή διάδοσης παρεμβολής, η στρατοσφαιρική πλατφόρμα θεωρείται σταθερή. Εντούτοις μια από τις λιγότερο προβλέψιμες παραμέτρους στην τεχνολογία των στρατοσφαιρικών πλατφορμών είτε αυτές είναι αερόπλοια, είτε ηλιακά τροφοδοτούμενα αεροσκάφη, είτε οποιαδήποτε άλλη πιθανή πλατφόρμα ικανή να λειτουργήσει αξιόπιστα όταν βρίσκεται στην στρατόσφαιρα είναι η κίνηση τους. Με τον όρο κίνηση εννοούμε τις αποκλίσεις της πλατφόρμας σε οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα από την εκάστοτε προκαθορισμένη θέση λειτουργίας. Την επίδραση της κίνησης αυτής στα επίπεδα της ομοδιαυλικής παρεμβολής που προκαλούν οι εκπομπές ισχύος της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στους επίγειους δέκτες, μελετάμε στο κεφάλαιο αυτό. Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης, επιλέγουμε το βέλτιστο μοντέλο για την ενσωμάτωση του στην προτεινόμενη μέθοδο συντονισμού. Τα παραπάνω αναλύονται στην §3.3.2.1.

Στις υπάρχουσες μελέτες μεταξύ ΣΔ και ΕΔ μελετώνται κατά κύριο λόγο οι παρεμβολές με στατική ανάλυση σταθμού προς σταθμό. Εντούτοις το περιβάλλον παρεμβολών μεταξύ ΣΔ και ΕΔ εμπεριέχει χρονομεταβλητά φαινόμενα όπως η κίνηση της πλατφόρμας, η γεωμετρία της παρεμβολής, και οι συνθήκες διάδοσης του ραδιοσήματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι καταλληλότερο ο χαρακτηρισμός των παρεμβολών να πραγματοποιείται σε όρους κλασματικής υποβάθμισης της λειτουργίας (Fractional Degradation in Performance, *FDP*) του παρεμβαλλόμενου συστήματος όπως αναλύεται στην §3.3.2.2. Η *FDP* ουσιαστικά εκφράζει την κλασματική αύξηση στο ποσοστό του χρόνου όπου το κριτήριο επίδοσης δεν εξασφαλίζεται λόγω παρουσίας

Κεφάλαιο 3.

παρεμβολών.

Στις τελευταίες δύο ενότητες περιγράφονται οι παράμετροι της κατανομής των γωνιών ανύψωσης των κεραιών των σταθμών του ΕΔ, και της σταδιακής ανάπτυξης των ΣΔ. Οι υπάρχουσες μελέτες της ITU-R βασίζονται στη θεώρηση ότι οι κεραιές των σταθμών του ΕΔ έχουν κατεύθυνση προς την στρατοσφαιρική πλατφόρμα. Θεώρηση που στην πραγματικότητα σπάνια συναντάται. Στην παρούσα ενότητα προτείνεται μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση που βασίζεται στις υπάρχουσες ζεύξεις στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής (§3.3.2.3). Μέχρι σήμερα έχει μελετηθεί η πολύ απλή περίπτωση παρεμβολής από μία ζεύξη (στρατόσφαιρα-προς-Γη) σε έναν παρεμβαλλόμενο επίγειο σταθμό, και η σημαντικά πιο πολύπλοκη περίπτωση παρεμβολής από ένα πλήρες ανεπτυγμένο ΣΔ. Στην μελέτη μας εισάγουμε την έννοια του σταδιακά αναπτυσσόμενου ΣΔ όπου συσχετίζεται το ποσοστό ανάπτυξης του ΣΔ με τον αριθμό των επίγειων τερματικών του ΣΔ στην αστική, προαστιακή και αγροτική περιοχή κάλυψης, καθώς και με τον αριθμό των πυλαίων σταθμών στην αστική και προαστιακή περιοχή κάλυψης (3.3.2.4).

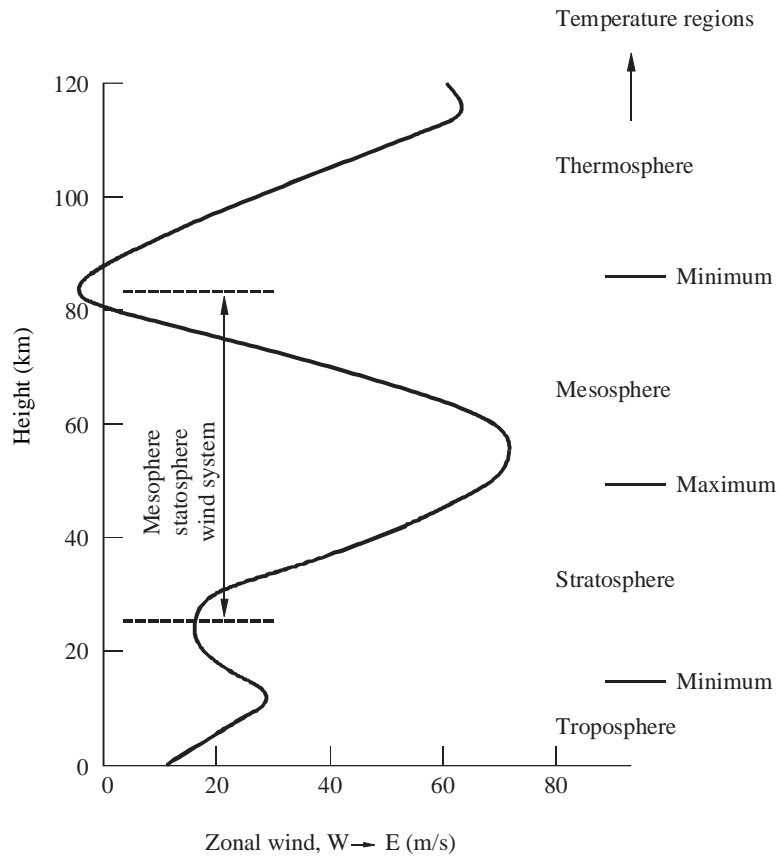
3.3.2.1 Ενσωμάτωση της Κίνησης της Στρατοσφαιρικής Πλατφόρμας

Δεν είναι γνωστή ακόμα με ακρίβεια η συμπεριφορά της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας όσον αφορά τη σταθερότητα της στις συνθήκες που επικρατούν στη στρατόσφαιρα. Το προφίλ των ανέμων σε αυτά τα ύψη είναι ήπιο, και η ταχύτητα των ανέμων δεν ξεπερνάει τα 20 m/sec, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.4, όπου απεικονίζεται το προφίλ των ανέμων στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας.

Εντούτοις μέχρι σήμερα εκτός από κάποιες πτήσεις που διήρκεσαν ώρες (9 h, 1 h 15 min) [3], [38], δεν έχει πραγματοποιηθεί πτήση μεγάλης κλίμακας η οποία θα έδινε αξιόπιστα στοιχεία για την κίνηση των στρατοσφαιρικών πλατφορμών. Με αυτά τα δεδομένα επιλέξαμε να μελετήσουμε την συμπεριφορά της στάθμης ομοδιαυλικής παρεμβολής με τα βάση τα μοντέλα κίνησης *ITU*, *HELINET*, *HALO* όπως περιγράφονται στην επόμενη παράγραφο.

Η έρευνα μας επικεντρώνεται στα εξής βασικά σημεία:

- μοντέλα κίνησης (*ITU*, *HELINET*, *HALO*) ,
- προσομοίωση σε 3 βασικές περιοχές με 2 διαφορετικές συνθήκες,
- σύγκριση της επίδρασης των 3 μοντέλων κίνησης.



General magnitude of zonal winds in the upper atmosphere, illustrated by a height profile for 45° N in January.
(COSPAR International Reference Atmosphere. Aka demie-Verlag, 1972)

Σχήμα 3.4: Προφίλ ανέμων στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας (πηγή: *COSPAR International Reference Atmosphere*)

3.3.2.1.1 Μοντέλα Κίνησης Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών. Μια πολύ σημαντική πρόκληση για τους κατασκευαστές στρατοσφαιρικών πλατφορμών είναι η διατήρηση της πλατφόρμας σε συγκεκριμένη γεωγραφική θέση. Οι άνεμοι που επικρατούν στην στρατόσφαιρα είναι μεταβαλλόμενοι, εξαρτώνται από το γεωγραφικό πλάτος και αλλάζουν κατεύθυνση 2 φορές το χρόνο. Ενδεικτικά η ταχύτητα των στρατοσφαιρικών ανέμων στον Ισημερινό είναι της τάξης των 5 m/sec ενώ στους Πόλους η αντίστοιχη ταχύτητα είναι της τάξης των 55 m/sec [21]. Τα μετεωρολογικά μπαλόνια που τοποθετούνται στην στρατόσφαιρα σε σχεδόν σταθερό σημείο για κάποιες μέρες, είναι μια ένδειξη μικρής κλίμακας ότι και οι πλατφόρμες που θα χρησιμοποιηθούν για τηλεπικοινωνίες μπορούν να κινούνται με κάποια σταθερότητα μέσα σε καθορισμένα όρια.

Η στρατοσφαιρική πλατφόρμα μπορεί να κινηθεί σε οποιαδήποτε κατεύθυνση και αν θεωρήσουμε έξι βαθμούς ελευθερίας θα μπορούσαμε να πούμε πως οι μετατοπίσεις της γίνονται στον x,y και z-άξονα καθώς και με περιστροφές γύρω από τους τρεις άξονες. Για το λόγο πως δεν υπάρχει πληροφορία στη διεθνή βιβλιογραφία για τις μετατοπίσεις των πλατφορμών με έξι βαθμούς ελευθερίας, θεωρούμε στη μελέτη μας, κίνηση στους τρεις άξονες. Συγκεντρώσαμε και αναλύουμε τα τρία βασικά μοντέλα κίνησης που καθορίζουν τα όρια κίνησης των τριών επικρατέστερων στρατοσφαιρικών πλατφορμών που έχουν προταθεί στη διεθνή βιβλιογραφία, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και ως βάση για την προσομοίωση.

Στην §2.2 έχουμε ήδη περιγράψει τις τρεις επικρατέστερες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες για παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών:

1. μη επανδρωμένα αερόπλοια,
2. ηλιακά τροφοδοτούμενα μη επανδρωμένα αεροσκάφη,
3. επανδρωμένα αεροσκάφη.

Για τα αερόπλοια έχουν θεωρηθεί από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών [44], όρια κίνησης (μοντέλο *ITU*) σε σφαίρα με ακτίνα 400 m και κατακόρυφες αποκλίσεις θετικές ή αρνητικές από το καθορισμένο υψόμετρο λειτουργίας της τάξης των 700 m.

Για τα μη επανδρωμένα ηλιακά τροφοδοτούμενα αεροσκάφη όπως είναι το *HELIPLAT* ή το *HELIOS* [38] προτείνονται από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα *HELINET* [48] δύο διαφορετικά όρια κίνησης της πλατφόρμας στην στρατόσφαιρα εξαρτώμενα από την διαθεσιμότητα της υπηρεσίας. Για το 99% του χρόνου τα αεροσκάφη αυτά αναμένονται να διατηρούν τη θέση τους στην στρα-

τόσφαιρα κινούμενα μέσα σε κύλινδρο με ακτίνα 2.5 Km και ύψος ± 0.5 Km ενώ για το 99.9% του χρόνου τα αντίστοιχα όρια είναι της τάξης των 4 Km και ± 1.5 Km.

Το τρίτο μοντέλο, το οποίο χρησιμοποιήσαμε στην προσομοίωση, αφορά τα επανδρωμένα αεροσκάφη. Τα αεροσκάφη αυτά θα μπορούν να διατηρούν τη θέση τους στην στρατόσφαιρα κινούμενα μέσα σε ένα δακτυλιοειδές με διάμετρο μεταξύ 9.3 Km και 14.8 Km και ύψος μεταξύ 15.5 Km και 18.3 Km Το μοντέλο αυτό, το οποίο από εδώ και στο εξής θα αναφέρουμε ως *HALO* βασίζεται στη μελέτη [7].

Τα τρία αυτά μοντέλα κίνησης που προτείνονται στην βιβλιογραφία παρέχουν κάποια όρια αναφοράς για τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες. Είναι όμως ακόμα άγνωστο το αν τα όρια αυτά είναι ρεαλιστικά και αν όντως αντιπροσωπεύουν τα πραγματικά όρια κίνησης της αντίστοιχης τεχνολογίας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας έως ότου πραγματοποιηθεί κάποια πτήση μεγάλης κλίμακας.

3.3.2.1.2 Μεταβλητές και Διαδικασία Στατιστικής Μελέτης. Οι μεταβλητές που λαμβάνουμε υπόψη στη μελέτη είναι οι ακόλουθες:

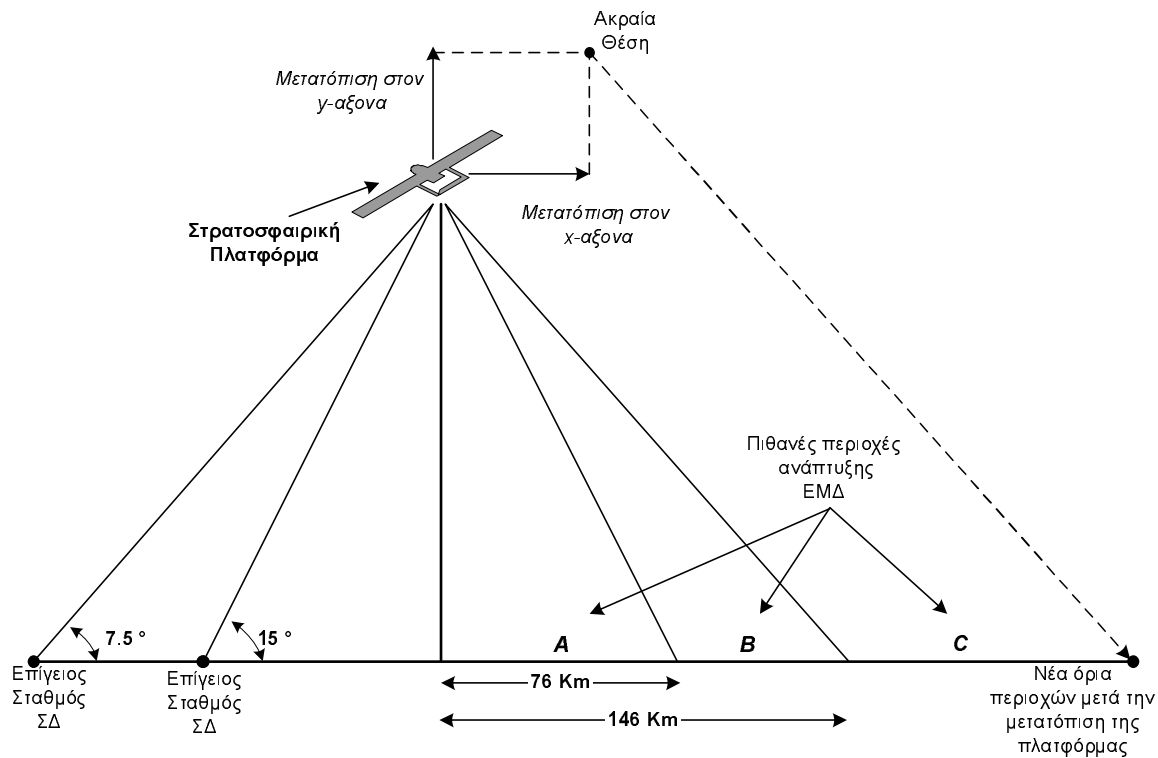
- *Ελεγχόμενες μεταβλητές:* Μοντέλα διάδοσης, τεχνικά χαρακτηριστικά σταθμών, επιτρεπτό κριτήριο παρεμβολής.
- *Ανεξάρτητη μεταβλητή:* Μοντέλο κίνησης.
- *Εξαρτώμενη μεταβλητή:* Στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής.

Στο σχήμα 3.5 φαίνονται οι περιπτώσεις A, B και C που θεωρήσαμε για τη διαδρομή διάδοσης παρεμβολής της κάτω ζεύξης του στρατοσφαιρικού συστήματος στην επίγεια ζεύξη ανάλογα με την θέση του δέκτη του ΕΔ μέσα στην περιοχή κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας.

Η περίπτωση A αντιστοιχεί στις καταστάσεις όπου οι παρεμβαλλόμενες επίγειες ζεύξεις είναι εγκατεστημένες μέσα στην περιοχή κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας σε ακτίνα έως και 76 Km από το σημείο ναδίρ κάτω από την πλατφόρμα. Η γεωγραφική αυτή περιοχή περιλαμβάνει τους αστικούς και προαστιακούς χρήστες του στρατοσφαιρικού συστήματος και καλύπτει επιφάνεια 18.381 Km².

Η περίπτωση B αντιστοιχεί στις καταστάσεις όπου οι παρεμβαλλόμενες επίγειες ζεύξεις είναι εγκατεστημένες μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας σε ακτί-

Κεφάλαιο 3.



Σχήμα 3.5: Γεωμετρία παρεμβολής με επίγειο δέκτη

να που αρχίζει από τα 76 Km και εκτείνεται έως τα 146 Km. Η επιλογή του ορίου των 146 Km έγινε με βάση τις 7.5 μοίρες ως ελάχιστη γωνία ανύψωσης των επίγειων χρηστών του στρατοσφαιρικού συστήματος αντί για τις 5 μοίρες που προτείνονται στην σύσταση ITU-R F.1500 [44]. Οι 5 μοίρες σαν ελάχιστη γωνία ανύψωσης είναι δύσκολα εφαρμόσιμες στην πραγματικότητα.

Τέλος η περίπτωση C αντιστοιχεί στις καταστάσεις όπου οι παρεμβαλλόμενες επίγειες ζεύξεις είναι εγκατεστημένες έξω από την περιοχή κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας.

Το μοντέλο διάδοσης που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση βασίζεται στην σύσταση ITU-R P.619 [42]. Οι τρεις κύριοι μηχανισμοί εξασθένισης για την υπό μελέτη διαδρομή διάδοσης είναι λόγω:

- εξασθένισης καθαρής ατμόσφαιρας,
- σκέδασης που οφείλεται σε ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις,
- διαφορικής εξασθένισης.

Το επιτρεπτό κριτήριο παρεμβολής $I/N = 10\%$ εφαρμόζεται ενιαία στην μελέτη αυτή.

Η προσομοίωση έγινε στο πεδίο του χρόνου για τον στατιστικό χαρακτηρισμό της συμπεριφοράς των διακυμάνσεων της στάθμης της ομοδιαυλικής παρεμβολής που οφείλονται στην κίνηση της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Για το λόγο αυτό έγινε χρήση ειδικευμένου λογισμικού στην ανάλυση παρεμβολών επικοινωνιακών συστημάτων (Παράρτημα Γ'). Τα αποτελέσματα εξήχθησαν με τη μορφή συγκεντρωτικών συναρτήσεων κατανομών της πυκνότητας ισχύος της παρεμβολής με την τεχνική *Monte-Carlo*, όπου κάθε επανάληψη αντιστοιχεί σε διαφορετική τυχαία θέση των παρεμβάλλοντων σταθμών εντός των ορίων κίνησης των στρατοσφαιρικών πλατφορμών, και διαφορετική τυχαία θέση των παρεμβαλλόμενων σταθμών εντός των περιοχών ανάπτυξης του ΕΜΔ. Οι συγκεντρωτικές κατανομές αντικατοπτρίζουν την πιθανότητα να συμβεί μια συγκεκριμένη στάθμη παρεμβολής κάθε φορά.

Στην προσομοίωση έγινε χρήση της βάσης IDWM-ITU Digitized World Map. Η βάση αυτή IDWM επιτρέπει την χρήση δεδομένων από τον παγκόσμιο χάρτη στα μοντέλα διάδοσης που επιλέγουμε για κάθε σενάριο. Αυτό περιλαμβάνει πληροφορία όπως:

- η απόσταση από την ακτή,
- το ποσοστό της διαδρομής διάδοσης πάνω από επιφάνεια με νερό,
- κλιματικά δεδομένα κα.

Επίσης στη προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά στοιχεία του ανάγλυφου του εδάφους που στηρίζονται στην βάση γεωμορφολογικών δεδομένων της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών. Η βάση αυτή καλύπτει όλη την επιφάνεια της γης με ανάλυση πλέγματος συντεταγμένων του χάρτη της τάξης των 30 arc seconds, (GTOPO30).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Στρατοσφαιρικού Δικτύου που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη, περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2, ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Επίγειου Δικτύου περιγράφονται στην §3.2.2.

3.3.2.1.3 Αποτελέσματα Μελέτης Τα αποτελέσματα της μελέτης κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τη περιοχή που βρίσκεται η παρεμβαλλόμενη επίγεια ζεύξη και σύμφωνα με την συνθήκη που εξυπηρετούν όπου:

- *Συνθήκη I*: ο επίγειος δέκτης βρίσκεται στην χειρότερη πιθανή θέση σε σχέση με την

Κεφάλαιο 3.

διασταύρωση της δέσμης του και των δεσμών της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας προς τη Γη.

- *Συνθήκη II*: η θέση του επίγειου δέκτη προσομοιώνεται ως μια Monte-Carlo μεταβλητή μέσα σε κάθε περιοχή

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα 3.6 - 3.11 και στον Πίνακα 3.3. Με σύγκριση των αποτελεσμάτων που αφορούν την συνθήκη I και απεικονίζονται στα σχήματα 3.6, 3.7, 3.8, συμπεραίνουμε καταρχήν ότι η στάθμη της ομοδιαυλικής παρεμβολής, που προκαλείται από τις εκπομπές της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στην επίγεια ζεύξη, επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από το μοντέλο κίνησης που ακολουθεί η στρατοσφαιρική πλατφόρμα.

Συγκεκριμένα για τη Περίπτωση A ο επίγειος δέκτης δέχεται την ισχυρότερη μακροπρόθεσμη (20%) παρεμβολή της τάξης των -135 dB(W/MHz) από το μοντέλο HALO. Τα μοντέλα HELINET και ITU προκαλούν μακροπρόθεσμη παρεμβολή της τάξης των -139 dB(W/MHz) . Για την Περίπτωση B ο επίγειος δέκτης δέχεται την ισχυρότερη μακροπρόθεσμη παρεμβολή της τάξης των -127 dB(W/MHz) από τα μοντέλα HALO και HELINET. Το μοντέλο ITU προκαλεί μακροπρόθεσμη παρεμβολή της τάξης των -132 dB(W/MHz) . Για την Περίπτωση C ο επίγειος δέκτης δέχεται την ισχυρότερη μακροπρόθεσμη παρεμβολή της τάξης των -134.5 dB(W/MHz) από το μοντέλο HALO. Το μοντέλο HELINET προκαλεί μακροπρόθεσμη παρεμβολή της τάξης των -141.5 dB(W/MHz) , ενώ το μοντέλο ITU προκαλεί μακροπρόθεσμη παρεμβολή της τάξης των -143.5 dB(W/MHz) .

Γενικά παρατηρούμε ότι η επίδραση του μοντέλου κίνησης HALO στη στάθμη της ομοδιαυλικής παρεμβολής είναι σημαντικά πιο ισχυρή, σε σχέση με την επίδραση των μοντέλων κίνησης HELINET και ITU.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (σχήματα 3.9, 3.10, 3.11) που αφορούν την συνθήκη II, δείχνουν ότι για τις περιπτώσεις A και B η πιθανότητα η στάθμη της παρεμβολής να υπερβεί το κριτήριο είναι μικρότερη από αυτή που παρατηρήθηκε στα αποτελέσματα της συνθήκης I. Για την περίπτωση C τα επίπεδα είναι συγκρίσιμα με αυτά της συνθήκης I.

Συγκεκριμένα για τη Περίπτωση A ο επίγειος δέκτης δέχεται την ισχυρότερη μακροπρόθεσμη (20%) παρεμβολή της τάξης των -139 dB(W/MHz) από το μοντέλο HALO. Τα μοντέλα HELINET και ITU προκαλούν μακροπρόθεσμη παρεμβολή της τάξης των -143.5 dB(W/MHz) . Για την Περίπτωση B ο επίγειος δέκτης δέχεται την ισχυρότερη μακροπρόθεσμη παρεμβολή της

τάξης των -125.5 dB(W/MHz) από το μοντέλο ITU. Το μοντέλο HALO προκαλεί μακροπρόθεσμη παρεμβολή της τάξης των -126.5 dB(W/MHz) , ενώ το μοντέλο HELINET προκαλεί μακροπρόθεσμη παρεμβολή της τάξης των -125 dB(W/MHz) . Για την Περίπτωση C ο επίγειος δέκτης δέχεται την ισχυρότερη μακροπρόθεσμη παρεμβολή της τάξης των -141 dB(W/MHz) από το μοντέλο HALO. Τα μοντέλα HELINET και ITU προκαλούν μακροπρόθεσμη παρεμβολή της τάξης των -142.5 dB(W/MHz) .

Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συναρτήσεως της μεγαλύτερης και μικρότερης στάθμης παρεμβολής που παρουσιάζει η κάθε περίπτωση. Από τις τρεις περιοχές που θεωρήσαμε (A, B, C), η περίπτωση B είναι εκείνη στην οποία παρατηρείται η μεγαλύτερη στάθμη παρεμβολής.

Συνολικά η στάθμη της ομοδιαυλικής παρεμβολής που δέχεται ο σταθμός του ΕΔ επηρεάζεται σημαντικά από το μοντέλο κίνησης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας με την εξής σειρά:

1. Μοντέλο Κίνησης HALO
2. Μοντέλο Κίνησης HELINET
3. Μοντέλο Κίνησης ITU

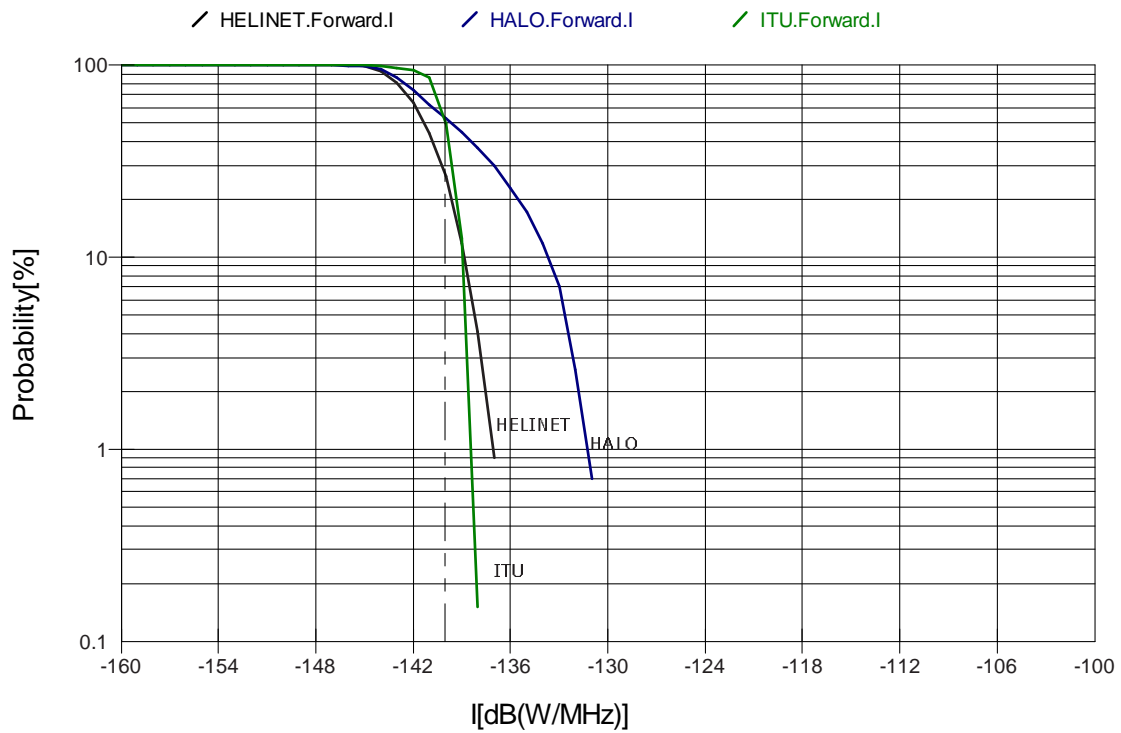
Στην μελέτη που θα ακολουθήσει λαμβάνεται υπόψη το μοντέλο κίνησης ITU που αποδεικνύεται το βέλτιστο⁴ ως προς την προκαλούμενη παρεμβολή προς τον σταθμό του ΕΔ.

Πίνακας 3.3: Σύγκριση στάθμης παρεμβολής συναρτήσεως του μοντέλου κίνησης

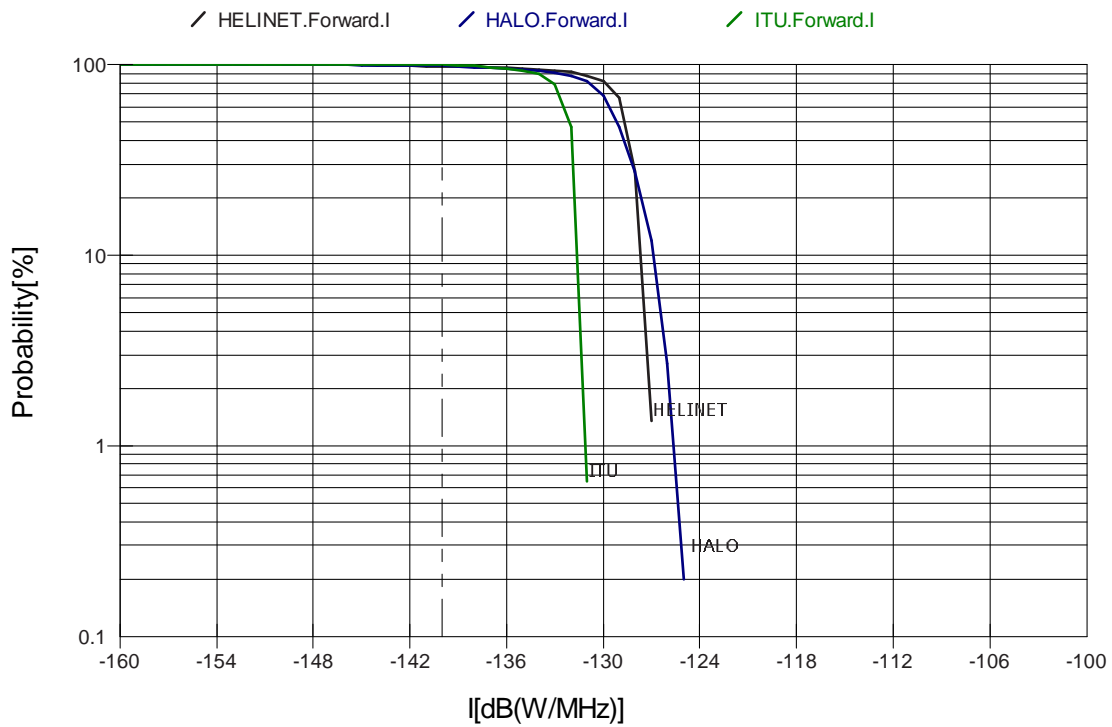
Περίπτωση	Συνθήκη	Μεγαλύτερη	Μοντέλο	Μικρότερη	Μοντέλο
		στάθμη παρεμβολής		στάθμη παρεμβολής	
A	I	-131 dB(W/MHz)	HALO	-144 dB(W/MHz)	HELINET
B	I	-125 dB(W/MHz)	HALO	-136 dB(W/MHz)	ITU
C	I	-126 dB(W/MHz)	HALO	-145 dB(W/MHz)	ITU
A	II	-125 dB(W/MHz)	HALO	-148 dB(W/MHz)	HELINET
B	II	-120 dB(W/MHz)	HALO	-142 dB(W/MHz)	HELINET
C	II	-129 dB(W/MHz)	HALO	-154 dB(W/MHz)	ITU

⁴ προκαλεί την μικρότερη παρεμβολή

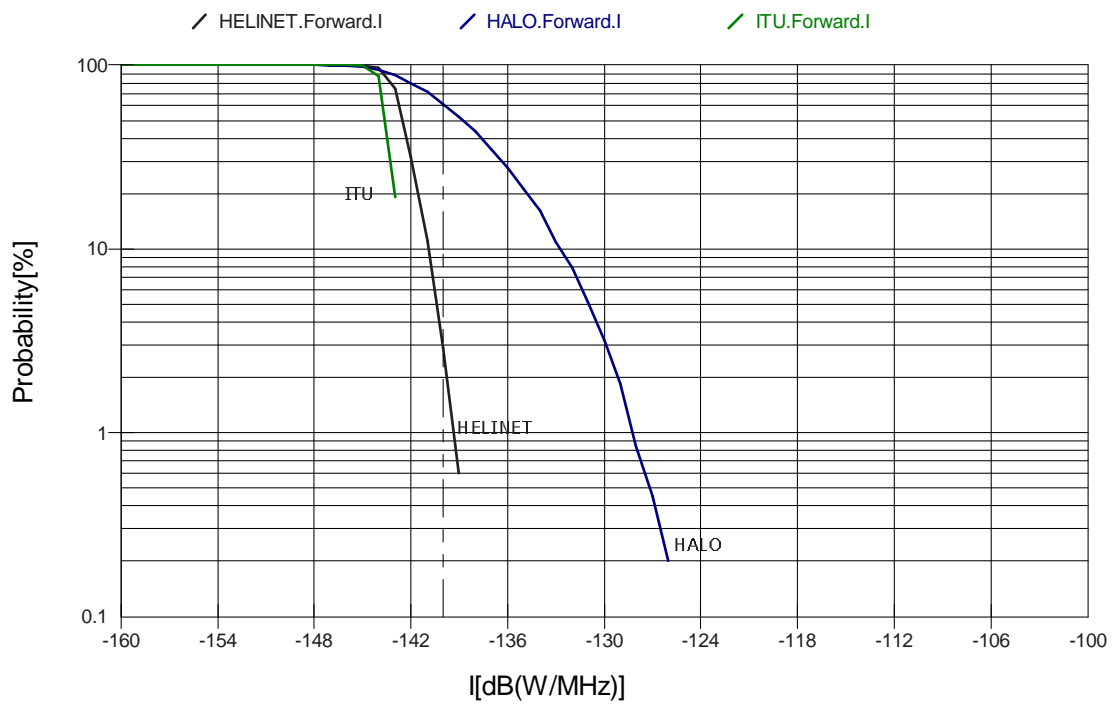
Κεφάλαιο 3.



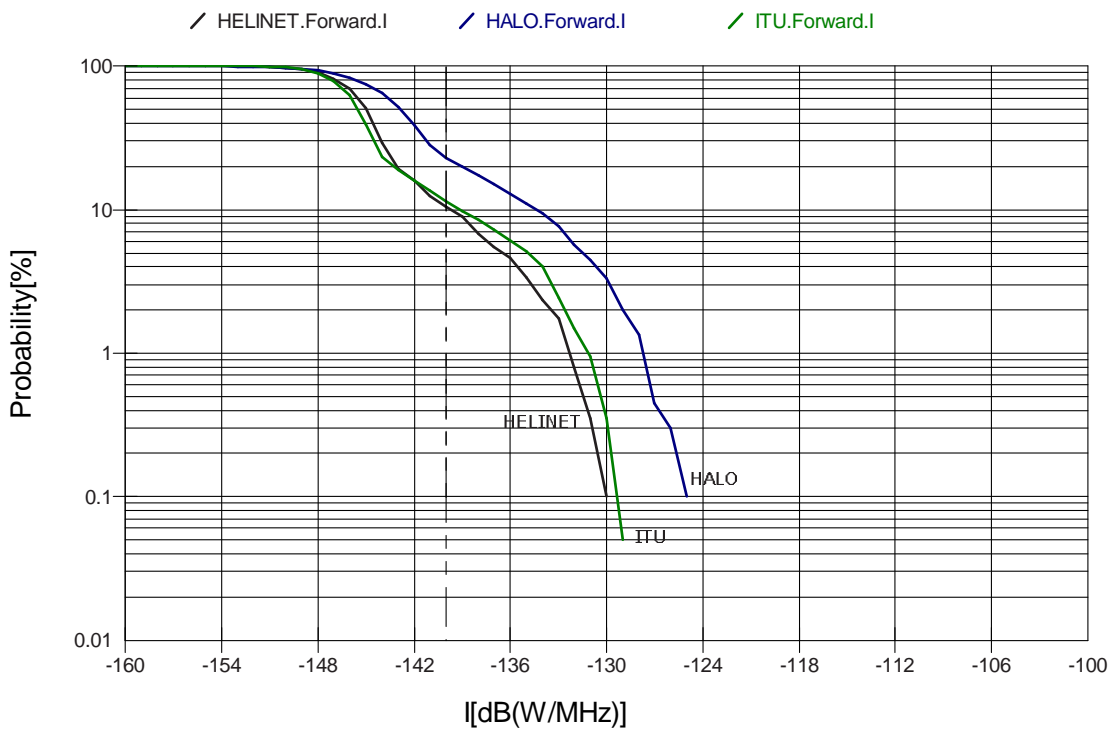
Σχήμα 3.6: Συγκεντρωτικές κατανομές πυκνότητας παρεμβολής- Περίπτωση A, Συνθήκη I



Σχήμα 3.7: Συγκεντρωτικές κατανομές πυκνότητας παρεμβολής- Περίπτωση B, Συνθήκη I

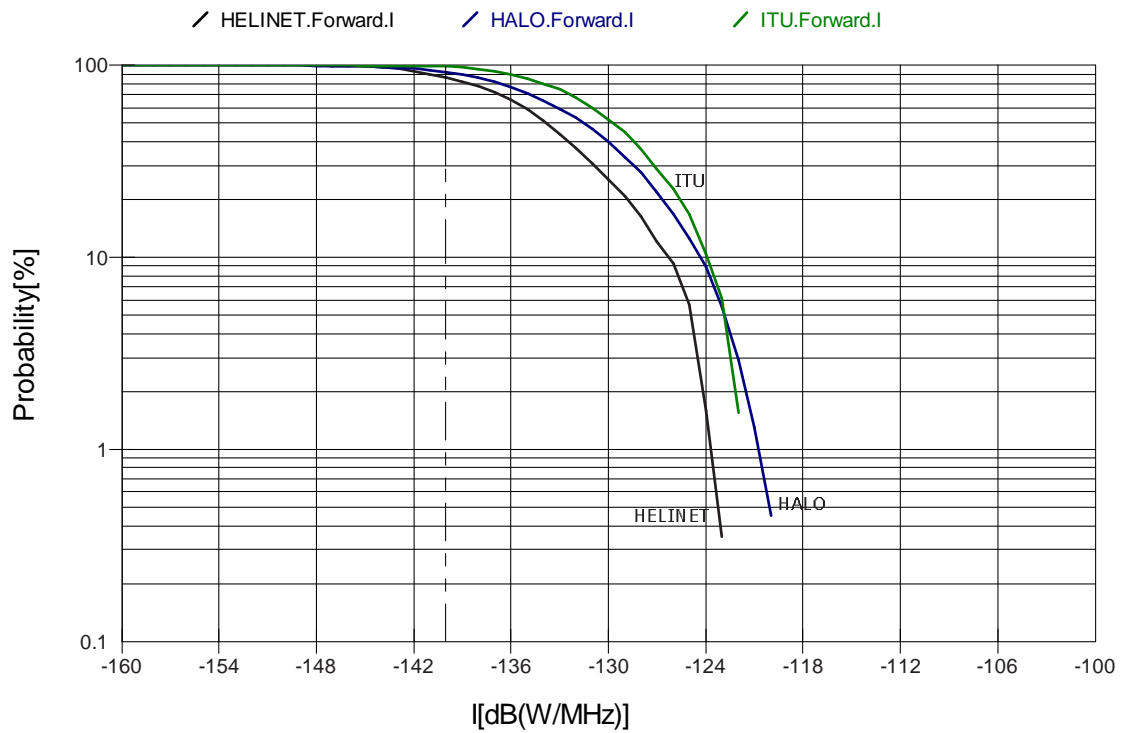


Σχήμα 3.8: Συγκεντρωτικές κατανομές πυκνότητας παρεμβολής- Περίπτωση C, Συνθήκη I

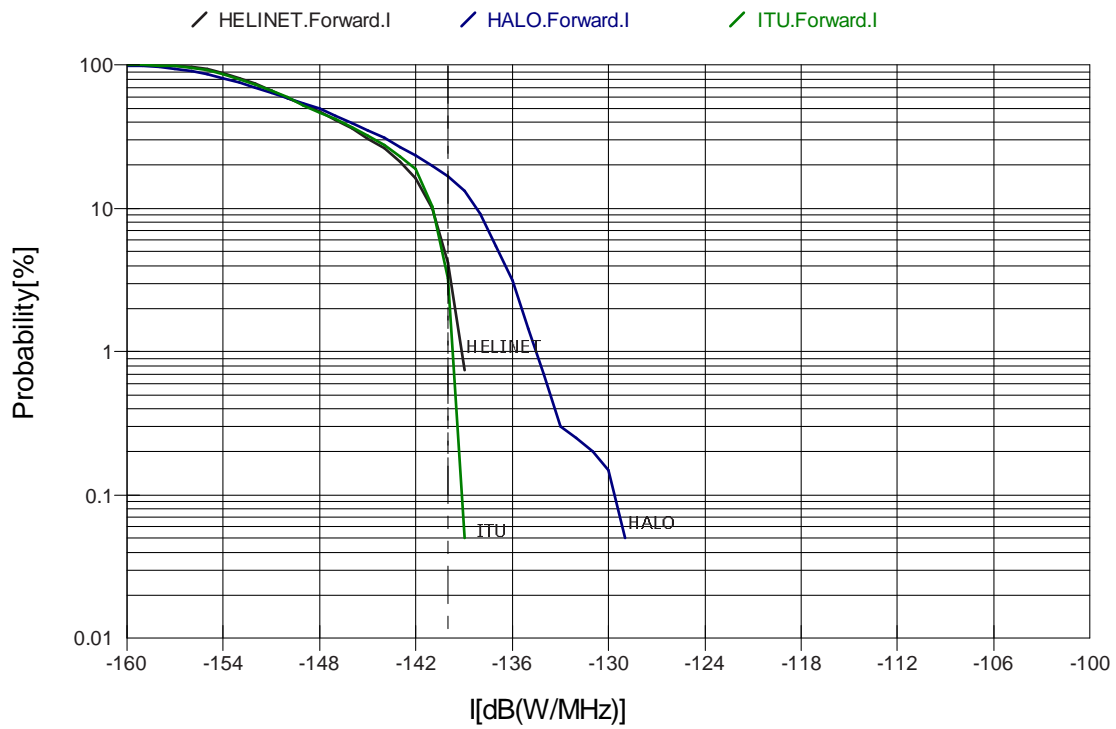


Σχήμα 3.9: Συγκεντρωτικές κατανομές πυκνότητας παρεμβολής- Περίπτωση A, Συνθήκη II

Κεφάλαιο 3.



Σχήμα 3.10: Συγκεντρωτικές κατανομές πυκνότητας παρεμβολής- Περίπτωση Β, Συνθήκη II



Σχήμα 3.11: Συγκεντρωτικές κατανομές πυκνότητας παρεμβολής- Περίπτωση C, Συνθήκη II

3.3.2.2 Κλασματική Υποβάθμιση της Λειτουργίας του Επίγειου Δικτύου

Το περιβάλλον παρεμβολών που δημιουργείται μεταξύ ΣΔ και ΕΔ εμπεριέχει χρονομεταβλητά φαινόμενα όπως η κίνηση της πλατφόρμας, η γεωμετρία της παρεμβολής, και οι συνθήκες διάδοσης του ραδιοσήματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι καταλληλότερο η μοντελοποίηση της επίδρασης της παρεμβολής να υπολογίζεται σε όρους κλασματικής υποβάθμισης της λειτουργίας του παρεμβαλλόμενου συστήματος, όπως για παράδειγμα γίνεται στον χαρακτηρισμό των παρεμβολών που προκαλούνται από μη γεωστατικούς δορυφόρους [10].

Η κλασματική αύξηση σε τέτοιες περιπτώσεις είναι ίση με I/N_T για σταθερή ισχύ παρεμβολής I . Μια τέτοια αύξηση σε P_0 μπορεί να ονομαστεί ως κλασματική υποβάθμιση λειτουργίας (*fractional degradation in performance - FDP*). Εάν ένα σύστημα προκάλεσε ισχύ παρεμβολής I_i για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μιας δεδομένης περιόδου αναφοράς, f_i , και ήταν ανενεργό για το υπόλοιπο της περιόδου, τότε η κλασματική υποβάθμιση επίδοσης λόγω της παρεμβολής αυτής περιγράφεται από τη σχέση:

$$\Delta P_{0,i} = \frac{I_i f_i}{N_T} \quad (3.3.1)$$

Η κλασματική υποβάθμιση λειτουργίας που οφείλεται σε μια σειρά από συμβάντα, όπου το i_{th} συμβάν αποτελείται από το τμήμα της χρονικής περιόδου όπου η παρεμβολή έχει ισχύ I_i , δίνεται από τη σχέση:

$$FDP = \sum \Delta P_{0,i} = \sum \frac{I_i f_i}{N_T} \quad (3.3.2)$$

όπου η άθροιση γίνεται για όλα τα συμβάντα παρεμβολής. Η κλασματική υποβάθμιση λειτουργίας είναι συνάρτηση του χρόνου στον οποίο η στρατοσφαιρική πλατφόρμα βρίσκεται στην κύρια δέσμη της κεραίας του σταθμού του ΕΔ, και της στάθμης παρεμβολής που προκαλεί η στρατοσφαιρική πλατφόρμα. Οι βασικές αρχές της κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας (*FDP*) παρατίθενται στο Παράρτημα Δ'.

Θεωρώντας την γεωμετρία που απεικονίζεται στο σχήμα 3.12, όπου θ είναι η γωνία διαχωρισμού μεταξύ της κατεύθυνσης της κύριας δέσμης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας προς τερματικό χρήστη και της κατεύθυνσης του παρεμβαλλόμενου σταθμού, φ είναι η γωνία διαχωρισμού μεταξύ του αζιμουθίου της επίγειας ζεύξης και της κατεύθυνσης προς την στρατοσφαιρική

Κεφάλαιο 3.

πλατφόρμα, έχουμε ότι η ισχύς παρεμβολής από την στρατοσφαιρική πλατφόρμα προς τον επίγειο δέκτη δίνεται από την σχέση:

$$I_{(H-T)} = P_H + G_H(\theta) + G_T(\phi) - L_{P1409} - L_{feeder} \quad (3.3.3)$$

όπου:

P_H : η πυκνότητα ισχύος εκπομπής από την στρατοσφαιρική πλατφόρμα σε dB(W/MHz),

$G_H(\theta)$: το κέρδος εκπομπής της κεραίας της πλατφόρμας σε γωνία θ (dBi),

$G_T(\phi)$: το κέρδος λήψης της κεραίας του επίγειου σταθμού σε γωνία ϕ (dBi),

L_{P1409} : οι απώλειες που λαμβάνονται υπόψη μεταξύ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και του δέκτη του ΕΔ σύμφωνα με τη σύσταση ITU-R P.1409 [43] στην οποία αναφέρεται ότι για τη συγκεκριμένη διαδρομή διάδοσης οι μηχανισμοί διάδοσης περιγράφονται πλήρως στην σύσταση ITU-R P.619 [42], στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι απώλειες ελευθέρου χώρου, οι απώλειες λόγω βροχής και ατμοσφαιρικής απορρόφησης. Στον δίαυλο μεταξύ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και των επίγειων σταθμών, ατμοσφαιρικά αέρια και υδρατμοί προκαλούν εξασθένιση, η οποία εξαρτάται από μετεωρολογικούς παράγοντες όπως θερμοκρασία, πίεση και υγρασία και έτσι μεταβάλλεται ανάλογα με τη γεωγραφική τοποθεσία, τον μήνα του χρόνου, το ύψος του σταθμού πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, τη γωνία ανύψωσης και τη συχνότητα λειτουργίας.

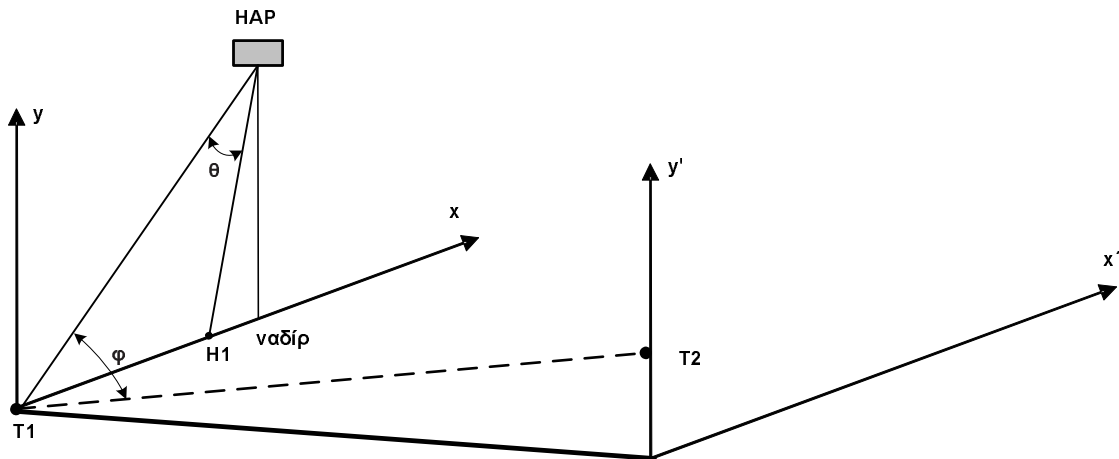
L_{feeder} : οι συνολικές απώλειες τροφοδοσίας των δύο σταθμών σε dB.

Τα διαγράμματα ακτινοβολίας των κεραίων των σταθμών του ΕΔ βασίζονται στο ακόλουθο μαθηματικό μοντέλο [45]:

$$G(\varphi) = G_{\max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{για } 0^\circ < \varphi < \varphi_m \quad (3.3.4)$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{για } \varphi_m \leq \varphi < 100 \frac{\lambda}{D} \quad (3.3.5)$$

$$G(\varphi) = 52 - 10 \log \frac{D}{\lambda} - 25 \log \varphi \quad \text{για } 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 48^\circ \quad (3.3.6)$$



Σχήμα 3.12: Γεωμετρία παρεμβολής μεταξύ στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και επίγειας ζεύξης

$$G(\varphi) = 10 - 10 \log \frac{D}{\lambda} \quad \text{για } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \quad (3.3.7)$$

όπου:

$$G_1 = 2 + 15 \log \frac{D}{\lambda} \quad (3.3.8)$$

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{\max} - G_1} \quad (3.3.9)$$

$$20 \log \frac{D}{\lambda} \approx G_{\max} - 7.7 \quad (3.3.10)$$

D : η διάμετρος της κεραίας,

λ : το μήκος κύματος (εκφρασμένο στις ίδιες μονάδες),

$G(\varphi)$: το κέρδος της κεραίας σε γωνία φ ως προς την κύρια κατεύθυνση (dBi),

φ : η γωνία απόκλισης (μοίρες),

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης εξασθένησης στην ζώνη των 47 GHz μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω σχέσεις:

Κεφάλαιο 3.

$$A_L(h, \theta) = 52.43/[1 + 0.7364\theta + 0.03601\theta^2 - 0.001099\theta^3 + 0.8024 \times 10^{-5}\theta^4 + h(0.264 + 0.2479\theta) + h^2(0.08130 + 0.02637\theta)] \quad (3.3.11)$$

$$A_M(h, \theta) = 47.00/[1 + 0.7004\theta + 0.03568\theta^2 - 0.001081\theta^3 + 0.7878 \times 10^{-5}\theta^4 + h(0.2527 + 0.1970\theta) + h^2(0.05539 + 0.03239\theta)] \quad (3.3.12)$$

$$A_H(h, \theta) = 46.70/[1 + 0.6872\theta + 0.03637\theta^2 - 0.001105\theta^3 + 0.8087 \times 10^{-5}\theta^4 + h(0.2472 + 0.1819\theta) + h^2(0.04858 + 0.03221\theta)] \quad (3.3.13)$$

όπου $A_L(h, \theta)$, $A_M(h, \theta)$ και $A_H(h, \theta)$ οι ολικές ατμοσφαιρικές απώλειες λόγω απορρόφησης (dB) για περιοχές με χαμηλό γεωγραφικό πλάτος (εώς 22.5 μοίρες από τον Ισημερινό), μεσαίο γεωγραφικό πλάτος (ανάμεσα στις 22.5 και 45 μοίρες από τον Ισημερινό) και υψηλό γεωγραφικό πλάτος (45 μοίρες και περισσότερο από τον Ισημερινό) αντίστοιχα. h και θ είναι το ύψος της κεραίας του επίγειου σταθμού (Km) και η γωνία ανύψωσης (μοίρες) αντίστοιχα.

