



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ
ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ WIMAX
ΣΕ ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ (NAPS) ΚΑΙ
ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΜΕ ΤΑ ΕΠΙΓΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΓΙΑΣΕΜΗ ΝΙΚΟΛΑΟΥ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ
ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ WiMAX
ΣΕ ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ (HAPS) ΚΑΙ
ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΜΕ ΤΑ ΕΠΙΓΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΓΙΑΣΕΜΗ ΝΙΚΟΛΑΟΥ



00163395

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡ. ΕΠ.	63395 + φ
ΟΟΜΡ.	44191
ΓΑΞΗ	621-382 ΝΙΚ
ΒΙΒ/	ΘΗΚΗ

Περίληψη

Η αυξανόμενη ζήτηση για ευρυζωνικές υπηρεσίες έχει οδηγήσει στην επιτυχή και ραγδαία ανάπτυξη, τόσο των επίγειων, όσο και των δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών. Τα τελευταία χρόνια παράλληλα με τα παραπάνω καθιερωμένα πλέον συστήματα έχει προταθεί μια νέα τεχνολογία, η οποία βασίζεται σε στρατοσφαιρικές πλατφόρμες επικοινωνιών (High Altitude Platforms-HAPs).

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει μια επισκόπηση της αρχιτεκτονικής των επίγειων και των στρατοσφαιρικών δικτύων επικοινωνιών και της τεχνολογίας WiMAX. Μελετάται η απόδοση της τεχνολογίας WiMAX σε στρατοσφαιρικούς σταθμούς βάσης και σε επίγειους σταθμούς βάσης στην ίδια ζώνη συχνοτήτων και στη συνέχεια εξετάζονται τα κριτήρια, κάτω από τα οποία μπορούν να συνυπάρξουν, χωρίς μεγάλη μείωση της απόδοσης, τα επίγεια και στρατοσφαιρικά συστήματα επικοινωνιών στην ίδια περιοχή κάλυψης και στην ίδια ζώνη συχνοτήτων.

Ευχαριστίες

Θερμές ευχαριστίες εκφράζω στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Αθανάσιο Κανάτα και τον κ. Μάνο Μιχαηλίδη υποψήφιο διδάκτορα, για την επίβλεψη και τη βοήθεια που μου παρείχαν για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Περιεχόμενα

Περίληψη	i
Ευχαριστίες	ii
Περιεχόμενα	iii
1. Στρατοσφαιρικές Τηλεπικοινωνιακές Πλατφόρμες	1
1.1. Εισαγωγή	1
1.2. Τύποι Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών	2
1.3. Περιοχές Κάλυψης	5
1.4. Κυψέλες	6
1.5. Κεραίες	7
1.6. Ανάθεση Συχνοτήτων	9
1.7. Περιβάλλον Διάδοσης	10
1.7.1. Ατμοσφαιρικές απώλειες	10
1.7.2. Μοντελοποίηση Καναλιού (Channel Modelling)	12
1.7.3 Τεχνικές Μείωσης Διαλείψεων (FMT, Fading Mitigation Techniques)	14
1.8 Εφαρμογές	16
2. WiMax	17
2.1. Εισαγωγή	17
2.2. Γενικά Χαρακτηριστικά	17
2.3. Μοντέλο Αναφοράς	21
2.3.1 Φυσικό Επίπεδο (PHY)	22
2.3.2 Επίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης Μέσου (MAC)	23
2.4. Mobile WiMAX (802.16e)	23
2.4.1 Φυσικό Επίπεδο	25
2.4.2 Περιγραφή MAC επιπέδου	25
2.4.3 Σύγκριση του Mobile WiMAX (802.16e) με άλλες ασύρματες τεχνολογίες	25
2.5. Συγκεντρωτικά τεχνικά χαρακτηριστικά των προτύπων IEEE 802.16	27
2.6. IP Αρχιτεκτονική του δικτύου WiMax	29
2.7. Σύνδεση των επίγειων δικτύων με HAPs	29
3. Ανάλυση Παρεμβολών	31
3.1. Εισαγωγή	31

3.2. Παρεμβολές σε Στρατοσφαιρικό Δίκτυο	31
3.3. Παρεμβολές σε Επίγεια Δίκτυα	33
3.4. Όρια Παρεμβολών	36
3.5. Τεχνικές αντιμετώπισης των παρεμβολών σε δίκτυα WiMax	37
3.5.1 OFDM	37
3.5.2 MIMO κεραίες	37
3.5.3 Δυναμική Επιλογή Συχνότητας (Dynamic Frequency Selection – DFS)	38
3.5.4 AAS συστήματα (Adaptive Antenna Systems)	38
3.5.5 Διαφορική Εκπομπή και Λήψη (Transmit and Receive Diversity)	38
3.5.6 Έλεγχος Ισχύος (Power Control)	39
3.5.7 Αύξηση της γωνίας ανύψωσης (elevation angle)	39
3.5.8 Χρήση κυψελών	40
3.5.9 Μείωση του ύψους των κεραίων	41
3.6. Κριτήρια Συνύπαρξης μεταξύ HAPs και Επίγειων Δικτύων	41
4. Μελέτη απόδοσης ευρυζωνικού δικτύου τεχνολογίας WiMAX σε HAPs και σε επίγεια συστήματα σε κοινή ζώνη συχνοτήτων (3,5GHz)	45
4.1. Εισαγωγή	45
4.2. Μοντέλα Καναλιού για Σταθερές Ασύρματες Εφαρμογές	45
4.2.1 Μοντέλο Καναλιού στην Ημιαστική Περιοχή Κάλυψης (SAC) του HAP	46
4.2.2 Διορθωτικοί όροι Ύψους Κεραίας Λήψης και Συχνότητας	47
4.3. Παράμετροι του συστήματος	48
4.4. Μοντελοποίηση σεναρίων	50
4.4.1 Περίπτωση Α: Παρεμβολή από το T-BS, όταν ο χρήστης επικοινωνεί με το H-BS	50
4.4.2 Περίπτωση Β: Παρεμβολή από το H-BS, όταν ο χρήστης επικοινωνεί με το T-BS	51
4.5 Ανάλυση της απόδοσης του συστήματος	51
4.5.1 Υλοποίηση στο λογισμικό Matlab	51
4.5.2 Σταθερή απόσταση μεταξύ των δύο σταθμών βάσεων	52
4.5.3 Μεταβλητές αποστάσεις μεταξύ των δύο σταθμών βάσεων	56

4.6 Βελτίωση της απόδοσης της συνύπαρξης με ελεγχόμενη εκπεμπόμενη ισχύ του H-BS	59
5. Συμπεράσματα - Μελλοντικά Θέματα	71
Παράρτημα Α. Επεξηγήσεις όρων – IEEE 802.16 – Κεραίες	73
Παράρτημα Β. Βιβλιογραφικές αναφορές	87
Παράρτημα Γ. Λογισμικό σε Matlab	93

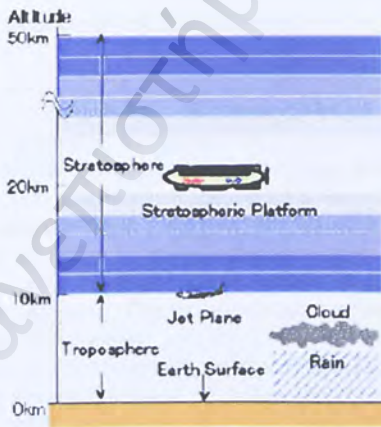
Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Στρατοσφαιρικές Τηλεπικοινωνιακές Πλατφόρμες