3.3.2.3 Προτεινόμενη Κατανομή Γωνιών Ανύψωσης Επίγειων Ζεύξεων

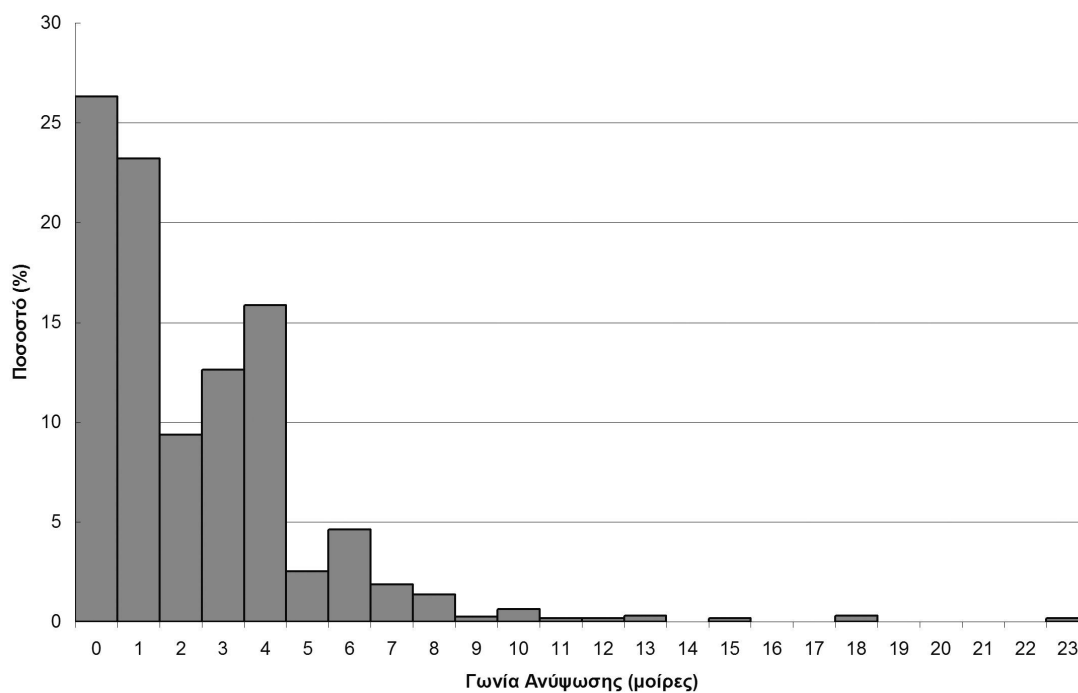
Οι υπάρχουσες μελέτες της ITU-R για τις διαδρομή διάδοσης παρεμβολής A1 [19], [24] βασίζονται στη θεώρηση ότι οι κεραίες των σταθμών του Επίγειου Δικτύου έχουν κατεύθυνση προς την στρατοσφαιρική πλατφόρμα. Θεώρηση που στην πραγματικότητα σπάνια συναντάται. Στην παρούσα ενότητα προτείνεται μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση που βασίζεται στις υπάρχουσες ζεύξεις στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής. Η κατανομή των γωνιών ανύψωσης των επίγειων σταθμών που προτείνεται, καθορίστηκε από ένα δείγμα 1224 ζεύξεων σε αστικό και προαστιακό

περιβάλλον. Η κατανομή των γωνιών ανύψωσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.13, και στον Πίνακα 3.4.

Η θέση των επίγειων ζεύξεων προσδιορίστηκε από βάση δεδομένων η οποία παρέχει στοιχεία για τις υπάρχουσες ζεύξεις στην γεωγραφική περιοχή της Αττικής και χρησιμοποιούμε 40 από τις πιο χαρακτηριστικές επίγειες ζεύξεις σε μια περιοχή κάλυψης κυκλική με ακτίνα 60 Km που καλύπτει γύρω στα 11.300 Km². Το κέντρο της κυκλικής αυτής περιοχής έχει τις ακόλουθες γεωγραφικές συντεταγμένες:

- γεωγραφικό πλάτος: 38 μοίρες και 8 πρώτα
- γεωγραφικό μήκος: 23 μοίρες και 40 πρώτα

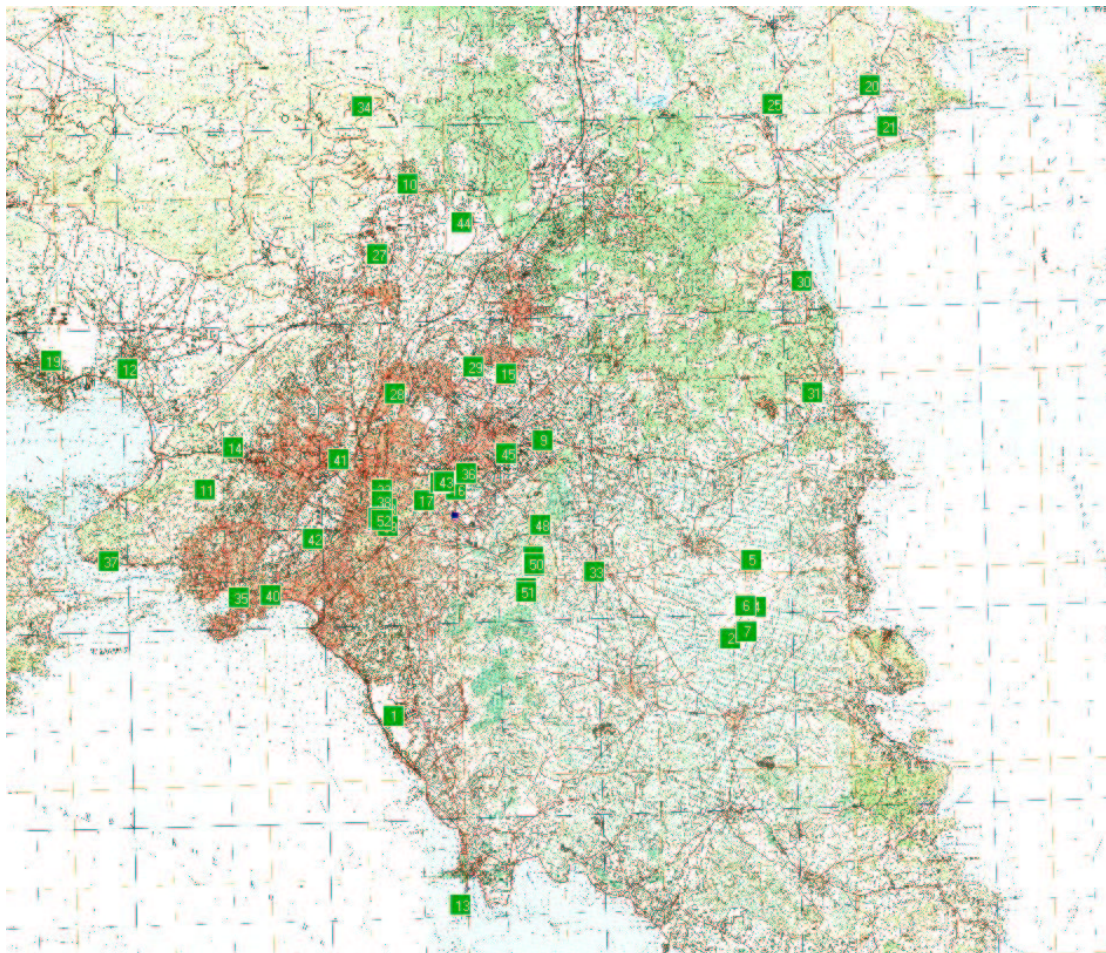
Οι πιο χαρακτηριστικές θέσεις των σταθμών του ΕΔ στη συγκεκριμένη περιοχή απεικονίζονται στο Σχήμα 3.14.



Σχήμα 3.13: Κατανομή γωνιών ανύψωσης κεραιών επίγειων σταθμών σε αστικό και προαστιακό περιβάλλον (Αττική), μέση τιμή=2.5, τυπική απόκλιση=2.6

Πίνακας 3.4: Κατανομή γωνιών ανύψωσης ΕΔ (UAC/SAC)

Γωνία Ανύψωσης (°)	Κατανομή
0-1.5	49%
1.5-4.5	38%
4.5-23	13%



Σχήμα 3.14: Θέσεις των πιο χαρακτηριστικών επίγειων σταθμών

3.3.2.4 Σταδιακή Ανάπτυξη Στρατοσφαιρικού Δικτύου

Οι υπάρχουσες μελέτες συντονισμού συχνότητων μεταξύ ΣΔ και ΕΔ, έχουν εστιάσει στην πολύ απλή περίπτωση παρεμβολής από μία ζεύξη (στρατόσφαιρα-προς-Γη) σε έναν παρεμβαλλόμενο σταθμό ΕΔ, και στην σημαντικά πιο πολύπλοκη περίπτωση παρεμβολής από ένα πλήρως ανεπτυγμένο ΣΔ.

Θεωρήσαμε πιο ρεαλιστική, μια προσέγγιση που δέχεται ότι το ΣΔ θα αναπτυχθεί σταδιακά στις μελλοντικές περιοχές κάλυψής του, και ως εκ τούτου η επίδραση της στάθμης της παρεμβολής από σταδιακά αναπτυσσόμενα ΣΔ πρέπει να χαρακτηριστεί.

Στην μελέτη μας εισάγουμε την έννοια του σταδιακά αναπτυσσόμενου ΣΔ που αφορά τους επίγειους τερματικούς χρήστες και τους επίγειους σταθμούς πύλες που εξηηρετεί κάθε φορά. Στον πίνακα 3.5 φαίνονται οι διαφορετικοί σχηματισμοί ΣΔ που λαμβάνονται υπόψη στην μελέτη.

Οι διαφορετικές περιπτώσεις ανάλυσης στη παρούσα μελέτη, συσχετίζουν το ποσοστό ανάπτυξης του ΣΔ με τον αριθμό των επίγειων τερματικών του ΣΔ στην αστική, προαστιακή και αγροτική περιοχή κάλυψης, καθώς και με τον αριθμό των πυλαίων σταθμών στην αστική και προαστιακή περιοχή κάλυψης.

Πίνακας 3.5: Συσχέτιση ποσοστού ανάπτυξης του ΣΔ με τον αριθμό των επίγειων σταθμών του

ΣΔ	τερματικοί χρήστες	επίγειοι σταθμοί πύλες	επίγειοι σταθμοί πύλες
	πλήρης κάλυψη	αστική περιοχή	προαστιακή περιοχή
10% ανάπτυξη	210	4	4
25% ανάπτυξη	525	10	10
50% ανάπτυξη	1050	20	20
75% ανάπτυξη	1575	30	30
100% ανάπτυξη	2100	40	40

3.3.3 Ανάλυση με βάση την Προτεινόμενη Μέθοδο

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν με βάση την προτεινόμενη μέθοδο, για τον χαρακτηρισμό της κλασματικής υποβάθμισης της λειτουργίας του ΕΔ λόγω παρεμβολών από ΣΔ σε ρεαλιστικό περιβάλλον ανάπτυξης των δύο δικτύων.

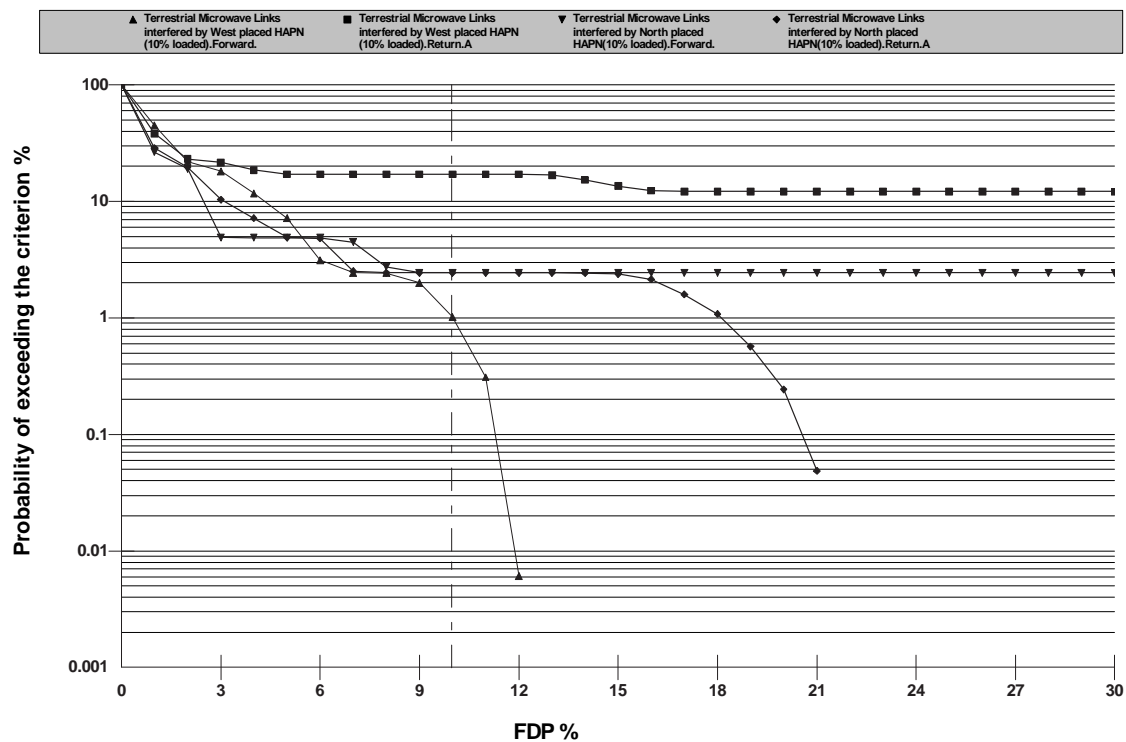
Το πρώτο θέμα που μελετάται αφορά στον χαρακτηρισμό της επίδρασης του προσανατολισμού του ΣΔ ως προς την περιοχή λειτουργίας του ΕΔ, στα επίπεδα της κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας (Fractional Degradation in Performance, *FDP*) (§3.3.3.1). Στη συνέχεια εξετάζεται η απαραίτητη απόσταση διαχωρισμού d_{sep} μεταξύ των δύο περιοχών λειτουργίας των δικτύων (3.3.3.2).

3.3.3.1 Επίδραση Προσανατολισμού Στρατοσφαιρικού Δικτύου

Η μελέτη ξεκινά με την θεώρηση ενός 10% ανεπτυγμένου ΣΔ, που παρέχει υπηρεσίες δυτικά της περιοχής ανάπτυξης του ΕΔ, και ένα δεύτερο με το ίδιο φορτίο, που παρέχει υπηρεσίες βόρεια της περιοχής ανάπτυξης του ΕΔ. Η επιλογή των περιοχών ανάπτυξης των ΣΔ έγινε με βάση τη συγκεκριμένη γεωμορφία την περιοχή της Αττικής (Ελλάδα). Οι περιοχές ανάπτυξης των ΣΔ και του ΕΔ είναι γειτονικές (μηδενική απόσταση διαχωρισμού). Η γεωμετρία της συγκεκριμένης θεώρησης απεικονίζεται στο Σχήμα Γ'.1 (Παράρτημα Γ').

Από το αποτέλεσμα της σύγκρισης των στατιστικών που παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.15, η ανάλυση επικεντρώθηκε μεταξύ του δυτικού ΣΔ και του ΕΔ. Τα επίπεδα *FDP* για την περίπτωση αυτή εμφανίζονται να είναι χειρότερα από την περίπτωση του βόρειου ΣΔ, με μέση τιμή 9.6% και απόκλιση γύρω στο 24%.

Η λειτουργία των δύο δικτύων με μηδενική απόσταση διαχωρισμού $d_{sep} = 0$, αποδεικνύεται δύσκολη ακόμα για ΣΔ με χαμηλό ποσοστό ανάπτυξης. Εντούτοις πρέπει να σημειωθεί, ότι οι μέσες τιμές *FDP* είναι αρκετά χαμηλές και μικρότερες του αποδεκτού κριτηρίου $FDP = 10\%$ (3.19% για το βόρειο ΣΔ, 9.62% για το δυτικό ΣΔ).



Σχήμα 3.15: Στατιστικά κλασματικής υποβάθμισης της λειτουργίας των επόμενων ζεύξεων από 10% ανεπτυγμένο ΣΔ βόρεια και δυτικά της περιοχής λειτουργίας των επόμενων σταθμών - μηδενική απόσταση διαχωρισμού

3.3.3.2 Καθορισμός Αποστάσεων Διαχωρισμού μεταξύ των Γεωγραφικών Περιοχών Κάλυψης των δύο Δικτύων

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.16, 3.17 και στον Πίνακα 3.6 υποδεικνύουν ότι μια απόσταση διαχωρισμού d_{sep} της τάξης των 130 Km είναι επαρκής για την προστασία των δεκτών του ΕΔ από την αθροιστική παρεμβολή που προκαλεί ένα 10% ανεπτυγμένο ΣΔ. Η σχηματική αναπαράσταση της απόστασης διαχωρισμού μεταξύ των περιοχών λειτουργίας του ΣΔ και του ΕΔ φαίνεται στο Σχήμα Γ'.1 (Παράρτημα Γ'). Επίσης φανερώνουν ότι όταν το ΣΔ είναι ανεπτυγμένο κατά 25%, 50%, 75%, με την ίδια απόσταση διαχωρισμού τα επίπεδα της κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας του ΕΔ ξεπερνούν το επιτρεπτό κριτήριο $FDP = 10\%$.

Συγκεκριμένα από τα στατιστικά που εξάγονται για την περίπτωση που παρεμβάλλεται το ΕΔ από 10% ανεπτυγμένο ΣΔ 130 Km μακριά από την περιοχή εγκατάστασης του ΕΔ, η πιθανότητα κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας του ΕΔ πάνω από το από το κριτήριο $FDP = 10\%$ είναι μηδενική. Για την περίπτωση που παρεμβάλλεται το ΕΔ από από 25% ανεπτυγμένο ΣΔ 130 Km μακριά από την περιοχή εγκατάστασης του ΕΔ, η πιθανότητα κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας του ΕΔ πάνω από το από το κριτήριο $FDP = 10\%$ είναι 2.5%.

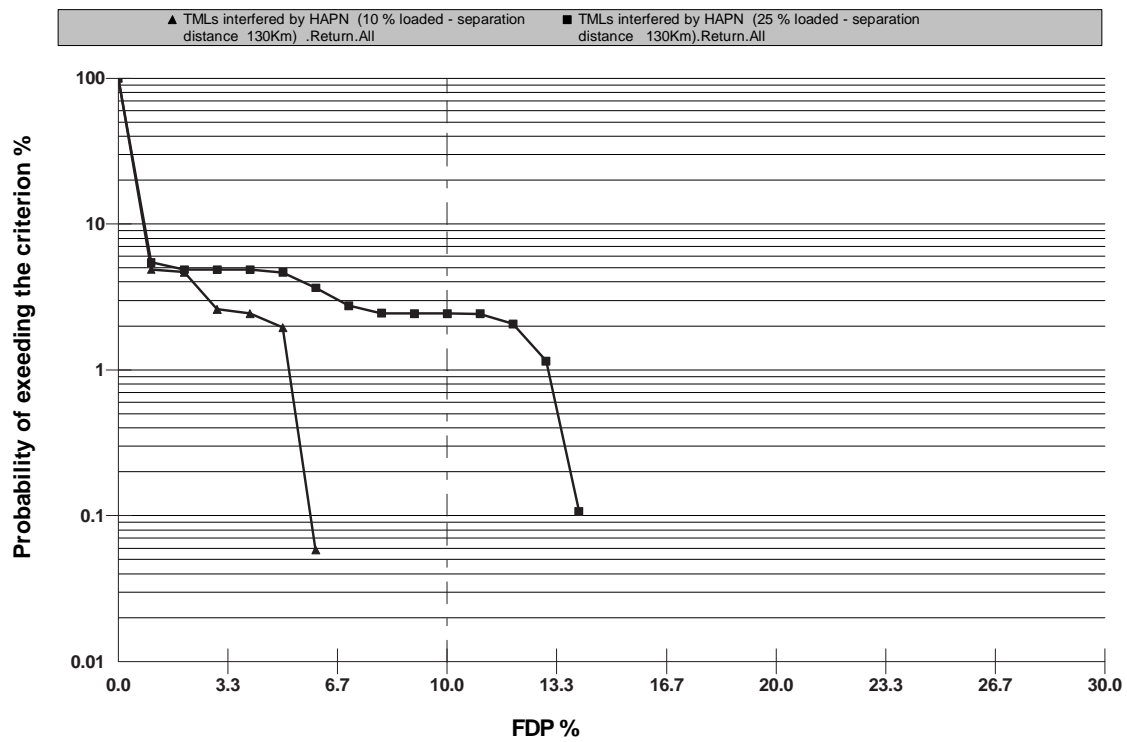
Κεφάλαιο 3.

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.17 προκύπτει ότι για την περίπτωση που παρεμβάλλεται το ΕΔ από 25% και 50% ανεπτυγμένο ΣΔ 130 Km μακριά από την περιοχή εγκατάστασης του ΕΔ, η πιθανότητα κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας του ΕΔ πάνω από το από το κριτήριο $FDP = 10\%$ είναι της τάξης του 5%. Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.19 προκύπτει ότι για την περίπτωση που παρεμβάλλεται το ΕΔ από από 75% και 100% ανεπτυγμένο ΣΔ 180 Km και 230 Km αντίστοιχα μακριά από την περιοχή εγκατάστασης του ΕΔ, η πιθανότητα κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας του ΕΔ πάνω από το κριτήριο $FDP = 10\%$ είναι 2.5% και μηδενική αντίστοιχα.

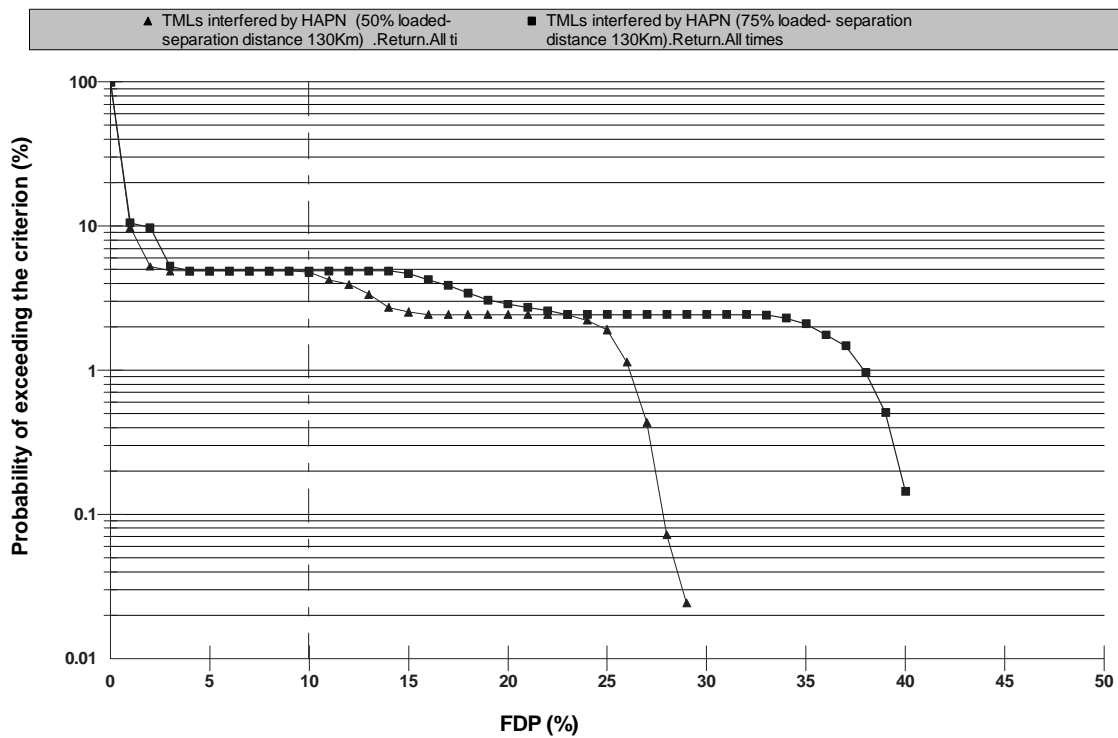
Η διαφορετική επίδραση που έχουν οι ζεύξεις του ΣΔ με τερματικούς χρήστες και τους πυλαίους (gateway) σταθμούς στην κλασματική υποβάθμιση λειτουργίας του ΕΔ, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.18. Από την συγκεκριμένη μελέτη προκύπτει ότι η επιβάρυνση στην προκαλούμενη FDP από τις ζεύξεις του ΣΔ με τερματικούς χρήστες ξεπερνά το επιτρεπτό κριτήριο κατά 5% και 3.5% για 75% και 50% ανεπτυγμένο ΣΔ αντίστοιχα, ενώ η επιβάρυνση στην προκαλούμενη FDP από τις ζεύξεις του ΣΔ με τους πυλαίους σταθμούς δεν ξεπερνά το κριτήριο. Αυτό είναι άμεση συνέπεια του αριθμού των πυλαίων και τερματικών σταθμών (Πίνακας 3.5).

Γενικά θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μέσες τιμές FDP είναι αρκετά χαμηλές ($< 2\%$). Το γεγονός αυτό αποτελεί μια πρώτη ένδειξη πως με την υιοθέτηση των κατάλληλων τεχνικών μείωσης των παρεμβολών, η απόσταση των 130 Km θα μπορεί να χρησιμοποιείται σαν κριτήριο συνύπαρξης μεταξύ ΕΔ και ΣΔ, ακόμα και με ανάπτυξη μεγαλύτερη του 10%.

Συγκεντρωτικά για τις συχνότητες των 48/47 GHz και με υψόμετρο στρατοσφαιρικής πλατφόρμας τα 21 Km η κατάλληλη απόσταση διαχωρισμού μεταξύ των δύο περιοχών κάλυψης των δύο δικτύων (Σχήμα Γ'.1) είναι τα 130 Km για 10% ανεπτυγμένο ΣΔ, και τα 230 Km για 100% ανεπτυγμένο ΣΔ. Οι αποστάσεις αυτές είναι αρκετά μικρότερες από αυτή των 772 Km που προτείνει η ITU-R για την πολύ απλή περίπτωση παρεμβολής μίας ζεύξης ΣΔ σε μία ζεύξη ΕΔ. Στο Σχήμα 3.20 απεικονίζονται οι προτεινόμενες αποστάσεις μεταξύ των περιοχών λειτουργίας του Επίγειου Δικτύου και του Στρατοσφαιρικού Δικτύου, όπως εξάγονται από την παρούσα μελέτη και από την μελέτη της ITU-R.

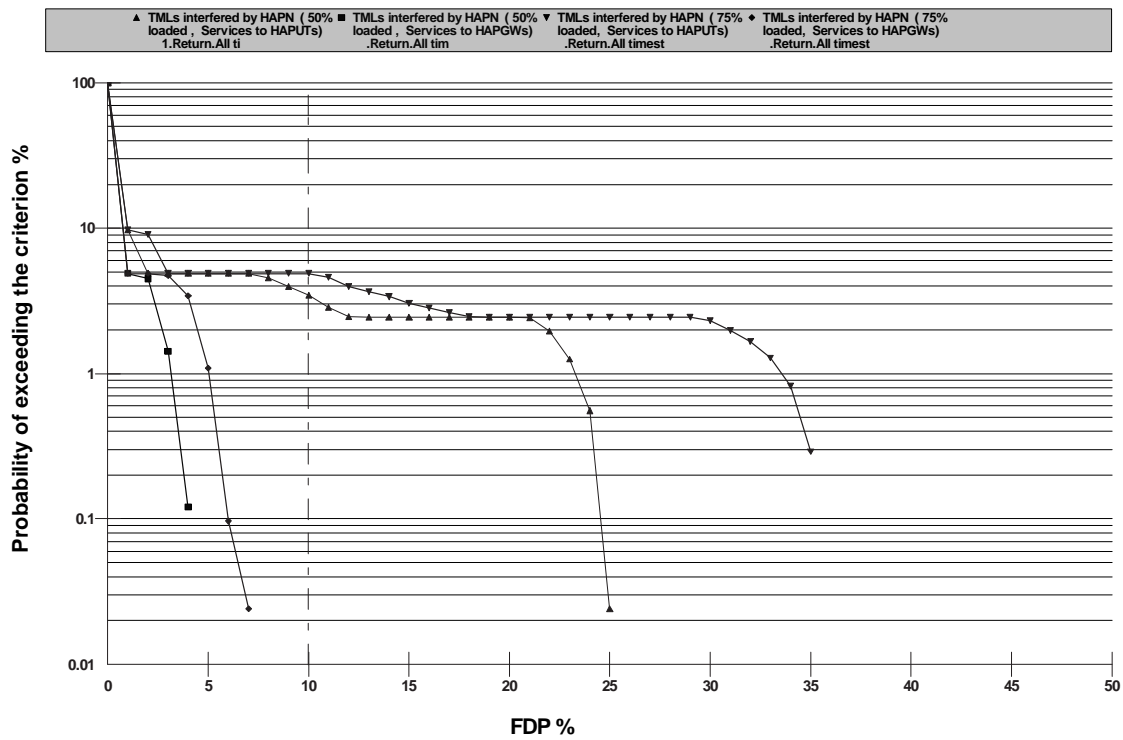


Σχήμα 3.16: Στατιστικά κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας των επήγειων ζεύξεων από 10% και 25% ανεπτυγμένο ΣΔ 130 Km μακριά από την περιοχή εγκατάστασης του ΕΔ

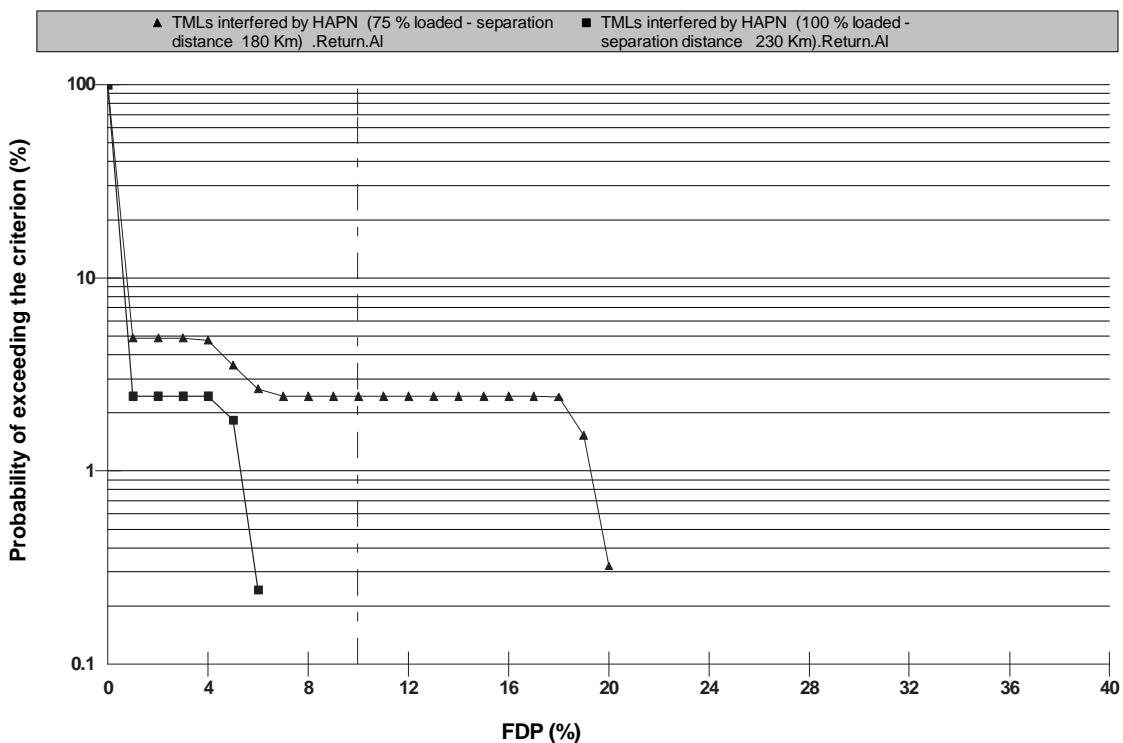


Σχήμα 3.17: Στατιστικά κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας των επήγειων ζεύξεων από 50% και 75% αναπτυγμένο στρατοσφαιρικό δίκτυο 130 Km μακριά από την περιοχή εγκατάστασης του ΕΔ

Κεφάλαιο 3.



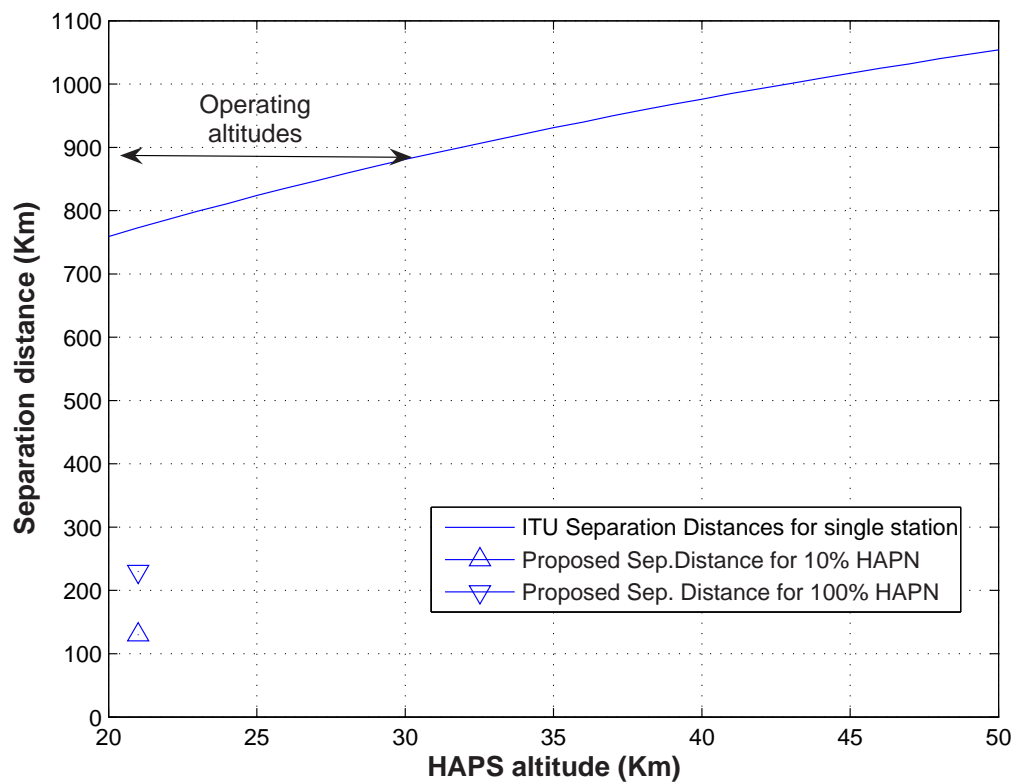
Σχήμα 3.18: Στατιστικά κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας των επήρειων ζεύξεων, σύγκριση της επίδρασης των ζεύξεων με τους τερματικούς χρήστες και με τους πυλαίους (gateway) σταθμούς



Σχήμα 3.19: Στατιστικά κλασματικής υποβάθμισης λειτουργίας των επήρειων ζεύξεων, από 75% και 100% ανεπτυγμένο στρατοσφαιρικό δίκτυο 180 Km και 230 Km αντίστοιχα μακριά από την περιοχή εγκατάστασης του ΕΔ

Πίνακας 3.6: Στατιστικά FDP

Στρατοσφαιρικό Δίκτυο	Στατιστικά FDP			
	Παρεμβάλλει	d_{sep}	Χειρότερη τιμή	Μέση τιμή
10% ανάπτυξη βόρεια	0 Km	129.17%	3.19%	14.58%
10% ανάπτυξη δυτικά	0 Km	134.05%	9.62%	23.98%
10% ανάπτυξη	130 Km	6.34%	0.22%	0.89%
25% ανάπτυξη	130 Km	14.45%	0.53%	2.17%
50% ανάπτυξη	130 Km	29.09%	1.07%	4.38%
75% ανάπτυξη	130 Km	41.25%	1.55%	6.32%
75% ανάπτυξη	180 Km	20.95%	0.64%	3.05%
100% ανάπτυξη	230 Km	6.59%	0.18%	0.83%



Σχήμα 3.20: Σύγκριση απόστασεων διαχωρισμού μεταξύ ΕΔ και ΣΔ

3.3.4 Αποτελέσματα Αρχικής Μελέτης

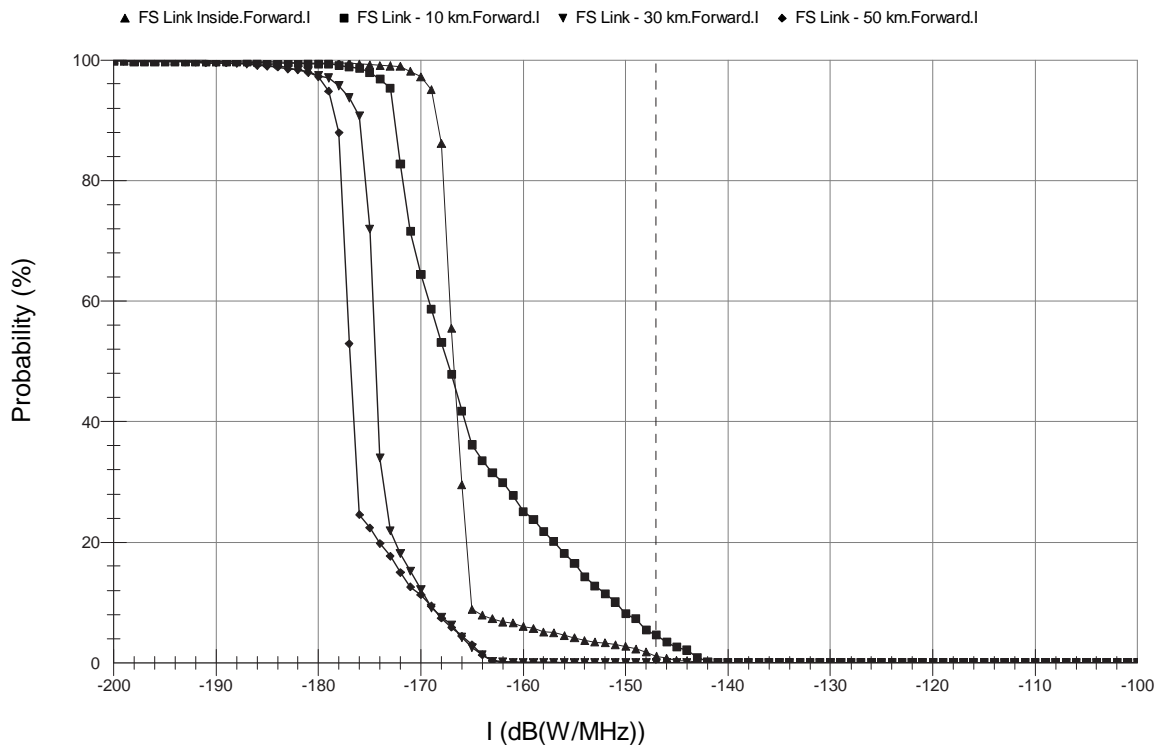
3.3.4.1 Χρήστες στην Αστική Περιοχή Κάλυψης του Στρατοσφαιρικού Δικτύου

Η μελέτη των επιπέδων παρεμβολής που δέχονται οι σταθμοί του Επίγειου Δικτύου από τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που καλύπτουν την αστική ζώνη, ξεκινά με την θεώρηση μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και στην συνέχεια εξετάζονται τα επίπεδα παρεμβολής που προκαλούνται από τέσσερις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες [35]. Η ακτίνα της αστικής περιοχής κάλυψης, για πλατφόρμα στα 21 Km, είναι 36 περίπου Km, ενώ οι γωνίες ανύψωσης των τερματικών κυμαίνονται από 30 έως και 90 μοίρες.

Αρχικά στήθηκε μια στρατοσφαιρική πλατφόρμα που επικοινωνεί στην προς τα κάτω ζεύξη με ένα επίγειο τερματικό. Η γωνία ανύψωσης του επίγειου τερματικού είναι 30 μοίρες, ακριβώς δηλαδή στο όριο της αστικής περιοχής κάλυψης. Το επίγειο τερματικό θα είναι σταθερά σε αυτό το σημείο, για όλη την διάρκεια της προσομοίωσης. Επίσης στήθηκαν τέσσερις μικροκυματικές επίγειες ζεύξεις, σημείου προς σημείο. Οι τέσσερις επίγειες ζεύξεις έχουν στηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις, η μια από αυτές βρίσκεται μέσα στην αστική ζώνη κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, ενώ οι άλλες βρίσκονται σε απόσταση 10, 30 και 50 Km μακριά από το σύνορο της αστικής ζώνης κάλυψης.

Η επιλογή της συγκεκριμένης τοποθεσίας λειτουργίας των επίγειων ζεύξεων έγινε για να μελετηθούν τα επίπεδα παρεμβολής που θα δέχονται οι δέκτες του ΕΔ, ανάλογα με την απόστασή τους από την περιοχή λειτουργίας της στρατοσφαιρικής προς τα κάτω ζεύξης. Για την στατιστική μελέτη των παρεμβολών που δέχονται οι επίγειοι δέκτες, επιλέχθηκε η τυχαία κατανομή Monte Carlo για τις θέσεις των επίγειων δεκτών. Οι δέκτες θα λαμβάνουν τυχαίες θέσεις, κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, γύρω από τους αντίστοιχους επίγειους πομπούς τους, με τους οποίους είναι σε ζεύξη. Στο σχήμα 3.21 φαίνονται τα αποτελέσματα της στατιστικής μελέτης σε (cumulative distribution function - CDF) κατανομή.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των τυχαίων θέσεων των δεκτών του ΕΔ, στις οποίες οι παρεμβολές που λαμβάνονται είναι πάνω από το όριο των -147.2 dB(W/MHz) ($I/N = 15\%$), και των -149 dB(W/MHz) ($I/N = 10\%$) παρατηρούνται για την επίγεια ζεύξη που βρίσκεται 10 Km μακριά από το όριο της αστικής ζώνης κάλυψης. Το ποσοστό αυτό είναι 4.15%, και 7.30% αντίστοιχα ενώ τα μέσα επίπεδα παρεμβολής που δέχεται ο επίγειος δέκτης της ζεύξης αυτής είναι -164.96 dB(W/MHz) με τυπική απόκλιση 9.44 dB(W/MHz) και χειρότερη στάθμη παρεμβολής

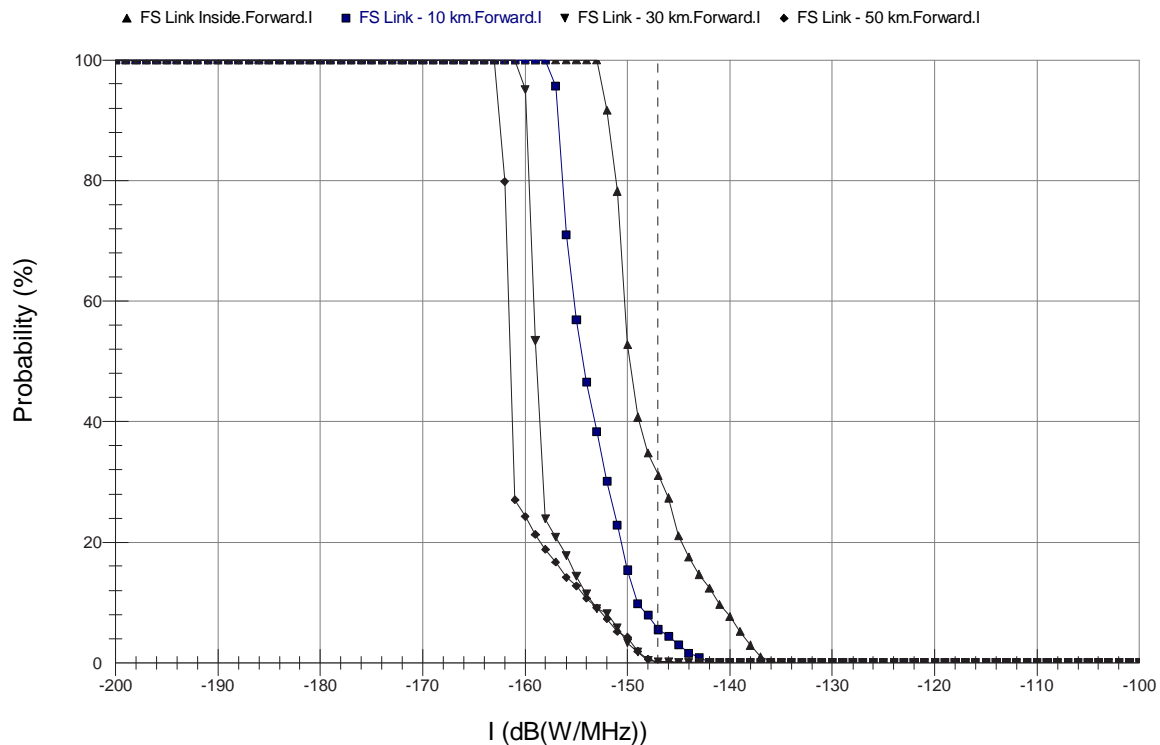


Σχήμα 3.21: Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι σταθμοί του ΕΔ από μια ζεύξη της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας της αστικής ζώνης

τα -141.85 dB(W/MHz). Για την επίγεια ζεύξη, που βρίσκεται εντός της ζώνης κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, το ποσοστό των παρεμβαλλόμενων θέσεων, επί του συνολικού αριθμών των τυχαίων θέσεων που λαμβάνει ο δέκτης μέσω Monte Carlo ανάλυσης, είναι 1.10% και τα μέσα επίπεδα παρεμβολής που λαμβάνει ο επίγειος δέκτης της ζεύξης αυτής είναι -166.08 dB(W/MHz) με τυπική απόκλιση 4.41 dB(W/MHz) και χειρότερη στάθμη παρεμβολής τα -142.11 dB(W/MHz). Τα αντίστοιχα ποσοστά μέσης λαμβανόμενης παρεμβολής είναι -173.83 dB(W/MHz) για την επίγεια ζεύξη που βρίσκεται 30 Km μακριά από το όριο της αστικής ζώνης κάλυψης και -175.71 dB(W/MHz) για την επίγεια ζεύξη που βρίσκεται 50 Km μακριά από το όριο της αστικής ζώνης κάλυψης.

Για να μελετηθεί στατιστικά η στάθμη συναθροιστικής παρεμβολής που δέχονται οι επίγειοι δέκτες αναπτύχθηκαν 36 συνολικά επίγεια τερματικά, τα οποία θα καλύπτουν πλήρως την αστική ζώνη κάλυψης. Οι γωνίες ανύψωσης των τερματικών κυμαίνονται από 30 έως 90 μοίρες. Η στρατοσφαιρική πλατφόρμα θα προβάλλει 36 δέσμες μία για κάθε επίγειο τερματικό, όπως ακριβώς έχουν σχεδιασθεί να λειτουργήσουν οι πλατφόρμες αυτές, όπως έχει ήδη περιγραφεί στο Κεφάλαιο 2. Από το σχήμα 3.22 φαίνεται πως το ποσοστό των θέσεων που λαμβάνει ο επίγειος δέκτης, της ζεύξης που λειτουργεί μέσα στην αστική περιοχή ανάπτυξης των τερματικών, στις

Κεφάλαιο 3.



Σχήμα 3.22: Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι σταθμοί του ΕΔ από 36 ζεύξεις της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας της αστικής ζώνης

οποίες η τιμή της παρεμβολής θα ξεπερνά το όριο των -147.2 dB(W/MHz) είναι 32%, ενώ τα μέσα επίπεδα παρεμβολής που λαμβάνει ο δέκτης αυτός είναι -148.01 dB(W/MHz) με τυπική απόκλιση 4.09 dB(W/MHz) και χειρότερη στάθμη παρεμβολής τα -135.17 dB(W/MHz). Το ποσοστό των παρεμβαλλόμενων θέσεων, στις οποίες οι παρεμβολές είναι μεγαλύτερες από το επιτρεπτό ανώτερο όριο και τα μέσα επίπεδα παρεμβολής είναι 5.49% και -153.4 dB(W/MHz) για την επίγεια ζεύξη που λειτουργεί σε απόσταση 10 Km μακριά από το όριο της αστικής ζώνης κάλυψης, 0.20% και -157.85 dB(W/MHz) για την ζεύξη που λειτουργεί σε απόσταση 30 Km μακριά από το όριο της αστικής ζώνης κάλυψης και 0.10% και -159.92 dB(W/MHz) για την επίγεια ζεύξη που λειτουργεί σε απόσταση 50 Km μακριά από το όριο της αστικής ζώνης κάλυψης.

Παρατηρούμε επομένως, πως όταν μια επίγεια ζεύξη λειτουργεί μέσα στην αστική περιοχή κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και δέχεται παρεμβολές από τον σταθμό της πλατφόρμας, τότε είναι αδύνατη η ικανοποιητική κοινή λειτουργία της με το στρατοσφαιρικό σύστημα. Αντίθετα για επίγειες ζεύξεις που λειτουργούν σε κάποια απόσταση έξω από την περιοχή ανάπτυξης του στρατοσφαιρικού συστήματος, τα επίπεδα παρεμβολής μειώνονται αρκετά σε σχέση με την απόσταση. Ουσιαστικά λοιπόν σε μια απόσταση 50 Km και πάνω, μια επίγεια ζεύξη μπορεί

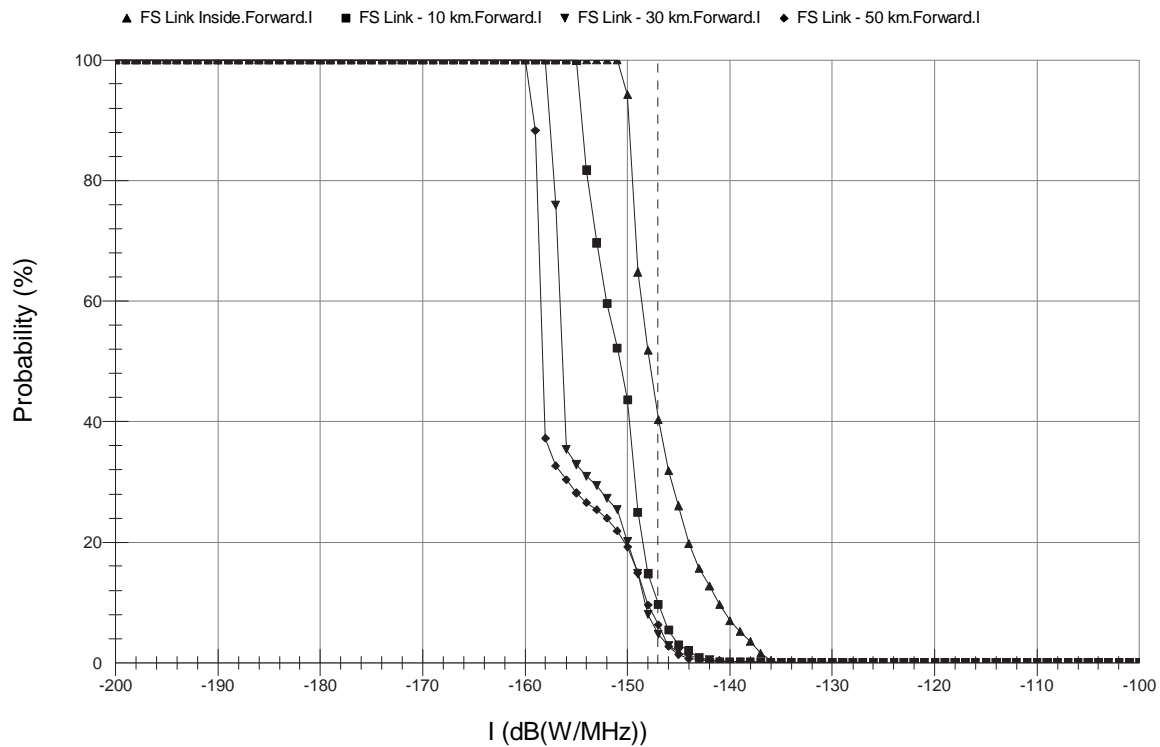
να λειτουργεί αρμονικά με μια στρατοσφαιρική πλατφόρμα, όταν η στρατοσφαιρική πλατφόρμα προκαλεί τις παρεμβολές.

Θεωρούμε ένα νέο σενάριο όπου τέσσερις πλατφόρμες παρέχουν κάλυψη στην αστική ζώνη μόνο. Οι αποστάσεις μεταξύ των πλατφόρμων είναι στα 75 Km, σενάριο που αντιπροσωπεύει την χειρότερη περίπτωση, καθώς οι πηγές παρεμβολής βρίσκονται στην ελάχιστη δυνατή απόσταση από τους παρεμβαλλόμενους δέκτες. Η απόσταση αυτή είναι ίση με την ελάχιστη απόσταση που μπορεί να έχουν στην πραγματικότητα οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες της αστικής ζώνης, αφού η ακτίνα κάλυψης μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στα 21 Km για την αστική ζώνη είναι 36 Km. Η κάθε πλατφόρμα, όπως έγινε και στην προηγούμενη προσομοίωση, θα προβάλλει 36 δέσμες σε κάθε ένα από τα επίγεια τερματικά με τα οποία είναι συνδεδεμένη. Οι γωνίες ανύψωσης των τερματικών θα είναι από 30 έως και 90 μοίρες. Έτσι οι συνολικές πηγές παρεμβολής για το σενάριο αυτό θα είναι 144. Οι επίγειες ζεύξεις, οι δέκτες των οποίων θα παρεμβάλλονται, βρίσκονται σε αποστάσεις 10, 30 και 50 Km καθώς και άλλη μία μέσα στην περιοχή κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας.

Από τα αποτελέσματα για αυτό το σενάριο (Σχήμα 3.23) συμπεραίνουμε ότι το ποσοστό των θέσεων, που λαμβάνουν οι επίγειοι δέκτες, στις οποίες οι παρεμβολές είναι μεγαλύτερες από το επιτρεπτό ανώτατο όριο των των -147.2 dB(W/MHz) ($I/N = 15\%$) και των -149 dB(W/MHz) ($I/N = 10\%$), είναι κοντά στο 40% και 48% αντίστοιχα. Τα επίπεδα των παρεμβολών που δέχεται ο επίγειος δέκτης, που βρίσκεται μέσα στην περιοχή ανάπτυξης των τερματικών του στρατοσφαιρικού συστήματος της αστικής ζώνης, είναι $-146.65 \text{ dB(W/MHz)}$. Για τον επίγειο δέκτη που βρίσκεται σε απόσταση 10 Km το ποσοστό παρεμβαλλόμενων θέσεων είναι 9.69%, ενώ τα μέσα επίπεδα παρεμβολής είναι $-150.82 \text{ dB(W/MHz)}$. Για τον επίγειο δέκτη που λαμβάνει τυχαίες θέσεις σε απόσταση 30 Km από το όριο της αστικής περιοχής κάλυψης, το ποσοστό των παρεμβαλλόμενων θέσεων είναι 4.70% και το αντίστοιχο μέσο επίπεδο παρεμβολής $-154.32 \text{ dB(W/MHz)}$. Τέλος για τον επίγειο δέκτη της ζεύξης που βρίσκεται σε απόσταση 50 Km από το σύνορο της αστικής περιοχής κάλυψης, το ποσοστό παρεμβαλλόμενων θέσεων και τα μέσα επίπεδα παρεμβολής είναι 4% και $-155.82 \text{ dB(W/MHz)}$, αντίστοιχα.

Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπου τέσσερις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες παρεμβάλλουν στους επίγειους δέκτες, με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπου μια μόνο στρατοσφαιρική πλατφόρμα δημιουργούσε παρεμβολές, τότε παρατηρούμε μια σημαντική αύξηση στα ποσοστά των παρεμβαλλόμενων τυχαίων θέσεων των επίγειων δεκτών. Μετά από διαδοχικές μελέτες συμπεραίνουμε πως για μια επίγεια ζεύξη σε απόσταση 165 Km μακριά

Κεφάλαιο 3.



Σχήμα 3.23: Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι σταθμοί του ΕΔ από 144 ζεύξεις τεσσάρων στρατοσφαιρικών πλατφόρμων της αστικής ζώνης

από την αστική ζώνη κάλυψης, το ποσοστό υπέρβασης του κριτηρίου είναι πολύ μικρό, ίσο με 0.40%, ενώ το αντίστοιχο μέσο επίπεδο παρεμβολής που λαμβάνει ο επίγειος δέκτης είναι -167.31 dB(W/MHz). Η απόσταση αυτή είναι επομένως αρκετή για την αρμονική λειτουργία των επίγειων δεκτών, όταν δέχονται παρεμβολές από στρατοσφαιρικές πλατφόρμες της αστικής ζώνης κάλυψης.

Πίνακας 3.7: Αποστάσεις Διαχωρισμού επίγειας ζεύξης από το όριο της αστικής περιοχής κάλυψης στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στα 21 Km, στα 48/47 GHz

Αριθμός Πλατφορμών	Ποσοστό Ανάπτυξης ΣΔ	Επίγειο Δίκτυο	Απόσταση Διαχωρισμού
1 HAPS	<10%	μία επίγεια ζεύξη	50 Km
4 HAPS	<10%	μία επίγεια ζεύξη	165 Km

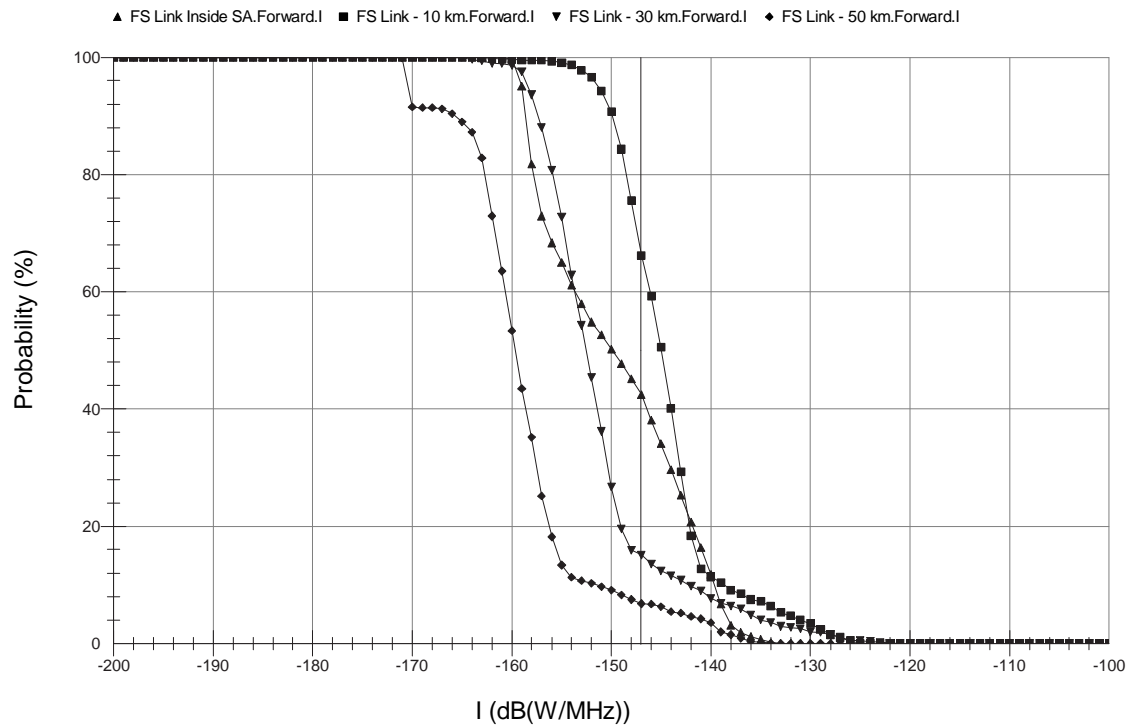
3.3.4.2 Χρήστες στην Αγροτική Περιοχή Κάλυψης του Στρατοσφαιρικού Δικτύου

Για την μελέτη των παρεμβολών των ζεύξεων της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας με αγροτικούς χρήστες έχει στηθεί μία στρατοσφαιρική πλατφόρμα, η οποία παρέχει κάλυψη στην αγροτική ζώνη κάλυψης. Επίσης 36 τερματικά έχουν αναπτυχθεί στην αγροτική περιοχή κάλυψης, οι γωνίες ανύψωσης των οποίων κυμαίνονται από 7.5° έως 15° . Σε κάθε επίγειο τερματικό η στρατοσφαιρική πλατφόρμα θα προβάλλει και από μία δέσμη. Επιπλέον τέσσερις επίγειες ζεύξεις έχουν στηθεί με τον ίδιο τρόπο όπως και στην προηγούμενη περίπτωση που μελετήσαμε, δηλαδή μία ζεύξη μέσα στην αγροτική ζώνη κάλυψης και άλλες τρεις σε αποστάσεις 10, 30 και 50 Km από το όριο της αγροτικής ζώνης κάλυψης. Και για τις τέσσερις επίγειες ζεύξεις, οι δέκτες τους θα λαμβάνουν τυχαίες θέσεις μέσω της κατανομής Monte Carlo.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρεμβολών από μία στρατοσφαιρική πλατφόρμα παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.24. Οι αποστάσεις μεταξύ των στρατοσφαιρικών πλατφόρμων είναι 200 Km από την αρχική πλατφόρμα. Από τα αποτελέσματα προκύπτει μικρή διαφορά μεταξύ της απλής και συναθροιστικής παρεμβολής. Το μεγαλύτερο ποσοστό παρεμβαλλόμενων θέσεων παρατηρείται (για την πρώτη περίπτωση) για την επίγεια ζεύξη που βρίσκεται σε απόσταση 10 Km από το όριο της αγροτικής ζώνης κάλυψης. Το ποσοστό είναι 66.23%, ενώ το αντίστοιχο μέσο επίπεδο παρεμβολής που λαμβάνει ο επίγειος δέκτης είναι -144.12 dB(W/MHz). Για την ζεύξη που λειτουργεί μέσα στην αγροτική ζώνη κάλυψης, το ποσοστό παρεμβαλλόμενων θέσεων είναι 42.06%, ενώ για τις ζεύξεις που λειτουργούν σε απόσταση 30 και 50 Km, τα αντίστοιχα ποσοστά είναι 15.08% και 6.79%. Τα μέσα επίπεδα παρεμβολής που λαμβάνουν οι δέκτες των επίγειων ζεύξεων που λειτουργούν εντός της αγροτικής ζώνης κάλυψης, σε απόσταση 30 Km και 50 Km μακριά από το όριο της αγροτικής ζώνης κάλυψης είναι -158.11 dB(W/MHz), -150.63 dB(W/MHz) και -147.61 dB(W/MHz).

Παρατηρούμε ότι τα επίπεδα της προκαλούμενης παρεμβολής είναι ισχυρότερα από εκείνα όπου η πλατφόρμα παρείχε υπηρεσίες στην αστική ζώνη κάλυψης. Αυτό οφείλεται στις χαμηλότερες γωνίες ανύψωσης των στρατοσφαιρικών ζεύξεων. Καθώς οι γωνίες ανύψωσης των ζεύξεων της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας μειώνονται, τότε τα σήματα παρεμβολής θα λαμβάνονται από τους επίγειους παρεμβαλλόμενους δέκτες σχηματίζοντας μικρότερες γωνίες με την διεύθυνση του κύριου λοβού ακτινοβολίας τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το σήμα παρεμβολής να λαμβάνεται με μεγαλύτερο κέρδος από την κεραία του παρεμβαλλόμενου δέκτη. Από τα αποτελέσματα της αρχικής μελέτης [36], προκύπτουν τελικά οι αποστάσεις διαχωρισμού που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.8.

Κεφάλαιο 3.



Σχήμα 3.24: Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι σταθμοί του ΕΔ από 36 ζεύξεις της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας της αγροτικής ζώνης

Πίνακας 3.8: Αποστάσεις Διαχωρισμού επίγειας ζεύξης από το όριο της αγροτικής περιοχής κάλυψης στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στα 21 Km, στα 48/47 GHz

Αριθμός Πλατφορμών	Ποσοστό Ανάπτυξης ΣΔ	Επίγειο Δίκτυο	Απόσταση Διαχωρισμού
1 HAPS	<10%	μία επίγεια ζεύξη	> 50 Km
4 HAPS	<10%	μία επίγεια ζεύξη	> 165 Km

3.4 Διαδρομή Διάδοσης Παρεμβολής A2

Η διαδρομή διάδοσης παρεμβολής A2 αναφέρεται στις παρεμβολές που προκαλούνται από τους επίγειους σταθμούς του Στρατοσφαιρικού Δικτύου προς τους δέκτες του Επίγειου Δικτύου. Η παρεμβολή γίνεται στην συχνότητα άνω ζεύξης του ΣΔ f_1 (ανάθεση στα 47.9-48.2 GHz). Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα υπάρχοντα κριτήρια συνύπαρξης, και προτείνεται ένα θεωρητικό μοντέλο εκτίμησης της αθροιστικής παρεμβολής που προκαλείται από τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ προς σταθμό του ΕΔ, με βάση το οποίο μελετώνται νέες αποστάσεις συντονισμού μεταξύ επίγειου δέκτη και του σημείου ναδίρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας για την μελέτη που αφορά στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που παρέχουν κάλυψη στην αστική ζώνη. Για στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που παρέχουν κάλυψη στην προαστιακή και αγροτική ζώνη, μελετάται η πιθανότητα συνύπαρξης των σταθμών του ΕΔ και των σταθμών του ΣΔ, στην περίπτωση που οι πρώτοι αναπτύσσονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στην προαστιακή περιοχή, και μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ.

3.4.1 Υπάρχοντα Κριτήρια Συνύπαρξης

Η συνύπαρξη του ΕΔ και του ΣΔ σε κοινή περιοχή και συχνότητα παρουσιάζει σημαντική δυσκολία λόγω του μεγάλου ορατού πεδίου της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Και στις τρεις περιοχές συμμετρικής κάλυψης γύρω από το σημείο ναδίρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας (Αστική, Προαστιακή, Αγροτική), η NIB⁵ συνύπαρξη είναι εφικτή εάν το ΕΔ βρίσκεται έξω από το ορατό πεδίο της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Όπως συμπεραίνεται από την σύσταση ITU-F.1608 [19], περαιτέρω μελέτη θα ήταν σημαντική για την εύρεση επιπρόσθετων λειτουργικών σεναρίων και τεχνικών που θα διευκολύνουν την συνύπαρξη των σταθμών του ΕΔ και του ΣΔ στην χιλιοστομετρική ζώνη.

Στην σύσταση ITU-F.1608 [19] προσδιορίζονται οι ακόλουθες αποστάσεις συντονισμού ως κριτήριο συνύπαρξης μεταξύ των επίγειων σταθμών των δύο δικτύων:

- 31 Km για την περίπτωση που η παρεμβολή προκαλείται από επίγειους σταθμούς του ΣΔ, οι οποίοι λειτουργούν στην αστική περιοχή κάλυψης,
- 28 Km για την περίπτωση που η παρεμβολή προκαλείται από επίγειους σταθμούς του ΣΔ, οι οποίοι λειτουργούν στην προαστιακή περιοχή κάλυψης,

⁵Non-Interference-Basis, συνύπαρξη στην αρχή της μη παρεμβολής

Κεφάλαιο 3.

- 28 Km για την περίπτωση που η παρεμβολή προκαλείται από επίγειους σταθμούς του ΣΔ, οι οποίοι λειτουργούν στην αγροτική περιοχή κάλυψης.

Οι αποστάσεις αυτές υπολογίζονται με την θεώρηση ότι οι σταθμοί του ΕΔ αναπτύσσονται εκτός της περιοχής κάλυψης του ΣΔ.

3.4.2 Θεωρητικό Μοντέλο Εκτίμησης Παρεμβολής

3.4.2.1 Ισχύς Αθροιστικής Παρεμβολής

Η ισχύς αθροιστικής παρεμβολής που προκαλείται από τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ προς ένα επίγειο σταθμό του ΕΔ δίνεται από την σχέση:

$$I_{Ag(H-T)} = 10 \log \sum_i \sum_j 10^{\frac{I_{(H-T)}}{10}} \quad (3.4.1)$$

όπου $I_{(H-T)}$ η ισχύς παρεμβολής που προκαλείται από επίγειο σταθμό του ΣΔ προς ένα επίγειο σταθμό του ΕΔ και η οποία δίνεται από την (3.4.2). Στο Σχήμα 3.25 απεικονίζονται η γεωμετρία παρεμβολής μεταξύ των επίγειων σταθμών του ΣΔ και των σταθμών του ΕΔ, και οι μεταβλητές που λαμβάνονται υπόψη στη μελέτη.

$$I_{(H-T)} = P_H + G_H(\theta_{(H-T)}) + G_T(\phi_{(T-H)}) - L_b(p) - L_f \quad (3.4.2)$$

όπου:

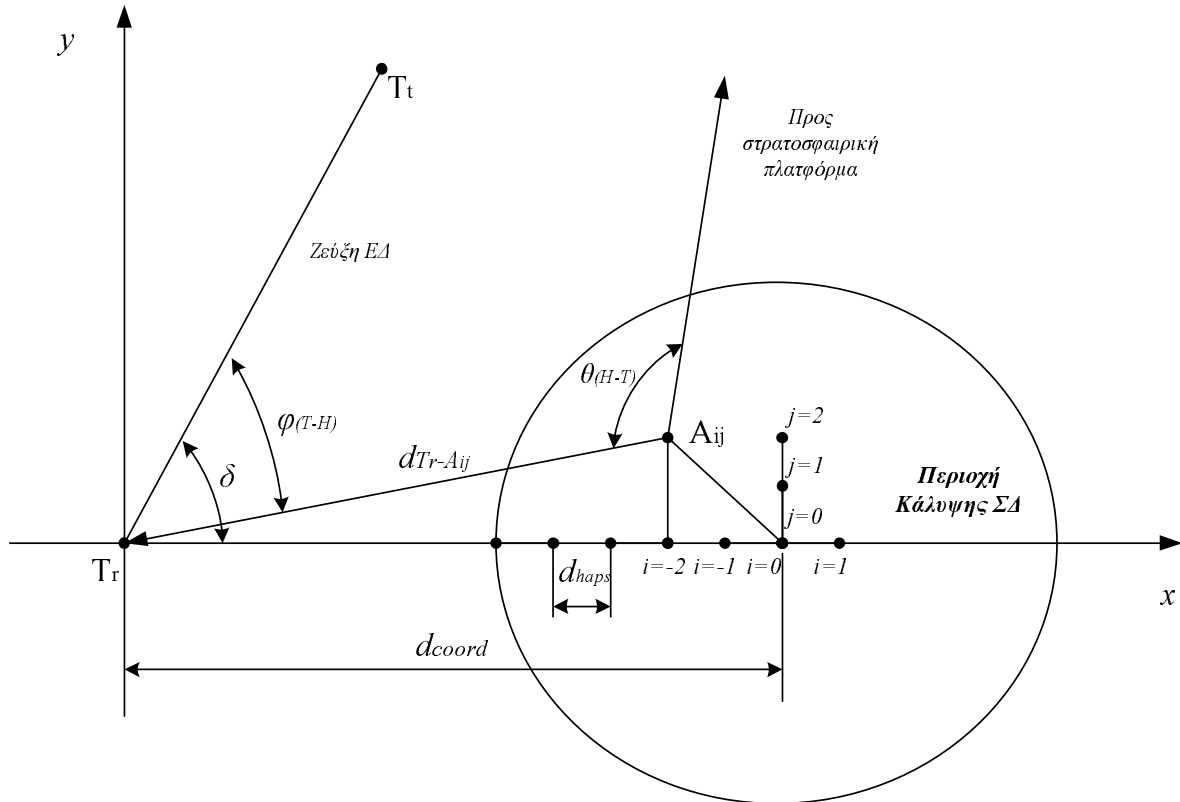
P_H : η πυκνότητα ισχύος εκπομπής του επίγειου σταθμού του ΣΔ σε dB(W/MHz),

$G_H(\theta_{(H-T)})$: το κέρδος εκπομπής της κεραίας του επίγειου σταθμού του ΣΔ σε γωνία $\theta_{(H-T)}$ μεταξύ της κατεύθυνσης της κύριας δέσμης του επίγειου σταθμού ΣΔ και της κατεύθυνσης του παρεμβαλλόμενου σταθμού του ΕΔ, (dBi),

$G_T(\phi_{(T-H)})$: το κέρδος λήψης της κεραίας του σταθμού του ΕΔ σε γωνία $\phi_{(T-H)}$ μεταξύ της κατεύθυνσης της κύριας δέσμης του σταθμού του ΕΔ και της κατεύθυνσης του παρεμβαλλόμενου επίγειου σταθμού του ΣΔ, (dBi),

$L_b(p)$: Οι βασικές απώλειες διάδοσης που δεν πρέπει να ξεπεραστούν για ποσοστό του χρόνου $p(\%)$ σύμφωνα με την σύσταση ITU-R P.452 [41], (dB)

L_f : οι συνολικές απώλειες τροφοδοσίας των σταθμών των δύο δικτύων, (dB).



Σχήμα 3.25: Γεωμετρία παρεμβολής μεταξύ των επίγειων σταθμών του ΣΔ και των σταθμών του ΕΔ

Με βάση τη συγκεκριμένη γεωμετρία που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.25, και αν θεωρήσουμε ότι όλοι οι επίγειοι σταθμοί του ΣΔ σε κάθε ζώνη κάλυψης εκπέμπουν με την ίδια ισχύ, οι (3.4.1), (3.4.2) απλοποιούνται ως ακολούθως:

$$I_{Ag(H-T)} = K + 10 \log \sum_i \sum_j \frac{g_H(\theta_{(H-T)}) \cdot g_T(\phi_{(T-H)})}{(d_{Tr-A_{ij}})^2} \quad (3.4.3)$$

όπου:

$$(d_{Tr-A_{ij}})^2 = (|j \cdot d_{haps}|)^2 + (d_{coord} + i \cdot d_{haps})^2 \quad (3.4.4)$$

K : σταθερή

Κεφάλαιο 3.

d_{Tr-Aij} : η απόσταση που διανύει το σήμα παρεμβολής από τον εκάστοτε επίγειο σταθμό του ΣΔ (Aij) έως τον δέκτη του ΕΔ.

d_{haps} : η απόσταση μεταξύ επίγειων σταθμών του ΣΔ. Ενδεικτικά για την αστική ζώνη κάλυψης, θεωρώντας 100 ομοδιαυλικούς χρήστες (συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας 7:1), η απόσταση d_{haps} είναι ίση με 7.2 Km,

d_{coord} : η απόσταση συντονισμού μεταξύ του δέκτη του ΕΔ και του σημείου ναδίρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας.

Είναι αξιοσημείωτο να επισημάνουμε ότι για τις περιπτώσεις αθροιστικής παρεμβολής, έχει αναπτυχθεί ένα μοντέλο από την ITU-R, το οποίο λαμβάνει υπόψη την πραγματική μέση τιμή του κέρδους της κεραίας. Αυτό το μοντέλο περιγράφεται στη σύσταση ITU-R F.1245 [29]. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο λόγος διαμέτρου της κεραίας προς το μήκος κύματος είναι μικρότερος από 100⁶, τα διαγράμματα ακτινοβολίας των κεραιών των σταθμών του ΕΔ βασίζονται στο ακόλουθο μαθηματικό μοντέλο:

$$G(\theta) = G_{\max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda}\theta\right)^2 \quad \text{για } 0 \leq \theta < \varphi_m \quad (3.4.5)$$

$$G(\theta) = 39 - 5 \log \frac{D}{\lambda} - 25 \log \theta \quad \text{για } \varphi_m \leq \theta < 48^\circ \quad (3.4.6)$$

$$G(\theta) = -3 - 5 \log \frac{D}{\lambda} \quad \text{για } 48^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \quad (3.4.7)$$

όπου:

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{\max} - G_1},$$

$$G_1 = 2 + 15 \log \frac{D}{\lambda},$$

D : η διάμετρος της κεραίας,

λ : το μήκος κύματος (εκφρασμένο στις ίδιες μονάδες),

$G(\theta)$: το κέρδος της κεραίας σε γωνία θ ως προς την κύρια κατεύθυνση (dBi),

⁶μέγιστο κέρδος 23 dBi για την αστική ζώνη και 38 dBi για την προαστιακή και αγροτική ζώνη αντίστοιχα

G_{\max} : το μέγιστο κέρδος της κεραίας (dB_i),

θ : η γωνία απόκλισης από τον κύριο λοβό ακτινοβολίας της κεραίας (μοίρες).

3.4.2.2 Βασικές Απώλειες Διάδοσης

Οι βασικές απώλειες διάδοσης μεταξύ του επίγειου σταθμού του ΣΔ και του σταθμού του ΕΔ, που δεν πρέπει να ξεπεραστούν για ποσοστό του χρόνου $p(\%)$ υπολογίζονται σύμφωνα με την σύσταση ITU-R P.452 [41] ως:

$$L_b(p) = 92.5 + 20 \log f + 20 \log d_{T_r-A_{ij}} + E_s(p) + A_g \quad (dB) \quad (3.4.8)$$

όπου:

f : η συχνότητα (GHz), (47.9 GHz σε αυτή τη μελέτη),

$E_s(p)$: διόρθωση για απώλειες λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης και στόχευσης

$$E_s(p) = 2.6(1 - e^{-d_{T_r-A_{ij}}/10}) \log(p/50) \quad (dB) \quad (3.4.9)$$

A_g : συνολική απορρόφηση αερίων

$$A_g = [\gamma_0 + \gamma_w(\rho)] d_{T_r-A_{ij}} \quad (dB) \quad (3.4.10)$$

$\gamma_0, \gamma_w(\rho)$: ειδική απόσβεση λόγω αερίων και υδρατμών, σύμφωνα με τη σύσταση ITU-R P.676

ρ : πυκνότητα υδρατμών

$$\rho = 7.5 + 2.5\omega \quad (g/m^3) \quad (3.4.11)$$

ω : μέρος της συνολικής διαδρομής διάδοσης πάνω από επιφάνεια με νερό.

3.4.3 Μελέτη Αποστάσεων Συντονισμού

3.4.3.1 Μελέτη για Στρατοσφαιρικές Πλατφόρμες που Παρέχουν Κάλυψη στην Αστική Ζώνη

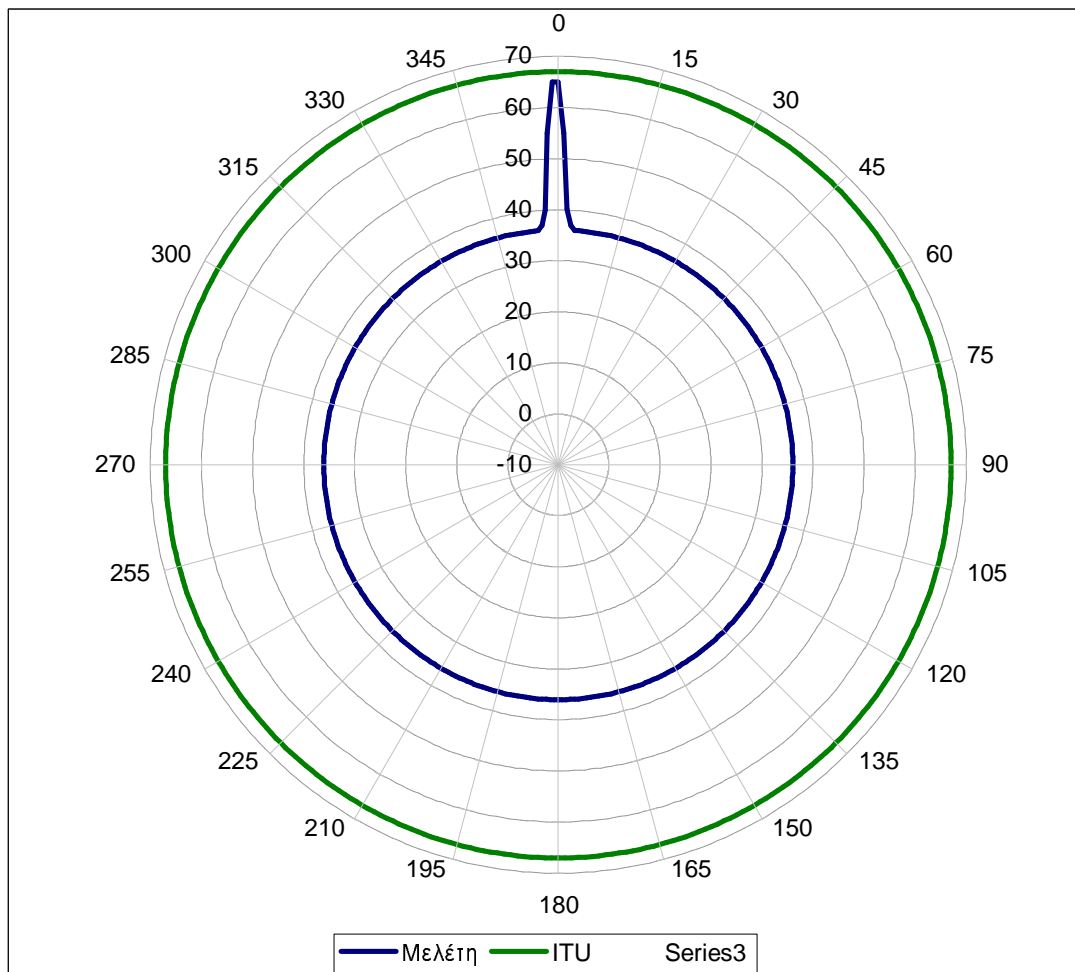
Στον Πίνακα 3.9, παρουσιάζονται οι παράμετροι του Επίγειου και του Στρατοσφαιρικού Δικτύου που λαμβάνονται υπόψη στην μελέτη αποστάσεων συντονισμού.

Πίνακας 3.9: Παράμετροι του ΕΔ και του ΣΔ

Παράμετροι		Τιμές		
Συχνότητα		47.9 GHz		
Επίγειο Δίκτυο	Διάγραμμα ακτινοβολίας	ITU-R F.1245		
	Μέγιστο κέρδος κεραίας	46 dBi		
Στρατοσφαιρικό Δίκτυο	Διάμετρος περιοχής κάλυψης	Αστική	Προαστιακή	Αγροτική
		72 Km	153 Km	405 Km
	Θέση πλατφόρμας	21 Km		
	Διάγραμμα ακτινοβολίας	ITU-R F.1245		
	Μέγιστο κέρδος κεραίας	Αστική	Προαστιακή	Αγροτική
		23 dBi	38 dBi	38 dBi
	Αριθμός επίγειων σταθμών	100 ομοδιαυλικοί / ζώνη		
	Απόσταση μεταξύ σταθμών	Αστική	Προαστιακή	Αγροτική
7.2 Km		13.4 Km	37.5 Km	

Η μελέτη των αποστάσεων συντονισμού ξεκινά με την θεώρηση μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας που παρέχει υπηρεσίες στην αστική ζώνη, με ακτίνα κάλυψης που φτάνει τα 36 Km. Στο Σχήμα 3.26 απεικονίζεται η αναγκαία απόσταση συντονισμού μεταξύ του σταθμού του ΕΔ και του σημείου αναφοράς κάτω από την πλατφόρμα, ως συνάρτηση της γωνίας αζιμουθίου του σταθμού του ΕΔ, όπως υπολογίστηκε με βάση το θεωρητικό μοντέλο που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα. Η μεγαλύτερη απόσταση απαιτείται για αζιμουθιακή γωνία δ ίση με 0° . Για γωνία δ ίση με 1° είναι αναγκαία μια απόσταση των 55 Km. Η ITU προτείνει ως απαραίτητη απόσταση συντονισμού τα 67 Km, ενώ το εύρος αποστάσεων που προκύπτουν από τη παρούσα μελέτη είναι από 65 Km η μέγιστη, έως 36 Km η ελάχιστη.

Στο Σχήμα 3.27 απεικονίζεται η απόσταση συντονισμού ως συνάρτηση της γωνίας ανύψωσης ζ του σταθμού του ΕΔ. Παρατηρούμε ότι για γωνιακή απόκλιση 1° (από γωνία $\zeta=0^\circ$ σε $\zeta=1^\circ$) η αναγκαία απόσταση συντονισμού μειώνεται κατά 7 Km, ενώ μειώνεται σταδιακά μέχρι και για



Σχήμα 3.26: Απόστασεις συντονισμού μεταξύ του σταθμού του ΕΔ και του ναδύρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στην περίπτωση αθροιστικής παρεμβολής από 100 ομοδιαυλικούς χρήστες στην αστική περιοχή συναρτήσει της γωνίας δ

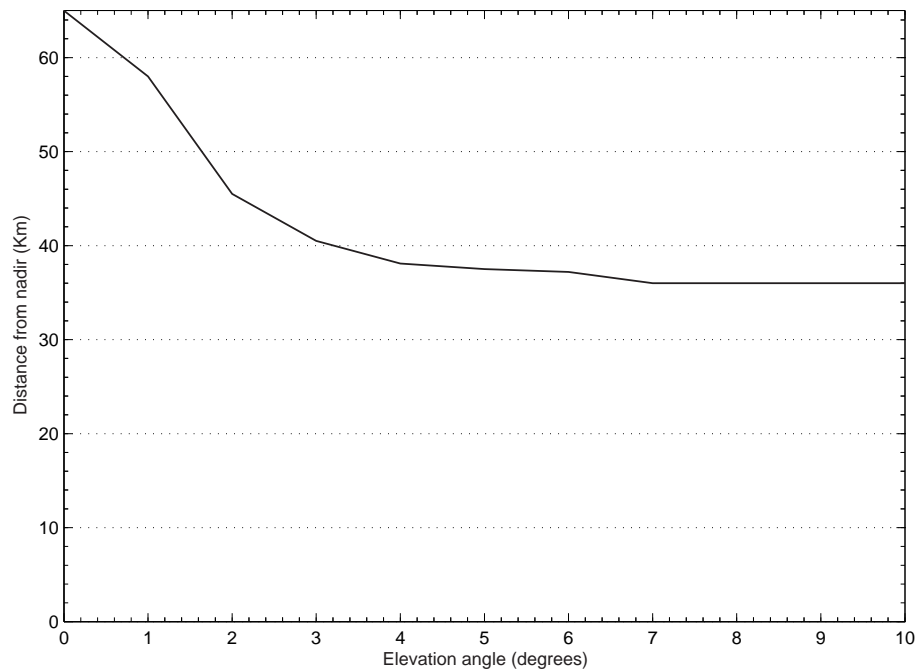
γωνία $\zeta=7^\circ$, όπου σταθεροποιείται στα 36 Km.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η προτεινόμενη απόσταση συντονισμού των 36 Km για γωνίες δ μεγαλύτερες των 4° είναι ενδεικτική, καθώς είναι εφικτή η συνύπαρξη των δύο συστημάτων και σε μικρότερες αποστάσεις σε αρκετές περιπτώσεις.

3.4.3.2 Μελέτη για Στρατοσφαιρικές Πλατφόρμες που Παρέχουν Κάλυψη στην Προαστιακή και Αγροτική Ζώνη

Στην περίπτωση της προαστιακής και αγροτικής ζώνης διαπιστώθηκε ότι η συνύπαρξη των επίγειων σταθμών των δύο δικτύων είναι εφικτή ακόμα και στην ίδια περιοχή κάλυψης. Για αυτό το λόγο μελετάται η πιθανότητα συνύπαρξης των σταθμών του ΕΔ και των σταθμών του ΣΔ,

Κεφάλαιο 3.



Σχήμα 3.27: Απόσταση συντονισμού μεταξύ του σταθμού του ΕΔ και του ναδύρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στην περίπτωση αθροιστικής παρεμβολής από 100 ομοδιαυλικούς χρήστες στην αστική περιοχή συναρτήσει της γωνίας ζ

στην περίπτωση που οι πρώτοι αναπτύσσονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στην προαστιακή περιοχή, και μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ

Οι μεταβλητές που λαμβάνονται υπόψη στη μελέτη είναι οι ακόλουθες:

- *Ελεγχόμενες μεταβλητές:*

- μοντέλα διάδοσης,
 - * με βάση το μοντέλο της σύστασης ITU-R P.452,
- τεχνικά χαρακτηριστικά σταθμών,
 - * για τους σταθμούς του ΕΔ: §3.2.2
 - * για τους σταθμούς του ΣΔ: §2.8
- επιτρεπτό κριτήριο παρεμβολής,
 - * με βάση τις τιμές του Πίνακα 3.2

- *Ανεξάρτητες μεταβλητές:*

- γωνία δ (αξιμούθιο παρεμβαλλόμενης ζεύξης),

- * Περίπτωση I: $\delta=90^\circ$
 - * Περίπτωση II: δ μεταβαλλόμενη σε εύρος 90° από την αρχική τιμή $\delta=90^\circ$ (τυχαία μεταβλητή Monte Carlo)
 - * Περίπτωση III: δ μεταβαλλόμενη σε όλο το εύρος πιθανών γωνιών (τυχαία μεταβλητή Monte Carlo)
- γωνία ζ (γωνία ανύψωσης επίγειου σταθμού ΕΔ),
- * Περίπτωση I: $\zeta=0^\circ$
 - * Περίπτωση II: ζ μεταβαλλόμενη από 0° έως 7° (τυχαία μεταβλητή Monte Carlo)
 - * Περίπτωση III: ζ μεταβαλλόμενη από 0° έως 23° (τυχαία μεταβλητή Monte Carlo)
- *Εξαρτώμενη μεταβλητή:*
 - στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής.

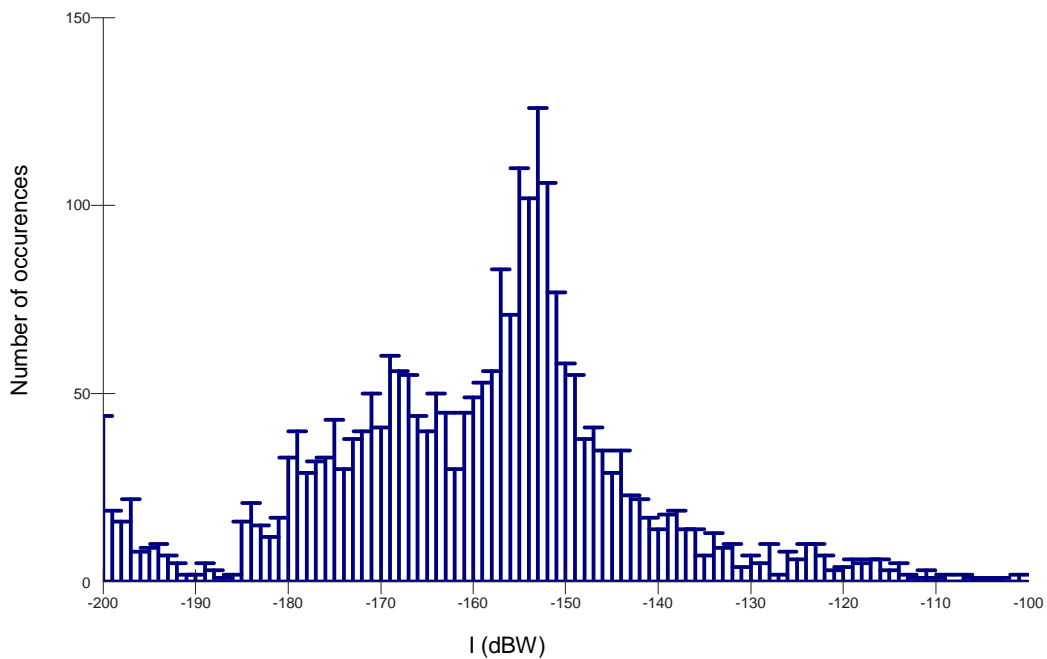
3.4.3.2.1 Περίπτωση I Τα Σχήματα 3.28, 3.29 μας δίνουν την πληροφορία για την πιθανότητα συνύπαρξης των σταθμών του ΕΔ και των σταθμών του ΣΔ, στην περίπτωση που οι πρώτοι αναπτύσσονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στην προαστιακή (Σχήμα 3.28) περιοχή, και μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ (Σχήμα 3.29). Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι σύμφωνες με τις υποθέσεις τη Περίπτωσης I.

Για την πρώτη περίπτωση παρατηρείται μέση στάθμη παρεμβολής -168.7 dBW, και χειρότερη στάθμη παρεμβολής τα -100.5 dBW, ενώ στη περίπτωση όπου οι παρεμβολές προκαλούνται από τους επίγειους σταθμούς στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ, παρατηρείται μέση στάθμη παρεμβολής -174.4 dBW, και χειρότερη στάθμη παρεμβολής τα -97.3 dBW. Το κριτήριο παρεμβολής όπως ήδη έχει αναφερθεί είναι τα -132 dBW. Το ποσοστό υπέρβασης του κριτηρίου είναι 4.5% και 1.8% αντίστοιχα.

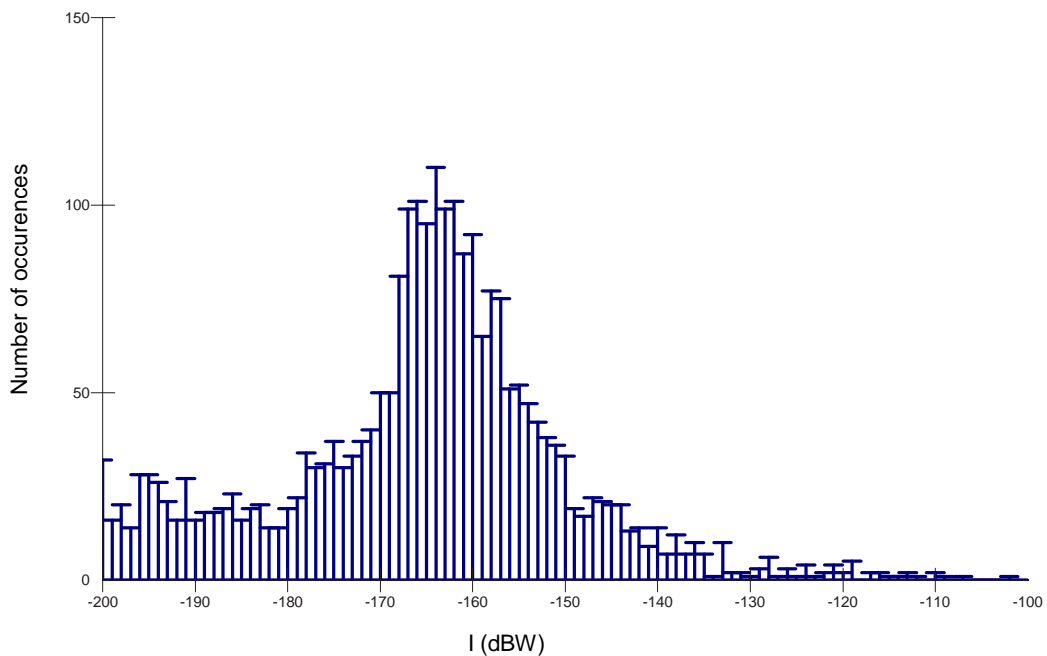
3.4.3.2.2 Περίπτωση II Τα Σχήματα 3.30, 3.31 μας δίνουν την πληροφορία για την πιθανότητα συνύπαρξης των σταθμών του ΕΔ και των σταθμών του ΣΔ, στην περίπτωση που οι πρώτοι αναπτύσσονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στην προαστιακή (Σχήμα 3.30) περιοχή, και μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ (Σχήμα 3.31). Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι σύμφωνες με τις υποθέσεις τη Περίπτωσης II.

Για την πρώτη περίπτωση παρατηρείται μέση στάθμη παρεμβολής -168.9 dBW, και χειρότερη στάθμη παρεμβολής τα -107.2 dBW, ενώ στη περίπτωση όπου οι παρεμβολές προκαλούνται από

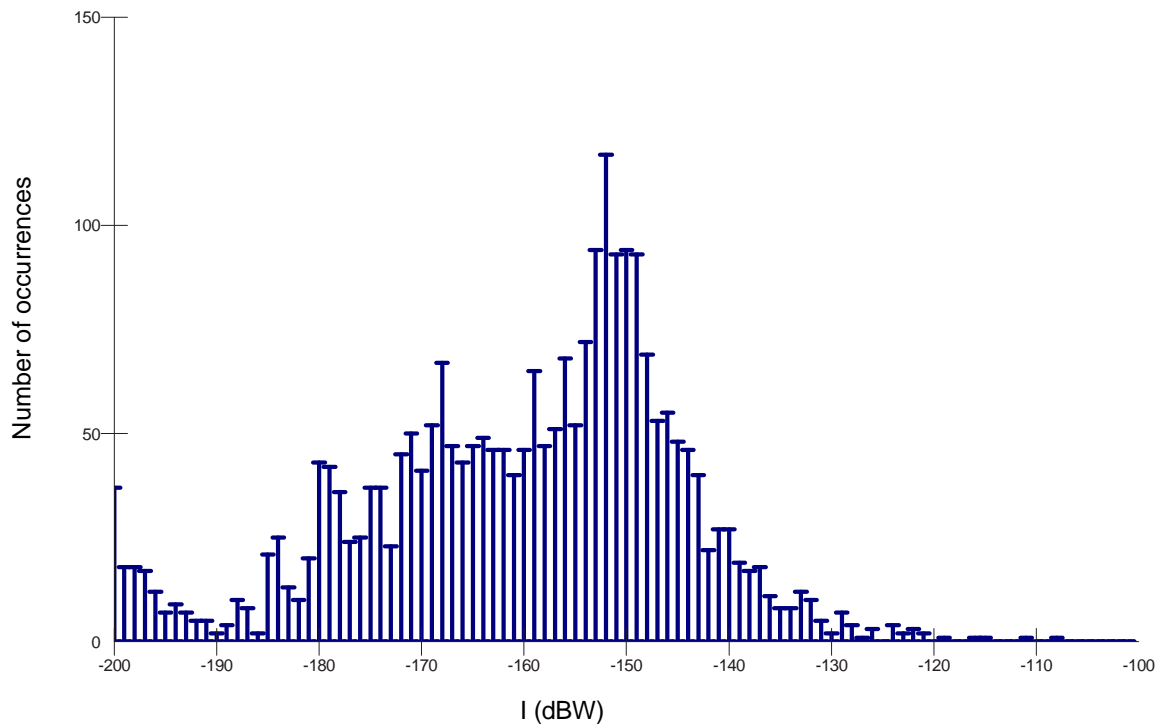
Κεφάλαιο 3.



Σχήμα 3.28: Συμπεριφορά στάθμης ομοδιαυλικής παρεμβολής για τυχαίες θέσεις του σταθμού του ΕΔ μέσα στην προαστιακή περιοχή κάλυψης του ΣΔ - Περίπτωση I



Σχήμα 3.29: Συμπεριφορά στάθμης ομοδιαυλικής παρεμβολής για τυχαίες θέσεις του σταθμού του ΕΔ μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ - Περίπτωση I



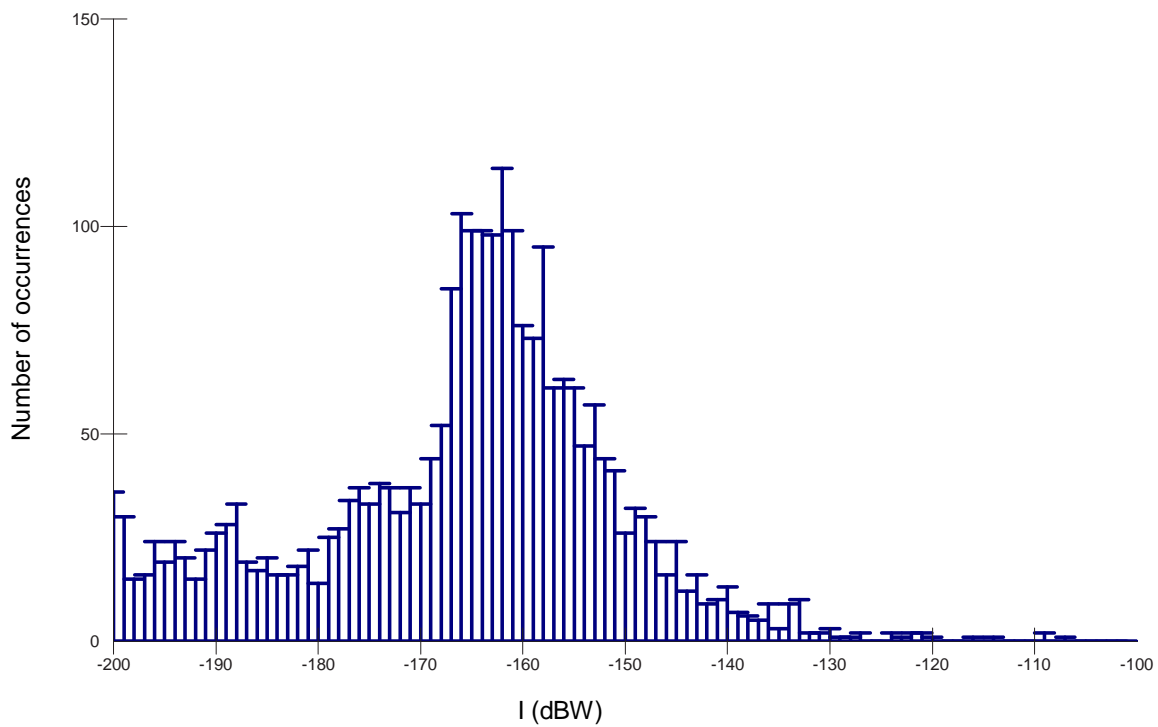
Σχήμα 3.30: Συμπεριφορά στάθμης ομοδιαυλικής παρεμβολής για τυχαίες θέσεις του σταθμού του ΕΔ μέσα στην προαστιακή περιοχή κάλυψης του ΣΔ - Περίπτωση II

τους επίγειους σταθμούς στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ, παρατηρείται μέση στάθμη παρεμβολής -174.7 dBW, και χειρότερη στάθμη παρεμβολής τα -106 dBW. Το κριτήριο παρεμβολής όπως ήδη έχει αναφερθεί είναι τα -132 dBW. Το ποσοστό υπέρβασης του κριτηρίου είναι 1.6% και 0.8% αντίστοιχα.

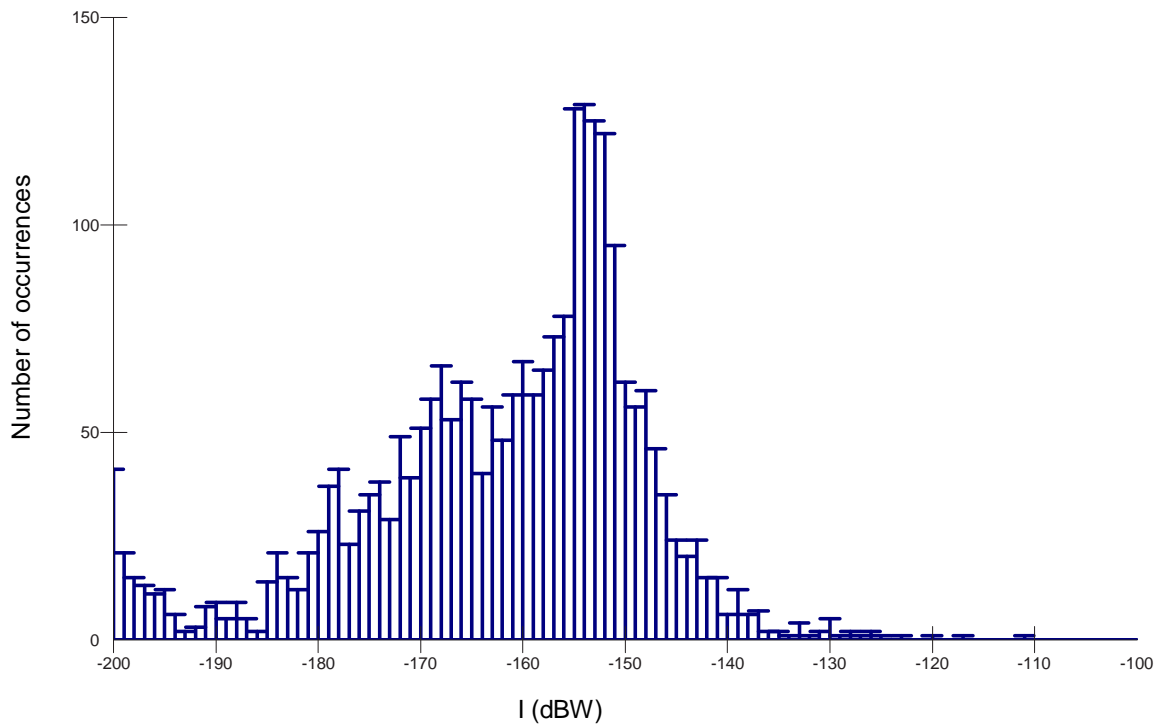
3.4.3.2.3 Περίπτωση III Τα Σχήματα 3.32, 3.33 μας δίνουν την πληροφορία για την πιθανότητα συνύπαρξης των σταθμών του ΕΔ και των σταθμών του ΣΔ, στην περίπτωση που οι πρώτοι αναπτύσσονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στην προαστιακή (Σχήμα 3.32) περιοχή, και μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ (Σχήμα 3.33). Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι σύμφωνα με τις υποθέσεις τη Περίπτωσης II.

Για την πρώτη περίπτωση παρατηρείται μέση στάθμη παρεμβολής -170.5 dBW, και χειρότερη στάθμη παρεμβολής τα -110.8 dBW, ενώ στη περίπτωση όπου οι παρεμβολές προκαλούνται από τους επίγειους σταθμούς στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ, παρατηρείται μέση στάθμη παρεμβολής -176.1 dBW, και χειρότερη στάθμη παρεμβολής τα -123 dBW. Το κριτήριο παρεμβολής όπως ήδη έχει αναφερθεί είναι τα -132 dBW. Το ποσοστό υπέρβασης του κριτηρίου είναι 0.6% και 0.4% αντίστοιχα.

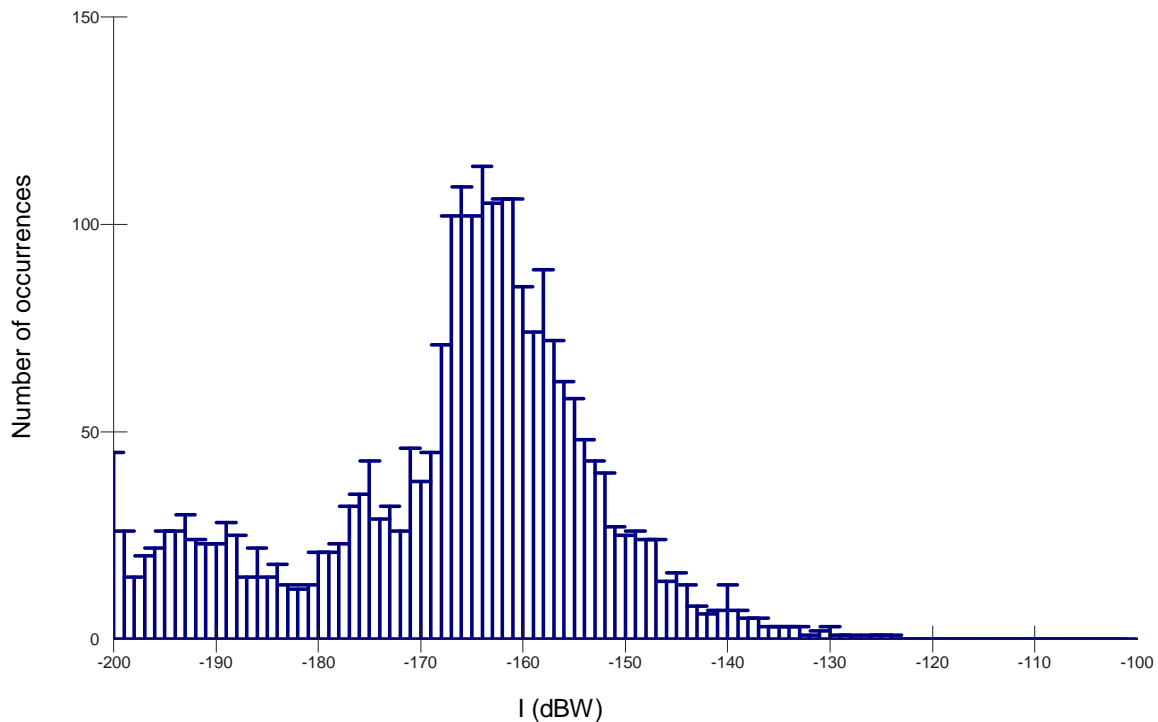
Κεφάλαιο 3.



Σχήμα 3.31: Συμπεριφορά στάθμης ομοδιαυκτικής παρεμβολής για τυχαίες θέσεις του σταθμού του ΕΔ μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ - Περίπτωση II



Σχήμα 3.32: Συμπεριφορά στάθμης ομοδιαυκτικής παρεμβολής για τυχαίες θέσεις του σταθμού του ΕΔ μέσα στην προαστιακή περιοχή κάλυψης του ΣΔ - Περίπτωση III



Σχήμα 3.33: Συμπεριφορά στάθμης ομοδιαυλικής παρεμβολής για τυχαίες θέσεις του σταθμού του ΕΔ μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ - Περίπτωση III

3.4.3.2.4 Συμπέρασμα Από τα αποτελέσματα της μελέτης που αφορά τις παρεμβολές μεταξύ των σταθμών του ΕΔ και των σταθμών του ΣΔ, στην περίπτωση που οι πρώτοι αναπτύσσονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στην προαστιακή περιοχή, και μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ, προκύπτει ότι η πιθανότητα ομαλής συνύπαρξης των σταθμών των δύο δικτύων, ακόμα και στις ίδιες περιοχές λειτουργίας είναι αρκετά μεγάλη. Στον Πίνακα 3.10 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα στατιστικά υπέρβασης του επιτρεπτού κριτηρίου και για τις τρεις περιπτώσεις που μελετήθηκαν.

Πίνακας 3.10: Ποσοστά υπέρβασης του κριτηρίου παρεμβολής όταν οι σταθμοί του ΕΔ αναπτύσσονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στην περιοχή κάλυψης του ΣΔ

Περιοχή Ανάπτυξης ΣΔ	Περίπτωση	Ποσοστό Υπέρβασης
Προαστιακή	I	4.5%
Αγροτική	I	1.8%
Προαστιακή	II	1.6%
Αγροτική	II	0.8%
Προαστιακή	III	0.6%
Αγροτική	III	0.4%

3.5 Προστασία του Στρατοσφαιρικού Δικτύου από Παρεμβολές που Προκαλεί το Επίγειο Δίκτυο

3.5.1 Εισαγωγή

Για τις διαδρομές διάδοσης παρεμβολής B1 και B2, που προαναφέρθηκαν στην §3.1, όπου η παρεμβολή προκαλείται από το Επίγειο Δίκτυο προς την πλατφόρμα και τους επίγειους σταθμούς του Στρατοσφαιρικού Δικτύου, πρέπει να υιοθετούνται τα μέτρα που προτείνει η ITU-R για την συνύπαρξη μεταξύ του ΕΔ και του ΔΔ λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των σταθμών του ΣΔ. Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- περιορισμό των εκπομπών ισχύος των σταθμών του ΕΔ σύμφωνα με τις αναφορές [28], [25],
- μέθοδο υπολογισμού της απόστασης μεταξύ των επίγειων σταθμών των δύο δικτύων πέρα από την οποία είναι πιθανή η πρόκληση μη επιτρεπτής παρεμβολής [12],
- ειδικά όρια και μέθοδοι υπολογισμού σύμφωνα με τις αναφορές [31], [47].

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, για τις ζώνες συχνοτήτων πάνω από τα 15 GHz πρέπει να τηρούνται τα ακόλουθα:

1. η ισχύς στην είσοδο της κεραίας του σταθμού του ΕΔ δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα + 10 dBW,
2. η μέγιστη τιμή της ισοδύναμης ισοτροπικά ακτινοβολούμενης ισχύος του σταθμού του ΕΔ δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα + 55 dBW.

Στη συνέχεια στην §3.5.2, περιγράφεται το πλαίσιο της αρχικής μελέτης [35], [36] και τα αποτελέσματα για τη διαδρομή διάδοσης παρεμβολής B1 (παρεμβολή από σταθμό του Επίγειου Δικτύου προς επίγειο σταθμό του Στρατοσφαιρικού Δικτύου). Στην §3.5.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τη διαδρομή διάδοσης παρεμβολής B2 (παρεμβολή από σταθμό του Επίγειου Δικτύου προς στρατοσφαιρική πλατφόρμα). Στο τέλος κάθε ενότητας καταγράφονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από την αρχική μελέτη καθώς και από την υπάρχουσα μελέτη της ITU-R [19]. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της αρχικής μελέτης

για τις διαδρομές διάδοσης παρεμβολής B1 και B2 είναι όσο το δυνατόν πιο συγκεντρωτική, καθώς η έμφαση της παρούσας διατριβής είναι στην μελέτη των παρεμβολών που προκαλεί το ΣΔ. Για περισσότερα και πιο αναλυτικά στοιχεία για τις διαδρομές διάδοσης παρεμβολής B1 και B2, χρήσιμες είναι οι αναφορές [35], [36], και [39].

3.5.2 Παρεμβολή από Σταθμό του Επίγειου Δικτύου προς Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα

Η μελέτη στην αστική ζώνη κάλυψης πραγματοποιείται στην περιοχή της Αττικής όπου έχουν αναπτυχθεί δέκα επίγειες ζεύξεις σημείου προς σημείο με τυχαίο προσανατολισμό. Η στρατοσφαιρική πλατφόρμα έχει τις συντεταγμένες του κέντρου της περιοχής και μπορεί να παρέχει πλήρη αστική κάλυψη σε ολόκληρη την Αττική⁷. Ο επίγειος σταθμός του ΣΔ λαμβάνει τυχαίες θέσεις μέσα στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Αττικής και οι γωνίες ανύψωσης του ως προς την πλατφόρμα κυμαίνονται σε όλο το εύρος των γωνιών της αστικής ζώνης κάλυψης, δηλαδή από 30 έως και 90 μοίρες. Αναπτύχθηκαν άλλες δύο στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, η μία σε απόσταση 30 Km από την πλατφόρμα που είναι πάνω από την Αττική, ενώ η άλλη απέχει 60 Km. Με τον τρόπο αυτό μελετήθηκαν και οι παρεμβολές που δέχονται οι πλατφόρμες που δεν λειτουργούν μέσα στην περιοχή που υπάρχουν τα επίγεια τερματικά.

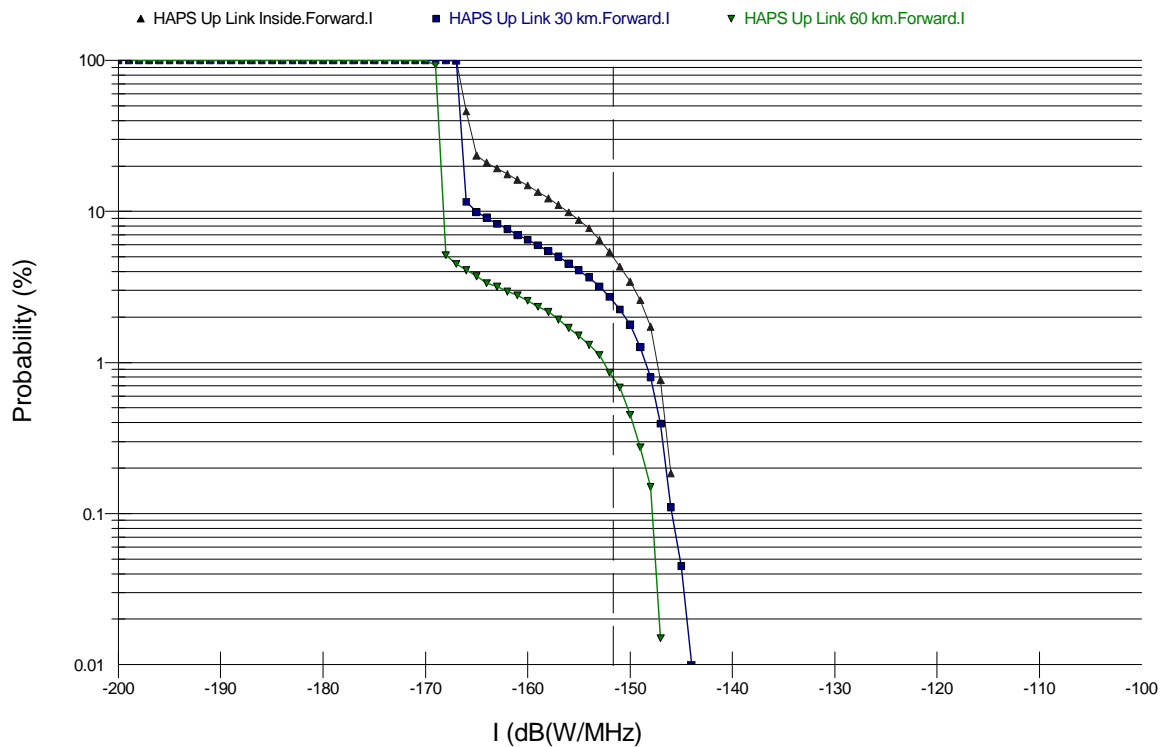
Το Σχήμα 3.34 μας δίνει την πληροφορία για τα ποσοστά εμφάνισης των επιπέδων παρεμβολής που δέχεται κάθε μια πλατφόρμα από τους πομπούς-παρεμβολείς.

Τα επίπεδα παρεμβολής που δέχονται οι πλατφόρμες που παρέχουν υπηρεσίες στην αστική ζώνη κάλυψης είναι αρκετά χαμηλά. Συγκεκριμένα το ποσοστό των θέσεων που λαμβάνει το τερματικό της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας που βρίσκεται πάνω από το λεκανοπέδιο της Αττικής και στις οποίες η παρεμβολή ξεπερνά το όριο των -151.6 dB(W/MHz) είναι 5.0%. το αντίστοιχο ποσοστό των πλατφόρμων που βρίσκονται στα 30 και 60 Km είναι αντίστοιχα 2.6% και 0.8% αντίστοιχα. Τα μέσα επίπεδα παρεμβολής είναι -163.9 dB(W/MHz) , -165.4 dB(W/MHz) και -168.1 dB(W/MHz) , για τις πλατφόρμες που βρίσκονται πάνω από την περιοχή της Αττικής, σε απόσταση 30 Km και σε απόσταση 60 Km, αντίστοιχα.

Για την μελέτη των παρεμβολών σε στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που παρέχουν κάλυψη στην προαστιακή και αγροτική ζώνη, το πλαίσιο της προσομοίωσης είχε ως ακολούθως. Αναπτύχθηκε μια επίγεια ζεύξη, που αποτελείται από 10 σταθμούς, ο ένας είναι ο αρχικός πομπός, παρεμβάλλον-

⁷Σχηματική αναπαράσταση στο Σχήμα Γ'.2

Κεφάλαιο 3.

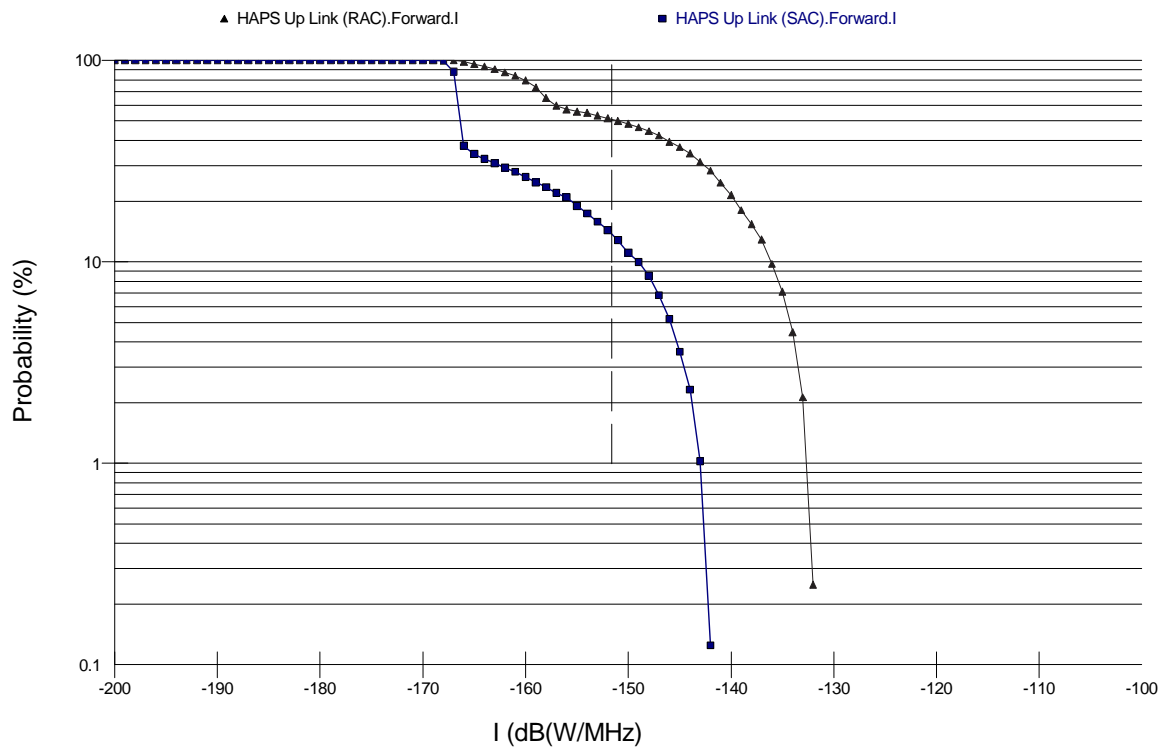


Σχήμα 3.34: Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες της αστικής ζώνης από σταθμούς του ΕΔ

ται 8 αναμεταδότες και στο τέλος της ζεύξης βρίσκεται ο τελικός επίγειος δέκτης. Η απόσταση μεταξύ των σταθμών είναι 10 Km. Αναπτύχθηκαν δύο πλατφόρμες, η μια παρέχει κάλυψη στην προαστιακή ζώνη και η άλλη στην αγροτική ζώνη κάλυψης.

Στο Σχήμα 3.35 απεικονίζεται η συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής της πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες της προαστιακής (SAC) και της αγροτικής (RAC) ζώνης όταν οι σταθμοί του ΕΔ είναι μέσα στην αγροτική ζώνη κάλυψης, ακριβώς έξω από το όριο της προαστιακής ζώνης κάλυψης. Ο κύριος άξονας σκόπευσης της κεραίας των πλατφόρμων είναι προσανατολισμένος προς τις πηγές της παρεμβολής. Τα επίπεδα των παρεμβολών είναι αρκετά υψηλά, και μόνο όταν οι επίγειες ζεύξεις αναπτυχθούν έξω από το όριο της αγροτικής κάλυψης εξασφαλίζονται ομαλές συνθήκες συνύπαρξης.

Το συμπέρασμα που εξάγεται από τα παραπάνω καθώς και από την υπάρχουσα μελέτη της ITU-R [19] για την διαδρομή διάδοσης παρεμβολής από σταθμούς του Επίγειου Δικτύου σε στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, είναι ότι στην περίπτωση που οι επίγειοι σταθμοί λειτουργούν έξω από την περιοχή κάλυψης των στρατοσφαιρικών πλατφόρμων, τότε στην πλατφόρμα δεν θα δημιουργούνται προβλήματα από επιβλαβείς παρεμβολές.



Σχήμα 3.35: Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες της προαστιακής (SAC) και της αγροτικής (RAC) ζώνης από σταθμούς του ΕΔ

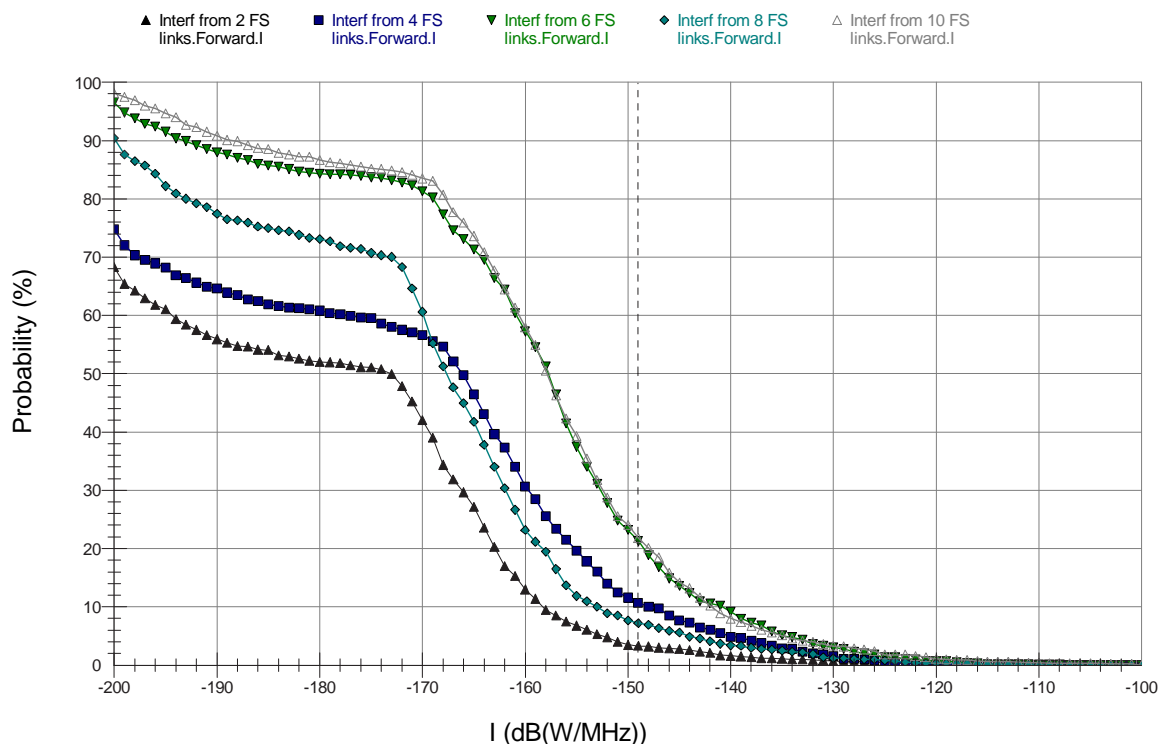
3.5.3 Παρεμβολή από Σταθμό του Επίγειου Δικτύου προς Επίγειο Σταθμό του Στρατοσφαιρικού Δικτύου

Η μελέτη στην αστική ζώνη κάλυψης πραγματοποιείται στην περιοχή της Αττικής όπου έχουν αναπτυχθεί δέκα επίγειες ζεύξεις σημείου προς σημείο με τυχαίο προσανατολισμό. Η στρατοσφαιρική πλατφόρμα έχει τις συντεταγμένες του κέντρου της περιοχής και μπορεί να παρέχει πλήρη αστική κάλυψη σε ολόκληρη την Αττική. Ο επίγειος σταθμός του ΣΔ λαμβάνει τυχαίες θέσεις μέσα στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Αττικής και οι γωνίες ανύψωσης του ως προς την πλατφόρμα κυμαίνονται σε όλο το εύρος των γωνιών της αστικής ζώνης κάλυψης, δηλαδή από 30 έως και 90 μοίρες.

Το Σχήμα 3.36 μας δίνει την πληροφορία για τα ποσοστά εμφάνισης των επιπέδων παρεμβολής που δέχεται ο επίγειος σταθμός του ΣΔ από δύο, τέσσερις, έξι, οκτώ, και δέκα ζεύξεις του ΕΔ. Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό (21.8%) υπέρβασης του επιτρεπτού κριτηρίου προκύπτει για την αθροιστική παρεμβολή από τις δέκα ζεύξεις του ΕΔ. Όταν παρεμβάλλουν οκτώ σταθμοί του ΕΔ, το ποσοστό παρεμβολής είναι 7.2%, ενώ στην περίπτωση που παρεμβάλλουν έξι σταθμοί το ποσοστό παρεμβολής που ξεπερνά το κριτήριο είναι μεγαλύτερο, 21.3%. Οι επίγειες

Κεφάλαιο 3.

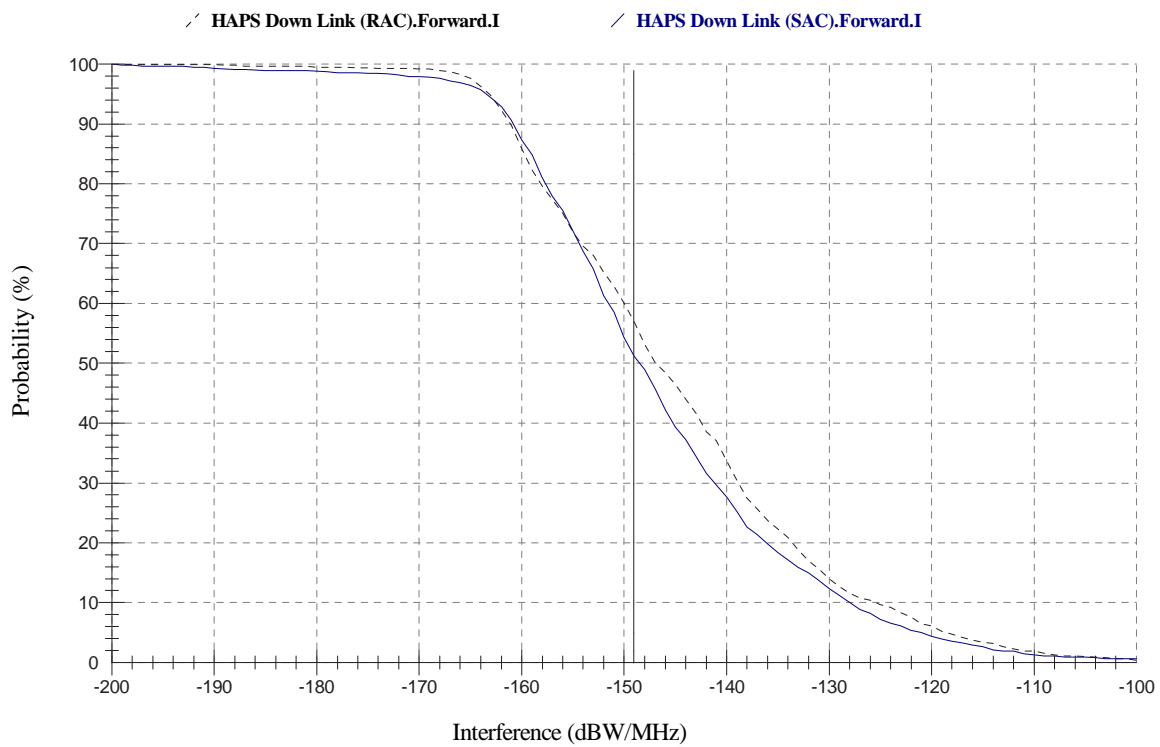
Ζεύξεις είναι τυχαία προσανατολισμένες και ορισμένες ζεύξεις έχουν μεγαλύτερη συμβολή στην παρεμβολή, από ότι κάποιες άλλες. Τα ποσοστά παρεμβολής για τις άλλες δύο περιπτώσεις είναι 10.7%, και 3.3%. Τα αντίστοιχα μέσα επίπεδα παρεμβολών που δέχεται ο επίγειος σταθμός του ΣΔ είναι -191.9 dB(W/MHz), -203.8 dB(W/MHz), -152.5 dB(W/MHz), -160.8 dB(W/MHz) και -211.5 dB(W/MHz).



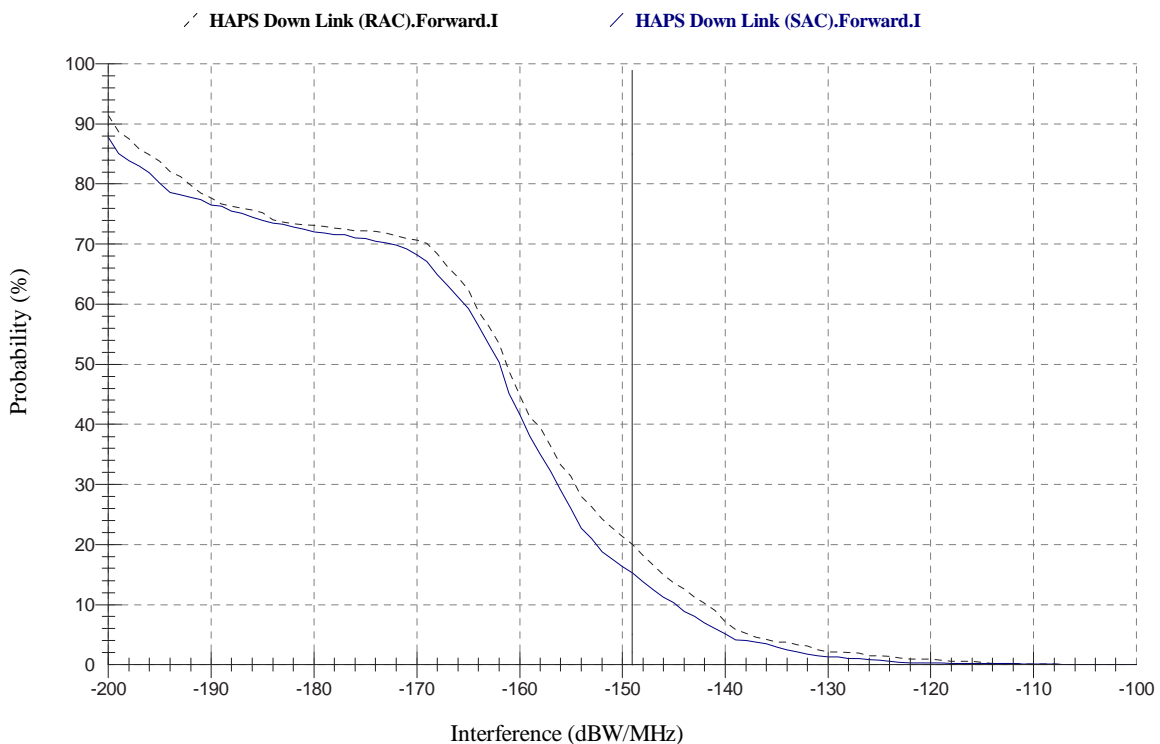
Σχήμα 3.36: Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι επίγειοι σταθμοί του ΣΔ της αστικής ζώνης από σταθμούς του ΕΔ

Για την μελέτη των παρεμβολών σε επίγειους σταθμούς που βρίσκονται στην προαστιακή και αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ, αναπτύχθηκαν δύο επίγεια τερματικά, ένα σε κάθε περιοχή που επικοινωνούν με δύο πλατφόρμες στα 21 Km, μια για την προαστιακή και μια για την αγροτική ζώνη κάλυψης. Αναπτύχθηκε μια επίγεια παρεμβάλλουσα ζεύξη αναμετάδοσης, που αποτελείται από 10 σταθμούς. Η απόσταση μεταξύ των σταθμών είναι 10 Km. Οι επίγειοι σταθμοί του ΣΔ κατά την διάρκεια της προσομοίωσης λαμβάνουν τυχαίες θέσεις μέσα στην περιοχή γύρω από την επίγεια ζεύξη. Οι γωνίες ανύψωσης των σταθμών του ΣΔ κυμαίνονται από 17° έως 28° για τους σταθμούς της προαστιακής περιοχής και από 9° έως 13° για τους σταθμούς της αγροτικής περιοχής.

Από τα αποτελέσματα που απεικονίζονται στα Σχήματα 3.37, 3.38, προκύπτει ότι η πιθανότητα να ξεπεραστεί το επιτρεπτό κριτήριο παρεμβολής είναι 57% (αγροτική ζώνη) και 51%



Σχήμα 3.37: Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι επόγειοι σταθμοί του ΣΔ της προαστιακής και αγροτικής ζώνης από σταθμούς του ΕΔ σε περιοχή με επίπεδη μορφολογία εδάφους



Σχήμα 3.38: Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής που δέχονται οι επόγειοι σταθμοί του ΣΔ της της προαστιακής και αγροτικής ζώνης από σταθμούς του ΕΔ σε περιοχή με ορεινή μορφολογία εδάφους

Κεφάλαιο 3.

(προαστιακή ζώνη) όταν οι επίγειοι σταθμοί του ΣΔ και οι σταθμοί του ΕΔ αναπτύσσονται σε περιοχή με επίπεδη μορφολογία εδάφους. Όταν αναπτύσσονται σε περιοχή με ορεινή μορφολογία εδάφους, προκύπτει ότι η πιθανότητα να ξεπεραστεί το επιτρεπτό κριτήριο παρεμβολής είναι 20% (αγροτική ζώνη) και 15% (προαστιακή ζώνη). Τα ποσοστά αυτά ήταν αρκετά πιο χαμηλά έως μηδενικά σε άλλες περιπτώσεις που μελετήθηκαν, και στις οποίες οι σταθμοί του ΕΔ είχαν αναπτυχθεί 20 Km έξω από την περιοχή κάλυψης του ΣΔ.

Το συμπέρασμα που εξάγεται από τα παραπάνω και από την υπάρχουσα μελέτη της ITU-R [19] για την διαδρομή διάδοσης παρεμβολής από σταθμούς του ΕΔ σε επίγειους σταθμούς του ΣΔ, είναι ότι στην περίπτωση που οι σταθμοί του ΕΔ λειτουργούν έξω από την περιοχή κάλυψης του ΣΔ, σε απόσταση μεγαλύτερη των 20 Km, τότε είναι εφικτή η ομαλή συνύπαρξη των δύο δικτύων.

3.6 Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο προτάθηκαν νέοι μέθοδοι συντονισμού, βάση των οποίων αναπτύχθηκαν κριτήρια συνύπαρξης για τα σενάρια πιθανών παρεμβολών μεταξύ ενός Επίγειου και ενός Στρατοσφαιρικού Δικτύου, όταν λειτουργούν στην ίδια γεωγραφική περιοχή και στις συχνότητες των 48/47 GHz. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα συμπεράσματα, της παρούσας μελέτης, αποτελούν οδηγό και για χαμηλότερες ζώνες συχνοτήτων, λαμβάνοντας υπόψη την διαφορετική εξασθένιση, και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο δικτύων στις συχνότητες αυτές.

Παρουσιάστηκαν τα είδη των Επίγειων Δικτύων (ΕΔ) που υπάρχουν σήμερα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τυπικών ΕΔ που λειτουργούν στην χιλιοστομετρική ζώνη συχνοτήτων, και χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη παρεμβολών ως δίκτυα αναφοράς. Αναλύθηκαν οι στόχοι διαθεσιμότητας και λειτουργικών λαθών για όλα τα είδη ΕΔ και η μέγιστη επιτρεπτή υποβάθμιση στους προαναφερόμενους στόχους την οποία μπορεί να δεχτεί ένα ΕΔ λόγω παρεμβολών από άλλα συστήματα που λειτουργούν στις ίδιες συχνότητες.

Ο μεγάλος ανταγωνισμός που επικρατεί τα τελευταία χρόνια στον τομέα των τηλεπικοινωνιών έχει οδηγήσει στην ταχεία ανάπτυξη ασύρματων ΕΔ, είτε για την παροχή σταθερής ασύρματης πρόσβασης για τη διασύνδεση συνδρομητών, είτε επικουρικά ως υποστήριξη των ήδη υπαρχόντων τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Η απαίτηση για την ανάπτυξη νέων ασύρματων τεχνολογιών προστίθεται στις ήδη αναπτυγμένες υποδομές σταθερών ασύρματων δικτύων, τα οποία χρησιμοποιούνται εδώ και καιρό από πολλούς παρόχους σαν μέρος του σταθερού τηλεφωνικού δικτύου και για άλλες εφαρμογές. Η μεγαλύτερη αύξηση στις αναθέσεις συχνοτήτων για ασύρματα ΕΔ τα τελευταία χρόνια προέρχεται από τον τομέα της υποστήριξης στις υποδομές των δημόσιων κινητών δικτύων. Η παροχή υποστήριξης στις υποδομές μέσω ζεύξεων σημείου προς πολλαπλά σημεία αυξήθηκε επίσης σημαντικά, λόγω της χρήσης τους σαν εναλλακτική επιλογή σε περιβάλλοντα με μεγάλη πυκνότητα σταθμών βάσεων. Η τάση αυτή της ανάπτυξης των ΕΔ τα τελευταία χρόνια υπογραμμίζει την σημασία της παρούσας μελέτης για εύρεση των βέλτιστων συνθηκών για την αρμονική τους συνύπαρξη με τα Στρατοσφαιρικά Δίκτυα που χρησιμοποιούν τις ίδιες ζώνες συχνοτήτων.

Ένα σημαντικό θέμα που μελετήθηκε, αφορά στον χαρακτηρισμό της επίδρασης της κίνησης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στην στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής που προκαλείται σε δέκτη Επίγειου Δικτύου. Στις μελέτες που έχουν γίνει έως σήμερα, η στρατοσφαιρική πλατφόρμα θεωρείται σταθερή. Εντούτοις μια από τις λιγότερο προβλέψιμες παραμέτρους στην τεχνολογία

Κεφάλαιο 3.

των στρατοσφαιρικών πλατφορμών είναι η κίνηση τους. Επιλέξαμε να μελετήσουμε την συμπεριφορά της στάθμης ομοδιαυλικής παρεμβολής με τα βάση τα μοντέλα κίνησης της διεθνούς βιβλιογραφίας ITU, HELINET, HALO που οριοθετούν την κίνηση αερόπλοιου, ηλιακά τροφοδοτούμενου μη επανδρωμένου αεροσκάφους, και επανδρωμένου αεροσκάφους αντίστοιχα. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η στάθμη της ομοδιαυλικής παρεμβολής, που προκαλείται από τις εκπομπές της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στην επίγεια ζεύξη, επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από το μοντέλο κίνησης που ακολουθεί η στρατοσφαιρική πλατφόρμα, ενώ ως βέλτιστο μοντέλο, επιλέγεται το μοντέλο κίνησης ITU.

Είναι ιδιαίτερης σημασίας, με την εισαγωγή του νέου συστήματος που βασίζεται στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες να εξασφαλίζονται συνθήκες ομαλούς συνύπαρξης με τα Επίγεια Δίκτυα. Κατά πρώτον πρέπει η λειτουργία του Στρατοσφαιρικού Δικτύου να μην προκαλεί παρεμβολές που μπορούν να υποβαθμίζουν την λειτουργία του ΕΔ, και κατά δεύτερον να προστατεύεται το ίδιο το ΣΔ από παρεμβολές που τυχόν προκαλεί το ΕΔ. Υπάρχουν κάποιες παράμετροι των δύο δικτύων που καθιστούν την ομαλή συνύπαρξη στις ίδιες ζώνες συχνοτήτων και στις ίδιες γεωγραφικές περιοχές ιδιαίτερα δύσκολη. Καταρχήν το ορατό πεδίο της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας είναι ιδιαίτερα μεγάλο, και οι επίγειοι σταθμοί του ΣΔ χρησιμοποιούν όλο το εύρος γωνιών ανύψωσης, και αναμένονται να αναπτυχθούν σε μεγάλο αριθμό σε όλες τις περιοχές λειτουργίας τους (Αστική, Προαστιακή, Αγροτική). Έπειτα σε χώρες με την ιδιαίτερη γεωμορφολογία της Ελλάδας (νησιά, ορεινές περιοχές) η λειτουργία των ΕΔ είναι αρκετά σημαντική. Οι υπάρχουσες μέθοδοι και τα εξαγόμενα κριτήρια, δεν αφήνουν πολλά περιθώρια γειτονικής ανάπτυξης των δύο δικτύων. Με τις προτεινόμενες μεθόδους και τα κριτήρια που αναπτύχθηκαν, εξασφαλίζονται αποδοτικότερες συνθήκες λειτουργίας για το ΣΔ και το ΕΔ.

Συγκεκριμένα προτάθηκε μια νέα μέθοδος συντονισμού που αφορά τις παρεμβολές που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης (στρατόσφαιρα-προς-Γη) των ΣΔ προς τους δέκτες του ΕΔ. Με βάση την μέθοδο αυτή εξήχθησαν ρεαλιστικές αποστάσεις διαχωρισμού μεταξύ της περιοχής κάλυψης του ΣΔ και της περιοχής λειτουργίας του ΕΔ. Η μελέτη βασίστηκε στην ενσωμάτωση της κίνησης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, στην επίδραση της παρεμβολής σε όρους κλασματικής υποβάθμισης της λειτουργίας του παρεμβαλλόμενου δικτύου, στην ανάλυση με προσέγγιση σταδιακά αναπτυσσόμενου ΣΔ, και στην χρήση ρεαλιστικής κατανομής γωνιών ανύψωσης των ζεύξεων του ΕΔ.

Προτάθηκε ένα θεωρητικό μοντέλο εκτίμησης της αθροιστικής παρεμβολής που προκαλείται από τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ προς σταθμό του ΕΔ, με βάση το οποίο εξήχθησαν

νέες αποστάσεις συντονισμού μεταξύ επίγειου δέκτη και του σημείου ναδίρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Η μελέτη αυτή γίνεται για την αστική ζώνη. Στην περίπτωση της προαστιακής και αγροτικής ζώνης διαπιστώθηκε ότι η συνύπαρξη των επίγειων σταθμών των δύο δικτύων είναι εφικτή ακόμα και στην ίδια περιοχή κάλυψης. Για αυτό το λόγο μελετήθηκε η πιθανότητα συνύπαρξης των σταθμών του ΕΔ και των σταθμών του ΣΔ, στην περίπτωση που οι πρώτοι αναπτύσσονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στην προαστιακή περιοχή, και μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ.

Βιβλιογραφία

- [1] “Availability objective for radio-relay systems over a hypothetical reference circuit and a hypothetical reference digital path,” ITU-R Recommendation F.557-4.
- [2] “Availability objectives for real digital radio-relay links forming part of a high-grade circuit within an integrated service digital network,” ITU-R Recommendation F.695.
- [3] <http://www.capanina.org> (CAPANINA Project 2003-2006).
- [4] CEPT ECC Report 3: “Fixed Service in Europe: current use and future trend”, post-2002
- [5] “Coordination distance for systems in the fixed service (FS) involving high-altitude platform stations (HAPSs) sharing the frequency bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz with other systems in the fixed service,” ITU-R Recommendation F.1501.
- [6] “Considerations in the development of criteria for sharing between the terrestrial fixed service and other services,” ITU-R Recommendation F.758-4.
- [7] N.Colella, J.Martin, I.Akyildiz, “The HALO Network,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 38,no. 6, 2000, pp. 142-148, 2000.
- [8] “Determination of the interference potential between earth stations of the fixed-satellite service and stations in the fixed service,” ITU-R Recommendation SF.1006.
- [9] “Determination of the coordination area around an Earth station in the frequency bands between 100 MHz and 105 GHz,” ITU-R Recommendation SM.1448
- [10] “Determination of the criteria to protect fixed service receivers from the emissions of space stations operating in non-geostationary orbits in shared frequency bands,” ITU-R Recommendation F.1108-4.
- [11] “Determination of a coordination area of an earth station operating with a geostationary space station and using the same frequency band as a system in the terrestrial service,” ITU-R Recommendation IS.847-1.
- [12] “Determination of the coordination area around an Earth station in the frequency bands between 100 MHz and 105 GHz,” ITU-R Recommendation SM.1448.

- [13] “Error performance objectives of the hypothetical reference digital path for radio-relay systems providing connections at a bit rate below the primary rate and forming part or all of the high grade portion of an integrated services digital network,” ITU-R Recommendation F.594.
- [14] “Error performance objectives for real digital radio-relay links forming part of the high grade portion of international digital connections at a bit rate below the primary rate within an integrated services digital network,” ITU-R Recommendation F.634.
- [15] “Error performance and availability objectives for hypothetical reference digital sections forming part or all of the medium-grade portion of an ISDN connection at a bit rate below the primary rate utilizing digital radio-relay systems,” ITU-R Recommendation F.696.
- [16] “Error performance and availability objectives for the local-grade portion at each end of an ISDN connection at a bit rate below the primary rate utilizing digital radio-relay systems,” ITU-R Recommendation F.697.
- [17] “Error performance objectives for real digital radio links used in the international portion of a 27500 km hypothetical reference path at or above the primary rate,” ITU-R Recommendation F.1397.
- [18] “Error performance objectives for real digital radio links used in the national portion of a 27500 km hypothetical reference path at or above the primary rate,” ITU-R Recommendation F.1491-1.
- [19] “Frequency sharing between systems in the fixed service using high altitude platform stations and conventional systems in the fixed service in the bands 47.2 47.5 and 47.9 48.2 GHz,” ITU-R Recommendation F.1608.
- [20] “Frequency Allocations,” ITU-R Regulations Article 5.
- [21] D. Grace, N. E. Daly, T. C. Tozer, A. G. Burr and D. A. J. Pearce, “Providing multimedia communications services from high altitude platforms”, *International Journal of Satellite Communications*, Wiley InterScience, vol. 19, no. 6, November/December 2001, pp. 559-580.
- [22] “Handbook on Satellite Communications”, International Telecommunication Union, Wiley Interscience, Third Edition, 2002.

- [23] <http://www.helinet.polito.it> (HeliNet Project 2000-2003).
- [24] “Interference evaluation from fixed service systems using high altitude platform stations to conventional fixed service systems in the bands 27.5-28.35 GHz and 31-31.3 GHz,” ITU-R Recommendation F.1609.
- [25] “Intersection of radio-relay antenna beams with orbits used by space stations in the fixed-satellite service,” ITU-R Recommendation SF.765.
- [26] “Maximum allowable error performance and availability degradations to digital radio-relay systems arising from interference from emissions and radiations from other sources,” ITU-R Recommendation F.1094-1.
- [27] “Maximum allowable values of interference from the Fixed-Satellite Service into terrestrial radio-relay systems which may form part of an ISDN and share the same frequency band below 15 GHz,” ITU-R Recommendation F.615-1.
- [28] “Maximum equivalent isotropically radiated power of radio-relay system transmitters operating in the frequency bands shared with the fixed-satellite service,” ITU-R Recommendation SF.406-8.
- [29] “Mathematical model of average radiation patterns for line-of-sight point-to-point radio-relay system antennas for use in certain coordination studies and interference assessment in the frequency range from 1 to about 70 GHz,” ITU-R Recommendation F.1245-1
- [30] “Methods for determining the effects of interference on the performance and the availability of terrestrial radio-relay systems and systems in the Fixed Satellite Service,” ITU-R Recommendation SF.766
- [31] “Methods for the determination of the coordination area around an earth station in frequency bands between 100 MHz and 105 GHz,” ITU Radio Regulations Appendix 7.
- [32] V. Milas, P. Constantinou, “A New Methodology for Estimating the Impact of Co-channel Interference from High-altitude Platforms to Terrestrial Systems”, accepted for publication, *Journal of Communications and Networks*, Special Issue - “Spectrum Resource Optimization”, June 2006.
- [33] V. Milas, P. Constantinou, “Interference Environment between High Altitude Platform Networks (HAPN) Geostationary (GEO) Satellite and Wireless Terrestrial Systems.”,

Wireless Personal Communications, An International Journal, Kluwer Academic Publishers, Special Issue "High Altitude Platforms - Technologies and Applications", Vol. 32, February 2005

- [34] V. Milas, M. Koletta, D. Vouyioukas, D. Dres, P. Constantinou, "High Altitude Platforms Instability Effect on Co-channel Interference Levels when Sharing the V band with Terrestrial Services", *Proceedings of the 61st IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference*, May 30 - June 1, 2005, Stocholm, Sweden.
- [35] V. Milas, M. Koletta, P. Constantinou, "Interference Simulations between High Altitude Platform Stations (HAPS) and Fixed Wireless Access (FWA) Systems", *IST Mobile and Wireless Communications Summit*, 27-30 June 2004 - Lyon, France
- [36] V. Milas, I. Ganas, M. Koletta, P. Constantinou, "Compatibility Analysis of High Altitude Platform Stations and Fixed Wireless Access Systems", *Proceedings of the 22nd AIAA International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit 2004*, Monterey, California, 9-12 May 2004.
- [37] Vasilis F. Milas, Prof. Philip Constantinou, "Co-channel Interference between High-altitude Platforms and Terrestrial Systems", *AIJCT Journal of Information and Communications Technology*, accepted for publication.
- [38] R. Miura, M. Suzuki, "Preliminary Flight Test Program on Telecom and Broadcasting Using High Altitude Platform Stations", *Wireless Personal Communications, An International Journal*, Kluwer Academic Publishers, vol.24, no.2, Jan. 2003, pp. 341-361
- [39] 'Μελέτη Παρεμβολών μεταξύ Στρατοσφαιρικών Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Επίγειων Ασύρματων Συστημάτων', Διπλωματική Εργασία, Ιωάννης Γκανάς, Αθήνα Οκτώβριος 2003, Εργαστήριο Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών, Ε.Μ.Π.
- [40] "Performance degradation due to interference from other services sharing the same frequency bands on a primary basis with digital radio-relay systems operating at or above the primary rate and which may form part of the international portion of a 27500 km hypothetical reference path," ITU-R Recommendation F.1241.
- [41] "Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.7 GHz," ITU-R Recommendation P.452.

- [42] “Propagation data required for the evaluation of interference between stations in space and those on the surface of the Earth,” ITU-R Recommendation P.619.
- [43] “Propagation data and prediction methods required for the design of systems using high altitude platform stations at about 47 GHz,” ITU-R Recommendation P.1409.
- [44] “Preferred characteristics of systems in the fixed service using high altitude platforms operating in the bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz,” ITU-R Recommendation F.1500.
- [45] “Reference radiation patterns for line-of-sight radio-relay system antennas for use in coordination studies and interference assessment in the frequency range from 1 GHz to about 70 GHz,” ITU-R Recommendation F.699-5.
- [46] “Technical and operational characteristics for the fixed service using high altitude platform stations in the bands 27.5-28.35 GHz and 31-31.3 GHz,” ITU-R Recommendation F. 1569.
- [47] “Terrestrial and space services sharing frequency bands above 1 GHz,” ITU-R Regulations Article 21
- [48] J. Thorton, D. Grace, C. Spillard, T. Konefal, T. Tozer, “Broadband Communications from a High-Altitude Platform: The European Helinet programme”, *IEE Electronics & Communications Engineering Journal*, pp.138-144, June 2001

Κεφάλαιο 4

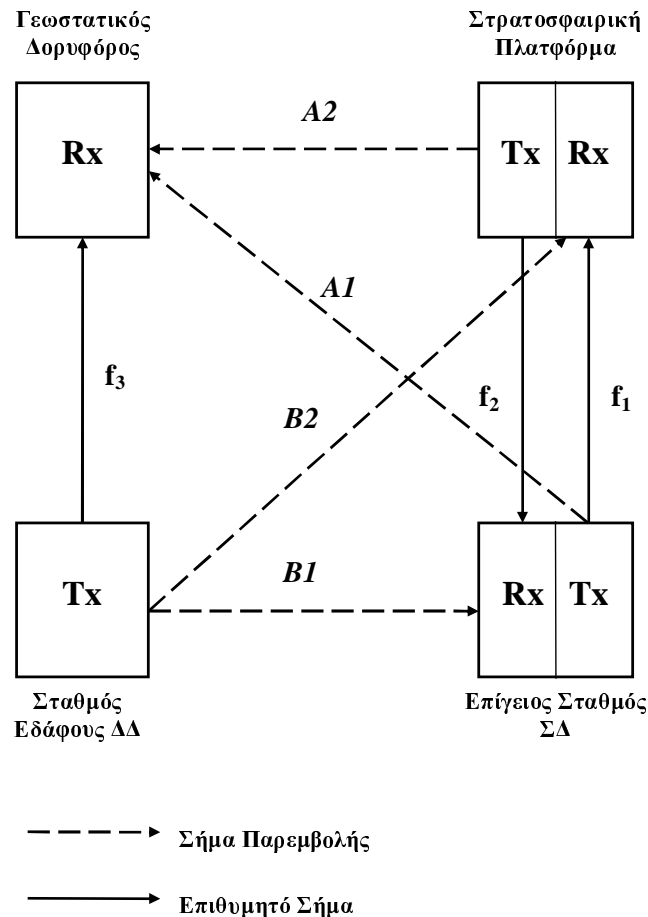
Ανάπτυξη Νέων Κριτηρίων Συνύπαρξης μεταξύ Δορυφορικών και Στρατοσφαιρικών Δικτύων

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται το περιβάλλον παρεμβολών που δημιουργείται μεταξύ του Στρατοσφαιρικού Δικτύου (ΣΔ) και του Δορυφορικού Δικτύου (ΔΔ), και παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος εκτίμησης των ορίων ισχύος των επίγειων σταθμών του ΣΔ για το σενάριο των παρεμβολών που προκαλούνται από τις εκπομπές της άνω ζεύξης (Γη-προς-στρατόσφαιρα) του ΣΔ προς τη λήψη της άνω ζεύξης (Γη-προς-διάστημα) του ΔΔ. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της θεωρητικής και της στατιστικής μελέτης των παρεμβολών που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης (στρατόσφαιρα-προς-Γη) του ΣΔ προς τους γεωστατικούς δορυφορικούς δέκτες.

Όπως προαναφέρθηκε στην §2.4, το ΣΔ μπορεί να λειτουργήσει στις συγκεκριμένες περιοχές της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών, ή στις συγκεκριμένες χώρες που καθορίζονται στην αναφορά [11] με τα ίδια δικαιώματα που έχουν και τα δίκτυα με πρωτεύουσα ανάθεση σε αυτές τις περιοχές, με την βασική όμως προϋπόθεση να έχει εξασφαλιστεί ότι η λειτουργία τους δεν προκαλεί ανεπίτρεπτα επίπεδα παρεμβολής στα πρωτεύοντα δίκτυα. Η κοινή λειτουργία των δύο δικτύων στις ίδιες ή γειτονικές περιοχές και συχνότητες μπορεί να οδηγήσει στην πρόκληση

ανεπιθύμητων παρεμβολών και την διακοπή της ομαλής και σταθερής λειτουργίας των $\Delta\Delta$ αλλά και των $\Sigma\Delta$. Οι διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους ένα $\Delta\Delta$ μπορεί να παρεμβάλλει και να παρεμβάλλεται σε/από ένα $\Sigma\Delta$ απεικονίζονται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Διαδρομές Διάδοσης Παρεμβολής μεταξύ του Δορυφορικού Δικτύου και του Στρατοσφαιρικού Δικτύου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μελέτη έχει επικεντρωθεί στις συχνότητες των 47.2-47.5 GHz και 47.9-48.2 GHz, στις οποίες έχει ανατεθεί από την ITU-R η λειτουργία του $\Sigma\Delta$ για την παροχή σταθερών υπηρεσιών στις χώρες της Ευρώπης. Το $\Sigma\Delta$ έχει συχνότητα άνω ζεύξης f_1 (ανάθεση στα 47.9-48.2 GHz) και κάτω ζεύξης f_2 (ανάθεση στα 47.2-47.5 GHz). Το $\Delta\Delta$ έχει συχνότητα άνω ζεύξης f_3 (ανάθεση στα 47.2-50.2 GHz).

Οι διαδρομές διάδοσης παρεμβολής που προκαλούνται από την λειτουργία του $\Sigma\Delta$ είναι δύο: οι διαδρομές A1 και A2. Η διαδρομή A1 αναφέρεται στην ομοδιαυλική παρεμβολή που προκαλείται από τους επίγειους σταθμούς του $\Sigma\Delta$ προς τους γεωστατικούς σταθμούς του $\Delta\Delta$. Η παρεμβολή γίνεται στην συχνότητα άνω ζεύξης του $\Sigma\Delta$ f_1 . Η διαδρομή A2 αναφέρεται στην ομοδιαυλική παρεμβολή που προκαλείται από τις πλατφόρμες του $\Sigma\Delta$ προς τους γεωστατικούς σταθμούς του

Κεφάλαιο 4.

ΔΔ. Η παρεμβολή γίνεται στην συχνότητα κάτω ζεύξης του Στρατοσφαιρικού Δικτύου f_2 .

Οι διαδρομές διάδοσης παρεμβολής που προκαλούνται από την λειτουργία του ΔΔ είναι οι B1 και B2. Η διαδρομή B1 αναφέρεται στις παρεμβολές που προκαλούνται από τους σταθμούς εδάφους του ΔΔ προς τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ. Η διαδρομή B2 αναφέρεται στις παρεμβολές που προκαλούνται από τους σταθμούς εδάφους του ΔΔ προς τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες. Και στα δύο σενάρια η παρεμβολή γίνεται στην συχνότητα άνω ζεύξης του Δορυφορικού Δικτύου f_3 .

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αναλύονται και συζητώνται εκτενώς όλες οι διαδρομές διάδοσης παρεμβολής μεταξύ του ΣΔ και του ΔΔ, και γίνεται μέλετη για κάθε ένα από τα σενάρια και τις ειδικές του παραμέτρους. Περιγράφονται επίσης οι νέες μέθοδοι που προτείνουμε αλλά και αυτές που εφαρμόζονται διεθνώς για την επίτευξη αρμονικής συνύπαρξης μεταξύ των δύο συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες λειτουργίας του κάθε συστήματος. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις παρεμβολές που προκαλεί το ΣΔ, και στην προστασία των σταθμών του ΔΔ.

Η ανάπτυξη των Δορυφορικών Δικτύων στην ζώνη των 50/40 GHz είναι αρκετά σημαντική τα τελευταία χρόνια. Στην §4.2 μελετώνται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των Δορυφορικών Δικτύων στις συχνότητες των 50/40 GHz που διαφοροποιούνται από τις χαμηλότερες ζώνες συχνοτήτων και περιγράφονται τα δορυφορικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στην μελέτη του παρόντος κεφαλαίου ως μοντέλα αναφοράς. Επίσης αναλύονται οι στόχοι διαθεσιμότητας και λειτουργικών λαθών για όλα τα είδη ΔΔ και η μέγιστη επιτρεπτή υποβάθμιση στους προαναφερόμενους στόχους την οποία μπορεί να δεχτεί ένα ΔΔ λόγω παρεμβολών από άλλα συστήματα που λειτουργούν στις ίδιες συχνότητες.

Στις εώς τώρα μελέτες για τη διαδρομή διάδοσης παρεμβολής A1, γίνεται η θεώρηση ότι ο άξονας σκόπευσης του δορυφόρου είναι προσανατολισμένος έξω από την περιοχή κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Διαχωρίζεται δηλαδή γεωγραφικά το ίχνος της δέσμης του δορυφόρου και η περιοχή όπου λειτουργούν οι επίγειοι σταθμοί του ΣΔ. Στην πραγματικότητα και με δεδομένη την ταχεία ανάπτυξη των δύο δικτύων, ο γεωγραφικός διαχωρισμός μεταξύ της περιοχής κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και του ίχνους της δέσμης του δορυφόρου, θα είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Για αυτό το λόγο η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην διερεύνηση της πιθανότητας λειτουργίας των δύο δικτύων στην ίδια περιοχή κάλυψης. Στην §4.3 προτείνεται μια νέα μέθοδος για την εκτίμηση του λόγου ομοδιαυλικής παρεμβολής-προς-θερμικό θόρυβο που προκαλείται από τις εκπομπές ισχύος της άνω ζεύξης (Γη-προς-στρατόσφαιρα) του

ΣΔ προς τους γεωστατικούς δορυφορικούς δέκτες, όταν τα δύο δίκτυα λειτουργούν στην ίδια περιοχή κάλυψης [20]. Με βάση το μοντέλο αυτό εξετάζονται τα ισχύοντα (καθορισμένα από την ITU-R) χαρακτηριστικά εκπομπής των επίγειων σταθμών του ΣΔ. Στην §4.3.2.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αναλυτικής μελέτης για τις δύο θεμελιώδεις περιπτώσεις, και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για όλες τις πιθανές γεωγραφικές θέσεις ανάπτυξης των δύο δικτύων.

Η §4.4 είναι αφιερωμένη στη μελέτη της διαδρομής διάδοσης παρεμβολής A2. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης [18], [19], που αφορά τις παρεμβολές που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης (στρατόσφαιρα-προς-Γη) του ΣΔ προς τους γεωστατικούς δορυφορικούς δέκτες.

Στην §4.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης που αφορά στην προστασία του ΣΔ από παρεμβολές που προκαλεί το ΔΔ. Η §4.5.2 είναι αφιερωμένη στη μελέτη των παρεμβολών που προκαλούνται από δορυφορικό σταθμό εδάφους προς επίγειο δέκτη ΣΔ, ενώ η §4.5.3 στην μελέτη των παρεμβολών που προκαλούνται από δορυφορικό σταθμό εδάφους προς στρατοσφαιρική πλατφόρμα.

4.2 Γεωστατικά Δορυφορικά Δίκτυα

Τα Δορυφορικά Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα αποτελούν σήμερα ένα αναπόσπαστο τμήμα των περισσότερων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Χάρη στη μοναδική ιδιότητα των δορυφόρων να παρέχουν κάλυψη πολύ μεγάλων γεωγραφικών περιοχών και τη δυνατότητα παροχής ευρυζωνικών υπηρεσιών, πλεονεκτούν σημαντικά σε πληθώρα εφαρμογών όπως η ευρυεκπομπή τηλεοπτικών προγραμμάτων, η διασύνδεση μεγάλων τηλεπικοινωνιακών κόμβων κα. Η χρησιμοποίηση γεωστατικών δορυφόρων¹ για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων έχει αναπτυχθεί ταχύτατα τις τελευταίες δεκαετίες. Η τεχνολογία των δορυφορικών συστημάτων συνεχώς προοδεύει και οι δορυφορικές τηλεπικοινωνίες αναμένεται να παίζουν συνεχώς σημαντικότερο ρόλο στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα.

Ως Σταθερό Δορυφορικό Δίκτυο (ή απλά Δορυφορικό Δίκτυο-ΔΔ, όπως χρησιμοποιείται στη παρούσα διατριβή) ορίζεται ένα σύστημα ραδιοεπικοινωνιών μεταξύ σταθμών εδάφους τοποθετημένων σε σταθερές θέσεις που επικοινωνούν μέσω ενός ή περισσότερων γεωστατικών δορυφόρων. Οι θέσεις των σταθμών εδάφους μπορεί να είναι προκαθορισμένα σταθερά σημεία ή οποιαδήποτε σημεία μέσα σε προκαθορισμένες περιοχές στην επιφάνεια της γης.

Η μελέτη της παρούσας διατριβής επικεντρώνεται στις ζώνες συχνοτήτων που έχουν ανατεθεί στα Δορυφορικά Δίκτυα, και οι οποίες είναι σε κοινή χρήση με τα Στρατοσφαιρικά Δίκτυα. Οι κοινές ζώνες συχνοτήτων για τα δύο δίκτυα καταγράφονται στους Ραδιοκανονισμούς που εκδίδει η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών περιοδικά [11]. Για τις χώρες της Ευρώπης, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην §2.4, το κοινό φάσμα αφορά την V ζώνη συχνοτήτων.

Η ανάπτυξη των Δορυφορικών Δικτύων στην V ζώνη συχνοτήτων (50/40 GHz) διαφαίνεται από το γεγονός ότι τα τελευταία 7 χρόνια περισσότερες από 200 αναθέσεις ΔΔ έχουν πραγματοποιηθεί από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών με άνω ζεύξη στα 47-50.2 GHz και κάτω ζεύξη στα 37.5-42.5 GHz². Η τάση αυτή της ανάπτυξης των ΔΔ τα τελευταία χρόνια υπογραμμίζει την προσοχή που θα πρέπει να δοθεί ώστε να εξασφαλιστούν οι βέλτιστες συνθήκες για την αρμονική συνύπαρξη με τα άλλα δίκτυα που χρησιμοποιούν τις ίδιες ζώνες συχνοτήτων.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ΔΔ που διαφοροποιούνται στην V ζώνη περιγράφονται στην §4.2.1, ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά τυπικών δορυφορικών συστημάτων (ITU-R) που

¹ Δορυφόροι που βρίσκονται σε γεωσύγχρονη τροχιά με μηδενική κλίση και εκκεντρότητα [9], [28] και για αυτό το λόγο φαίνονται ως σταθερό σημείο στον ουρανό από ένα παρατηρητή που βρίσκεται στην Γη

² Πηγή: Βάση Δεδομένων ITU-R (SRS -Space Radiocommunications Stations)

χρησιμοποιούνται ως συστήματα αναφοράς παρουσιάζονται στην §4.2.2.

4.2.1 Ιδιαίτερα Χαρακτηριστικά των Δορυφορικών Δικτύων στα 50/40 GHz

Στις συχνότητες των 50/40 GHz υπάρχουν σημαντικές διαφορές από τις χαμηλότερες αναθέσεις συχνοτήτων για δορυφορικά συστήματα. Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των Δορυφορικών Δικτύων που διαφοροποιούνται στα 50/40 GHz είναι [24]:

- η τυπική ελάχιστη γωνίασ ανύψωσης,
- το μέγεθος της κεραίας του επίγειου σταθμού λήψης,
- το απαιτούμενο περιθώριο εξασθένησης λόγω βροχής.

Η πλειονότητα των δορυφορικών συστημάτων στην V ζώνη έχει την δυνατότητα παροχής ‘καθαρού’ (clear-air) ρυθμού σφαλμάτων (BER) της τάξης των 10^{-7} έως 10^{-10} . Η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο είναι η QPSK ενώ προβλέπεται χρήση σχημάτων διαμόρφωσης υψηλότερου βαθμού για τα μελλοντικά συστήματα όπως 8-PSK και 16-QAM [24]. Τα δορυφορικά συστήματα στις υψηλές αυτές συχνότητες λειτουργίας, έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν υψηλής ταχύτητας μετάδοσης με ρυθμούς δεδομένων που ξεκινούν από STM-1 (155Mbits/s) έως 10 STM-1. Χρησιμοποιούν μικρά επίγεια τερματικά (με διάμετρο < από 1 m) για εφαρμογές που απαιτούν στόχους διαθεσιμότητας 99.7%, και μεγαλύτερους σταθμούς (εώς και 2.4 m, ίσως και 3 m διάμετρο) για πυλαίες ζεύξεις και εφαρμογές που απαιτούν υψηλότερους στόχους διαθεσιμότητας.

Η τυπική ελάχιστη γωνίασ ανύψωσης των σταθμών εδάφους στα 50/40 GHz είναι 20 μοίρες. Λόγω των ισχυρών εξασθένησεων διάδοσης στις υψηλές αυτές συχνότητες, τα περισσότερα συστήματα που έχουν προταθεί, θα μπορούν να λειτουργούν σε υψηλότερες ελάχιστες γωνίες ανύψωσης σε σύγκριση με τα δορυφορικά δίκτυα που λειτουργούν κάτω από τα 30 GHz.

Το μέγεθος των τερματικών που επικοινωνούν με τον γεωστατικό δορυφόρο στις συχνότητες που μελετάμε, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που συσχετίζεται με τα όρια πυκνότητας ροής ισχύος που φτάνει στην επιφάνεια της Γης τα οποία καθορίζονται από την ITU-R (Πίνακας 4.1), και βεβαίως το ζητούμενο λόγο E_b/N_0 που καθορίζεται από τον σχεδιαστή του δικτύου. Αποτελεί θέμα έρευνας το αν μπορούν να χρησιμοποιηθούν κεραίες με μεγαλύτερη διάμετρο από

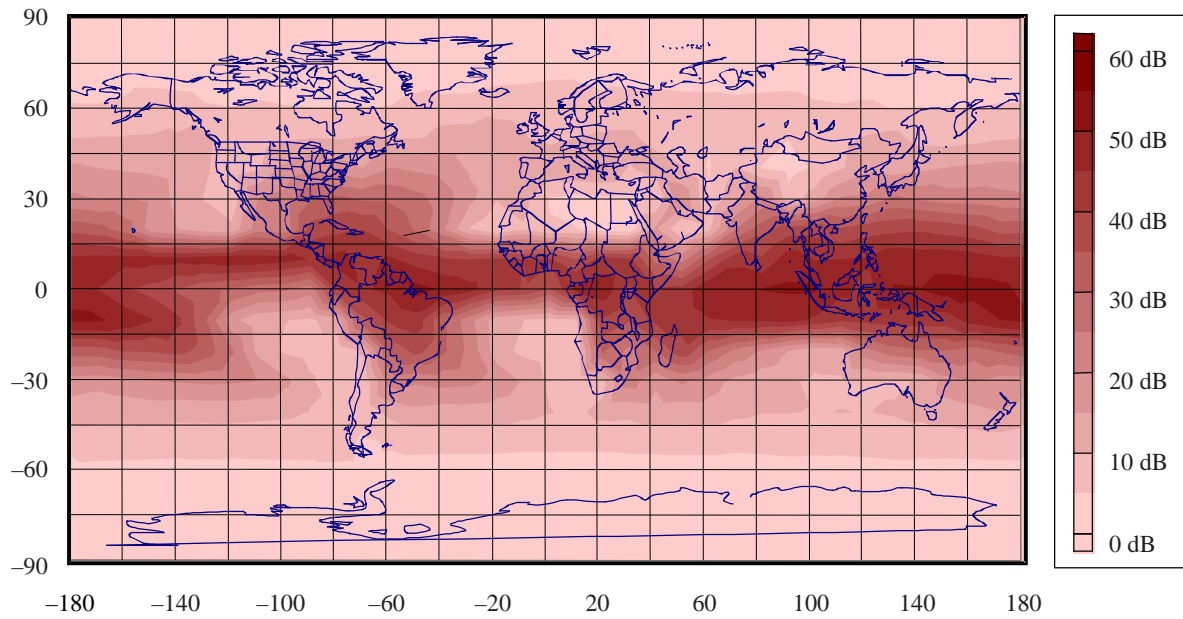
Κεφάλαιο 4.

τα 2.4 m, και αυτό κυρίως λόγω παραμορφώσεων στην επιφάνεια του ανακλαστήρα, και απωλειών στόχευσης που παρατηρούνται στις υψηλές αυτές συχνότητες των 50/40 GHz.

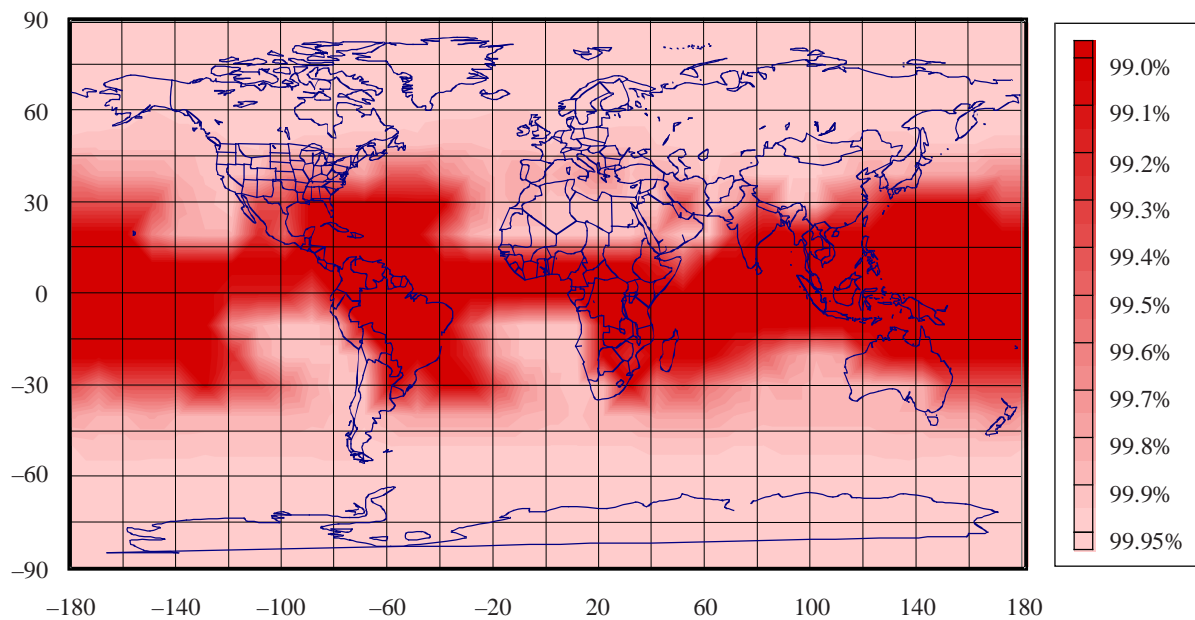
Πίνακας 4.1: Όρια Πυκνότητας Ροής Ισχύος ($dB(W/m^2)$) στην V ζώνη

Ζώνη Συχνοτήτων	Όρια Πυκνότητας Ροής Ισχύος $dB(W/m^2)$				Εύρος ζώνης αναφοράς
	$0^\circ-5^\circ$	$5^\circ-15^\circ$	$15^\circ-25^\circ$	$25^\circ-90^\circ$	
40.5-42 GHz	$0^\circ-5^\circ$	$5^\circ-15^\circ$	$15^\circ-25^\circ$	$25^\circ-90^\circ$	1 MHz
	-120	$-120+(\delta-5)$	$-110+0.5\cdot(\delta-15)$	-105	
42-42.5 GHz	$0^\circ-5^\circ$	$5^\circ-20^\circ$	$20^\circ-25^\circ$	$25^\circ-90^\circ$	1 MHz
	-127	$-127+(4/3)\cdot(\delta-5)$	$-107+0.4\cdot(\delta-20)$	-105	
47.5-50.2 GHz	$0^\circ-5^\circ$	$5^\circ-25^\circ$		$25^\circ-90^\circ$	1 MHz
	-115	$-115+0.5\cdot(\delta-5)$		-105	

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που διαφοροποιείται στην V ζώνη είναι το απαιτούμενο περιθώριο εξασθένισης λόγω βροχής (M_{fade}). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι στόχοι διαθεσιμότητας των ζεύξεων παροχής υπηρεσιών σε χρήστες είναι 99.7%. Στο Σχήμα 4.2 απεικονίζεται το απαιτούμενο περιθώριο εξασθένισης λόγω βροχής για την ζώνη των 40 GHz με γωνία ανύψωσης 25° ώστε να επιτυγχάνονται οι στόχοι διαθεσιμότητα ζεύξης για ποσοστό 99.7%. Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζεται γραφικά η διαθεσιμότητα που επιτυγχάνει ένα δορυφορικό σύστημα που λειτουργεί στα 40 GHz με περιθώριο εξασθένισης λόγω βροχής 18 dB. Παρατηρούμε ότι στις συχνότητες αυτές είναι δύσκολο να επιτευχθεί 99.7% διαθεσιμότητα της ζεύξης για αρκετές περιοχές. Το συγκεκριμένο Σχήμα μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για γωνίες μικρότερες των 25° , η χρήση τεχνικών μείωσης της εξασθένισης (π.χ διαφορική λήψη) είναι απαραίτητη για την εκπλήρωση των επιθυμητών στόχων διαθεσιμότητας, στις υψηλές συχνότητες.



Σχήμα 4.2: Απαιτούμενο περιθώριο εξασθένησης λόγω βροχής, στην ζώνη των 40 GHz με γωνία ανύψωσης 25° , για διαθεσιμότητα 99.7%



Σχήμα 4.3: Επιτεύξιμοι Στόχοι Διαθεσιμότητας, στην ζώνη των 40 GHz με γωνία ανύψωσης 25° , περιθώριο ισχύος λόγω εξασθένησης από βροχή 18 dB

4.2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Τυπικών Δορυφορικών Δικτύων στη Χιλιοστομετρική Ζώνη (ITU-R)

Στην αναφορά [27] προτείνονται από την ITU-R διάφορα δορυφορικά συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργήσουν στα 50/40 GHz. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, βασίζεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά των Γεωστατικών Δορυφορικών Δικτύων:

- *GEOSAT-X*,
- *GSOV-B1*,
- *GEO-SV*,

τα οποία φαίνονται συγκεντρωτικά στους Πίνακες 4.2-4.7. Και τα τρία δίκτυα βασίζονται σε γεωστατικούς δορυφόρους.

Το δίκτυο GEOSAT-X αποτελείται από 9 δορυφόρους σε τροχιά, με συχνότητα άνω ζεύξης τα 47.2 έως 50.2 GHz, και κάτω ζεύξης τα 39.5 έως 42.5 GHz. Λειτουργεί με 48 δέσμες για ζεύξεις με τερματικούς χρήστες, 8 δέσμες για πυλαίες ζεύξεις, και 2 δέσμες για υψηλής χωρητικότητας ζεύξεις (Πίνακες 4.2, 4.3).

Το δίκτυο GSOV-B1 μπορεί να λειτουργήσει με 24 δέσμες για ζεύξεις με τερματικούς χρήστες μεγέθους 0.3° . Η συχνότητα άνω ζεύξης είναι στα 47.2 έως 50.2 GHz, και κάτω ζεύξης τα 37.5 έως 40.5 GHz (Πίνακας 4.4). Τα χαρακτηριστικά εκπομπής του δικτύου GSOV-B1 φαίνονται στον Πίνακα 4.5.

Το δίκτυο GEO-SV μπορεί να λειτουργήσει με 40 δέσμες μεγέθους 0.15° . Αποτελείται από 6 δορυφόρους σε τροχιά, με συχνότητα άνω ζεύξης τα 47.2 έως 50.2 GHz, και κάτω ζεύξης τα 39.5 έως 42.5 GHz. Το σύστημα GEO-SV είναι υβριδικό καθώς περιλαμβάνει ωφέλιμο φορτίο και στην Ku ζώνη (Πίνακες 4.6, 4.7).

Πίνακας 4.2: Δορυφορικό Σύστημα GEOSAT-X

1. Παράμετροι τροχιάς	
Τύπος τροχιάς	Γεωσύγχρονη
Υψόμετρο (Km)	35 786
Αριθμός δορυφόρων σε τροχιά	9
Απόσταση γειτονικών δορυφόρων (μίρες)	τουλάχιστον 2
2. Εύρος συχνοτήτων και πόλωση	
Συχνότητα άνω ζεύξης (GHz)	47.2-50.2
Πόλωση άνω ζεύξης	LHCP/RHCP
Συχνότητα κάτω ζεύξης (GHz)	39.5-42.5
Πόλωση κάτω ζεύξης	LHCP/RHCP
3. Απαιτούμενο φάσμα σε κάθε κατεύθυνση MHz	3 000
4. Παράμετροι εκπομπής	
Τύπος διαμόρφωσης	QPSK
Service link beams	48
Feeder-link segments/polarization	8 beams for gateway communication 2 downlink beams for HCDR service
Εύρος ζώνης δέκτη	<i>User service beams:</i> Uplink: 500 kHz, 3 MHz, 11 MHz, data Downlink: 125 MHz <i>Gateway beams:</i> Uplink and downlink: 125 MHz <i>HCDR beams:</i> Downlink: 1 GHz
Εύρος ζώνης πομπού	<i>User service beams:</i> Uplink: 500 kHz, 3 MHz, 11 MHz, data Downlink: 125 MHz <i>Gateway beams:</i> Uplink and downlink: 125 MHz <i>HCDR beams:</i> Downlink: 1 GHz

Πίνακας 4.3: Δορυφορικό Σύστημα GEOSAT-X συνέχεια

Συνολικό C/N_0 ανά χρήστη (dB/Hz) συνέχεια	<i>User service beams C/N_0:</i> Uplink (clear air): 75.6, 76.9, 84.3, 93.2 (rain): 67.8, 67.8, 75.5, 81.6 Downlink (clear air): 89.8, 92.1, 94.8, 103.5 (rain): 82.8, 82.8, 86.2, 90.3 <i>Gateway beams C/N_0:</i> Uplink (clear air): 111.8; (rain): 92.3 Downlink (clear air): 110.5; (rain): 93.0 <i>HCDR beams C/N_0:</i> Downlink (clear air): 115.8; (rain): 101.6
e.i.r.p./carrier (dBW) άνω ζεύξης	service beams (EOC): 49.9, 53.0, 60.4, 69.2
	Gateway beams: 83.9
5. Παράμετροι εκπομπής φέροντος	
e.i.r.p./carrier (dBW) κάτω ζεύξης	User service beams (EOC): 61.2 Gateway beams: 62.7 HCDR beams: 62.2
Τύπος δορυφορικού αναμεταδότη	On-board processing
6. Παράμετροι δορυφορική κεραίας	
Tx maximum gain (dBi)	56.5 user and gateway links 53.7 HDR
Rx maximum gain (dBi)	53.8
Side lobes (dB)	Tx: 14 below peak Rx: 25 below peak
Back lobes (dB)	25 below peak
7. Παράμετροι σταθμού εδάφους	
Peak Tx gain (dBi)	44.8-59.3 user E/S from 45 cm to 240 cm 64.8 for gateway earth stations
Peak Rx gain (dBi)	43.3-57.8 user E/S from 45 cm to 240 cm 63.3 for gateway earth stations 69.3 for HCDR earth stations
Διάγραμμα Ακτινοβολίας	Rec. ITU-R S.580 (29 - 25 log (angle))
Ελάχιστη γωνία ανύψωσης (μοίρες)	20
8. Κατανομή σταθμών εδάφους	Παγκόσμια/χωρίς περιορισμούς
9. Στρατηγική μεταγωγής σταθμών εδάφους	Αποφυγή παρεμβολών

Πίνακας 4.4: Δορυφορικό Σύστημα GSOV-B1

1. Εύρος συχνοτήτων και πόλωση	
Συχνότητα άνω ζεύξης (GHz)	47.2-50.2
Πόλωση άνω ζεύξης	Γραμμική
Συχνότητα κάτω ζεύξης (GHz)	37.5-40.5
Πόλωση κάτω ζεύξης	Γραμμική
2. Απαιτούμενο φάσμα σε κάθε κατεύθυνση MHz	
	3000
3. Παράμετροι εκπομπής φέροντος	
Τύπος διαμόρφωσης	QPSK/SS-TDMA
Αριθμός δεσμών για ζεύξεις χρήστη	24
Ρυθμός δεδομένου ανά TDMA φέρον	88 Mbit/s 128 kbit/s
Occupied bandwidth	105.6 MHz 167 KHz
Κωδικοποίηση	R 1/2
4. Παράμετροι κεραίας δορυφόρου	
Κέρδος κεραίας (dBi)	51.5
G/T (dB/K)	23.4
Θερμοκρασία θορύβου (K)	650
Εύρος δέσμης (μοίρες)	0.3
Αριθμός δεσμών	24
5. Παράμετροι κεραίας σταθμού εδάφους	
Κέρδος κεραίας	Σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί
Ελάχιστη γωνία ανύψωσης (μοίρες)	20

Κεφάλαιο 4.

Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικά εκπομπής GSOV-B1

Χαρακτηριστικά εκπομπής			194KG7W		123MG7W	
Άνω/Κάτω Ζεύξη	Διάμετρος E/S m	Κέρδος E/S dBi	Μέγιστη πυκν. ισχύος dB(W/Hz)	Ελάχιστη πυκν.ισχύος dB(W/Hz)	Μέγιστη πυκν. ισχύος dB(W/Hz)	Ελάχιστη πυκν. ισχύος dB(W/Hz)
Uplink clear sky	0.45	45.2	-47.3	-65.8	-48.7	-51.7
	0.9	51.2	-53.3	-71.8	-54.7	-57.7
	1.2	53.7	-55.8	-74.3	-57.2	-60.2
	6	67.7	-69.8	-88.3	-71.2	-74.2
Uplink degraded	0.45	45.2	-37.3	-65.8	-38.7	-51.7
	0.9	51.2	-43.3	-71.8	-44.7	-57.7
	1.2	53.7	-55.8	-74.3	-47.2	-60.2
	6	67.7	-59.8	-88.3	-61.2	-74.2
Downlink	0.45	43.7	-60.3	-69.3	(^a)	(^β)
	0.9	49.7	(^γ)	(^δ)	-66.2	-73.3
	1.2	52.2	-67.3	-75.5	-66.2	-74.9
	6	66.2	-75.8	-78.8	-66.2	-77.5

^a δεν παρέχεται

^β δεν παρέχεται

^γ εκτός εύρους

^δ εκτός εύρους

Πίνακας 4.6: Δορυφορικό Σύστημα GEO-SV

1. Παράμετροι τροχιάς	
Τύπος τροχιάς	Γεωσύγχρονη
Υψόμετρο (Km)	35786
Αριθμός δορυφόρων σε τροχιά	6
Απόσταση γειτονικών δορυφόρων (μίρες)	τουλάχιστον 2
2. Εύρος συχνοτήτων και πόλωση	
Συχνότητα άνω ζεύξης (GHz)	47.2-50.2
Πόλωση άνω ζεύξης	LHCP/RHCP
Συχνότητα κάτω ζεύξης (GHz)	39.5-42.5
Πόλωση κάτω ζεύξης	LHCP/RHCP
3. Απαιτούμενο φάσμα σε κάθε κατεύθυνση MHz	3 000
4. Παράμετροι εκπομπής	
Τύπος διαμόρφωσης	D-QPSK
Service link beams	40
Ρυθμός μετάδοσης ανά TDMA φέρον (Mbit/s)	155 (1 to 2.5 m ground terminals) 26.4 (45 cm ground terminals)
Coding rate	0.609
Effective overall rate (coding and data overhead)	0.517
Carrier occupied bandwidth (MHz)	199.85 (1 to 2.5 m terminals) 34.04 (45 cm terminals)
Required $E_b/(N_0 + I_0)$ without loss (dB)	5.0
Modem implementation loss (dB)	1.5
Εύρος ζώνης πομπού/δέκτη (MHz)	257 (1 to 2.5 m ground terminals) 43.7 (45 cm terminals)
Uplink e.i.r.p. per carrier (dBW)	75.5 (^a)
Downlink e.i.r.p. per carrier (dBW)	62.0
Τύπος δορυφορικού αναμεταδότη	SS-TDMA

^aATPC

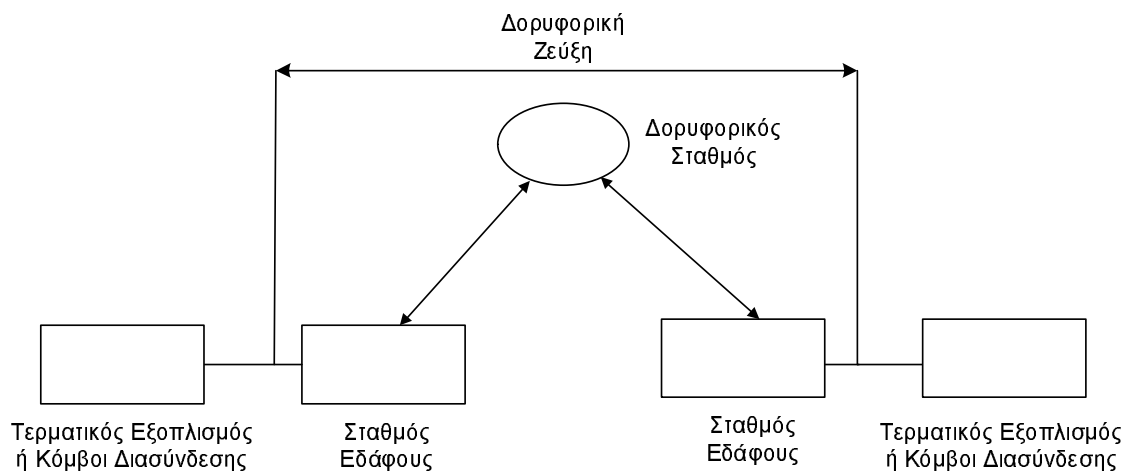
Πίνακας 4.7: Δορυφορικό Σύστημα GEO-SV συνέχεια

5. Παράμετροι κεραίας δορυφόρου	
Ευαισθησία δέκτη G/T (dB/K)	26.4
Μέγιστο κέρδος κεραίας πομπού (dBi)	58.0
Μέγιστο κέρδος κεραίας δέκτη (dBi)	58.0
Εύρος ημίσειας ισχύος κεραίας κάτω ζεύξης	0.15°
6. Παράμετροι κεραίας σταθμού εδάφους	
Διαστάσεις	Tx: 2.5 m Rx: 2.5 m, 1 m, 45 cm
Peak Tx gain (dBi)	59.5
Peak Rx gain (dBi)	50.8 (1 m) 43.8 (45 cm)
Ευαισθησία δέκτη G/T (dB/K)	23.8 (1 m) 16.8 (45 cm)
Διάγραμμα Ακτινοβολίας	Rec. ITU-R S.580 (29 - 25 log (angle))
Ελάχιστη γωνία ανύψωσης (μοίρες)	15
7. Κατανομή σταθμών εδάφους	Παγκόσμια/χωρίς περιορισμούς

4.2.3 Στόχοι Λειτουργίας

Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη αξιόπιστων κριτηρίων συνύπαρξης και την ρεαλιστική ανάλυση παρεμβολών μεταξύ των Δορυφορικών Δικτύων και των Στρατοσφαιρικών Δικτύων είναι η ικανοποίηση των στόχων λειτουργίας που έχουν καθοριστεί από την ITU-T και την ITU-R για το κάθε δίκτυο. Οι στόχοι αυτοί έχουν καθοριστεί λαμβάνοντας υπόψη την ολοένα αυξανόμενη χρήση ραδιοφάσματος. Υπάρχουν πολλές συστάσεις που σχετίζονται με τους συνολικούς λειτουργικούς στόχους για διάφορα είδη υπηρεσιών και για διάφορα είδη ζεύξεων του Δορυφορικού Δικτύου (Σταθερού) με τη χρήση γεωστατικών δορυφόρων. Οι κυριότεροι στόχοι είναι η διαθεσιμότητα και ο ρυθμός λειτουργικών λαθών όπως περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες ενότητες.

Για την ανάπτυξη των στόχων λειτουργίας και των κριτηρίων παρεμβολών, είναι απαραίτητη η θεώρηση ενός υποθετικού κυκλώματος αναφοράς (Hypothetical Reference Circuit, HRC). Για ένα αναλογικό Δορυφορικό Δίκτυο, το υποθετικό κύκλωμα αναφοράς περιγράφεται στο [14]. Για ένα ψηφιακό Δορυφορικό Δίκτυο, είναι απαραίτητη η θεώρηση μιας υποθετικής ψηφιακής διαδρομής αναφοράς (Hypothetical Reference Digital Path, HRDP), η οποία έχει την μορφή του Σχήματος 4.4, [15].



Σχήμα 4.4: Υποθετική διαδρομή αναφοράς για Δορυφορικό Δίκτυο ψηφιακής μετάδοσης

Η υποθετική ψηφιακή διαδρομή αναφοράς περιγράφει με τρόπο γενικό δορυφορικές συνδέσεις, οι οποίες μπορεί να είναι συνδεδεμένες σε Επίγεια Δίκτυα. Οι ζεύξεις μεταξύ των σταθμών εδάφους και τα αντίστοιχα τους επίγεια ψηφιακά κέντρα μεταγωγής θεωρούνται μέρος του Επίγειου Δικτύου και συνεπώς δεν συμπεριλαμβάνονται στην υποθετική ψηφιακή διαδρομή αναφοράς.

Ωστόσο σε αυτή περιλαμβάνονται τα φίλτρα, οι κωδικοποιητές και αποκωδικοποιητές, τα

Κεφάλαιο 4.

κυκλώματα διόρθωσης λαθών, η μεταγωγή και ο εξοπλισμός πολυπλεξίας στο σταθμό εδάφους ή στον τερματικό σταθμό του χρήστη. Η υποθετική ψηφιακή διαδρομή αναφοράς αφορά ζεύξεις σημείου προς σημείο, ζεύξεις σημείου προς πολλαπλά σημεία, αλλά και ασύμμετρα δίκτυα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το διαστημικό μέρος του υποθετικού κυκλώματος και της υποθετικής διαδρομής μπορεί να περιλαμβάνει παραπάνω από έναν δορυφόρους σε δια-δορυφορικές ζεύξεις.

4.2.3.1 Στόχοι Διαθεσιμότητας

Η διαθεσιμότητα μιας ψηφιακής δορυφορικής ζεύξης ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$A_{SatelliteHDRP} = A_{Link} \cdot A_{Earth_Station} \cdot A_{Spacecraft} \quad (4.2.1)$$

όπου:

A_{Link} : η διαθεσιμότητα στο άνω και κάτω τμήμα της ζεύξης λόγω απόσβεσης από βροχή και άλλα φαινόμενα παρεμβολών,

$A_{Earth_Station}$: η διαθεσιμότητα (αξιοπιστία του εξοπλισμού) όλου του εξοπλισμού πομπών και δεκτών στο επίγειο τμήμα της ζεύξης. Περιλαμβάνει επίσης τις παρεμβολές από τον Ήλιο [16],

$A_{Spacecraft}$: η συνολική διαθεσιμότητα στον δορυφόρο,

$A_{SatelliteHDRP}$: το γινόμενο όλων των διαθεσιμοτήτων σε όλα τα τμήματα της ζεύξης.

Σύμφωνα με την αναφορά [7], για ένα Σταθερό Δορυφορικό Δίκτυο, η μη διαθεσιμότητα της ζεύξης λόγω του εξοπλισμού σταθμών εδάφους και δορυφόρου ($A_{Earth_Station}$ και $A_{Spacecraft}$) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0.2% του χρόνου.

Η μη διαθεσιμότητα λόγω αποσβέσεων από βροχή και άλλα φαινόμενα παρεμβολών στο άνω και κάτω τμήμα της ζεύξης (A_{Link}) δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 0.2% κάθε μήνα για κάθε κατεύθυνση της υποθετικής ψηφιακής διαδρομής αναφοράς ή ισοδύναμα η ζεύξη θα πρέπει να είναι διαθέσιμη τουλάχιστον κατά 99.96% του χρόνου.

4.2.3.2 Στόχοι Λειτουργικών Λαθών

Οι στόχοι λειτουργικών λαθών για ένα Δορυφορικό Δίκτυο περιγράφονται στις ακόλουθες συστάσεις της ITU-R:

- για ψηφιακή δορυφορική ζεύξη από άκρο σε άκρο μέρος διεθνούς δικτύου για ρυθμούς μεγαλύτερους του βασικού (Βασικός ρυθμός θεωρείται από την ITU-R τα 1.5 Mbps): ITU-R S.1062 [5],
- για ψηφιακή δορυφορική ζεύξη μέρος ISDN δικτύου: ITU-R S.614 [4],
- για δορυφορική ζεύξη που χρησιμοποιεί παλμοκωδική διαμόρφωση: ITU-R S.522 [3].

Οι στόχοι λειτουργικών λαθών για ψηφιακή δορυφορική ζεύξη και ο καταμερισμός των λειτουργικών λαθών στην υποθετική ψηφιακή διαδρομή αναφοράς ορίζονται στην ITU-T G.826, βάση της οποίας στην αναφορά [5], ορίζεται η πιθανότητα λειτουργικών λαθών για ένα Δορυφορικό Δίκτυο σύμφωνα με τον Πίνακα 4.8.

Η μεταβλητή α ορίζει τον μέσο όρο λανθασμένων δυαδικών ψηφίων σε μια ριπή λαθών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι στόχοι λειτουργικών λαθών που αναφέρθηκαν ορίζονται για συστήματα που λειτουργούν σε ζώνες συχνοτήτων μικρότερες των 30 GHz. Αποτελούν μια πρώτη αναφορά και για τις υψηλότερες συχνοτήτες αλλά αυτό είναι ένα θέμα που απαιτεί περαιτέρω μελέτη.

4.2.4 Μέγιστη Επιτρεπτή Παρεμβολή

Η μέγιστη αθροιστική μέση επιτρεπτή παρεμβολή σε ένα Δορυφορικό Δίκτυο καταμερίζεται αρχικά ως εξής [6]:

- 32% του θορύβου του συστήματος υπό συνθήκες καθαρού ουρανού, για συστήματα που δεν εφαρμόζουν επαναχρησιμοποίηση συχνότητας,
- 27% του θορύβου του συστήματος υπό συνθήκες καθαρού ουρανού, για συστήματα που εφαρμόζουν επαναχρησιμοποίηση συχνότητας.

Η επαναχρησιμοποίηση συχνότητας είναι μια τεχνική που στόχο έχει την αύξηση της πληροφοριακής χωρητικότητας της ζεύξης, χωρίς να γίνεται αύξηση του χρησιμοποιούμενου εύρους

Πίνακας 4.8: Στόχοι Λειτουργικών Λαθών για Δορυφορικά Δίκτυα

Bit rate (Mbps)	% Total Time (Worst Month)	BEP/α
1.5	0.2	7×10^{-7}
	2	3×10^{-8}
	10	3×10^{-9}
2	0.2	7×10^{-6}
	2	2×10^{-8}
	10	2×10^{-9}
6	0.2	8×10^{-7}
	2	1×10^{-8}
	10	1×10^{-9}
51	0.2	4×10^{-7}
	2	2×10^{-9}
	10	2×10^{-10}
155	0.2	1×10^{-7}
	2	1×10^{-9}
	10	1×10^{-10}

ζώνης. Δύο από τις πιο γνωστές μεθόδους επαναχρησιμοποίησης συχνότητας είναι η χρήση διπλή πόλωσης και η χρήση διπλής δέσμης για την κάλυψη της ίδιας περιοχής με αυτή της μιας δέσμης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα προαναφερθέντα ποσοστά μερισμού της μέγιστης επιτρεπτής παρεμβολής αναφέρονται σε συστήματα που λειτουργούν σε συχνότητες μικρότερες των 15 GHz. Αποτελούν μια πρώτη αναφορά και για τις υψηλότερες συχνότητες αλλά αυτό είναι ένα θέμα που απαιτεί περαιτέρω μελέτη. Για συχνότητες πάνω από τα 10 GHz η χρήση διπλής πόλωσης γίνεται ιδιαίτερα προβληματική [28]. Η επαναχρησιμοποίηση συχνότητας γενικά δημιουργεί πρόσθετο θόρυβο στο ίδιο το σύστημα [23].

Η μέγιστη επιτρεπτή παρεμβολή καταμερίζεται επιπλέον ως εξής:

- 25% για άλλα ΔΔ, όταν δεν εφαρμόζεται επαναχρησιμοποίηση συχνότητας,
- 20% για άλλα ΔΔ, όταν εφαρμόζεται επαναχρησιμοποίηση συχνότητας,

- 6% για άλλα δίκτυα με πρωτεύουσα προτεραιότητα
- 1% για άλλες πηγές παρεμβολής

Το άθροισμα όλων των παραπάνω πηγών παρεμβολής δεν πρέπει να υπερβαίνει τους στόχους διαθεσιμότητας και λειτουργικών λαθών που έχουν οριστεί στις προηγούμενες ενότητες.

4.3 Διαδρομή Διάδοσης Παρεμβολής A1

Η διαδρομή διάδοσης παρεμβολής A1 αναφέρεται στις παρεμβολές που προκαλούνται από τους επίγειους σταθμούς του Στρατοσφαιρικού Δικτύου προς τους γεωστατικούς δέκτες του Δορυφορικού Δικτύου. Η παρεμβολή γίνεται στην συχνότητα άνω ζεύξης του ΣΔ f_1 (47.9-48.2 GHz).

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα υπάρχοντα κριτήρια συνύπαρξης, και προτείνεται μια νέα μέθοδος με βάση την οποία μελετώνται οι συνθήκες συνύπαρξης μεταξύ ΣΔ και ΔΔ όταν λειτουργούν στην ίδια περιοχή κάλυψης, και εξάγονται νέα όρια ισχύος για τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο περιορισμός της ισχύος των επίγειων σταθμών του ΣΔ είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος στην συνύπαρξη των δύο δικτύων, αποτελεί όμως και ένα κριτήριο για την δυνατότητα παροχής ευρυζωνικών υπηρεσιών για το ίδιο το ΣΔ. Κατά συνέπεια, για την εξαγωγή των ιδανικών ορίων ισχύος οι δύο αυτές παράμετροι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

4.3.1 Υπάρχοντα Κριτήρια Συνύπαρξης

Σύμφωνα με την υπάρχουσα μελέτη της ITU-R [10], τα επίπεδα αθροιστικής παρεμβολής που δέχεται ο δέκτης του ΔΔ από 300 επίγειους σταθμούς του ΣΔ³ είναι κάτω από τα επιτρεπτά όρια. Βέβαια για τη συγκεκριμένη διαδρομή διάδοσης παρεμβολής, γίνεται η θεώρηση ότι ο άξονας σκόπευσης του δορυφόρου είναι προσανατολισμένος έξω από την περιοχή κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Διαχωρίζεται δηλαδή γεωγραφικά το ίχνος της δέσμης του δορυφόρου και η περιοχή όπου λειτουργούν οι επίγειοι σταθμοί του Στρατοσφαιρικού Δικτύου.

Στην πραγματικότητα και με δεδομένη την ταχεία ανάπτυξη των δύο δικτύων, ο γεωγραφικός διαχωρισμός μεταξύ της περιοχής κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και του ίχνους της δέσμης του δορυφόρου, θα είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Αυτό γίνεται ακόμα πιο δύσκολο για χώρες με την μικρή γεωγραφική έκταση όπως η Ελλάδα, καθώς όπως φαίνεται και στο Σχήμα Γ'.2 (Παράρτημα Γ'), η ανάπτυξη ενός πιθανού ΣΔ με την πλατφόρμα πάνω από το κέντρο της Αθήνας για την παροχή υπηρεσιών σε αστικούς, προαστιακούς και αγροτικούς χρήστες θα είχε την προϋπόθεση της μη ύπαρξης σταθμών του ΔΔ σε πολύ μεγάλη έκταση.

Στην αναφορά [17], τονίζεται η ανάγκη για μια νέα διαδικασία για την έως τώρα μη προσδιο-

³100 επίγειοι σταθμοί σε κάθε ζώνη κάλυψης

ρισμένη περίπτωση συντονισμού μεταξύ των εκπομπών της άνω ζεύξης (Γη-προς-στρατόσφαιρα) του ΣΔ και της άνω ζεύξης (Γη-προς-διάστημα) του Δορυφορικού Δικτύου, όταν οι επίγειοι σταθμοί του ΣΔ εμφανίζονται στην περιοχή κάλυψης ΔΔ.

4.3.2 Προτεινόμενη Μέθοδος

Η μέθοδος που προτείνουμε, βασίζεται στην εκτίμηση του λόγου ομοδιαυλικής παρεμβολής-προς-θερμικό θόρυβο που προκαλείται από τις εκπομπές ισχύος της άνω ζεύξης (Γη - προς -στρατόσφαιρα) του ΣΔ προς τους γεωστατικούς δορυφορικούς δέκτες, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δύο δίκτυα λειτουργούν στην **ίδια περιοχή κάλυψης**.

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής που προκαλείται από τις εκπομπές ισχύος της άνω ζεύξης του ΣΔ προς τους γεωστατικούς δορυφορικούς δέκτες σχετίζονται με:

- το αν η παρεμβολή προέρχεται
 - από έναν επίγειο σταθμό ΣΔ,
 - από ένα πλήρες ανεπτυγμένο ΣΔ,
 - από περισσότερα του ενός ΣΔ,
- το αν ο κύριος άξονας σκόπευσης του δορυφόρου
 - είναι στην περιοχή ανάπτυξης του ΣΔ,
 - είναι μακριά από την περιοχή ανάπτυξης του ΣΔ,
- το γεωγραφικό πλάτος ανάπτυξης του ΣΔ,
- την περιοχή που βρίσκονται οι επίγειοι σταθμοί:
 - αστική,
 - προαστιακή
 - αγροτική
- τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των δύο δικτύων

Κεφάλαιο 4.

Στην §4.3.2.1 αναλύεται το προτεινόμενο αθροιστικό μοντέλο I/N . Στην §4.3.2.1.1 περιγράφεται η Περίπτωση Α της μελέτης που αντιστοιχεί στην ισχυρότερη πιθανή παρεμβολή προς τον δορυφορικό δέκτη, ενώ στην §4.3.2.1.2 περιγράφεται η Περίπτωση Β που καλύπτει το σενάριο της συγκριτικά ασθενέστερης παρεμβολής προς τον δορυφορικό δέκτη. Στην §4.3.2.1.3 υπολογίζεται το συνολικό κέρδος $G_{(H-S)i}(\varphi_{HSi})$ και στην τελευταία ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης.

4.3.2.1 Μοντέλο Εκτίμησης Λόγου Παρεμβολής-προς-Θόρυβο

Για τον χαρακτηρισμό της παρεμβολής που δέχεται ένας γεωστατικός δορυφορικός δέκτης από πολλούς επίγειους σταθμούς $\Sigma\Delta$, ο λόγος παρεμβολής-προς-θόρυβο αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους. Το προτεινόμενο I/N μοντέλο περιγράφεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\frac{I}{N} = 10 \cdot \log \left\{ \sum_{i=1}^n I_i \right\} - \{10 \cdot \log (kT_S BW_S)\} \quad (dB) \quad (4.3.1)$$

$$I_i = 10^{\frac{P_{(H-S)i}}{10}} \cdot 10^{\frac{G_{(H-S)i}(\varphi_{HSi})}{10}} \cdot 10^{\frac{G_{(S-H)i}(\varphi_{SHi})}{10}} \cdot L \quad (4.3.2)$$

$$L = \left(\frac{\lambda}{4\pi R_{Sni}} \right)^2 \quad (4.3.3)$$

όπου:

n : ο αριθμός των επίγειων σταθμών του $\Sigma\Delta$,

$P_{(H-S)i}$: η ισχύς εκπομπής των επίγειων σταθμών του $\Sigma\Delta$ (dBW),

$G_{(H-S)i}(\varphi_{HSi})$: το κέρδος της κεραίας εκπομπής των επίγειων σταθμών του Στρατοσφαιρικού Δικτύου (dBi),

$G_{(S-H)i}(\varphi_{SHi})$: το κέρδος της κεραίας λήψης του δορυφορικού δέκτη (dBi),

φ_{HSi} : η γωνία απόκλισης του επίγειου σταθμού από την κύρια κατεύθυνση (μοίρες),

φ_{SHi} : η γωνία απόκλισης του δορυφορικού δέκτη από την κύρια κατεύθυνση (μοίρες),

λ : το μήκος κύματος (m),

R_{Sni} : το μήκος της διαδρομής διάδοσης της παρεμβολής (m),

k : η σταθερά Boltzmann's ($1.38 \times 10^{-23} W/(Hz \cdot K)$),

T_S : η θερμοκρασία θορύβου του δορυφορικού δέκτη (K),

BW_S : το εύρος ζώνης του δορυφορικού δέκτη (Hz).

Για την θεωρητική εκτίμηση των παρεμβολών προτείνουμε δύο θεμελιώδεις περιπτώσεις ανάλυσης:

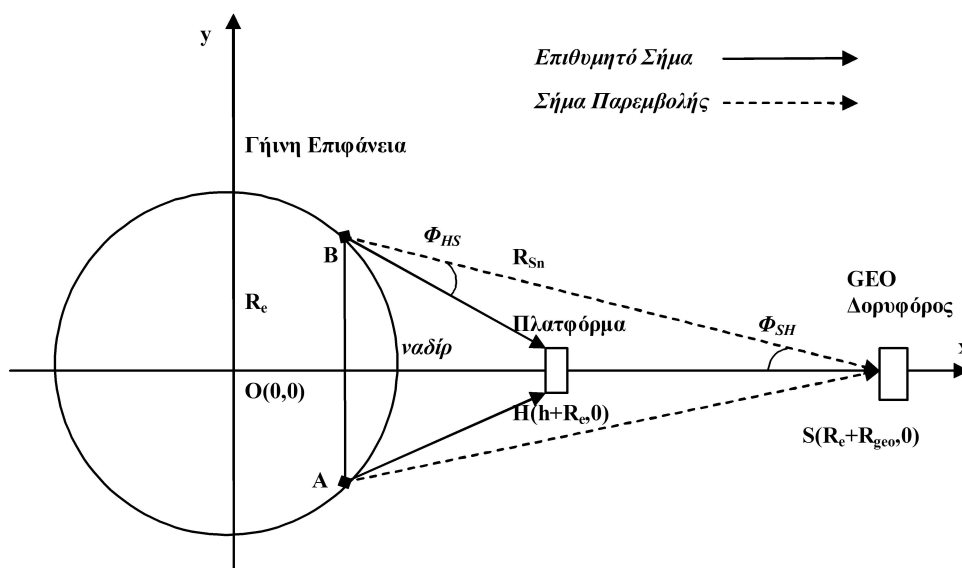
- *Περίπτωση A*, όπου το Στρατοσφαιρικό Δίκτυο αναπτύσσεται κοντά στον Ισημερινό,
- *Περίπτωση B*, όπου το Στρατοσφαιρικό Δίκτυο αναπτύσσεται κοντά στους Πόλους.

4.3.2.1.1 Περίπτωση A - Ανάπτυξη κοντά στον Ισημερινό Η πρώτη περίπτωση αντιστοιχεί στις παρεμβολές που προκαλούνται στον γεωστατικό δορυφορικό δέκτη από τους επίγειους σταθμούς Στρατοσφαιρικού Δικτύου που έχει αναπτυχθεί κοντά στην περιοχή του Ισημερινού. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες για το κατώτερο σημείο κάτω από την στρατοσφαιρική πλατφόρμα (ναδύρ) είναι οι ακόλουθες: γεωγραφικό μήκος 0° , γεωγραφικό πλάτος 0° . Ο άξονας σκόπευσης του δορυφόρου είναι προσανατολισμένος προς το ναδύρ (Σχήμα 4.5). Αυτές οι δύο συνθήκες αντιστοιχούν στην ισχυρότερη πιθανή παρεμβολή προς τον δορυφορικό δέκτη.

Για την συγκεκριμένη γεωμετρία παρεμβολής, θεωρούμε ότι η γωνία φ_{SH} του δορυφορικού δέκτη στην κατεύθυνση του επίγειου σταθμού $\Sigma\Delta$, είναι πολύ μικρή ($\simeq 0$ μοίρες), επομένως $G_{(S-H)i}(\varphi_{SHi}) = G_{(S-H)}$, όπου $G_{(S-H)}$ το μέγιστο κέρδος της κεραίας του δορυφόρου, σύμφωνα με τις τιμές των κερδών κεραίας των δορυφορικών συστημάτων που περιγράφονται στην §4.2.2. Επιπλέον το μήκος της διαδρομής διάδοσης της παρεμβολής μεταξύ του δορυφόρου και των επίγειων σταθμών, R_{Sni} , μπορεί να θεωρηθεί ίση με $R_{geo} = 35786 Km$. Τέλος εάν θεωρήσουμε ίδια ισχύ εκπομπής, $P_{(H-S)i} = P_{(H-S)}$ για όλους τους επίγειους σταθμούς, η (4.3.1) απλοποιείται ως εξής:

$$\frac{I}{N} = C_A + 10 \log \left\{ \sum_{i=1}^n 10^{\frac{G_{(H-S)i}(\varphi_{HSi})}{10}} \right\} - 10 \log \{kT_S BW_S\} \quad (4.3.4)$$

όπου C_A : σταθερή.



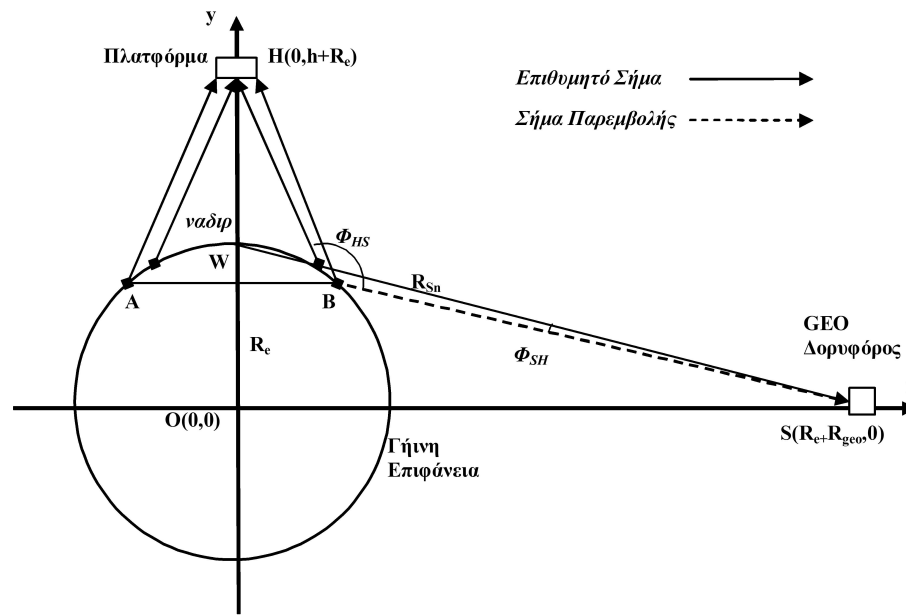
Σχήμα 4.5: Γεωμετρία παρεμβολής - Περίπτωση A

4.3.2.1.2 Περίπτωση Β - Ανάπτυξη κοντά στους Πόλους Η Περίπτωση Β αντιστοιχεί στις παρεμβολές που προκαλούνται στον γεωστατικό δορυφορικό δέκτη από τους επίγειους σταθμούς Στρατοσφαιρικού Δικτύου που έχει αναπτυχθεί σε υψηλό γεωγραφικό πλάτος, στη δική μας θεώρηση κοντά στους Πόλους. Ο άξονας σκόπευσης του δορυφόρου είναι προσανατολισμένος προς το σημείο ναδίρ κάτω από την στρατοσφαιρική πλατφόρμα (Σχήμα 4.6). Η περίπτωση αυτή καλύπτει το σενάριο της συγκριτικά ασθενέστερης παρεμβολής προς τον δορυφορικό δέκτη.

Για την συγκεκριμένη γεωμετρία παρεμβολής, θεωρούμε ότι η γωνία φ_{SH} του δορυφορικού δέκτη στην κατεύθυνση του επίγειου σταθμού του $\Sigma\Delta$ (τρίγωνο WSB), είναι πολύ μικρή ($\simeq 0$ μοίρες), επομένως $G_{(S-H)}(\varphi_{SH}) = G_{(S-H)}$, όπου $G_{(S-H)}$ το μέγιστο κέρδος της κεραίας του δορυφόρου, σύμφωνα με τις τιμές των κερδών κεραίας των δορυφορικών συστημάτων που περιγράφονται στην §4.2.2. Επιπλέον θεωρούμε ότι το μήκος της διαδρομής διάδοσης της παρεμβολής μεταξύ του δορυφόρου και των επίγειων σταθμών, R_{Sni} , είναι $R_{Sn} = 41679 Km$ (από σφαιρική γεωμετρία). Εάν θεωρήσουμε ίδια ισχύ εκπομπής, $P_{(H-S)i} = P_{(H-S)}$ για όλους τους επίγειους σταθμούς, η (4.3.1) απλοποιείται ως εξής:

$$\frac{I}{N} = C_B + 10 \log \left\{ \sum_{i=1}^n 10^{\frac{G_{(H-S)i}(\varphi_{HSi})}{10}} \right\} - 10 \log \{kT_S BW_S\} \quad (4.3.5)$$

όπου C_B : σταθερή.



Σχήμα 4.6: Γεωμετρία παρεμβολής - Περίπτωση Β

4.3.2.1.3 Συνολικό Κέρδος $G_{(H-S)_i}(\varphi_{HSi})$ Το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας του επίγειου σταθμού του ΣΔ ακολουθεί το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφεται στην §2.8.3, όπου $\varphi = \varphi_{HSi}$ είναι η γωνία απόκλισης του επίγειου σταθμού του ΣΔ από την κύρια κατεύθυνση.

Αν θεωρήσουμε ότι ένα πλήρες ανεπτυγμένο ΣΔ έχει τη δυνατότητα παροχής υπηρεσιών σε 100 ομοδιαυλικούς επίγειους σταθμούς που βρίσκονται συμμετρικά σε κάθε μια από τις τρεις περιοχές (αστική, προαστιακή, αγροτική), και με βάση την γεωμετρία παρεμβολής που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.7, μπορούμε να υπολογίσουμε την γωνία απόκλισης ως:

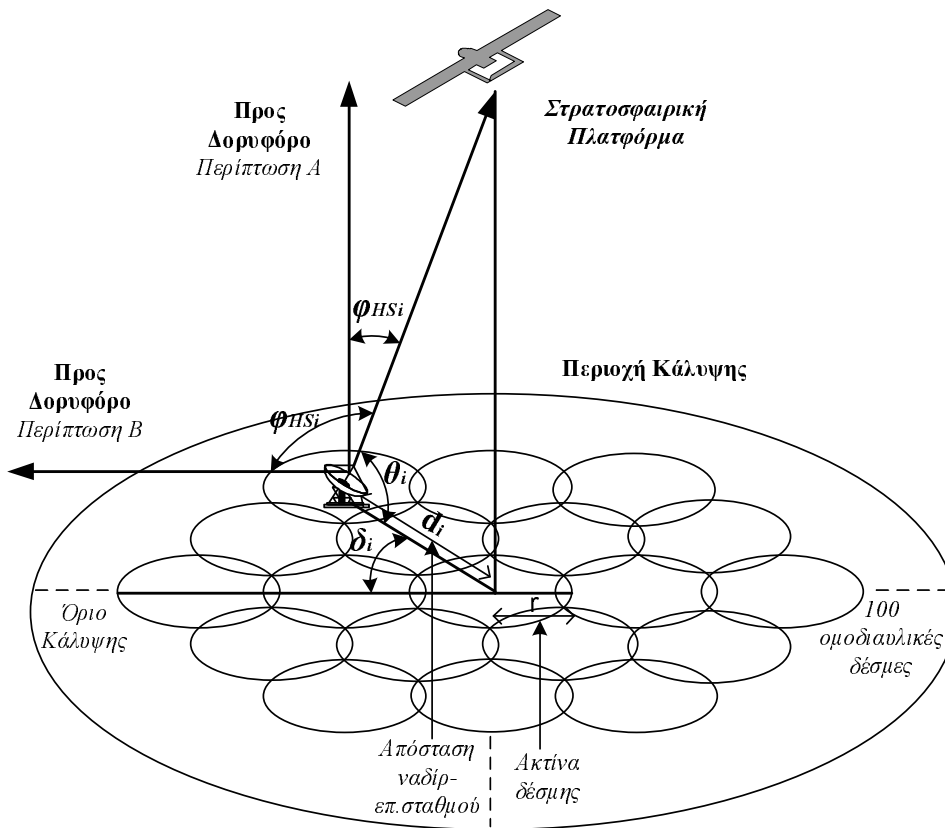
$$\varphi_{HSi} = 90^\circ - \vartheta_i \quad (4.3.6)$$

για την περίπτωση Α,

$$\varphi_{HSi} = \cos^{-1}(\cos(\vartheta_i) \cos(180^\circ - \delta_i)) \quad (4.3.7)$$

για την περίπτωση Β.

Το συνολικό κέρδος $G_{(H-S)_i}(\varphi_{HSi})$ υπολογίζεται με βάση τα παραπάνω και παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.9 για κάθε περιοχή κάλυψης.



Σχήμα 4.7: Γεωμετρία εύρεσης φ_{HSi}

4.3.2.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης I/N

Με βάση τις σχέσεις (4.3.4), (4.3.5), και τις στήλες 4, 5 του Πίνακα 4.9, υπολογίζουμε τους λόγους I/N για τις δύο περιπτώσεις. Στους Πίνακες 4.10, 4.11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα δορυφορικά δίκτυα GEOSAT-X, GSOV-B1, GEO-SV.

Από τα αποτελέσματα της θεωρητικής ανάλυσης που παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.10, 4.11, συμπεραίνουμε ότι υπάρχουν επαρκή περιθώρια (από 6.7 έως 28 dB για την περίπτωση A, από 11.9 έως 35.6 dB για την περίπτωση B) και για τις δύο περιπτώσεις σε σχέση με την τιμή του επιτρεπτού κριτηρίου $I/N = 10\%$.

Για να επιβεβαιώσουμε τα αποτελέσματα της θεωρητικής ανάλυσης αλλά και να εκτιμηθεί η πιθανότητα ομαλής συνύπαρξης μεταξύ των δύο συστημάτων σε ρεαλιστικό περιβάλλον, πραγματοποιήσαμε αρκετές προσομοιώσεις για κάθε μία από τις τρεις περιοχές κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Κάθε δοκιμή αντιστοιχεί σε νέα περιοχή ανάπτυξης του Στρατοσφαιρικού Δικτύου, ξεκινώντας από τον Ισημερινό, όπου το σημείο ναδύρ κάτω από την πλατφόρμα έχει συντεταγμένες: γεωγραφικό πλάτος 0° , γεωγραφικό μήκος 0° , και καταλήγοντας σε περιοχή

Πίνακας 4.9: Συνολικό Κέρδος

Περιοχή Κάλυψης	Κέρδος Κεραίας (dBi)	Ακτίνα Κάλυψης (Km)	Συνολικό Κέρδος	
			Περίπτωση Α	Περίπτωση Β
Αστική	23	0-36	26.8	10.0
Προαστιακή	38	36-76.5	15.0	13.1
Αγροτική	38	76.5-203	15.0	16.6

Πίνακας 4.10: Αποτελέσματα I/N - Περίπτωση Α

Περιοχή Κάλυψης	Ισχύς Εκπομπής (dBW)	I/N (dB) - Περίπτωση Α		
		GSOV-B1	GEO-SV	GEOSAT-X
Αστική	-8	-27.2	-26.3	-16.7
Προαστιακή	-7	-38.0	-37.1	-27.5
Αγροτική	-1.5	-32.5	-31.6	-22.0

κοντά στους Πόλους με συντεταγμένες: γεωγραφικό πλάτος 80° , γεωγραφικό μήκος 0° .

Να σημειώσουμε ότι σε κάθε δοκιμή ο άξονας σκόπευσης του δορυφόρου ακολουθεί την περιοχή κάλυψης του ΣΔ. Επιπλέον όπως διαπιστώθηκε από αρχικές προσομοιώσεις το γεωγραφικό μήκος ανάπτυξης των επίγειων σταθμών του ΣΔ δεν διαφοροποιεί σε σημαντικό βαθμό την στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής που λαμβάνεται από τον δορυφορικό δέκτη.

Οι μεταβλητές που λαμβάνουμε υπόψη στη μελέτη είναι οι ακόλουθες:

- *Ελεγχόμενες μεταβλητές*: Μοντέλα διάδοσης, τεχνικά χαρακτηριστικά σταθμών, επιτρεπτό κριτήριο παρεμβολής.
- *Ανεξάρτητη μεταβλητή*: Γεωγραφικό πλάτος ανάπτυξης επίγειων σταθμών και άξονα σκόπευσης δορυφόρου.
- *Εξαρτώμενη μεταβλητή*: Λόγος I/N.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.8 για το σενάριο όπου

Πίνακας 4.11: Αποτελέσματα I/N - Περίπτωση Β

Περιοχή Κάλυψης	Ισχύς Εκπομπής (dBW)	I/N (dB) - Περίπτωση Β		
		GSOV-B1	GEO-SV	GEOSAT-X
Αστική	-8	-45.6	-44.7	-35.1
Προαστιακή	-7	-38.0	-40.6	-31.0
Αγροτική	-1.5	-32.5	-31.5	-21.9

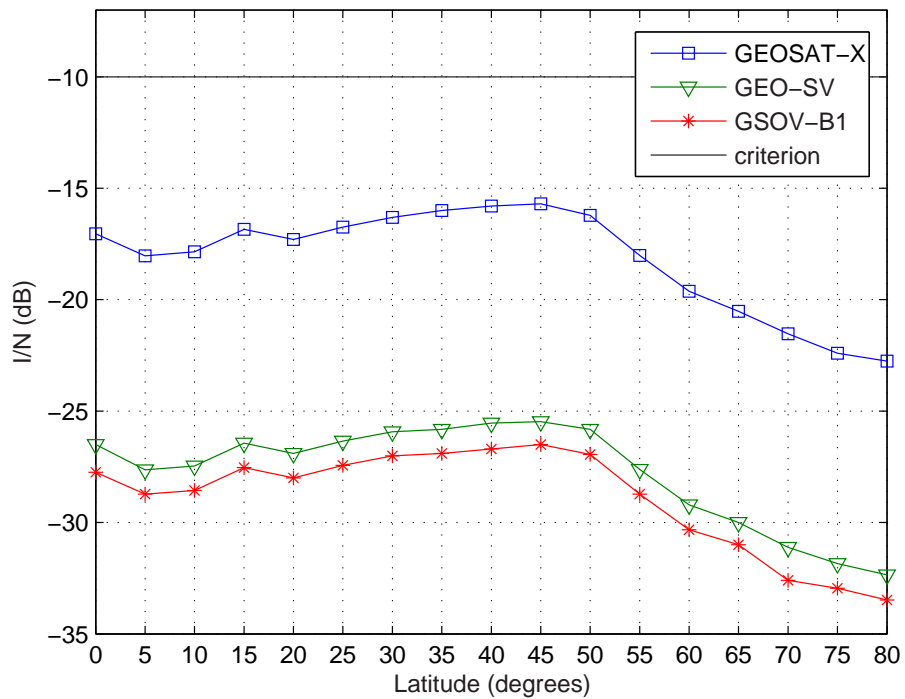
η παρεμβολή προκαλείται από εκπομπές ισχύος στην αστική περιοχή κάλυψης, στο Σχήμα 4.9 για το σενάριο όπου η παρεμβολή προκαλείται από εκπομπές ισχύος στην προαστιακή περιοχή κάλυψης και στο Σχήμα 4.10 για το σενάριο όπου η παρεμβολή προκαλείται από εκπομπές ισχύος στην αγροτική περιοχή κάλυψης.

Το πρώτο συμπέρασμα στο οποίο οδηγούμαστε από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την θεωρητική ανάλυση (Πίνακες 4.10, 4.11) και τη προσομοίωση (Σχήματα 4.8, 4.9, 4.10) είναι πως η τιμή του λόγου αθροιστικής παρεμβολής-προς-θερμικό θόρυβο δεν υπερέβη το επιτρεπτό κριτήριο $I/N = 10\%$, το οποίο αντιστοιχεί σε $I/N = 10 \cdot \log(0.1) = -10$ (dB). Αυτό εξασφαλίζεται για τα συγκεκριμένα δορυφορικά συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη, GSOV-B1, GEO-SV, GEOSAT-X. Τα συγκεκριμένα βέβαια θεωρούνται από την ITU-R ως τυπικά συστήματα αναφοράς για την ζώνη των 50/40 GHz.

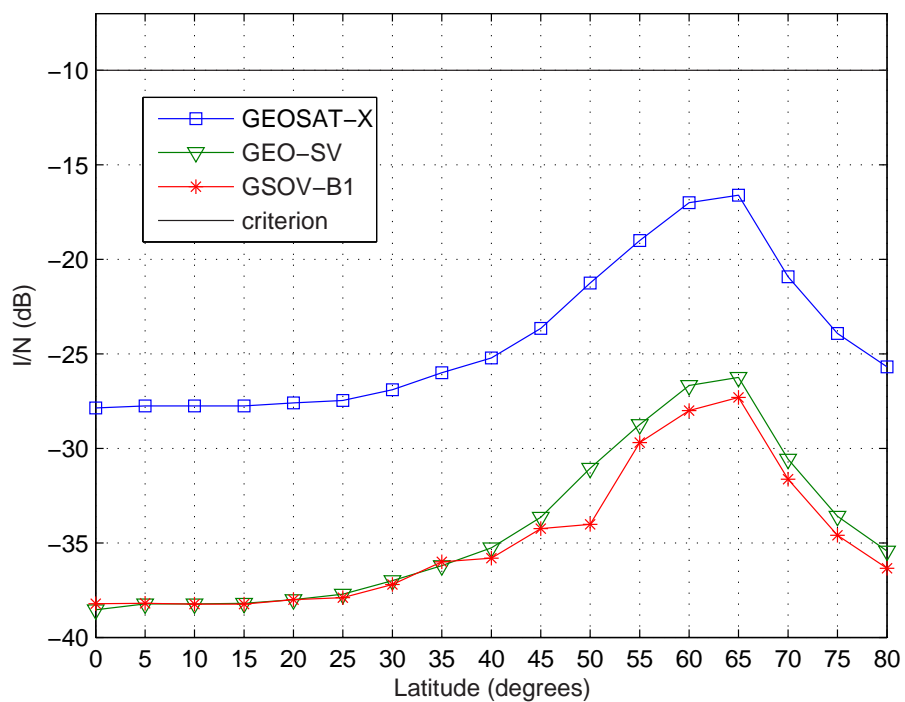
Το προαναφερθέν συμπέρασμα ουσιαστικά αποτελεί και μια πρώτη απάντηση στο ερώτημα της ITU-R [32], αν απαιτούνται περιορισμοί στα χαρακτηριστικά ισχύος των επίγειων σταθμών στρατοσφαιρικών δικτύων για την ομαλή συνύπαρξη με δορυφορικούς σταθμούς, όπως ήδη έχουμε αναφέρει.

Ένα δεύτερο συμπέρασμα είναι πως για την Περίπτωση Α της μελέτης, επιβεβαιώνονται οι τιμές της θεωρητικής ανάλυσης από την προσομοίωση, ενώ για την Περίπτωση Β παρατηρούνται αποκλίσεις. Αυτό βέβαια εξηγείται, καθώς το γεωγραφικό πλάτος ανάπτυξης επίγειων σταθμών και ο άξονας σκόπευσης του δορυφόρου, που αποτελούν τις δύο ανεξάρτητες μεταβλητές της προσομοίωσης, δεν μπορούσαν να υπερβούν τις 80° . Για γεωγραφικά πλάτη μεγαλύτερα των 80° , η ζεύξη μεταξύ δορυφόρου και σταθμού εδάφους δεν είναι εφικτή.

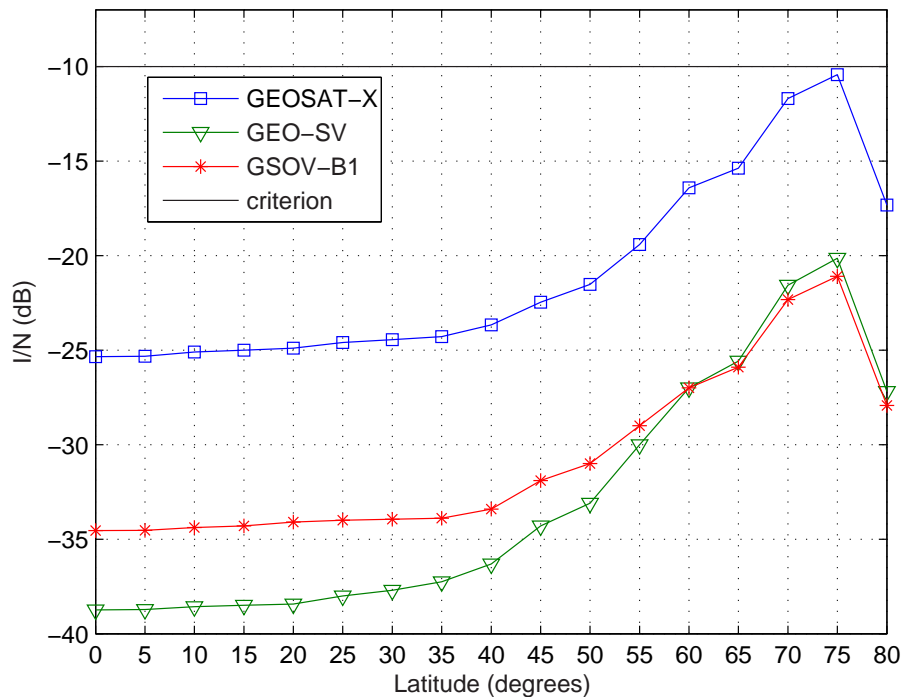
Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν παρεμβολές που προκαλούνται από



Σχήμα 4.8: Συμπεριφορά του λόγου I/N συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους ανάπτυξης του ΣΔ όταν η παρεμβολή προκαλείται από εκπομπές ισχύος στην αστική περιοχή κάλυψης



Σχήμα 4.9: Συμπεριφορά του λόγου I/N συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους ανάπτυξης του ΣΔ όταν η παρεμβολή προκαλείται από εκπομπές ισχύος στην προαστιακή περιοχή κάλυψης



Σχήμα 4.10: Συμπεριφορά του λόγου I/N συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους ανάπτυξης του $\Sigma\Delta$ όταν η παρεμβολή προκαλείται από εκπομπές ισχύος στην αγροτική περιοχή κάλυψης

εκπομπές ισχύος στην προαστιακή και αγροτική περιοχή κάλυψης (Σχήματα 4.9, 4.10), παρατηρούμε πως ο λόγος I/N αυξάνεται σημαντικά για γεωγραφικό πλάτος μεγαλύτερο των 30° , για την προαστιακή περιοχή κάλυψης, και μεγαλύτερο των 40° , για την αγροτική περιοχή κάλυψης. Η μεγαλύτερη επιβάρυνση στο λόγο I/N σημειώνεται στις 65° με απόκλιση από την μικρότερη τιμή >11 dB (προαστιακή περιοχή), και στις 75° με απόκλιση >13 dB (αγροτική περιοχή). Συνολικά από τα τρία Δορυφορικά Δίκτυα και τις τρεις περιοχές κάλυψης, η χειρότερη περίπτωση αποδεικνύεται αυτή μεταξύ του δικτύου GEOSAT-X και των εκπομπών ισχύος που προέρχονται από τους αγροτικούς χρήστες του Στρατοσφαιρικού Δικτύου.

4.3.3 Νέα Όρια Ισχύος

Στην παρούσα ενότητα προτείνονται νέα όρια ισχύος για τους επίγειους σταθμούς του Στρατοσφαιρικού Δικτύου, με βάση την προτεινόμενη μέθοδο συσχετίζοντας τον λόγο παρεμβολής-προσθόρυβο με την ακτίνα μέγιστης ραδιοκάλυψης του $\Sigma\Delta$, και με την ισχύ εκπομπής των επίγειων σταθμών του $\Sigma\Delta$, για βέλτιστη χρήση του ραδιοφάσματος που μοιράζονται το $\Sigma\Delta$ και το $\Delta\Delta$.

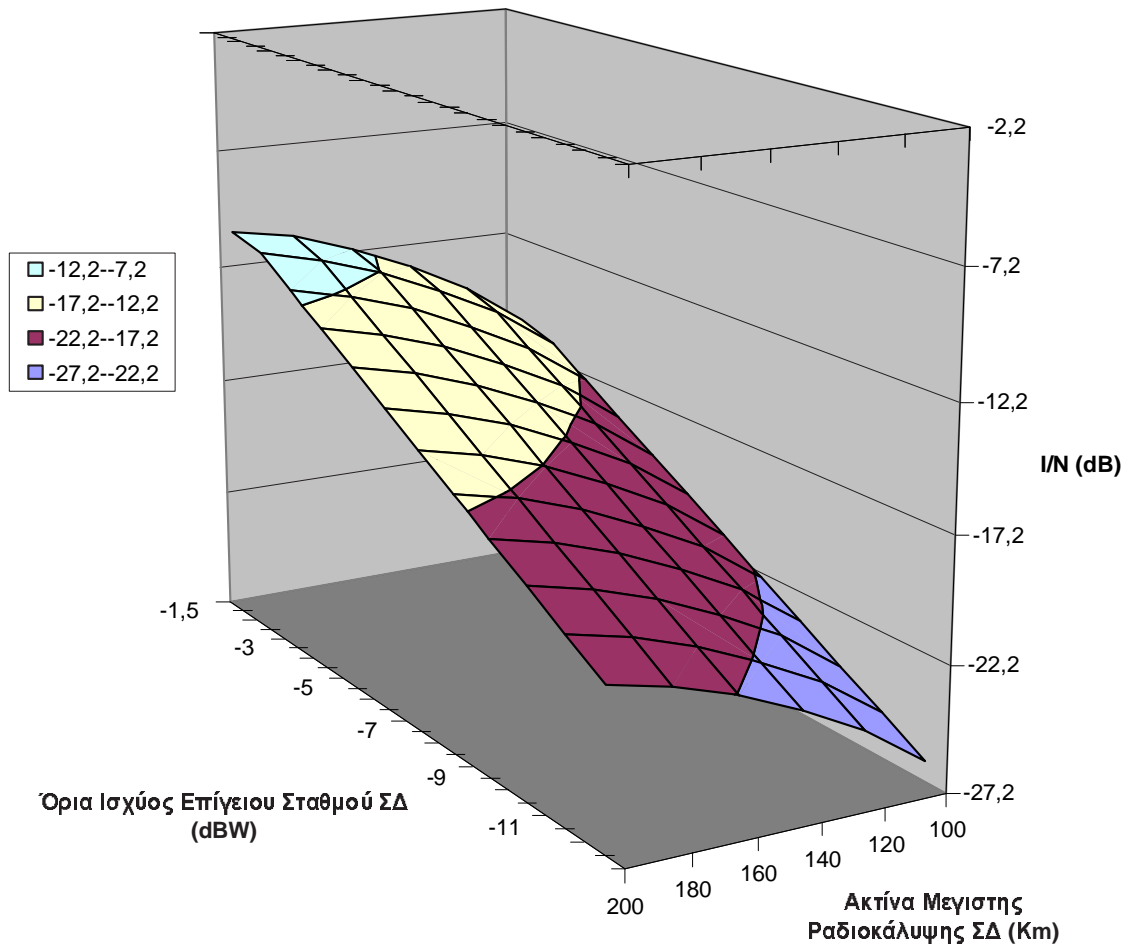
Από τα αποτελέσματα της προηγούμενης ενότητας, προκύπτει ότι η τιμή του λόγου αθροιστικής παρεμβολής-προς-θόρυβο δεν υπερέβη το κριτήριο παρεμβολής $I/N = 10\%$, σε καμιά από τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν. Στην περίπτωση που υιοθετηθεί μεταξύ των δύο δικτύων το κριτήριο παρεμβολής $I/N = 6\%$ το οποίο αντιστοιχεί σε $I/N = -12.2$ dB, η κατάσταση είναι διαφορετική. Παρατηρούμε ότι για γεωγραφικό πλάτος μεγαλύτερο των 68° όταν η παρεμβολή προκαλείται από εκπομπές ισχύος στην αγροτική περιοχή κάλυψης, οι τιμές του λόγου I/N είναι συγκρίσιμες ή ακόμα και μεγαλύτερες από τα -12.2 dB (Σχήμα 4.10). Η ισχυρότερη παρεμβολή δημιουργείται για γεωγραφικό πλάτος 75° . Στο Σχήμα Γ'.3 (Παράρτημα Γ') απεικονίζεται η γεωμετρία αθροιστικής παρεμβολής που προκαλείται από τις εκπομπές ισχύος της άνω ζεύξης (Γη-προς-στρατόσφαιρα) στη λήψη γεωστατικού δορυφόρου όταν το $\Sigma\Delta$ είναι ανεπτυγμένο σε γεωγραφικό πλάτος 75° (RAC). Τα Σχήματα 4.8, 4.9, μας δίνουν την πληροφορία ότι τα επίπεδα παρεμβολής που προκαλείται από εκπομπές ισχύος στην αστική και προαστιακή περιοχή κάλυψης, για όλα τα πιθανά γεωγραφικά πλάτη, είναι κάτω από την τιμή $I/N = -15$ dB, και ως εκ τούτου η παρούσα ανάλυση επικεντρώνεται στην αγροτική ζώνη.

Στο Σχήμα 4.11, έχουν υπολογιστεί τα επίπεδα αθροιστικής παρεμβολής-προς-θόρυβο για διαφορετική κάθε στιγμή κάλυψη και τιμές ισχύος εκπομπής. Από το αποτέλεσμα προκύπτει ότι η ισχύς εκπομπής των επίγειων σταθμών του $\Sigma\Delta$ πρέπει να είναι:

1. μικρότερη από -3.4 dBW για πλήρη κάλυψη με ακτίνα έως και τα 200 Km,
2. μικρότερη από -2.8 dBW για κάλυψη με ακτίνα έως και τα 180 Km,
3. μικρότερη από -2 dBW για κάλυψη με ακτίνα έως και τα 160 Km,
4. η προβλεπόμενη από την ITU-R [25] -1.5 dBW για κάλυψη με ακτίνα από τα 100 Km έως και τα 140 Km.

Εάν η μέγιστη επιτρεπτή παρεμβολή προς το $\Delta\Delta$ είναι $I/N = 1\%$, τότε η ισχύς εκπομπής των επίγειων σταθμών του $\Sigma\Delta$ πρέπει να είναι:

1. μικρότερη από -11.5 dBW για πλήρη κάλυψη με ακτίνα έως και τα 200 Km,
2. μικρότερη από -11 dBW για κάλυψη με ακτίνα έως και τα 180 Km,
3. μικρότερη από -10 dBW για κάλυψη με ακτίνα έως και τα 160 Km,
4. μικρότερη από -9 dBW για κάλυψη με ακτίνα έως και τα 140 Km,



Σχήμα 4.11: Επίπεδα λόγω αθροιστικής παρεμβολής-προς-θόρυβο συναρτήσει της ακτίνας ραδιοκάλυψης και των ορίων ισχύος των επίγειων σταθμών του ΣΔ

5. μικρότερη από -7.8 dBW για κάλυψη με ακτίνα έως και τα 120 Km,
6. μικρότερη από -5.9 dBW για κάλυψη με ακτίνα έως και τα 100 Km.

Τα νέα όρια ισχύος που εξάγονται είναι ενδεικτικά για την ομαλή συνύπαρξη των δύο δικτύων, και πρωτίστως για την προστασία των γεωστατικών δορυφορικών δεκτών. Η μέθοδος ανάλυσης της παρούσας ενότητας αποτελεί ένα χρήσιμο μηχανισμό για την ανάλυση των εκπομπών ισχύος των επίγειων σταθμών του ΣΔ, και για την εκτίμηση της παρεμβολής από ΣΔ προς ΔΔ.

4.4 Διαδρομή Διάδοσης Παρεμβολής A2

Η διαδρομή διάδοσης παρεμβολής A2 αναφέρεται στις παρεμβολές που προκαλούνται από τις πλατφόρμες Στρατοσφαιρικού Δικτύου προς τους γεωστατικούς δέκτες του Δορυφορικού Δικτύου. Η παρεμβολή γίνεται στην συχνότητα κάτω ζεύξης του ΣΔ f_2 (47.2-47.5 GHz).

4.4.1 Υπάρχουσες Μελέτες

Η μελέτη της ITU-R που αφορά την διαδρομή διάδοσης παρεμβολής A2 στην V ζώνη συχνοτήτων [10], βασίζεται στην θεώρηση ότι ο πίσω λοβός της κεραίας της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας είναι προσανατολισμένος προς την κατεύθυνση του δορυφορικού άξονα σκόπευσης. Με τα συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη στη μελέτη αυτή, υπολογίζεται ότι η παρεμβολή που δέχεται ο δορυφορικός δέκτης είναι γύρω στα -167 dB(W/MHz) για ΣΔ που παρέχει υπηρεσίες στην αγροτική ζώνη. Η παρεμβολή από ΣΔ που παρέχει υπηρεσίες σε προαστιακούς και αστικούς χρήστες θεωρείται ακόμα χαμηλότερη λόγω του μικρότερου κέρδους κεραίας και μικρότερης ισχύος. Συμπεραίνεται γενικά⁴, ότι η παρεμβολή από μια ή και περισσότερες πλατφόρμες προς δέκτη του ΔΔ θα είναι αποδεκτή.

4.4.2 Μοντέλο Εκτίμησης Αθροιστικής Παρεμβολής

Στο σχήμα 4.12 απεικονίζεται το μοντέλο εκτίμησης της ομοδιαυλικής παρεμβολής που προκαλείται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης (στρατόσφαιρα-προς-Γη) του ΣΔ προς την άνω ζεύξη (Γη-προς-διάστημα) του ΔΔ. Τα επίπεδα ισχύος παρεμβολής σε εύρος αναφοράς 1MHz, $I(g, h, b, r)$ που δέχεται ένας γεωστατικός δορυφόρος (g) από μια δέσμη στρατοσφαιρικής πλατφόρμας υπολογίζονται με βάση την (4.4.1), η οποία προτείνεται στο [1] και υιοθετείται για την παρούσα μελέτη:

$$I(g, h, b, r) = P^H(b) - F_{loss} + G_{tx}^H(\varphi(g, h, b)) - FSL(g, h) + G_{rx}^S(\theta(h, g, r)) \text{ dB(W/MHz)} \quad (4.4.1)$$

όπου:

⁴δίχως να παρατίθενται όμως στην συγκεκριμένη σύσταση το πλαίσιο ή κάποια αποτελέσματα της ανάλυσης

Κεφάλαιο 4.

$P^H(b)$: η ισχύς εκπομπής σε 1MHz, $dB(W/MHz)$ στην είσοδο της κεραίας της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας για την δέσμη (b)

F_{loss} : οι απώλειες τροφοδοσίας (dB)

$\varphi(g, h, b)$: η γωνία διαχωρισμού στη πλατφόρμα (h) μεταξύ της κατεύθυνσης της δέσμης (b) της πλατφόρμας και του γεωστατικού δορυφόρου (g)

$G_{tx}^H(\varphi(g, h, b))$: το κέρδος εκπομπής της κεραίας (dB_i) της πλατφόρμας (h) για γωνία απόκλισης από την κύρια κατεύθυνση $\varphi(g, h, b)$

$FSL(g, h)$: οι απώλειες ελεύθερου χώρου (dB) ανάμεσα στο γεωστατικό δορυφόρο (g) και την στρατοσφαιρική πλατφόρμα (h)

$\theta(h, g, r)$: η γωνία διαχωρισμού στον δορυφόρο (g) μεταξύ της κατεύθυνσης του σημείου αναφοράς (r) και της πλατφόρμας (h)

$G_{rx}^S(\theta(h, g, r))$: το κέρδος λήψης της κεραίας (dB_i) του γεωστατικού δορυφόρου (g) για γωνία απόκλισης από την κύρια κατεύθυνση $\theta(h, g, r)$

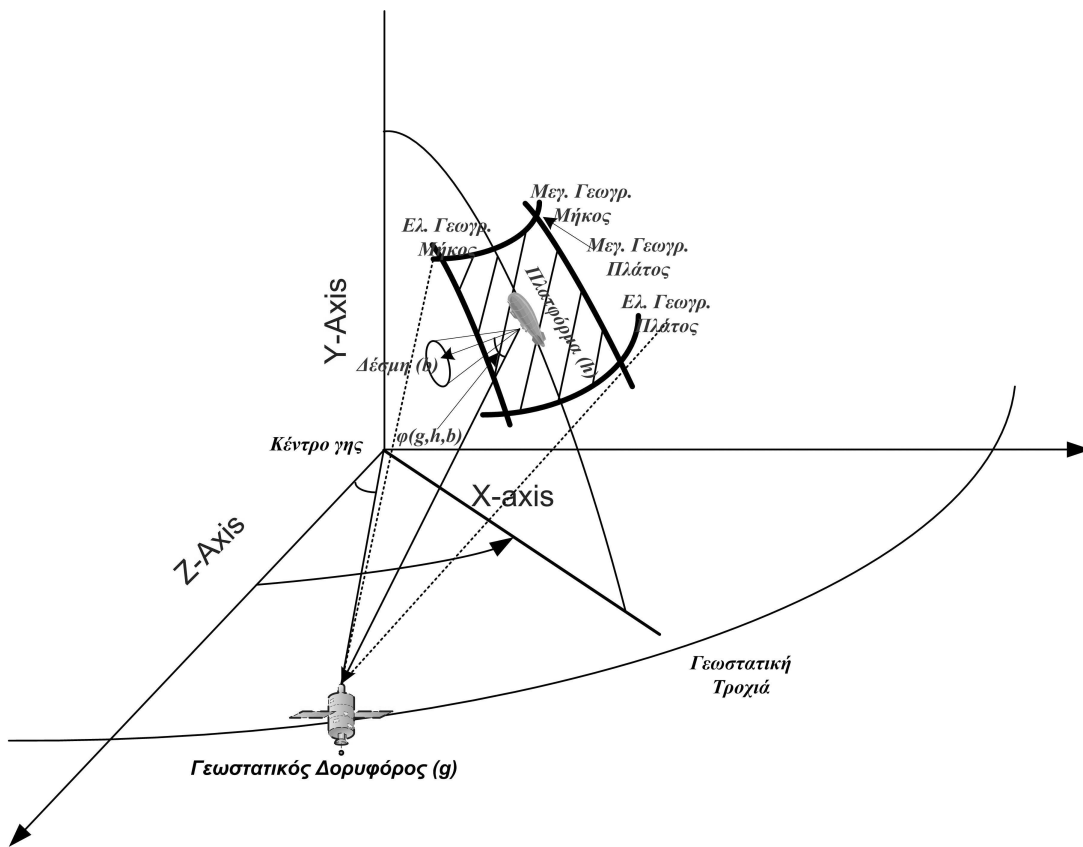
Για τον υπολογισμό της γωνίας διαχωρισμού στο δορυφόρο, θεωρείται ένα σημείο αναφοράς σε συγκεκριμένη θέση στην επιφάνεια της γης. Από εδώ και στο εξής γίνεται η υπόθεση ότι η κατεύθυνση της κύριας δέσμης του δορυφόρου είναι πάντοτε προσανατολισμένη στο σημείο αυτό ανεξαρτήτως της τροχιακής του θέσης. Στο Σχήμα 4.13 απεικονίζεται το γεωμετρικό μοντέλο που χρησιμοποιείται καθώς και το σημείο αναφοράς. Επιπρόσθετα γίνεται η υπόθεση ότι σε ένα $\Sigma\Delta$ μια πλατφόρμα μπορεί να εκπέμψει πολλαπλά φέροντα σε κάθε δέσμη της, τα οποία μπορούν να παρεμβάλλουν όλα μέσα στο εύρος λήψης του δορυφορικού δέκτη. Η συνολική αυτή παρεμβολή εκφράζεται ως I_{single} και υπολογίζεται ως το άθροισμα της φασματικής πυκνότητας $I(g, h, b, r)$ από όλες τις δέσμες που προβάλλει η στρατοσφαιρική πλατφόρμα προς τη Γη και χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα όπως φαίνεται και στην (4.4.2):

$$I_{single} = 10 \log \left(\sum_{h=1}^{h_n} \sum_{b=1}^{b_n} 10^{I(g,h,b,r)/10} \right) \quad (4.4.2)$$

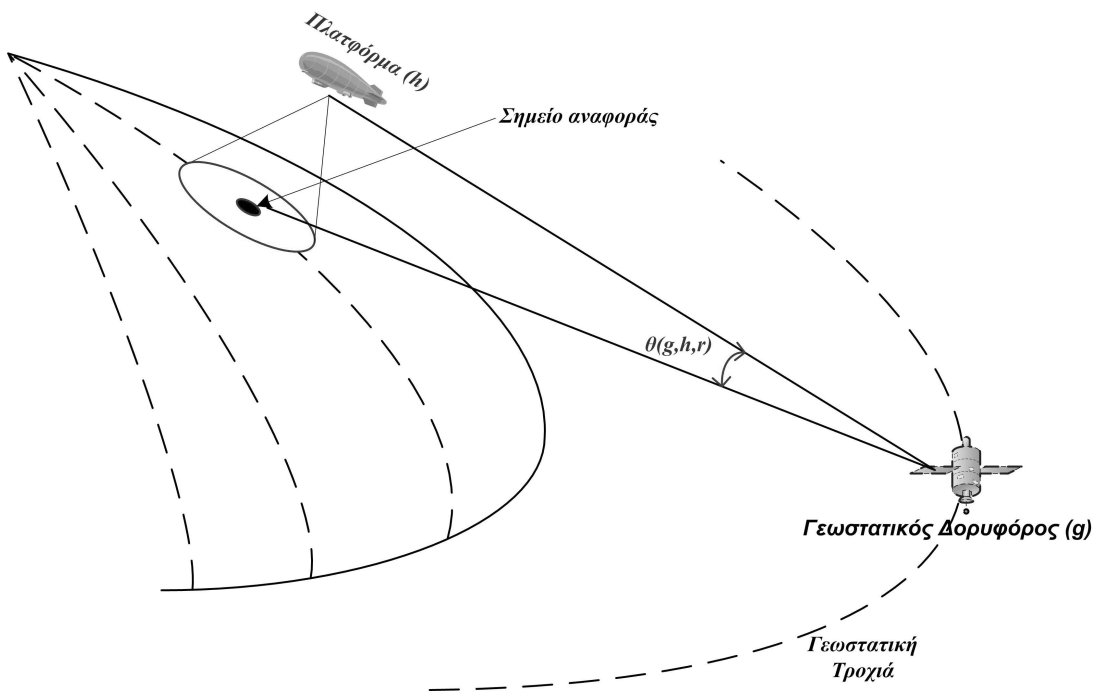
όπου:

b_n : ο αριθμός των δεσμών που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα,

h_n : ο αριθμός των πλατφορμών που χρησιμοποιεί το $\Sigma\Delta$.



Σχήμα 4.12: Μοντέλο εκτίμησης παρεμβολής από στρατοσφαιρική πλατφόρμα προς γεωστατικό δορυφορικό δέκτη



Σχήμα 4.13: Γεωμετρικό μοντέλο σημείου αναφοράς για γεωστατικό δορυφόρο

Κεφάλαιο 4.

Από τα επίπεδα παρεμβολής που δέχεται ο δορυφορικός δέκτης, μπορεί να υπολογιστεί ο λόγος I/N :

$$(I/N)_{single} = I_{single} - N = I_{single} - 10 \log(kT_{sat}) - 60 \quad (4.4.3)$$

όπου:

$(I/N)_{single}$: λόγος παρεμβολής-προς-θερμικό θόρυβο (dB)

N : ισχύς θερμικού θορύβου του δορυφορικού δέκτη σε $1 MHz(dB(W/MHz))$

k : σταθερή Boltzmann's ($W/(K.Hz)$)

T_{sat} : θερμοκρασία θορύβου του δορυφορικού συστήματος (K)

Τα συνολικά επίπεδα παρεμβολής συγκρίνονται με τα κατάλληλα για κάθε περίπτωση μέγιστα επιτρεπτά όρια για τον καθορισμό της επιβλαβούς ή μη επίδρασης των εκπομπών της κάτω ζεύξης του Στρατοσφαιρικού Δικτύου στην άνω ζεύξη του Δορυφορικού Δικτύου.

Καταστάσεις όπου περισσότερες από μια στρατοσφαιρική πλατφόρμα παρεμβάλλουν στον δορυφορικό δέκτη μπορούν να προκύψουν είτε αυτές προέρχονται από τη χρήση πολλών πλατφορμών για την τηλεπικοινωνιακή κάλυψη μιας χώρας, ή από την εγκατάσταση ενός στρατοσφαιρικού τηλεπικοινωνιακού δικτύου σε πολλές χώρες (π.χ προτεινόμενο δίκτυο MEDNET του Ευρωπαϊκού προγράμματος Helinet [30]).

Η αθροιστική παρεμβολή από τις πολλαπλές πλατφόρμες εκφράζεται ως $I_{multiple}$ και υπολογίζεται ως το άθροισμα κάθε παρεμβολής από όλα τα συστήματα HAPS προς τον γεωστατικό δορυφορικό δέκτη:

$$I_{multiple} = 10 \log \left(\sum_{s=1}^{s_n} \sum_{h=1}^{h_n} \sum_{b=1}^{b_n} 10^{I(g,h,b,r)/10} \right) \quad (4.4.4)$$

όπου s_n ο αριθμός των συστημάτων HAPS. Οι υπόλοιποι όροι είναι όπως περιγράφησαν στην σχέση 4.4.2 για την περίπτωση παρεμβολής από μία πλατφόρμα.

Για τον ακριβή χαρακτηρισμό των επιπέδων της συναθροιστικής παρεμβολής (παρεμβολή από πολλές πλατφόρμες του ίδιου $\Sigma\Delta$ ή και από διαφορετικά $\Sigma\Delta$), τα πραγματικά τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος πρέπει να χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς.

Ελλείπει τέτοιας πληροφορίας για ένα ή περισσότερα από τα συστήματα, υπάρχουν συστήματα αναφοράς για την V (48/47 GHz) [25] και Ka (31/28 GHz)[29] ζώνη συχνοτήτων που περιγράφονται σε συστάσεις της ITU-R.

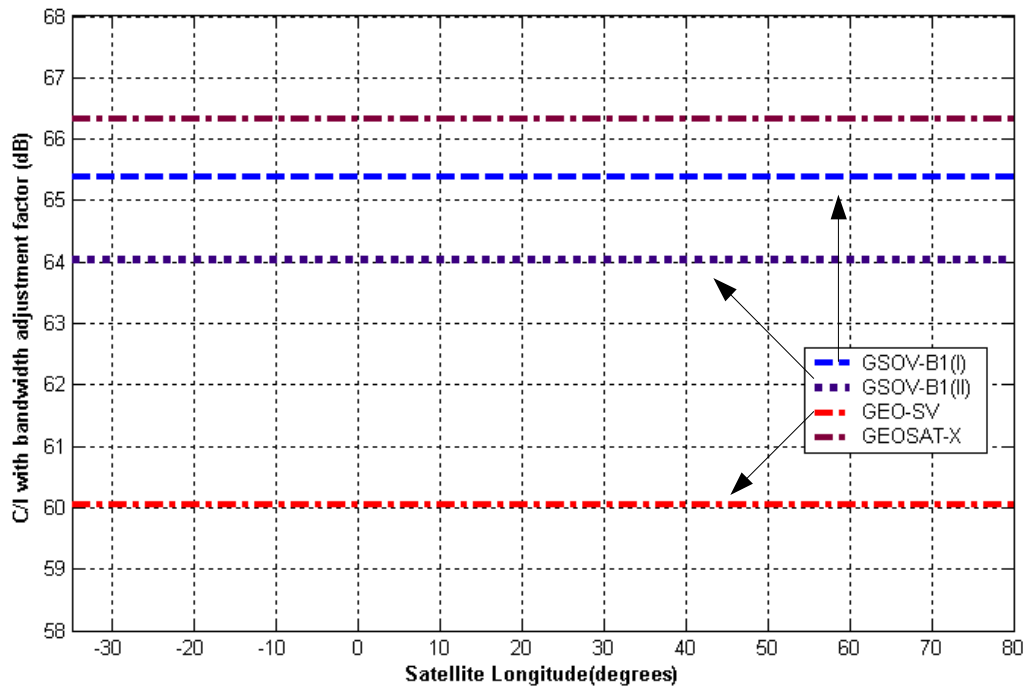
4.4.3 Θεωρητική Μελέτη

4.4.3.1 V Ζώνη Συχνοτήτων

Η ανάλυση για το σενάριο της παρεμβολής από την στρατοσφαιρική πλατφόρμα προς τον δορυφορικό δέκτη έγινε με παραδοχές για την χειρότερη περίπτωση παρεμβολών όπως:

- μετάδοση των στρατοσφαιρικών πλατφορμών στην κατεύθυνση επίγειων σταθμών με τις μικρότερες γωνίες ανύψωσης,
- τοποθέτηση του δορυφορικού σταθμού εδάφους στο ίδιο γεωγραφικό μήκος και πλάτος με τους επίγειους σταθμούς του Στρατοσφαιρικού Δικτύου.

Στο Σχήμα 4.14 απεικονίζονται οι λόγοι (C/I) για μια ρεαλιστική ανάπτυξη ενός ΣΔ και για διαφορετικά ΔΔ σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά που παρουσιάστηκαν στην §4.2.2, και με βάση το μοντέλο που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί σε όλες τις πιθανές τροχιακές θέσεις του γεωστατικού δορυφόρου (35 μοίρες Δυτικά - 80 μοίρες Ανατολικά) που θα μπορούσε να έχει ζεύξη με σταθμό εδάφους στην Ελλάδα με ελάχιστη γωνία ανύψωσης 15 μοίρες. Από τα αποτελέσματα προκύπτουν επίπεδα (C/I) > 60dB σε όλες τις περιπτώσεις. Στη συνέχεια μελετήθηκε η στάθμη παρεμβολής από μια πλατφόρμα, η οποία αντιστοιχεί τελικά σε 0,4% του $NGEOSAT-X$ (θερμικός θόρυβος του $GEOSAT-X$ δορυφορικού δέκτη) και λιγότερο από 0,1% για τα άλλα δορυφορικά συστήματα αναφοράς. Η συνολική προσθετική παρεμβολή από ένα Στρατοσφαιρικό Δίκτυο 18 πλατφορμών με ζεύξεις κάθε πλατφόρμας με 40 επίγειους σταθμούς προς το δορυφορικό δέκτη κυμαίνεται μεταξύ -131 dB(W/MHz) και -170 dB(W/MHz). Τα καθοριστικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τα επίπεδα της πυκνότητας της παρεμβολής είναι το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας του δορυφορικού δέκτη, η θερμοκρασία θορύβου του συστήματος και ο αριθμός των στρατοσφαιρικών πλατφορμών και των επίγειων σταθμών που θα εξυπηρετηθούν.

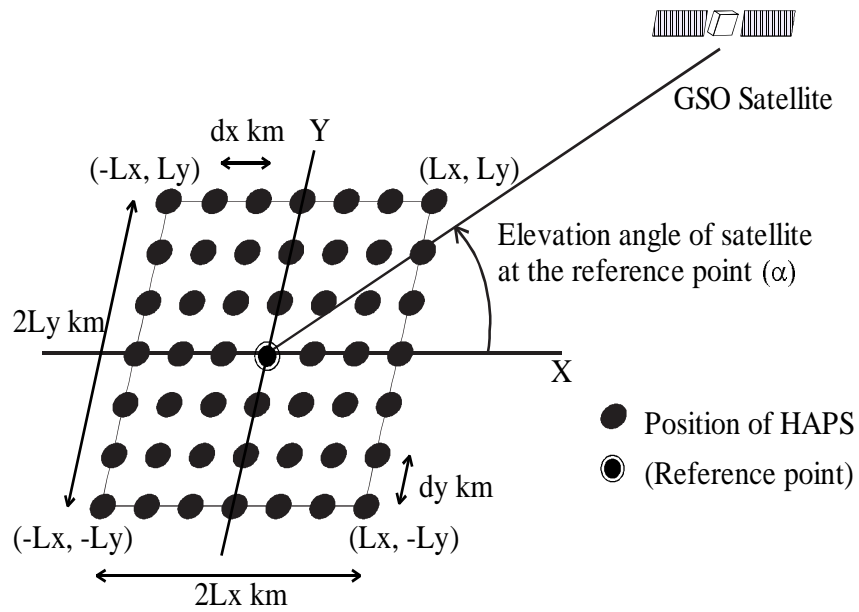


Σχήμα 4.14: Σηματοπαρεμβολικός λόγος - Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα προς Δορυφορικό Δέκτη

4.4.3.2 Ka Ζώνη Συχνοτήτων

Χρήσιμα είναι και τα συμπεράσματα της μελέτης που βασίζεται στο θεωρητικό μοντέλο της §4.4.2 στις συχνότητες γύρω από τα 28 GHz [22]. Θεωρείται ότι το Στρατοσφαιρικό Δίκτυο αποτελείται από έναν αριθμό Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών (ΣΠ), οι οποίες λειτουργούν σε μια περιοχή όπως αυτή που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.15. Η ΣΠ που βρίσκεται στο κέντρο της περιοχής με συντεταγμένες (Lx, Ly) , $(Lx, -Ly)$, $(-Lx, Ly)$ και $(-Lx, -Ly)$ αποτελεί το σημείο αναφοράς για τους υπολογισμούς. n_x και n_y είναι οι ΣΠ που βρίσκονται στον x και y άξονα αντίστοιχα, και $n_T = n_x * n_y$ ο συνολικός αριθμός ΣΠ. Ο γεωστατικός δορυφορικός δέκτης που δέχεται την παρεμβολή έχει τον άξονα σκόπευσης του προσανατολισμένο στο σημείο αναφοράς. Η γωνία α στο Σχήμα 4.15, ορίζει την γωνία ανύψωσης του δορυφόρου στο σημείο αναφοράς. Ο χαρακτηρισμός της στάθμης αθροιστικής παρεμβολής από n_T ΣΠ, γίνεται με υπολογισμό του λόγου σήματος παρεμβολής-προς-θόρυβο (I/N) συναρτήσει της γωνίας α για τους διαφορετικούς συνδυασμούς ανάπτυξης ΣΔ.

Οι τυπικές παράμετροι των ΣΔ στις συχνότητες των 28 GHz περιγράφονται στην σύσταση ITU-R F.1569 [29]. Στον Πίνακα 4.16 φαίνονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς.

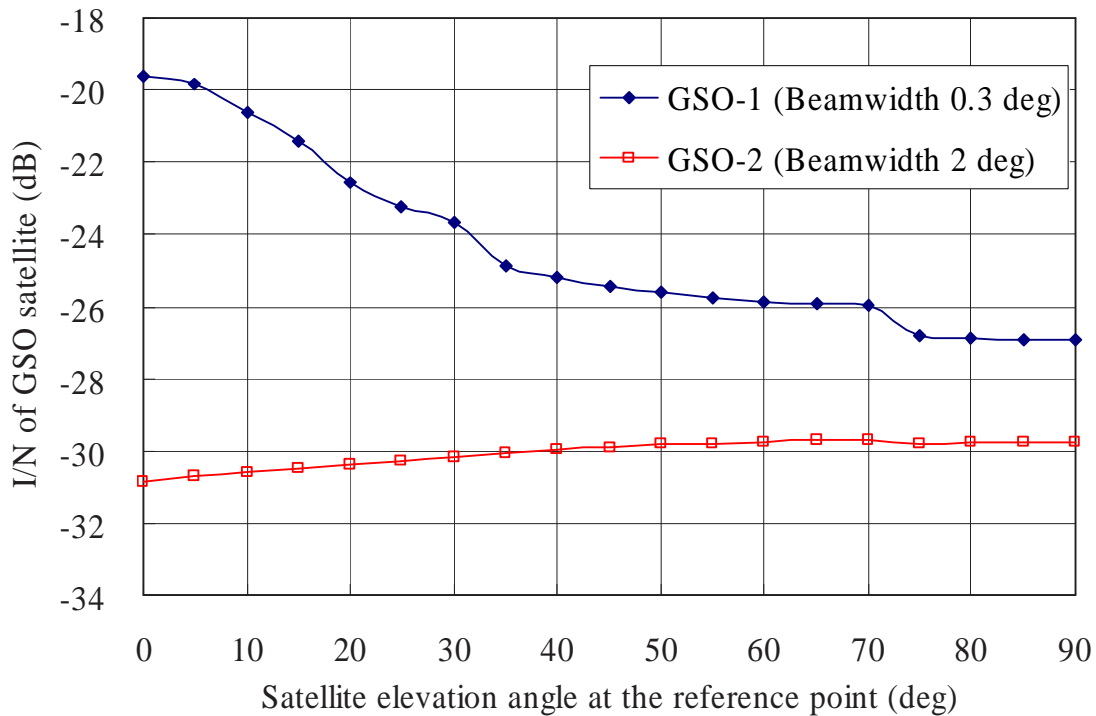


Σχήμα 4.15: Μοντέλο ανάπτυξης στρατοσφαιρικών πλατφορμών

Πίνακας 4.12: Παράμετροι ΣΔ στην Ka ζώνη

	HAPS-1	HAPS-2
Υψόμετρο Στρατοσφαιρική Πλατφόρμας (στο σημείο αναφοράς)	20Km	20Km
Αθροιστική e.i.r.p. ΣΠ σύμφωνα με ITU-R F.1569	-5 dB(W/20MHz)	-5 dBW/20MHz
Μήκος περιοχής ανάπτυξης ΣΠ ($2L_x$)	1000 Km	600 Km
Πλάτος περιοχής ανάπτυξης ΣΠ ($2L_y$)	1000 Km	600 Km
Αριθμός ΣΠ στον x άξονα (n_x)	11	9
Αριθμός ΣΠ στον y άξονα (n_y)	11	9
Συνολικός αριθμός ΣΠ (n_T)	121	81
Απόσταση μεταξύ ΣΠ στον x άξονα (dx)	100 Km	75 Km
Απόσταση μεταξύ ΣΠ στον y άξονα (dy)	100 Km	75 Km

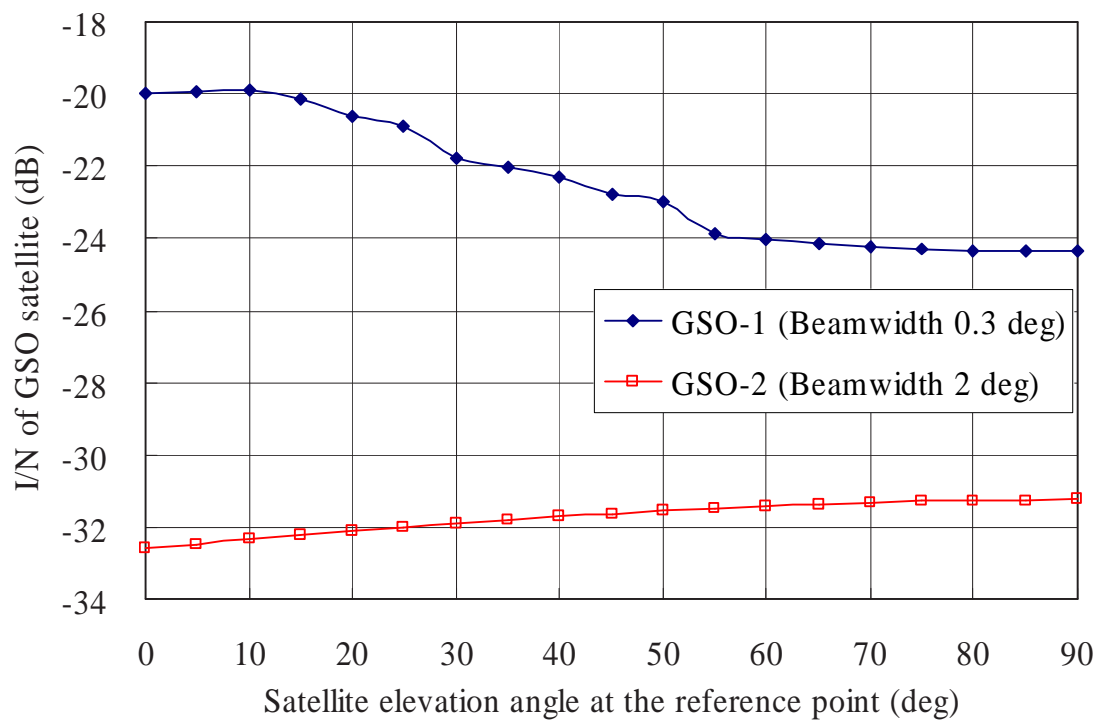
Κεφάλαιο 4.



Σχήμα 4.16: Αποτελέσματα λόγου I/N για τον συνδυασμό 121 ΣΠ HAPS-1, με απόσταση διαχωρισμού μεταξύ των ΣΠ 100 Km

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.16, 4.17, για συνδυασμό 121 ΣΠ (HAPS-1), με απόσταση διαχωρισμού μεταξύ των ΣΠ 100 Km, και 81 ΣΠ (HAPS-1), με απόσταση διαχωρισμού μεταξύ των ΣΠ 75 Km αντίστοιχα. Είναι φανερό ότι τα επίπεδα I/N εξαρτώνται άμεσα από την μέγιστη τιμή κέρδους της κεραίας του δέκτη του $\Delta\Delta$ όταν είναι προσανατολισμένος προς την πηγή παρεμβολής. Ο δέκτης του $\Delta\Delta$ GSO-1 έχει μέγιστο κέρδος 55 dBi, ενώ δέκτης του $\Delta\Delta$ GSO-2 έχει μέγιστο κέρδος 38.5 dBi.

Μια κεραία με στενό εύρος δέσμης (0.3 μοίρες) δέχεται ισχυρότερη στάθμη παρεμβολή, όταν το σημείο αναφοράς παρουσιάζει μικρές γωνίες α , καθώς ο αριθμός των ΣΠ που βρίσκονται στην κύρια δέσμη είναι περιορισμένος για μεγάλες γωνίες ανύψωσης, και αυξάνεται στις χαμηλότερες γωνίες. Στην περίπτωση κεραίας με μεγαλύτερο εύρος δέσμης παρατηρείται, μικρότερη στάθμη παρεμβολής λόγω του μέγιστου κέρδους λήψης, και σταθερή συμπεριφορά καθώς η περιοχή των ΣΠ βρίσκεται στην κύρια δέσμη του δορυφόρου ακόμα και μεγάλες γωνίες α . Τα επίπεδα I/N είναι σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις μικρότερα από -20 dB (1 %) και για τα δύο δίκτυα αναφοράς GSO-1, GSO-2.



Σχήμα 4.17: Αποτελέσματα λόγω I/N για τον συνδυασμό 81 ΣΠ HAPS-1, με απόσταση διαχωρισμού μεταξύ των ΣΠ 75 Km

4.4.4 Μελέτη Προσομοίωσης

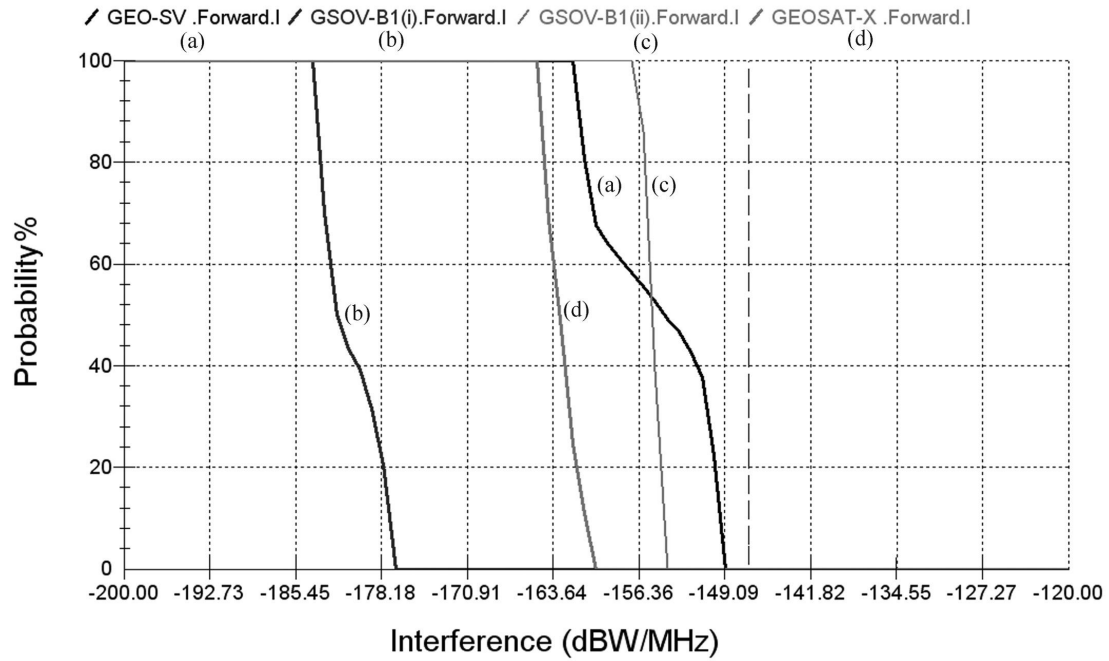
Τα αποτελέσματα της θεωρητικής ανάλυσης της §4.4.3.1 επιβεβαιώνονται και από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που πραγματοποιήσαμε με την μέθοδο Monte Carlo με τυχαία στατιστική μεταβλητή την τροχιακή θέση του δορυφορικού δέκτη για τις δύο περιπτώσεις απλής και προσθετικής παρεμβολής [19].

Οι προσομοιώσεις για τη συγκεκριμένη διαδρομή διάδοσης παρεμβολής έγιναν για την απλή περίπτωση παρεμβολής από μία πλατφόρμα και την περίπτωση παρεμβολής από περισσότερες από μια πλατφόρμες σύμφωνα πάντα με τις παραδοχές που περιγράφονται στις προηγούμενες ενότητες. Στο Σχήμα 4.18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την πρώτη περίπτωση για όλες τις πιθανές τροχιακές θέσεις ενός γεωστατικού δορυφόρου στο επίπεδο του Ισημερινού (35 μοίρες Δυτικά έως 80 μοίρες Ανατολικά) από τις οποίες θα μπορούσε να υπάρξει αξιόπιστη ζεύξη με σταθμούς στην Ελλάδα με ελάχιστη γωνία ανύψωσης τις 15 μοίρες. Τα ευρυζωνικά δορυφορικά δίκτυα GEO-SV και GSOV-B1(ii) εμφανίζονται να δέχονται τα μεγαλύτερα επίπεδα παρεμβολής.

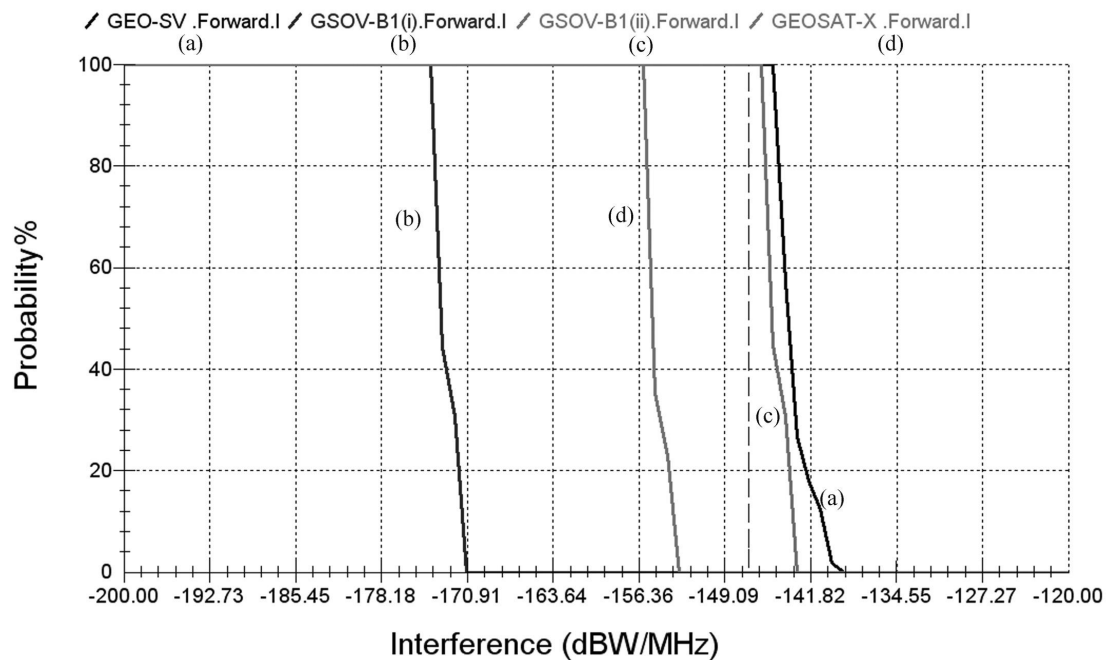
Στην περίπτωση της προσθετικής παρεμβολής, ένα πλήρες ΣΔ που παρέχουν κάλυψη σε Ελλάδα και Κύπρο αναπτύχθηκε σε μια περιοχή που ορίζεται από τις ακόλουθες συντεταγμένες:

- γεωγραφικό μήκος ανάμεσα σε 18 μοίρες, 54 πρώτα Ανατολικά και 33 μοίρες, 30 πρώτα Ανατολικά
- γεωγραφικό πλάτος ανάμεσα σε 34 μοίρες, 41 πρώτα Βόρεια και 41 μοίρες, 33 πρώτα Βόρεια

Στο Σχήμα 4.19 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την προσθετική παρεμβολή και όπως συμπεραίνεται τα ευρυζωνικά δίκτυα GEO-SV και GSOV-B1(ii) δέχονται επίπεδα παρεμβολών πέρα από το επιτρεπτό όριο. Το κριτήριο παρεμβολών καθορίστηκε για τη απλή και την προσθετική περίπτωση βάση του 10% του θερμικού θορύβου του δορυφορικού δέκτη.



Σχήμα 4.18: Στατιστικά Πυκνότητας Παρεμβολής



Σχήμα 4.19: Στατιστικά Πυκνότητας Προσθετικής Παρεμβολής

4.5 Προστασία του Στρατοσφαιρικού Δικτύου από Παρεμβολές που Προκαλεί το Δορυφορικό Δίκτυο

4.5.1 Εισαγωγή

Η διασφάλιση της ομαλούς συνύπαρξης σταθμών εδάφους του Δορυφορικού Δικτύου με τις πλατφόρμες και τους επίγειους σταθμούς του Στρατοσφαιρικού Δικτύου είναι άμεσα εξαρτώμενη από την τήρηση των τεχνικών περιορισμών που έχουν τεθεί από την ITU-R και αφορούν την ισοδύναμη ισοτροπικά ακτινοβολούμενη ισχύ που εκπέμπεται σε κάθε κατεύθυνση ως προς τον ορίζοντα από ένα σταθμό εδάφους. Τα όρια αυτά έχουν εξαχθεί πρωτίστως για την προστασία επίγειων σταθμών και δορυφορικών δεκτών διαφορετικών συστημάτων, όμως αποτελούν αναφορά και για την προστασία των πλατφορμών και των επίγειων σταθμών του ΣΔ, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ΣΔ.

Στο άρθρο 21 των Ραδιοκανονισμών της ITU-R [31] προτείνονται τα ακόλουθα όρια για την ισοδύναμη ισοτροπικά ακτινοβολούμενη ισχύ σταθμού εδάφους:

- στις ζώνες συχνοτήτων μεταξύ 1 GHz και 15 GHz
 1. +40 dBW με εύρος ζώνης αναφοράς τα 4 KHz για γωνία $\delta \leq 0^\circ$
 2. +40+3δ dBW με εύρος ζώνης αναφοράς τα 4 KHz για γωνία $0^\circ < \delta \leq 5^\circ$

- στις ζώνες συχνοτήτων μεγαλύτερες των 15 GHz
 1. +64 dBW με εύρος ζώνης αναφοράς το 1 MHz για γωνία $\delta \leq 0^\circ$
 2. +64+3δ dBW με εύρος ζώνης αναφοράς το 1 MHz για γωνία $0^\circ < \delta \leq 5^\circ$

όπου δ είναι η γωνία ανύψωσης από τον ορίζοντα, όπως φαίνεται από το κέντρο της κεραίας του σταθμού εδάφους. Για γωνίες δ μεγαλύτερες των 5° , δεν υπάρχει περιορισμός ως προς τις τιμές ισοδύναμης ισοτροπικά ακτινοβολούμενης ισχύς από έναν σταθμό εδάφους.

Σύμφωνα με την αναφορά [13], οι κεραίες των σταθμών εδάφους δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για εκπομπή σε γωνίες ανύψωσης μικρότερες από 3° πάνω από το οριζόντιο επίπεδο. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται οι υψηλές τιμές παρεμβολής που θα μπορούσαν να περιορίσουν

την δυνατότητα επιλογής τοποθεσιών και συχνοτήτων σε επίγειους σταθμούς του Στρατοσφαιρικού Δικτύου σε γειτονικές χώρες.

4.5.2 Παρεμβολή από Δορυφορικό Σταθμό Εδάφους προς Επίγειο Δέκτη Στρατοσφαιρικού Δικτύου

Για τη διαδρομή διάδοσης παρεμβολής B1 (Σχήμα 4.1), όπου οι εκπομπές ισχύος της άνω ζεύξης (Γη-προς-διάστημα) του Δορυφορικού Δικτύου παρεμβάλλουν την κάτω ζεύξη (στρατόσφαιρα-προς-Γη) του Στρατοσφαιρικού Δικτύου, συμπεραίνεται από τις υπάρχουσες μελέτες [10], [18], [19], στη χιλιοστομετρική ζώνη, ότι η NIB⁵ συνύπαρξη των δύο δικτύων είναι εφικτή μόνο όταν ο δορυφορικός σταθμός εδάφους βρίσκεται έξω από την περιοχή κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας.

Στο [10] προτείνονται οι εξής αποστάσεις διαχωρισμού των σταθμών εδάφους του ΔΔ από την περιοχή κάλυψης του ΣΔ:

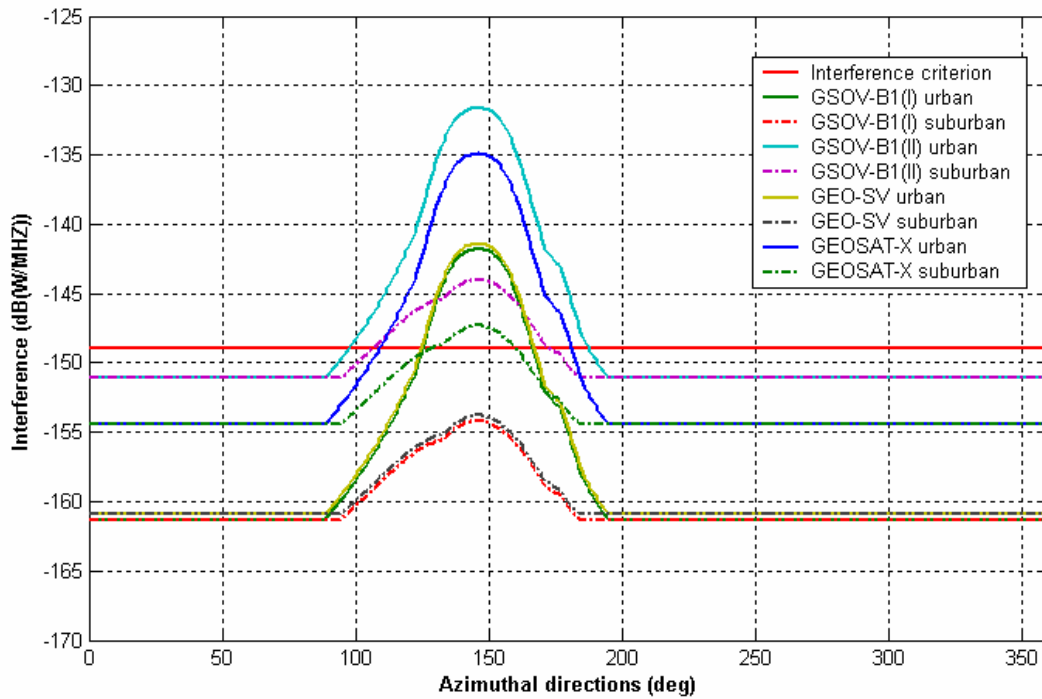
- τα 6.2 Km από την αστική περιοχή κάλυψης του ΣΔ,
- τα 4.2 Km από την προαστιακή περιοχή κάλυψης του ΣΔ,
- τα 4.2 Km από την αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ.

Στο [19] μελετήσαμε θεωρητικά την παρεμβολή από τους σταθμούς εδάφους των δορυφορικών συστημάτων GSOV-B1, GEO SV, GEOSAT-X (όπως περιγράφονται στην §4.2.2) προς τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ, τοποθετημένοι αρχικά σε μια απόσταση διαχωρισμού 3 Km. Θεωρήθηκε για την ανάλυση η χειρότερη περίπτωση όπου η κεραία του επίγειου σταθμού του ΣΔ είναι προσανατολισμένη προς την κύρια δέσμη του δορυφορικού σταθμού εδάφους. Από την ανάλυση συμπεραίνεται ότι με μια απόσταση διαχωρισμού 10 Km μεταξύ δορυφορικού σταθμού εδάφους και επίγειου δέκτη ΣΔ ικανοποιείται το κριτήριο για όλες τις περιπτώσεις, αλλά ακόμα και με μια μικρή απόσταση διαχωρισμού όπως είναι αυτή των 3 Km φαίνεται πως το πρόβλημα εντοπίζεται στο 25% του αζιμουθιακού εύρους γωνιών και κυρίως στις αστικές περιοχές (Σχήματα 4.20, 4.21).

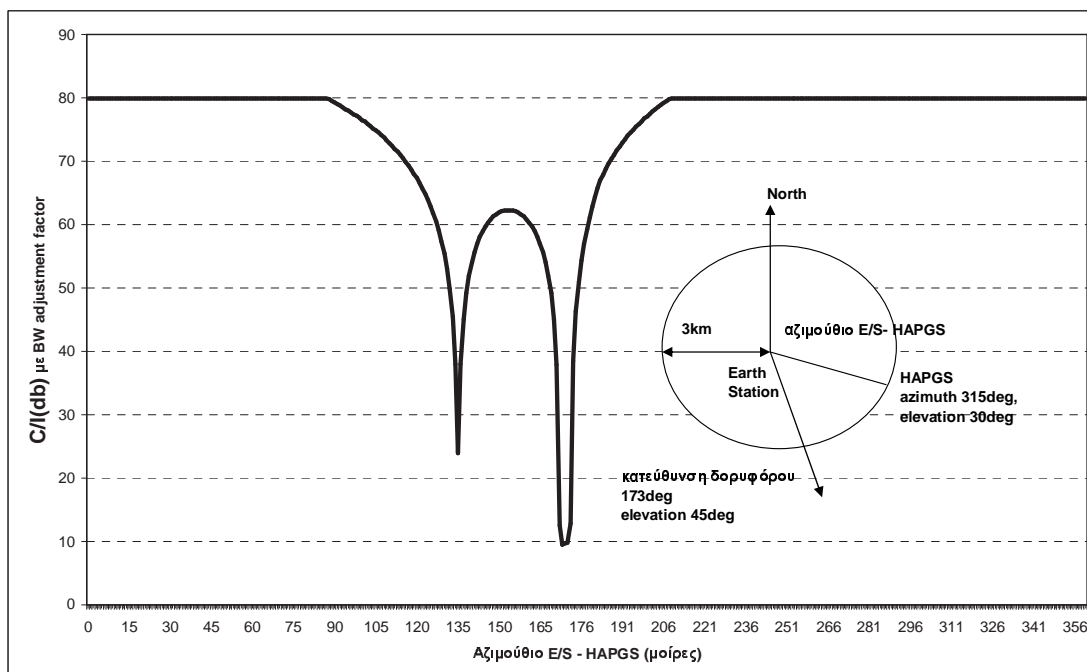
Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η έξυπνη χρήση της εκάστοτε περιοχής παροχής υπηρεσιών, με την έννοια της χρησιμοποίησης κατάλληλων γωνιών διαχωρισμού μεταξύ των επίγειων

⁵Non-Interference-Basis, σε καθεστώς μη επιβλαβούς παρεμβολής

Κεφάλαιο 4.



Σχήμα 4.20: Πυκνότητα παρεμβολής από δορυφορικό σταθμό εδάφους προς επίγειο δέκτη ΣΔ



Σχήμα 4.21: Σηματοπαρεμβολικός λόγος επίγειου σταθμού ΣΔ όταν παρεμβάλλεται από σταθμό εδάφους ΔΔ

σταθμών των δύο συστημάτων, συνεισφέρει σημαντικά στην μείωση της στάθμης της παρεμβολής.

Ένα δεύτερο θέμα που μελετήθηκε αφορά στην αξιολόγηση της επίδρασης του ανάγλυφου του εδάφους. Οι μεταβλητές που λαμβάνονται υπόψη στη μελέτη είναι οι ακόλουθες:

- *Ελεγχόμενες μεταβλητές:*

- μοντέλα διάδοσης,
 - * σύμφωνα με την σύσταση ITU-R P.452
- τεχνικά χαρακτηριστικά σταθμών,
 - * για το ΣΔ: σύμφωνα με την §2.8
 - * για το ΔΔ: σύμφωνα με την §4.2.2
- επιτρεπτό κριτήριο παρεμβολής.
 - * $I/N_{thermal} = 10\%$

- *Ανεξάρτητες μεταβλητές:*

- ανάγλυφο εδάφους,
 - * ψηφιακός χάρτης ITU,
 - * σύγκριση ορεινού και πεδινού εδάφους.
- γεωγραφικό μήκος δορυφόρου,
 - * σε όλο το πιθανό εύρος,
 - * η γωνία ανύψωσης του σταθμού εδάφους του ΔΔ στο εύρος 20° έως 45°.
- γωνία ανύψωσης επίγειου σταθμού ΣΔ.
 - * μεταβλητή ανάλογα με την περιοχή κάλυψης.

- *Εξαρτώμενη μεταβλητή:*

- στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής.

Στην προσομοίωση έγινε χρήση της βάσης IDWM-ITU Digitized World Map για την γεωγραφική περιοχή της Ελλάδας. Η βάση αυτή IDWM επιτρέπει την χρήση δεδομένων από τον παγκόσμιο χάρτη στα μοντέλα διάδοσης που επιλέγουμε για κάθε σενάριο. Αυτό περιλαμβάνει

Κεφάλαιο 4.

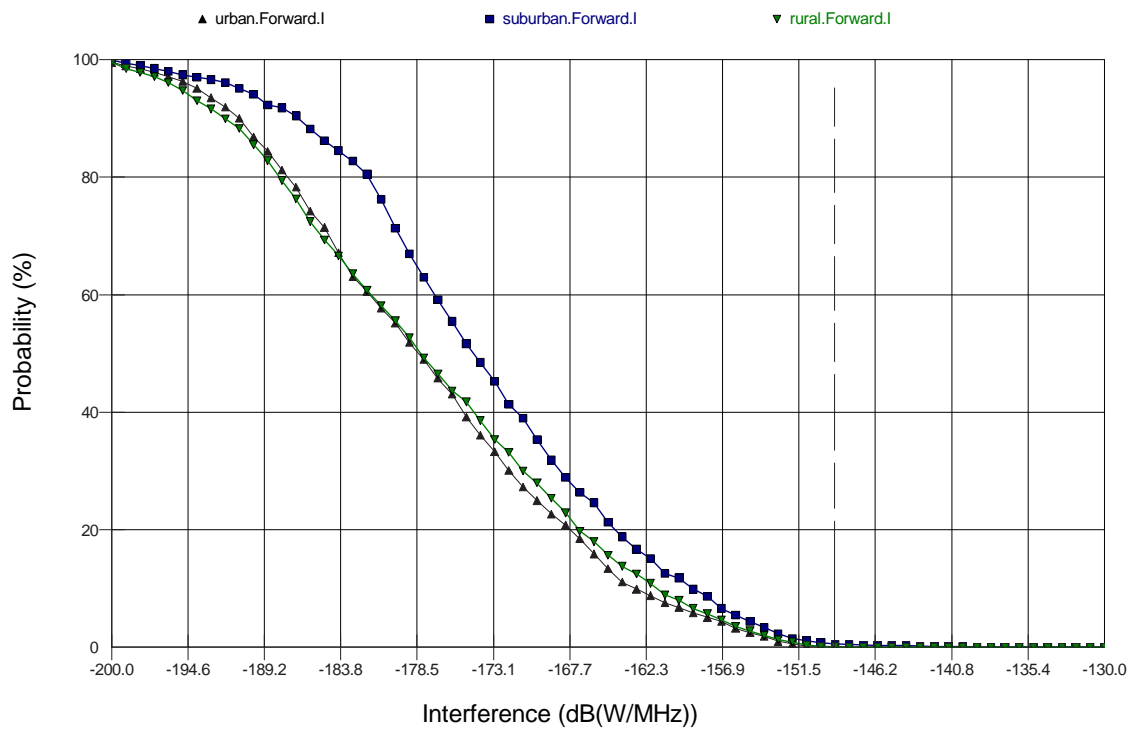
πληροφορία όπως η απόσταση από την ακτή, το ποσοστό της διαδρομής διάδοσης πάνω από επιφάνεια με νερό, κλιματικά δεδομένα κ.α. Επίσης στη προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά στοιχεία του ανάγλυφου του εδάφους που στηρίζονται στην βάση γεωμορφολογικών δεδομένων της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών. Η βάση αυτή καλύπτει όλη την επιφάνεια της γης με ανάλυση πλέγματος συντεταγμένων του χάρτη της τάξης των 30 arc seconds, (GTOPO30).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης απεικονίζονται στο Σχήμα 4.22 (επίπεδο έδαφος) και στο Σχήμα 4.23 (ορεινό έδαφος). Ο σταθμός εδάφους του ΔΔ και ο επίγειος σταθμός του ΣΔ είναι γεωγραφικά απομακρυσμένοι σε απόσταση 12 Km. Οι συγκεντρωτικές συναρτήσεις κατανομής της πιθανότητας παρεμβολής εξάγονται ακολουθώντας τυχαία κατανομή του γεωγραφικού μήκους του δορυφόρου και τυχαίες θέσεις του επίγειου σταθμού του ΔΔ.

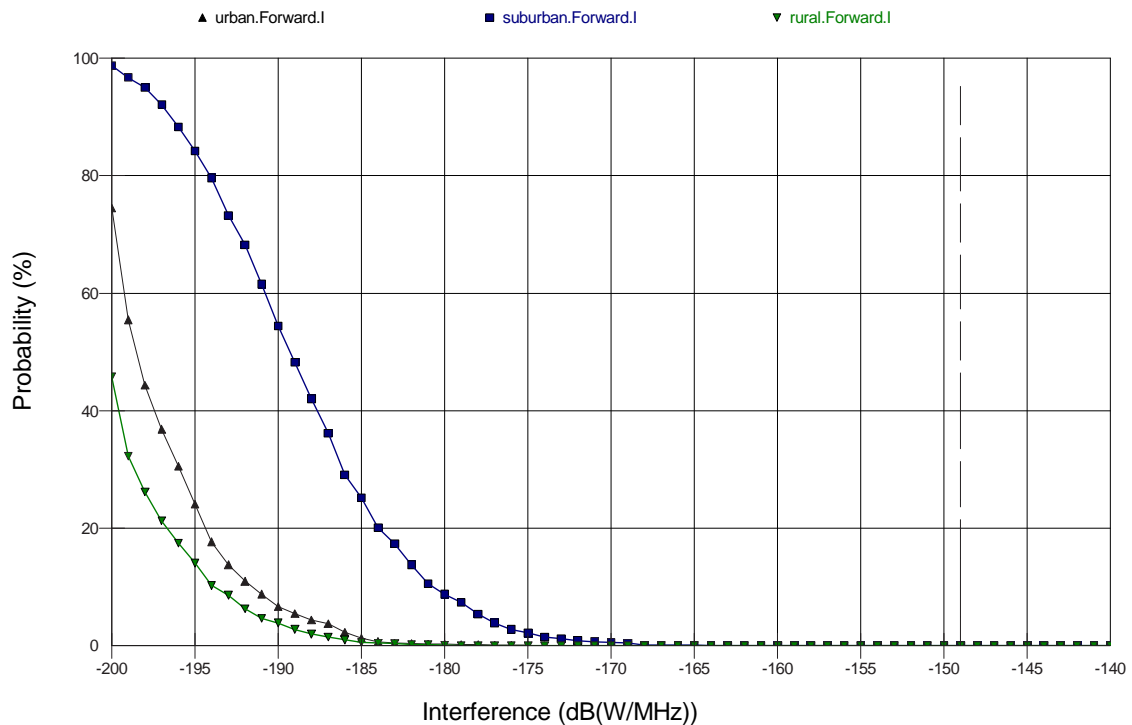
Η γωνία ανύψωσης του επίγειου σταθμού του ΣΔ λαμβάνει τιμές από 51° έως 65° (urban), 19° έως 23° (suburban), 10° έως 11° (rural), για την πρώτη περίπτωση. Στην περίπτωση της προσομοίωσης σε ορεινό έδαφος, η γωνία ανύψωσης του επίγειου σταθμού του ΣΔ λαμβάνει τιμές από 48° έως 50° (urban), 17° έως 22° (suburban), 12° έως 14° (rural). Οι τιμές που λαμβάνει η γωνία ανύψωσης του σταθμού εδάφους του ΔΔ στην προσομοίωση είναι στο εύρος 20° έως 45° και απεικονίζονται στο Σχήμα 4.24.

Για την περίπτωση του επίπεδου εδάφους (Σχήμα 4.22), προκύπτει ότι ο επίγειος δέκτης του ΣΔ δέχεται την ισχυρότερη μακροπρόθεσμη (20%) παρεμβολή της τάξης των -164.5 dB(W/MHz) όταν λειτουργεί με γωνίες ανύψωσης προαστιακής περιοχής. Όταν λειτουργεί με γωνίες ανύψωσης αστικής, και αγροτικής περιοχής δέχεται μακροπρόθεσμη παρεμβολή της τάξης των -167.7 dB(W/MHz), και -167 dB(W/MHz) αντίστοιχα. Για την περίπτωση του ορεινού εδάφους (Σχήμα 4.23), προκύπτει ότι ο επίγειος δέκτης του ΣΔ δέχεται την ισχυρότερη μακροπρόθεσμη (20%) παρεμβολή της τάξης των -184 dB(W/MHz) όταν λειτουργεί με γωνίες ανύψωσης προαστιακής περιοχής. Όταν λειτουργεί με γωνίες ανύψωσης αστικής, και αγροτικής περιοχής δέχεται μακροπρόθεσμη παρεμβολή της τάξης των -194.4 dB(W/MHz), και -196.6 dB(W/MHz) αντίστοιχα.

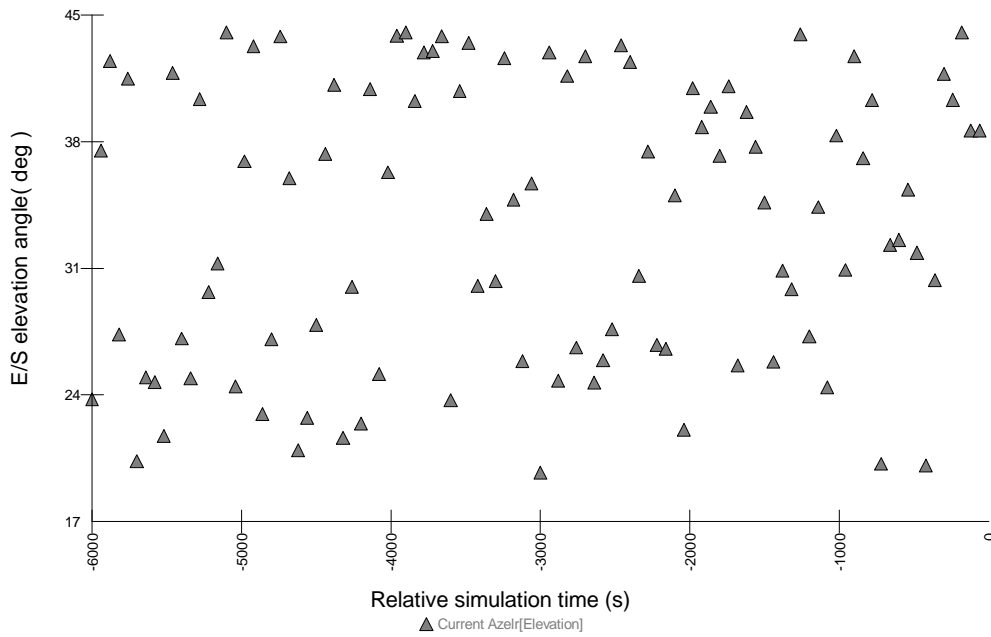
Από τα αποτελέσματα προκύπτει σημαντική διαφορά στη στάθμη παρεμβολής που δέχεται ο επίγειος δέκτης του ΣΔ από σταθμούς εδάφους του ΔΔ, μεταξύ επίπεδης και ορεινής μορφολογίας εδάφους. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την συγκεκριμένη διαδρομή διάδοσης παρεμβολής, η εγκατάσταση των επίγειων σταθμών του ΣΔ σε περιοχές που εκμεταλλεύονται την γεωμορφολογική τοπική θωράκιση από βουνά, δέντρα, κτίρια κ.α, μπορεί να αυξήσει σημαντικά την πιθανότητα χρήσης κοινού φάσματος μεταξύ των δύο υπηρεσιών.



Σχήμα 4.22: Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής από σταθμό εδάφους του ΔΔ προς επίγειο δέκτη ΣΔ σε επίπεδο έδαφος



Σχήμα 4.23: Συγκεντρωτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας παρεμβολής από σταθμό εδάφους του ΔΔ προς επίγειο δέκτη ΣΔ σε ορεινό έδαφος



Σχήμα 4.24: Τιμές που λαμβάνει η γωνία ανύψωσης του σταθμού εδάφους του ΔΔ στην προσομοίωση

4.5.3 Παρεμβολή από Δορυφορικό Σταθμό Εδάφους προς Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα

Για τη διαδρομή διάδοσης παρεμβολής B2, όπου οι εκπομπές ισχύος της άνω ζεύξης (Γη-προς-διάστημα) του Δορυφορικού Δικτύου παρεμβάλλουν την άνω ζεύξη (Γη-προς-στρατόσφαιρα) του Στρατοσφαιρικού Δικτύου, είναι επαρκές να καθοριστεί μια απόσταση διαχωρισμού μεταξύ των επίγειων σταθμών. Η ανάλυση για αυτή τη διαδρομή διάδοσης παρεμβολής βασίζεται στην υπόθεση ότι είναι δύσκολο να αναπτυχθεί σταθμός εδάφους ΔΔ μέσα στην περιοχή κάλυψης του ΣΔ.

Στην σύσταση ITU-R SF.1481 [10] προτείνονται οι ακόλουθες αποστάσεις διαχωρισμού του σταθμού εδάφους του ΔΔ από την περιοχή κάλυψης του ΣΔ

- 9.6 Km για την περίπτωση που η ακτίνα κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας εκτείνεται μέχρι το όριο της αστικής περιοχής κάλυψης.
- 15.5 Km για την περίπτωση που η ακτίνα κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας εκτείνεται μέχρι το όριο της προαστιακής περιοχής κάλυψης.
- 4.2 Km για την περίπτωση που η ακτίνα κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας εκτείνεται μέχρι το όριο της αγροτικής περιοχής κάλυψης.

4.6 Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο μελετήθηκε το περιβάλλον παρεμβολών μεταξύ ενός Δορυφορικού και ενός Στρατοσφαιρικού Δικτύου, όταν λειτουργούν στην ίδια γεωγραφική περιοχή και στις συχνότητες των 48/47 GHz. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα συμπεράσματα, της παρούσας μελέτης, αποτελούν οδηγό και για χαμηλότερες ζώνες συχνοτήτων, λαμβάνοντας υπόψη την διαφορετική εξασθένηση, και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο δικτύων στις συχνότητες αυτές.

Η ανάπτυξη των Δορυφορικών Δικτύων στην V ζώνη συχνοτήτων (50/40 GHz) διαφαίνεται από το γεγονός ότι τα τελευταία 7 χρόνια περισσότερες από 200 αναθέσεις ΔΔ έχουν πραγματοποιηθεί από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών με άνω ζεύξη στα 47-50.2 GHz και κάτω ζεύξη στα 37.5-42.5 GHz. Η τάση αυτή της ανάπτυξης των ΔΔ υπογραμμίζει την προσοχή που θα πρέπει να δοθεί ώστε να εξασφαλιστούν οι βέλτιστες συνθήκες για την αρμονική συνύπαρξη με τα Στρατοσφαιρικά Δίκτυα που πρόκειται να χρησιμοποιήσουν τις ίδιες ζώνες συχνοτήτων. Μελετήθηκαν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ΔΔ που διαφοροποιούνται στην V ζώνη και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τυπικών δορυφορικών συστημάτων (ITU-R) που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη ως συστήματα αναφοράς.

Προτάθηκε μια νέα διαδικασία για την εκτίμηση των παρεμβολών που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της άνω ζεύξης του ΣΔ προς τους γεωστατικούς δορυφορικούς δέκτες, με την βασική θεώρηση ότι τα δύο δίκτυα λειτουργούν στην ίδια περιοχή κάλυψης (Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών θεωρεί έως σήμερα ότι ο κύριος άξονας σκόπευσης του δορυφόρου και η περιοχή κάλυψης του ΣΔ πρέπει να διαχωρίζονται γεωγραφικά). Με βάση το μοντέλο αυτό εξετάστηκαν τα ισχύοντα (καθορισμένα από την ITU-R) χαρακτηριστικά εκπομπής των επίγειων σταθμών του ΣΔ. Προτάθηκαν νέα όρια ισχύος για την περίπτωση κοινής ανάπτυξης των δύο δικτύων σε γεωγραφικό πλάτος 75°. Επίσης μελετήθηκε η διαδρομή διάδοσης παρεμβολής A2 που αφορά τις παρεμβολές που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης (στρατόσφαιρα-προς-Γη) του ΣΔ προς τους γεωστατικούς δορυφορικούς δέκτες. Τέλος παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της δικής μας μελέτης και της μελέτης της ITU-R που αφορά στην προστασία του ΣΔ από παρεμβολές που προκαλεί το ΔΔ.

Η συνύπαρξη των Στρατοσφαιρικών και Δορυφορικών Δικτύων στις ίδιες ζώνες συχνοτήτων και γεωγραφικές περιοχές, με την υιοθέτηση των νέων κριτηρίων που εξήχθησαν με τις προτεινόμενες μεθόδους που παρουσιάστηκαν στο παρόν Κεφάλαιο, είναι πιθανή και είναι σχετικά πιο εύκολη από αυτή μεταξύ των Επίγειων και Στρατοσφαιρικών Δικτύων (Κεφάλαιο 3).

Βιβλιογραφία

- [1] “A methodology for interference evaluation from the downlink of the fixed service using high altitude platform stations to the uplink of the fixed-satellite service using the geostationary satellites within the band 27.5-28.35 GHz,” ITU-R Recommendation SF.1601.
- [2] “Allowable noise power in the hypothetical reference circuit for frequency-division multiplex telephony in the fixed-satellite service,” ITU-R Recommendation S.353-8.
- [3] “Allowable bit error ratios at the output of the hypothetical reference digital path for systems in the fixed-satellite service using pulse-code modulation for telephony,” ITU-R Recommendation S.522-5.
- [4] “Allowable error performance for a hypothetical reference digital path in the fixed-satellite service operating below 15 GHz when forming part of an international connection in an integrated services digital network,” ITU-R Recommendation S.614-3.
- [5] “Allowable error performance for a hypothetical reference digital path operating at or above the primary rate,” ITU-R Recommendation S.1062-2.
- [6] “Apportionment of the allowable error performance degradations to fixed satellite service (FSS) hypothetical reference digital paths arising from time invariant interference for systems operating below 15 GHz,” ITU-R Recommendation S.1432.
- [7] “Availability objectives for a hypothetical reference circuit and a hypothetical reference digital path when used for telephony using pulse code modulation, or as part of an integrated services digital network hypothetical reference connection, in the fixed-satellite service,” ITU-R Recommendation S.579-5.
- [8] N.Colella, J.Martin, I.Akyildiz, “The HALO Network”, *IEEE Commun.Mag.*, vol. 38,no. 6, 2000, pp. 142-148, 2000.
- [9] ‘Δορυφορικές Επικοινωνίες’, Χ. Καψάλης, Π. Κωττής, Αθήνα Ιούνιος 1999.
- [10] “Frequency sharing between systems in the fixed service using high-altitude platform stations and satellite systems in the geostationary orbit in the fixed-satellite service in the bands 47.2-47.5 and 47.9-48.2 GHz,” ITU-R Recommendation SF.1481-1.
- [11] “Frequency Allocations,” ITU-R Regulations Article 5

- [12] D. Grace, N. E. Daly, T. C. Tozer, A. G. Burr and D. A. J. Pearce, “Providing multimedia communications services from high altitude platforms”, *International Journal of Satellite Communications, Wiley InterScience*, vol. 19, no. 6, November/December 2001, pp. 559-580.
- [13] “Handbook on Satellite Communications”, International Telecommunication Union, Wiley Interscience Ltd, 3rd Edition 2002.
- [14] “Hypothetical reference circuit for systems using analogue transmission in the fixed-satellite service,” ITU-R Recommendation S.352-4.
- [15] “Hypothetical reference digital paths for systems using digital transmission in the fixed-satellite service,” ITU-R Recommendation S.521-4.
- [16] “Impact of interference from the Sun into a geostationary-satellite orbit fixed-satellite service link,” ITU-R Recommendation S.1525.
- [17] ITU Working Document Toward Draft CPM Text For Agenda Item 1.8 (RES. 122 (Rev.WRC-03))
- [18] V. Milas, P. Constantinou, “Interference Environment between High Altitude Platform Networks (HAPN) Geostationary (GEO) Satellite and Wireless Terrestrial Systems.”, *Wireless Pers. Commun.*, Special Issue on ”High Altitude Platforms - Technologies and Applications”, Vol. 32, February 2005
- [19] V. Milas, M. Koletta, P. Constantinou, “Interference and Compatibility Studies between Satellite Service Systems and Systems using High Altitude Platform Stations”, *Proceedings of the First International Conference on Advanced Satellite Mobile Systems*, ASMS 2003, 10-11 July 2003, ESRIN, Frascati, Italy.
- [20] V. Milas, D. Vouyioukas, P. Constantinou, “Spectrum Sharing between High Altitude Platform and Fixed Satellite Networks in the 50/40 GHz band”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications*, ICC 2006, 11-15 June 2006, Istanbul, Turkey.
- [21] R. Miura, M. Suzuki, “Preliminary Flight Test Program on Telecom and Broadcasting Using High Altitude Platform Stations” *Wireless Personal Communications, An International Journal*, Kluwer Academic Publishers, vol.24, no.2, Jan. 2003, pp. 341-361

- [22] “Methodologies for interference evaluation from the downlink of the fixed service using high altitude platform stations to the uplink of the fixed-satellite service using the geostationary satellites within the band 27.5-28.35 GHz”, ITU-R Document 4-9S/37-E.
- [23] NTIA Report 05-432: “Interference Protection Criteria, Phase 1 - Compilation from Existing Sources”
- [24] “Operational requirements and characteristics of fixed-satellite service systems operating in the 50/40 GHz bands for use in sharing studies between the fixed-satellite service and the fixed service,” ITU-R Recommendation S.1557.
- [25] “Preferred characteristics of systems in the fixed service using high altitude platforms operating in the bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz,” ITU-R Recommendation F.1500
- [26] “Reference radiation patterns for line-of-sight radio-relay system antennas for use in coordination studies and interference assessment in the frequency range from 1 GHz to about 70 GHz,” ITU-R Recommendation F.699-5.
- [27] “Satellite system characteristics to be considered in frequency sharing analyses between geostationary-satellite orbit (GSO) and non-GSO satellite systems in the fixed-satellite service (FSS) including feeder links for the mobile-satellite service (MSS),” ITU-R Recommendation S.1328-3.
- [28] ‘Σχεδίαση Μικροκυματικών Ζεύξεων’, Ι.Δ. Κανελλόπουλος, ΕΠΙΣΕΥ, Αθήνα 1999.
- [29] “Technical and operational characteristics for the fixed service using high altitude platform stations in the bands 27.5-28.35 GHz and 31-31.3 GHz,” ITU-R Recommendation F.1569.
- [30] J. Thorton, D. Grace, C. Spillard, T. Konefal, T. Tozer, “Broadband Communications from a High-Altitude Platform: The European Helinet programme”, *IEE Electron. Commun. Eng. J.*, pp.138-144, June 2001
- [31] “Terrestrial and space services sharing frequency bands above 1 GHz,” ITU-R Radio Regulations Article 21.
- [32] “Use of the bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz by high altitude platform stations (HAPS) in the fixed service and by other services,” ITU-R Resolution 122 (Rev. WRC’03).

Κεφάλαιο 5

Γενικά Συμπεράσματα και Μελλοντικά Θέματα

5.1 Καινοτομίες

Η παρούσα διδακτορική διατριβή επικεντρώθηκε στη μελέτη των δικτύων με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών για παροχή σταθερών επικοινωνιών ευρείας ζώνης στη χιλιοστομετρική ζώνη συχνοτήτων με έμφαση στην πιθανή ανάπτυξη τους στην γεωγραφική περιοχή της Ελλάδας. Μελετήθηκε το περιβάλλον παρεμβολών που δημιουργείται μεταξύ των Στρατοσφαιρικών Δικτύων και των ήδη υπάρχοντων Επίγειων και Δορυφορικών Δικτύων τα οποία έχουν πρωτεύουσα ανάθεση λειτουργίας από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών στις υψηλές αυτές συχνότητες. Οι μέθοδοι συντονισμού που προτείνονται και τα κριτήρια συνύπαρξης που αναπτύχθηκαν, αποτελούν αναφορά και για χαμηλότερες ζώνες συχνοτήτων λαμβάνοντας υπόψη τους διαφορετικούς μηχανισμούς διάδοσης και τα διαφορετικά τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των τριών δικτύων κατά περίπτωση.

Με την υιοθέτηση των προτεινόμενων μεθόδων και κριτηρίων, εξασφαλίζονται αποδοτικότερες συνθήκες συνύπαρξης (μικρότερες αποστάσεις διαχωρισμού μεταξύ των γεωγραφικών περιοχών κάλυψης του ΣΔ και του ΕΔ, μικρότερες αποστάσεις συντονισμού μεταξύ σταθμών του ΕΔ και του σημείου ναδύρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, δυνατότητα λειτουργίας του ΣΔ και του ΔΔ στην ίδια περιοχή κάλυψης κα.) μεταξύ των υπό μελέτη δικτύων, από αυτές που εξασφαλίζονται με τις υπάρχουσες μεθόδους στη διεθνή βιβλιογραφία.

Τα πορίσματα της διατριβής που προάγουν την γνώση και την επιστήμη, συνοψίζονται στα εξής:

- Χαρακτηρισμός της επίδρασης της κίνησης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στην στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής που προκαλείται σε δέκτη Επίγειου Δικτύου.
- Εύρεση βέλτιστου μοντέλου κίνησης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας ως συνάρτηση της προκαλούμενης στάθμης παρεμβολής.
- Ανάπτυξη νέας μεθόδου συντονισμού για τις παρεμβολές που προκαλούνται από τις εκπομπές ισχύος της κάτω ζεύξης (στρατόσφαιρα-προς-Γη) των ΣΔ προς τους δέκτες του ΕΔ.
- Εξαγωγή ρεαλιστικών αποστάσεων διαχωρισμού μεταξύ της περιοχής κάλυψης του ΣΔ και της περιοχής λειτουργίας του ΕΔ.
- Εφαρμογή νέου μοντέλου εκτίμησης της αθροιστικής παρεμβολής που προκαλείται από τους επίγειους σταθμούς του ΣΔ προς σταθμό του ΕΔ.
- Εύρεση αποστάσεων συντονισμού μεταξύ επίγειου δέκτη και του σημείου ναδίρ της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας για την αστική περιοχή.
- Διερεύνηση πιθανότητας συνύπαρξης των σταθμών του ΕΔ και των σταθμών του ΣΔ, στην περίπτωση που οι πρώτοι αναπτύσσονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στην προαστιακή περιοχή, και μέσα στην αγροτική περιοχή κάλυψης του ΣΔ.
- Ανάπτυξη νέου μηχανισμού εκτίμησης της παρεμβολής που δέχεται ένας γεωστατικός δορυφορικός δέκτης από πολλούς επίγειους σταθμούς ΣΔ, όταν τα δύο δίκτυα λειτουργούν στην ίδια περιοχή κάλυψης
- Εύρεση νέων ορίων ισχύος εκπομπής των επίγειων σταθμών του ΣΔ με σκοπό την προστασία του ΔΔ.
- Ανάπτυξη κριτηρίων συνύπαρξης για όλες τις διαδρομές διάδοσης παρεμβολής που δημιουργούνται μεταξύ ενός ΣΔ και ενός ΕΔ.
- Ανάπτυξη κριτηρίων συνύπαρξης για όλες τις διαδρομές διάδοσης παρεμβολής που δημιουργούνται μεταξύ ενός ΣΔ και ενός ΔΔ.

5.2 Προτάσεις Επέκτασης

Τα θέματα που εξετάστηκαν στην παρούσα διδακτορική διατριβή μπορούν να επεκταθούν ώστε να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

Πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι συντονισμού που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 3 θα μπορούσαν να επεκταθούν και να μελετηθούν για εκείνες τις περιπτώσεις όπου η ανάπτυξη ενός Στρατοσφαιρικού Δικτύου είναι σε κοντινή απόσταση με μια άλλη χώρα και επηρεάζει την λειτουργία των Επίγειων Δικτύων της δεύτερης χώρας.

Η ανάλυση των Κεφαλαίων 3 και 4, μπορεί να επεκταθεί για την διερεύνηση της πιθανότητας χρησιμοποίησης κάποιας χαμηλότερης ζώνης συχνοτήτων για παροχή σταθερών ευρυζωνικών υπηρεσιών από το Στρατοσφαιρικό Δίκτυο. Συγκεκριμένα θα μπορούσε να μελετηθεί το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ 3 και 18 GHz [1] όπου κατά κύριο λόγο λειτουργούν επίγεια συστήματα. Επίσης θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθούν οι συνθήκες συνύπαρξης στην περιοχή της Ελλάδας ενός Στρατοσφαιρικού Δικτύου και του γεωστατικού Δορυφορικού Δικτύου HELLAS-SAT, το οποίο βρίσκεται σε τροχιά στις 39° Ανατολικά και παρέχει υπηρεσίες στην ζώνη συχνοτήτων 14/11 GHz [2].

Η μεθοδολογία χαρακτηρισμού της επίδρασης της κίνησης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στην στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής που προκαλείται σε δέκτη Επίγειου Δικτύου, που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3, θα μπορούσε να επεκταθεί και να συμπεριλάβει πιθανά νέα μοντέλα κίνησης που θα παρουσιαστούν στη διεθνή βιβλιογραφία.

Τέλος, σημαντικά θέματα έρευνας αποτελούν η εύρεση μοντέλου για την περιγραφή των μηχανισμών διάδοσης μεταξύ στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και επίγειου σταθμού του ΣΔ, και η μελέτη των μηχανισμών επικοινωνίας μεταξύ δύο ή και περισσότερων στρατοσφαιρικών πλατφορμών. Θα ήταν ενδιαφέρον να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής στις μεθόδους που προτείνονται στην παρούσα διατριβή.

Βιβλιογραφία

- [1] “Feasibility of use of high altitude platform stations in the fixed and mobile services in the frequency bands above 3 GHz allocated exclusively for terrestrial radiocommunication,” ITU-R Resolution 734 (Rev.WRC-03).
- [2] “HELLAS-SAT 2 Satellite Handbook,” www.hellas-sat.net

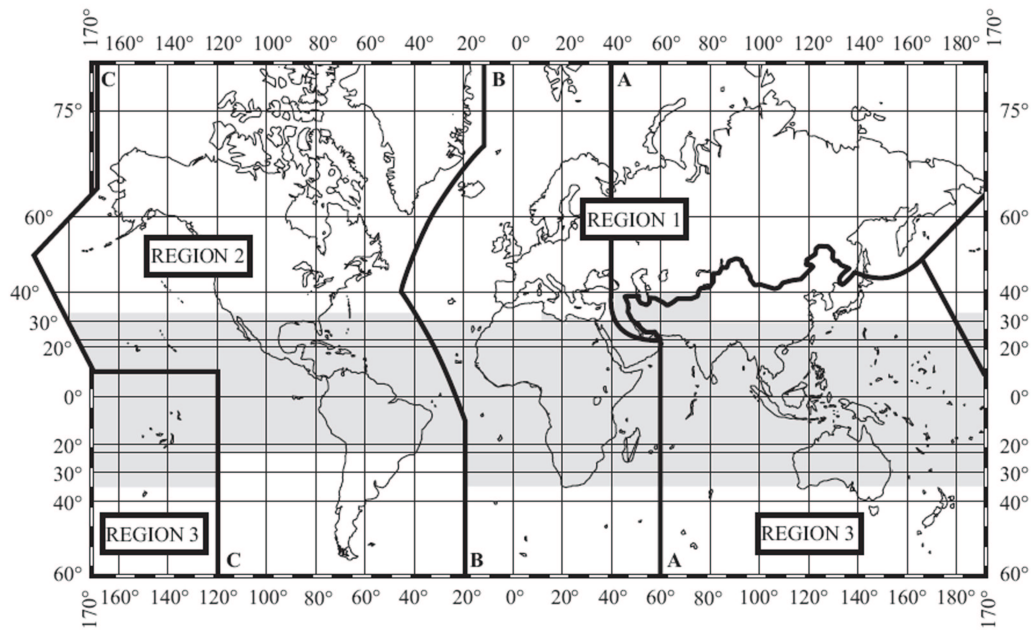
Παράρτημα Α΄

Περιοχές Ανάθεσης Συχνοτήτων ITU-R

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (Τομέας Ραδιοεπικοινωνιών), ITU-R εκχωρεί συχνότητες για κάθε τηλεπικοινωνιακή υπηρεσία, τόσο σε παγκόσμια όσο και σε τοπική βάση. Από την άλλη πλευρά σε κάθε κράτος λειτουργεί συγκεκριμένη υπηρεσία που εκχωρεί συχνότητες για εθνική χρήση, μεριμνώντας ώστε οι ραδιοεκπομπές να μην παρενοχλούν άλλες υπάρχουσες εθνικές ή διεθνείς ραδιοεπικοινωνίες. Για τη διευκόλυνση της εκχώρησης συχνοτήτων ο κόσμος έχει διαιρεθεί σε τρεις περιοχές (regions), όπως φαίνεται στο Σχήμα Α΄.1.

Οι Περιοχές διαχωρίζονται ως εξής:

- Περιοχή 1: Ευρώπη, Αφρική, Μέση Ανατολή και οι χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή 1 οριοθετείται ανατολικά από τη γραμμή Α και δυτικά από τη γραμμή Β, εξαιρώντας το κομμάτι της Ισλαμικής Δημοκρατίας του Ιράκ που βρίσκεται ανάμεσα στις δυο αυτές γραμμές. Περιλαμβάνει ακόμα την Αρμενία, το Αζερμπαϊτζάν, τη Γεωργία, το Καζακιστάν, τη Μογγολία, το Ουζμπεκιστάν, το Κυργκιστάν, τη Ρωσική Ομοσπονδία, το Τατζικιστάν, το Τουρκμενιστάν, την Τουρκία και την Ουκρανία, καθώς και την εδαφική έκταση βόρεια της Ρωσίας που βρίσκεται μεταξύ των ζωνών Α και C.
- Περιοχή 2: Αμερική. Η περιοχή αυτή οριοθετείται ανατολικά από τη γραμμή Β και δυτικά από τη γραμμή C.
- Περιοχή 3: Υπόλοιπο Ασίας που δεν περιλαμβάνεται στην περιοχή 1 και Ωκεανία. Η



Σχήμα Α΄.1: Περιοχές Εκχώρησης Συχνοτήτων Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών

περιοχή αυτή οριοθετείται ανατολικά από τη γραμμή C και δυτικά από τη γραμμή A.

Κάθε ζώνη συχνοτήτων είναι δυνατό είτε να εκχωρείται αποκλειστικά σε μια υπηρεσία είτε να τη μοιράζονται από κοινού περισσότερες. Οι εκχωρήσεις διακρίνονται σε εκχωρήσεις πρωτεύουσας και δευτερεύουσας προτεραιότητας. Στην περίπτωση της από κοινού χρήσης μιας ζώνης συχνοτήτων από μια πρωτεύουσα και μια δευτερεύουσα υπηρεσία, η δευτερεύουσα υποχρεούται να μην προκαλεί παρεμβολές στην πρωτεύουσα. Ωστόσο όταν και οι δυο υπηρεσίες που μοιράζονται το φάσμα είναι πρωτεύουσας ή δευτερεύουσας προτεραιότητας, τότε πρέπει να ληφθεί μέριμνα από τους χρήστες προκειμένου να μην λειτουργεί το ένα σύστημα εις βάρος του άλλου. Στην πράξη παρατηρείται κάποιες φορές (π.χ. σε επείγουσες καταστάσεις) το φαινόμενο της μη τήρησης της εκχώρησης συχνότητας που έχει ορίσει η ITU-R, όπου κατά παρέκκλιση και μετά από αίτηση της συγκεκριμένης χώρας είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί κάποιο άλλο εύρος συχνοτήτων για μια δεδομένη υπηρεσία. Η υπηρεσία αυτή υποχρεούται να μην προκαλεί παρεμβολές αλλά και να μην διεκδικεί προστασία από παρεμβολές που προέρχονται από σταθμούς που λειτουργούν σύμφωνα με τους κανονισμούς και τις συστάσεις της ένωσης.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η διαδικασία εγκατάστασης και εφαρμογής κάθε νέας δορυφορικής τηλεπικοινωνιακής ζεύξης, η οποία περιλαμβάνει την εκτέλεση μιας σειράς πλήρως καθορισμένων ενεργειών. Αρχικά πρέπει να επιλεγεί μια από τις εκχωρημένες ζώνες συχνοτήτων της ITU-R σύμφωνα με λειτουργικά και οικονομικά κριτήρια και να γίνει εκτενής μελέτη των

Παράρτημα Α΄.

παρεμβολών που θα προκαλεί το υπό εξέταση σύστημα στα ήδη υπάρχοντα, σε εθνικό επίπεδο. Η ITU-R ενημερώνεται για τα στοιχεία της σχεδιαζόμενης δορυφορικής υπηρεσίας και τα γνωστοποιεί σε όλα τα μέλη της. Το προτεινόμενο σύστημα αναλαμβάνει να επιλύσει τα εν δυνάμει προβλήματα με τους παρόντες χρήστες της ίδιας συχνότητας. Εφόσον υπάρξει συμφωνία από όλα τα εμπλεκόμενα μέρη, η ITU-R καταχωρεί τη νέα υπηρεσία στα αρχεία της και η λειτουργία ξεκινά. Για κάθε μελλοντική αλλαγή οι υπηρεσίες οφείλουν να ενημερώνουν την ITU-R, οπότε και επαναλαμβάνεται η ίδια σειρά ενεργειών.

Βιβλιογραφία

- [1] “Frequency Allocations,” ITU-R Regulations Article 5

Παράρτημα Β΄

Ομοδιαυλική Παρεμβολή από Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα που λειτουργεί σαν Σταθμός Βάσης **IMT-2000**

Σύμφωνα με την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών [1] οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες μπορούν να προσφέρουν ένα νέο τρόπο παροχής υπηρεσιών IMT-2000 (International Mobile Telecommunications) με ελάχιστη υποδομή δικτύου, ικανό να εξασφαλίσει μεγάλη περιοχή κάλυψης υψηλής πυκνότητας. Οι ζώνες συχνοτήτων που έχουν ανατεθεί για αυτή την υπηρεσία είναι οι ακόλουθες

- 1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz και 2110-2170 MHz στις περιοχές 1 και 3
- 1885-1980 MHz και 2110-2160 MHz στην περιοχή 2

Η λειτουργία των HAPS σαν σταθμών βάσης IMT-2000 δεν έχει προτεραιότητα έναντι των ήδη υπάρχοντων υπηρεσιών. Έτσι υπάρχει συν-πρωταρχική λειτουργία στις ζώνες 1885-2025 MHz και 2110-2200 MHz οι οποίες έχουν ανατεθεί για την υπηρεσία IMT-2000 παγκοσμίως και ιδιαίτερα στις ζώνες 1980-2010 MHz και 2170-2200 MHz που είναι για τα επίγεια και δορυφορικά μέρη του IMT-2000. Επιπρόσθετα στο παραπάνω φάσμα μπορούν να λειτουργούν οι σταθερές (Fixed Service) και κινητές (Mobile Service) υπηρεσίες σε συν-πρωταρχική βάση. Γενικά όταν

ένα HAPS λειτουργεί σαν σταθμός βάσης IMT-2000 δεν πρέπει να εκπέμπει έξω από την ζώνη συχνοτήτων 2110-2170 MHz για τις περιοχές 1 και 3, και 2110-2160 MHz για την περιοχή 2.

Υπάρχουσες μελέτες παρεμβολών και συντονισμού συχνοτήτων στην διεθνή βιβλιογραφία [2, 3, 4, 1] εστιάζουν στη χρήση των HAPS σαν σταθμών βάσης IMT-2000 ενσωματωμένους στο επίγειο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 3ης γενιάς. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών έχει μελετήσει το θέμα της συνύπαρξης μεταξύ συστημάτων που χρησιμοποιούν στρατοσφαιρικές πλατφόρμες και κάποιων συστημάτων που βρίσκονται ήδη σε λειτουργία όπως είναι τα PCS (personal communications system), MMDS (multichannel multipoint distribution system) και συστήματα παροχής σταθερών υπηρεσιών που λειτουργούν στις ζώνες συχνοτήτων 1885-2025 MHz και 2110-2200 MHz.

Στην σύσταση ITU-R Rec M.1456 [2] προτείνονται τα όρια ομοδιαυλικής φασματικής πυκνότητας ισχύος στις εκπομπές των HAPS στα σύνορα μιας χώρας, τα εκτός ζώνης όρια ομοδιαυλικής φασματικής πυκνότητας ισχύος στις εκπομπές των HAPS προς την επιφάνεια της γης, καθώς και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά αλλά και οι ελάχιστες απαιτήσεις απόδοσης για συστήματα HAPS IMT-2000 ώστε να προστατεύονται τα επίγεια συστήματα κινητής τηλεφωνίας και οι σταθεροί σταθμοί που λειτουργούν σε γειτονικές συχνότητες.

Στο [1] προτείνονται

1. τα κριτήρια προστασίας των κινητών σταθμών IMT-2000 γειτονικών χωρών από ομοδιαυλική παρεμβολή που τυχόν προκαλεί ο στρατοσφαιρικός σταθμός βάσης. Ενδεικτικά η ομοδιαυλική πυκνότητα ροής ισχύος (pfd) ενός HAPS IMT-2000 σταθμού βάσης δεν θα πρέπει να ξεπερνάει στην επιφάνεια της Γης, έξω από τα σύνορα μιας χώρας τα $-117dB(W/m^2 \cdot MHz)$.
2. Προτείνονται επίσης τα ακόλουθα όρια πυκνότητας ροής ισχύος για την προστασία των σταθμών MMDS που λειτουργούν στην ζώνη συχνοτήτων 2150-2160 MHz.
 - $-127dB(W/m^2 \cdot MHz)$ για γωνίες $\theta < 7$ μοίρες πάνω από τον ορίζοντα,
 - $-127 + 0.666(\theta - 7)dB(W/m^2 \cdot MHz)$ για $7 \text{ μοίρες} < \theta < 22$ μοίρες πάνω από τον ορίζοντα,
 - $-117dB(W/m^2 \cdot MHz)$ για $22 \text{ μοίρες} < \theta < 90$ μοίρες πάνω από τον ορίζοντα,
3. Για την προστασία των κινητών σταθμών εδάφους του δορυφορικού IMT-2000 (S-UMTS), η πυκνότητα ροής ισχύος εκτός ζώνης (out-of-band) των HAPS IMT-2000 σταθμών βάσης

Παράρτημα Β΄

δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα $-165\text{dB}(W/m^2 \cdot 4\text{KHz})$ στην επιφάνεια της γης στα 2160-2200 MHz,

4. ενώ για την προστασία της σταθερής υπηρεσίας (Fixed Service) η πυκνότητα ροής ισχύος εκτός ζώνης (out-of-band) στην επιφάνεια της γης στα 2025-2110 MHz θα πρέπει να είναι:
 - $-165\text{dB}(W/m^2 \cdot \text{MHz})$ για γωνίες $\theta < 5$ μοίρες πάνω από τον ορίζοντα,
 - $-165 + 1.75(\theta - 5)\text{dB}(W/m^2 \cdot \text{MHz})$ για γωνίες $5 \text{ μοίρες} < \theta < 25$ μοίρες πάνω από τον ορίζοντα,
 - $-130\text{dB}(W/m^2 \cdot \text{MHz})$ για $25 \text{ μοίρες} < \theta < 90$ μοίρες πάνω από τον ορίζοντα,

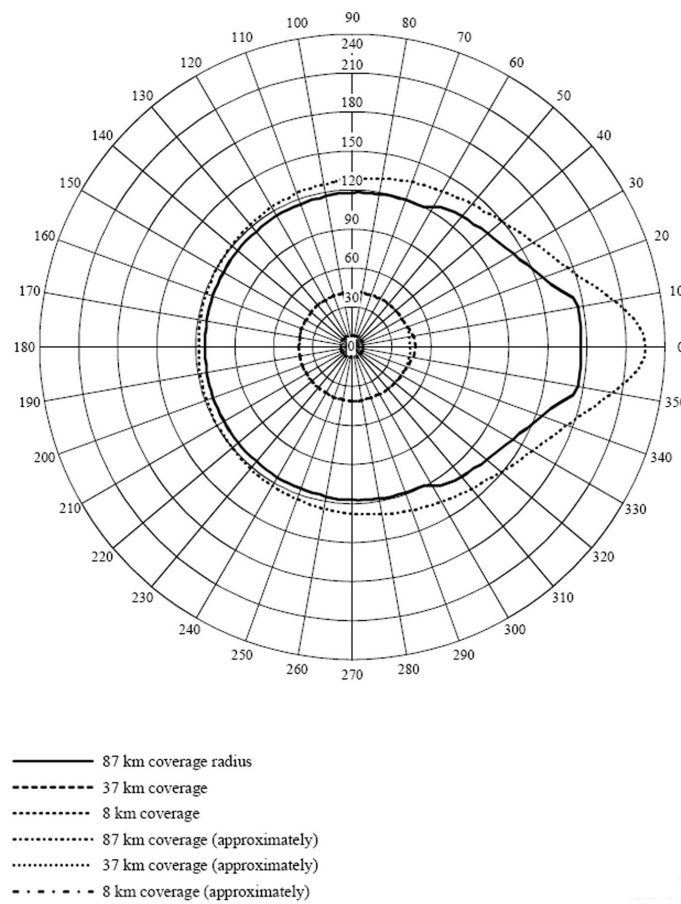
Η ομοδιαυλική παρεμβολή μεταξύ συστημάτων IMT-2000 με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών, επίγειων συστημάτων IMT-2000 και Σταθερών Υπηρεσιών (Fixed Service) είναι περισσότερο πιθανή να συμβεί στο όριο μεταξύ των δύο περιοχών κάλυψης. Στην αναφορά [2] περιγράφεται μια προσεγγιστική μεθοδολογία για τον υπολογισμό της απαιτούμενης απόστασης συντονισμού μεταξύ σταθμού βάσης HAPS και παρεμβαλλόμενου κινητού σταθμού καθώς και μεταξύ σταθμού βάσης HAPS και παρεμβαλλόμενου σταθερού (σημείου-προς-σημείο) σταθμού.

Ενδεικτικά στο Σχήμα Β΄.1 φαίνεται η απόσταση συντονισμού και η σύγκριση με την προσεγγιστική μέθοδο η οποία παρουσιάζεται ακριβής για μικρές ακτίνες κάλυψης (εώς 60 Km). Το επιτρεπτό κριτήριο παρεμβολής $I/N_{thermal} = -10 \text{ dB}$ χρησιμοποιείται για παρεμβαλλόμενα κινητά, παρεμβαλλόμενους σταθμούς βάσης και σταθερούς σταθμούς ανεξάρτητα από το σχήμα πρόσβασης που χρησιμοποιούν.

Στην σύσταση ITU-R Rec M.1641 [5] και στο άρθρο [4] προτείνεται μια μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ομοδιαυλικής παρεμβολής και της απόστασης διαχωρισμού μεταξύ HAPS που λειτουργεί σαν σταθμός βάσης παροχής υπηρεσιών IMT-2000 και επίγειου κυψελωτού συστήματος παροχής IMT-2000 υπηρεσιών.

Το μοντέλο παρεμβολής προς κυψελωτό κινητό σταθμό από επίγειους και στρατοσφαιρικούς σταθμούς βάσης θεωρεί ότι ο παρεμβαλλόμενος σταθμός βρίσκεται στο κοντινότερο σημείο της περιοχής κάλυψης του HAPS και στο όριο της κάλυψης του κυψελωτού συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση η ενδοκυβελική παρεμβολή είναι αμελητέα.

Η ομοδιαυλική παρεμβολή που λαμβάνει ο κινητός σταθμός μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:



Σχήμα Β'.1: Απόσταση Συντονισμού συναρτήσει αζιμουθίου και γωνίας κάλυψης (HAPS με χρήση IMT-2000 CDMA - Σταθερή Υψηροσία)

$$I = I_{Cellular} + I_{HAPS} = \frac{\alpha_i S_i M_i l_i}{3} \sum_{n=1}^N c_{in} d_{in}^{-4} \left[1 + K \frac{c_{hn} d_{hn}^{-2}}{c_{in} d_{in}^{-4}} 10^{\frac{G(\varphi_{hn})}{10}} \right] \quad (B'.0.1)$$

όπου

α_i : voice activity factor στο κυψελωτό σύστημα

S_i : Ισχύς άνω ζεύξης για τον χρήστη στην άκρη της κυψέλης (W)

M_i : αριθμός χρηστών ανά κυψέλη

l_i : απώλειες κυψελωτού συστήματος

c_{in} : αριθμός κυψελών που παρεμβάλλουν στο κυψελωτό σύστημα ($= 2n + 1$)

Παράρτημα Β΄.

c_{hn} : αριθμός δεσμών που παρεμβάλλουν στο σταθμό βάσης HAPS ($= 2n - 1$)

N : αριθμός tier

d_{in} : απόσταση μεταξύ κυψελωτού κινητού σταθμού και επίγειων σταθμών βάσης
(km)

d_{hn} : απόσταση μεταξύ κυψελωτού κινητού σταθμού και σταθμών βάσης HAPS
(km)

h_n : γωνία μεταξύ κυψελωτού κινητού σταθμού και της κατεύθυνσης της δέσμης της κυψέλης που εξυπηρετεί ο σταθμός βάσης HAPS

$$K: \left(= 3 \frac{\alpha_h S_h M_h l_h}{\alpha_i S_i M_i l_i} \right)$$

h : voice activity factor στο HAPS σύστημα

M_h : αριθμός HAPS χρηστών ανά κυψέλη

S_h : Ισχύς άνω ζεύξης HAPS (W)

l_h : απώλειες ζεύξης HAPS IMT-2000

Ο σηματοπαρεμβολικός λόγος για κινητό κυψελωτό σταθμό δίνεται από τη σχέση:

$$C/I = \frac{P_F(r_j) \times l_i \times R_i^{-4}}{I} \quad (B'.0.2)$$

όπου

$P_F(r_j)$: εκπεμπόμενη ισχύς δοσμένη για ζεύξη χρήστη σε απόσταση r_j

r_j : απόσταση μεταξύ κυψελωτού σταθμού βάσης και του j -th χρήστη

R_i : ακτίνα κυψέλης (km)

Ο απαιτούμενος σηματοπαρεμβολικός λόγος για κυψελωτό CDMA σύστημα ο οποίος καθορίζει και την απόσταση διαχωρισμού μεταξύ του διαγράμματος κάλυψης του HAPS και του διαγράμματος κάλυψης της κοντινότερης κυψέλης που εξυπηρετεί τον παρεμβαλλόμενο κινητό σταθμό δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$(C/I)_{req} = \left(\frac{E_b}{I_0} \right) \left(\frac{R_b}{B_c} \right) \quad (B'.0.3)$$

Ενδεικτικά κάποια από τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι οι τιμές του λόγου C/I για κινούμενο σταθμό είναι κάτω από το όριο των -17.4 dB στο σημείο επαφής των δύο συστημάτων. Για ισχύ εκπομπής του HAPS ανά χρήστη τα 100 mW και ακτίνα κυψέλης τα 2 Km, οι απαραίτητες αποστάσεις διαχωρισμού μεταξύ των δύο συστημάτων είναι: 1.1, 1.6, 14 και 31.1 Km για αριθμό HAPS χρηστών ανά κυψέλη 50, 100, 500 και 1 000 αντίστοιχα. Για αριθμό χρηστών HAPS ανά κυψέλη 500 και ακτίνα κυψέλης τα 2 Km, οι απαραίτητες αποστάσεις διαχωρισμού μεταξύ των δύο συστημάτων είναι: 3.2, 14.2 και 23.5 Km για ισχύ εκπομπής ανά χρήστη τα 50, 100, και 150 mW αντίστοιχα. Για αριθμό χρηστών HAPS ανά κυψέλη 500 και ισχύ εκπομπής τα 100 mW, οι απαραίτητες αποστάσεις διαχωρισμού μεταξύ των δύο συστημάτων είναι: 14 και 80 Km για ακτίνες HAPS κυψελών στα 2 και 1 Km αντίστοιχα.

Βιβλιογραφία

- [1] "Use of high altitude platform stations providing IMT-2000 in the bands 1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz and 2110-2170 MHz in Regions 1 and 3 and 1885-1980 MHz and 2110-2160 MHz in Region 2," ITU-R Resolution 221 (Rev.WRC-03).
- [2] "Minimum performance characteristics and operational conditions for high altitude platform stations providing IMT-2000 in the bands 1 885-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz and 2 110-2 170MHz in Regions 1 and 3 and 1 885-1 980 MHz and 2 110-2 160 MHz in Region 2," ITU-R Recommendation M.1456.
- [3] E. Falletti, M.Mondin, F. Dovis, "Integration of a HAP within a Terrestrial UMTS Network: Interference Analysis and Cell Dimensioning," *Wireless Pers. Commun.*, vol. 24, no. 2, pp. 291-325, Jan. 2003.

Παράρτημα Β΄.

- [4] Park, B. Ku, Y. Kim, D. Ahn, “Interference analysis of cellular system due to HAPS system to provide IMT-2000 service,” *Fifth International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, pp. 1182-1186, 2002.
- [5] “A methodology for co-channel interference evaluation to determine separation distance from a system using high-altitude platform stations to a cellular system to provide IMT-2000 service within the boundary of an administration,” ITU-R Recommendation M.1641

Παράρτημα Γ΄

Λογισμικό Προσομοίωσης Παρεμβολών

Οι προσομοιώσεις παρεμβολών μεταξύ των Στρατοσφαιρικών Δικτύων και των Επίγειων και Δορυφορικών Δικτύων πραγματοποιήθηκαν με βάση το λογισμικό Visualyse™ Professional. Το Visualyse είναι ένα πολύ ισχυρό πρόγραμμα της Transfinite Systems (www.transfinite.com), με το οποίο είναι δυνατό να μοντελοποιηθούν συστήματα ραδιοεπικοινωνιών και να εκτελεστούν προσομοιώσεις της λειτουργίας τους. Επιπλέον, το λογισμικό αυτό επιτρέπει τη μελέτη και ποσοτική ανάλυση των πιθανών παρεμβολών ανάμεσα στα συστήματα αυτά. Κύριο χαρακτηριστικό του προγράμματος Visualyse είναι το γραφικό του περιβάλλον και η δυνατότητα που παρέχει στο χρήστη να έχει εποπτική αντίληψη των διάφορων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Το Visualyse δεν περιορίζεται στα δορυφορικά συστήματα μόνο, αλλά μπορεί να μοντελοποιήσει με ακρίβεια τις επικοινωνίες μέσω επίγειων και στρατοσφαιρικών ζεύξεων. Οι προσομοιώσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν ποικίλλουν από ένα απλό έως ένα αρκετά πολύπλοκο σενάριο, αφού το πρόγραμμα επιτρέπει στο χρήστη να εισάγει όλες τις παραμέτρους που απαιτούνται προκειμένου να μοντελοποιηθεί ακόμη και η πιο σύνθετη ζεύξη. Συγκεκριμένα, είναι δυνατό να δημιουργηθούν σταθμοί επίγειοι, σταθεροί και κινητοί, των οποίων τη θέση και κίνηση μπορεί να καθορίσει ο χρήστης, σταθμοί δορυφορικοί, γεωστατικής αλλά και χαμηλής τροχιάς, καθώς και τηλεπικοινωνιακές στρατοσφαιρικές πλατφόρμες. Επίσης, ο χρήστης ορίζει τα διαγράμματα ακτινοβολίας για τις κεραίες εκπομπής και λήψης των κεραιών των διάφορων σταθμών, τα χαρακτηριστικά των φερόντων κυμάτων και τα μοντέλα διάδοσης των σημάτων από κάθε πομπό προς τον εκάστοτε δέκτη. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εισάγει τα δικά του διαγράμματα ακτινοβολίας ή να

χρησιμοποιήσει καθορισμένα από την ITU-R διαγράμματα όπως:

- ITU-R F.699
- ITU-R S.580
- ITU-R S.465
- ITU-R S.1328
- ITU-R S.672
- ITU-R Appendix 30
- Bessel
- Cosine
- Omnidirectional
- Parabolic rolloff

Το ίδιο συμβαίνει και με τους μηχανισμούς διάδοσης όπου το λογισμικό παρέχει την δυνατότητα χρήσης αρκετών μοντέλων της βιβλιογραφίας κάποια από τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- Freespace
- ITU-R P.452
- ITU-R P.526
- ITU-R P.530-7 rain
- ITU-R P.530-7 multipath
- ITU-R P.618 rain
- ITU-R P.676
- Egli
- Hata
- Lee

Παράρτημα Γ΄.

- Crane rain

Η σημαντικότερη λειτουργία του Visualyse είναι η μελέτη των πιθανών παρεμβολών ανάμεσα στα διάφορα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Η δομή του λογισμικού είναι τέτοια, ώστε κάθε τηλεπικοινωνιακή ζεύξη ανάμεσα σε δύο ή περισσότερους σταθμούς να μπορεί να θεωρηθεί είτε ως επιθυμητή είτε ως ζεύξη παρεμβολής. Με τη βοήθεια των εργαλείων που παρέχονται από το πρόγραμμα είναι δυνατός ο υπολογισμός πολλών σημαντικών μεγεθών κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων αλλά και η στατιστική ανάλυση όλων των μεγεθών που μεταβάλλονται κατά την προσομοίωση. Επίσης, είναι δυνατή η χάραξη γραφικών παραστάσεων, που δίνουν μία περισσότερο σαφή εικόνα του τρόπου με τον οποίο κάποια μεγέθη μεταβάλλονται στο χρόνο ή εξαρτώνται το ένα από το άλλο.

Κατά τη μελέτη των προσομοιώσεων, πολύ συχνά είναι χρήσιμο κάποια από τις παραμέτρους του προβλήματος να μεταβάλλονται με τυχαίο τρόπο. Κάτι τέτοιο δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να μελετήσει τη συμπεριφορά ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος σε συνθήκες όχι σταθερές, αλλά μεταβλητές, και στη συνέχεια να επεξεργαστεί με στατιστικό τρόπο τα διάφορα αποτελέσματα που προκύπτουν και τον ενδιαφέρουν. Το Visualyse προσφέρει στο χρήστη διάφορους τρόπους ορισμού μεταβλητών, οι οποίοι αναφέρονται ακολούθως:

- Monte Carlo variable: Χρησιμοποιώντας τη Monte Carlo κατανομή μπορεί να οριστεί η μέση τιμή ("mean") της παραμέτρου και η διακύμανση της ("variance") γύρω από αυτή. Ο χρήστης μπορεί επίσης να καθορίσει το είδος της κατανομής ("distribution") που θα ακολουθεί η επιλεγμένη μεταβλητή. Οι επιλογές για την κατανομή, οι οποίες του παρέχονται είναι:

- Linear
- Triangular
- Poisson
- Lognormal
- Erlang
- Exponential
- Gamma
- Rayleigh

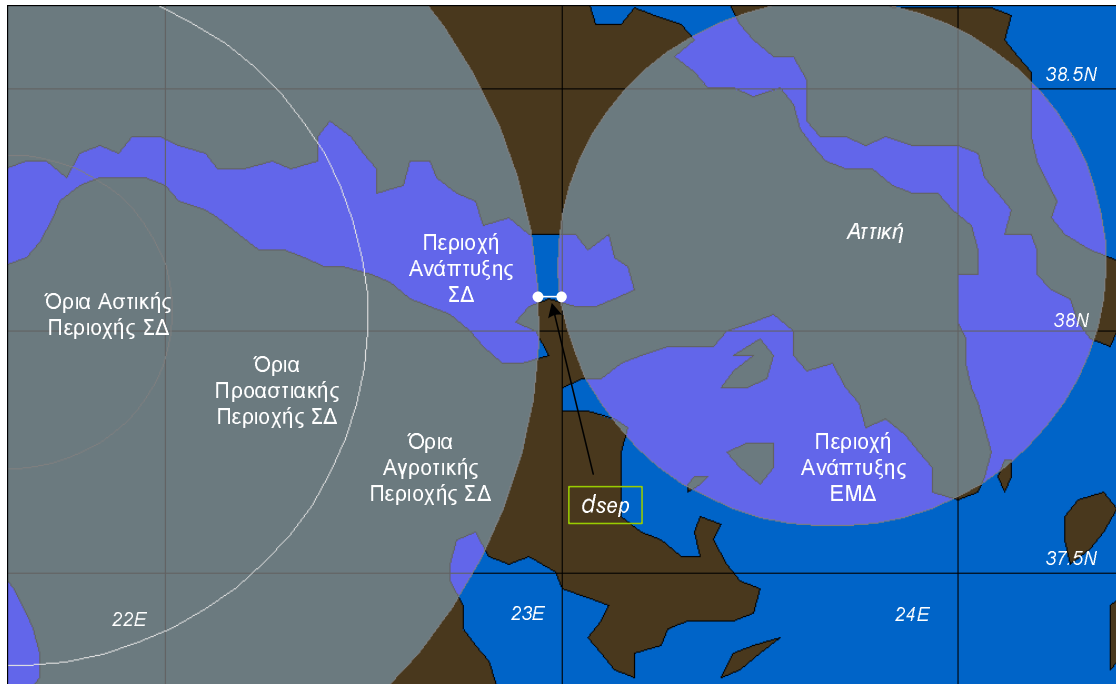
- **Offset variable from another variable:** Με τη συγκεκριμένη επιλογή, η τιμή μίας παραμέτρου προκύπτει από μία άλλη παράμετρο σαν αποτέλεσμα μίας πράξης πρόσθεσης ή πολλαπλασιασμού.
- **Variable defined by events:** Ορίζονται από το χρήστη τιμές, τις οποίες λαμβάνει η παράμετρος σε επιλεγμένες χρονικές στιγμές της προσομοίωσης.
- **Variable specified at each timestep:** Ορίζονται από το χρήστη τιμές, τις οποίες λαμβάνει η παράμετρος κάθε χρονική στιγμή λήψης μετρήσεων των μεγεθών που μελετώνται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- **Monte Carlo constellation:** Χρησιμοποιείται στην περίπτωση ανάλυσης συστήματος με αστερισμό δορυφόρων.

Στην προσομοίωση έγινε χρήση της βάσης IDWM-ITU Digitized World Map. Η βάση αυτή IDWM επιτρέπει την χρήση δεδομένων από τον παγκόσμιο χάρτη στα μοντέλα διάδοσης που επιλέγουμε για κάθε σενάριο. Αυτό περιλαμβάνει πληροφορία όπως:

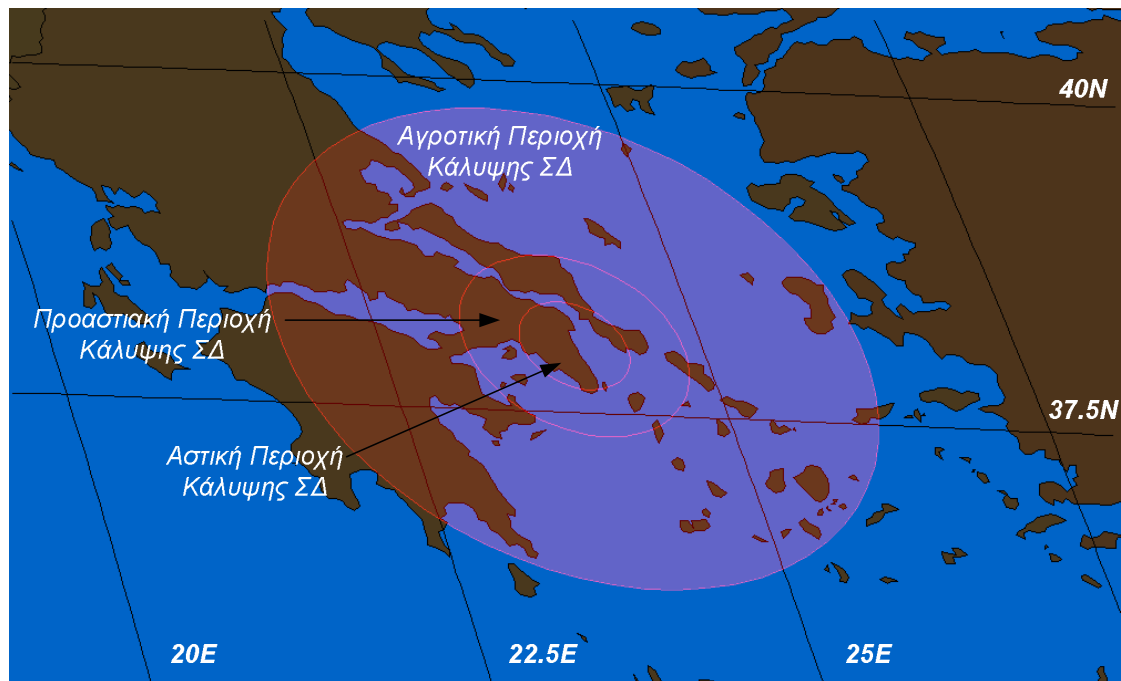
- η απόσταση από την ακτή,
- το ποσοστό της διαδρομής διάδοσης πάνω από επιφάνεια με νερό,
- κλιματικά δεδομένα κα.

Επίσης στη προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά στοιχεία του ανάγλυφου του εδάφους που στηρίζονται στην βάση γεωμορφολογικών δεδομένων της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών. Η βάση αυτή καλύπτει όλη την επιφάνεια της γης με ανάλυση πλέγματος συντεταγμένων του χάρτη της τάξης των 30 arc seconds, (GTOPO30).

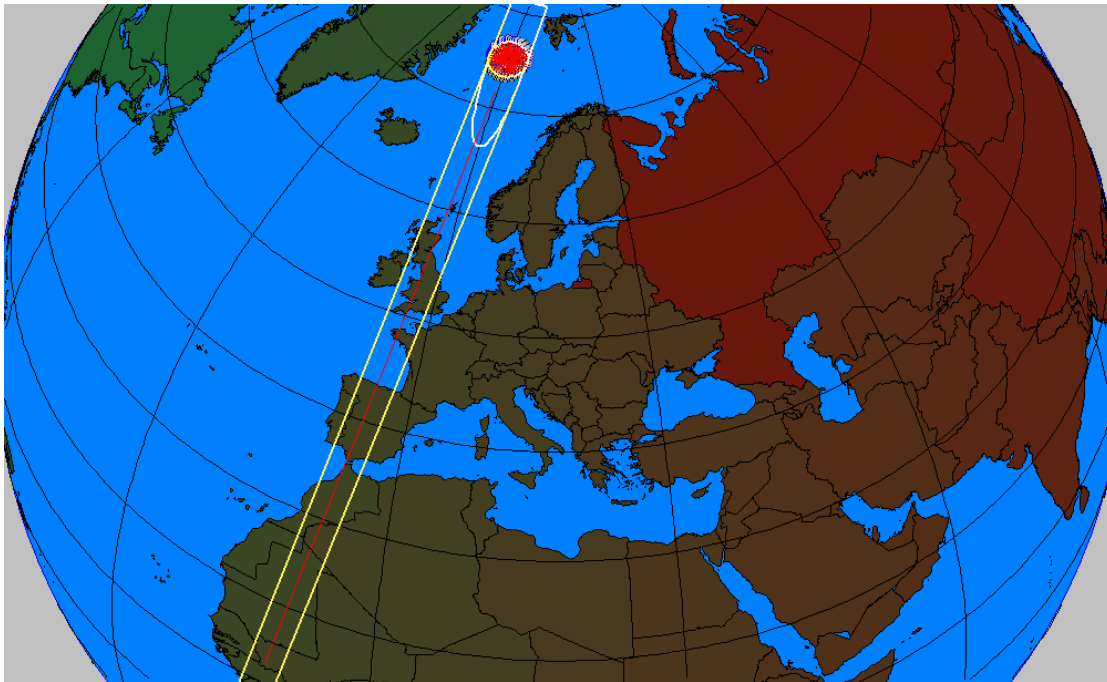
Παράρτημα Γ΄.



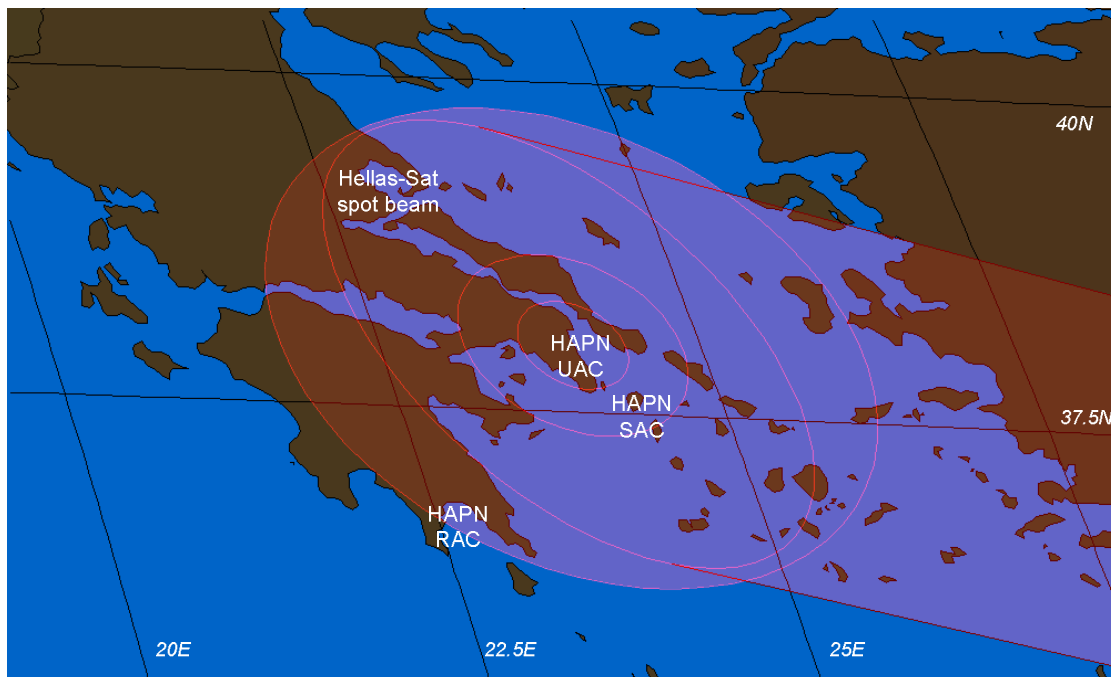
Σχήμα Γ΄.1: Σχηματική αναπαράσταση της απόστασης διαχωρισμού μεταξύ των περιοχών λειτουργίας του ΣΔ και του ΕΔ



Σχήμα Γ΄.2: Σχηματική αναπαράσταση των τριών περιοχών κάλυψης (αστική, προαστιακή, αγροτική) μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας η οποία λειτουργεί πάνω από το κέντρο της Αθήνας



Σχήμα Γ΄.3: Γεωμετρία αθροιστικής παρεμβολής που προκαλείται από τις εκπομπές ισχύος της άνω ζεύξης (Γη-προς-στρατόσφαιρα) στη λήψη γεωστατικού δορυφόρου όταν το ΣΔ είναι ανεπτυγμένο σε γεωγραφικό μήκος 75° , (RAC ζώνη).



Σχήμα Γ΄.4: Σχηματική αναπαράσταση των τριών περιοχών κάλυψης (αστική, προαστιακή, αγροτική) μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας η οποία λειτουργεί πάνω από το κέντρο της Αθήνας, και της δέσμης γεωστατικού δορυφόρου από την τροχιακή θέση των $39^\circ E$ (Hellas-Sat).

Παράρτημα Δ΄

Βασικές Αρχές Κλασματικής Υποβάθμισης Λειτουργίας

Στο Παράρτημα 2 της σύστασης ITU-R F.1108 [1] περιγράφεται η μέθοδος για τον υπολογισμό της κλασματικής υποβάθμισης της λειτουργίας για Επίγειο Δίκτυο που δεν χρησιμοποιεί διαφορική λήψη. Η μέθοδος αυτή συσχετίζει την περίοδο του χρόνου f_i , που ο δέκτης του ΕΔ δέχεται παρεμβολή I_i , με την κλασματική αύξηση στην μη τήρηση των στόχων λειτουργίας του ΕΔ, λόγω της ύπαρξης παρεμβολών. Αυτό ορίζεται ως:

$$FDP = \sum \frac{I_i f_i}{N_T} \quad (\Delta'.0.1)$$

όπου N_T είναι ο θερμικός θόρυβος του ΕΔ. Η άθροιση γίνεται για όλο το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης.

Για συστήματα με διαφορική λήψη η κλασματική υποβάθμιση της λειτουργίας υπολογίζεται ως [2]:

$$FDP = \sum [(1 + I_i/N_T)^2 \pm 1] f_i = \sum f_i [2I_i/N_T + (I_i/N_T)^2] \quad (\Delta'.0.2)$$

Για συστήματα με μεταβλητή διαφορική λήψη η παραπάνω σχέση είναι επαρκής για το χαρακτηρισμό της FDP . Για συστήματα με διαφορική λήψη συνδυασμού μέγιστης ισχύος, θεωρείται η περίπτωση όπου η παρεμβολή φτάνει στις δύο κεραίες με διαφορά φάσης φ , μεταξύ των δύο

εισόδων I_i , και η οποία προσεγγιστικά υπολογίζεται ως:

$$I_i/N_T = 2(I_{oi}/N_T) \cos^2(\varphi/2) \quad (\Delta'.0.3)$$

όπου I_{oi} είναι η ισχύς παρεμβολής για κάθε κεραία. Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι η στάθμη της συνολικής παρεμβολής είναι συνάρτηση της φ . Η μέση επίδραση της παρεμβολής εκτιμάται ως:

$$(I_i/N_T)_{av} = 1/2\pi(I_{oi}/N_T) \int_0^{2\pi} 2 \cos^2(\varphi/2) d\varphi = I_{oi}/N_T \quad (\Delta'.0.4)$$

$$(I_i/N_T)_{av}^2 = 1/2\pi(I_{oi}/N_T)^2 \int_0^{2\pi} 4 \cos^4(\varphi/2) d\varphi = 3/2(I_{oi}/N_T)^2 \quad (\Delta'.0.5)$$

Η σχέση ($\Delta'.0.4$) δείχνει ότι η μέση τιμή $(I_i/N_T)_{av}$ είναι ίδια με την I_{oi}/N_T , ενώ η σχέση ($\Delta'.0.5$) δείχνει ότι η μέση τιμή $(I_i/N_T)^2$ είναι 1.5 φορές η $(I_{oi}/N_T)^2$. Ως αποτέλεσμα η ($\Delta'.0.2$) μπορεί να ξαναγραφτεί ως:

$$FDP = \sum f_i [(2I_{oi}/N_T) + 3/2(I_{oi}/N_T)^2] \quad (\Delta'.0.6)$$

Η FDP όπως ορίζεται στο [1] είναι επαρκής για δέκτες που δεν χρησιμοποιούν τεχνική αυτόματου ελέγχου ισχύος εκπομπής (ATPC), απαιτείται όμως πρόσθετη θεώρηση για δέκτες που κάνουν χρήση της τεχνικής ATPC, εφόσον τα επίπεδα I/N ξεπερνούν το εύρος λειτουργίας σε πλήρη ισχύ (A_w) [3]. Η FDP για δέκτες που κάνουν χρήση της τεχνικής ATPC ορίζεται ως:

$$FDP = FDP_0 + \Delta FDP \quad (\Delta'.0.7)$$

όπου FDP_0 είναι η συνήθης FDP όπως έχει οριστεί στο [1] και η οποία εδώ συμβολίζεται ως:

$$FDP_0 = \sum_{All k} f_k (i/n)_k \quad (\Delta'.0.8)$$

και η συνεισφορά λόγω ATPC και παρεμβολής ορίζεται ως:

Παράρτημα Δ'.

$$\Delta FDP = (10^{0.1A_w} - 1) \sum_{k > k_c} f_k (1 + (i/n)_k) \quad (\Delta'.0.9)$$

θεωρείται ότι $(i/n)_{k+1}$ είναι μεγαλύτερο από $(i/n)_k$ όπου k_c ο μεγαλύτερος δείκτης για τον οποίο:

$$10 \log (1 + (i/n)_k) < A_w \quad (\Delta'.0.10)$$

Βιβλιογραφία

- [1] “Determination of the criteria to protect fixed service receivers from the emissions of space stations operating in non-geostationary orbits in shared frequency bands,” ITU-R Recommendation F.1108-4.
- [2] “Maximum allowable values of power flux-density at the surface of the Earth produced by non-geostationary satellites in the fixed-satellite service used in feeder links for the mobile-satellite service and sharing the same frequency bands with radio-relay systems,” ITU-R Recommendation SF.1320.
- [3] “Interference criteria to protect the fixed service from time varying aggregate interference from other services sharing the 10.7-12.75 GHz band on a co-primary basis,” ITU-R Recommendation F.1494.