1.1. Εισαγωγή

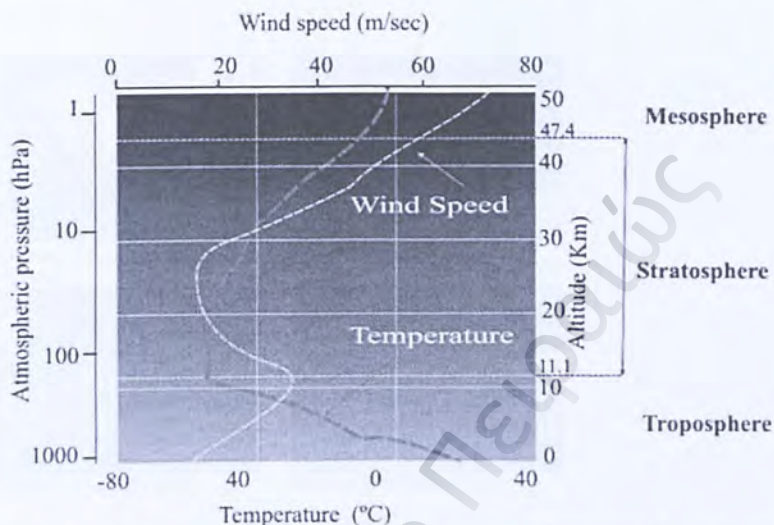
Οι εναέριας πλατφόρμες μεγάλου υψομέτρου ή στρατοσφαιρικές πλατφόρμες μπορούν να λειτουργήσουν σε σχεδόν στατική θέση σε υψόμετρο ανάμεσα στα 15 και τα 30km από την επιφάνεια της Γης (στρατόσφαιρα). Δρουν ως σταθμοί βάσης ή κόμβοι αναμετάδοσης και είναι τοποθετημένες σε αεροπλάνα ή μπαλόνια, επανδρωμένα ή μη. Είναι ψευδο – γεωστατικές και μπορούν να θεωρηθούν είτε ως κεραίες πολύ μεγάλου ύψους, είτε ως δορυφόροι πολύ χαμηλής τροχιάς, προσφέροντας κάλυψη σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, αλλά και σε ευρύτερες γεωγραφικές εκτάσεις. Συνδυάζουν όλα τα πλεονεκτήματα των επίγειων και δορυφορικών συστημάτων. Οι όροι που συναντώνται συχνότερα είναι **HAPs** (High Altitude Platform Station), **HAAP** (High Altitude Aeronautical Platforms), **HALE** (High Altitude Long Endurance), **SPR** (Stratospheric Platform Radio), **HALO** (High Altitude Long Operation)). Η στρατόσφαιρα εκτείνεται από τα 10 km ως τα 50 km από τη γη (**Σχήμα 1.1**), έχει μια μέση θερμοκρασία της τάξεως των -60°C με -50°C (217 K), χαμηλή ατμοσφαιρική πίεση και άφθονη ηλιακή ενέργεια εξαιτίας της απουσίας νεφών.



Σχήμα 1.1: Η Στρατόσφαιρα

Το **Σχήμα 1.2** δείχνει πως μεταβάλλεται η ταχύτητα των ανέμων και η θερμοκρασία σε διαφορετικά υψόμετρα και ατμοσφαιρικές πιέσεις. Το υψόμετρο λειτουργίας των 17 με 22Km έχει επιλεγεί με βάση το γεγονός ότι οι άνεμοι είναι αρκετά ήπιοι στα ύψη αυτά και συνεπώς ελαχιστοποιούνται οι αναταράξεις που ενδέχεται να προκαλέσουν προβλήματα σταθερότητας στην πλατφόρμα. Επιπρόσθετα, όσο ψηλότερα σε σχέση με την επιφάνεια της γης βρίσκεται ένας

σταθμός, τόσο καλύτερες συνθήκες οπτικής επαφής επιτυγχάνονται μεταξύ πομπού και δέκτη. Το συγκεκριμένο υψόμετρο είναι επίσης ασφαλές από άποψη εναέριας κυκλοφορίας, εφόσον η κυκλοφορία των αεροπλάνων γίνεται μέχρι τα 11-12 km.



Σχήμα 1.2: Η ταχύτητα των ανέμων, και η θερμοκρασία σε διαφορετικά υψόμετρα και ατμοσφαιρικές πιέσεις

1.2 Τύποι Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών

Οι πλατφόρμες ενδέχεται να είναι αεροπλάνα, αερόπλοια ή αερόστατα, επανδρωμένα ή μη, με αυτόνομη λειτουργική ικανότητα αλλά και δυνατότητα τηλεχειρισμού από το έδαφος. Θεωρούμε ότι ο όρος HAP αναφέρεται στα ηλιακής ενέργειας μη επανδρωμένα αεροπλάνα ή αερόπλοια που μπορούν να παραμείνουν σταθερά σε συγκεκριμένη θέση στον ορίζοντα για διάρκεια κάποιων μηνών. Ο όρος HALE υπονοεί σκάφη ικανά για παραμονή έως και λίγων ετών σε δεδομένο σημείο της στρατόσφαιρας. Οι πτήσεις των πλατφορμών είναι πλήρως συμβιβασμένες με τους κανονισμούς του διεθνούς οργανισμού πολιτικής αεροπορίας ICAO (International Civil Aviation Organization) και έχουν την εξουσιοδότηση των τοπικών αεροπορικών διοικήσεων.

Μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες ως εξής:

1. **μη επανδρωμένα αερόπλοια** με ειδικά συστήματα προώθησης και ηλιακές κυψέλες, τα οποία αναμένεται να έχουν μήκος 100-200m με ωφέλιμο φορτίο γύρω στα 1000-2000 Kg (**Σχήμα 1.3**). Στόχος τους είναι να μπορούν να μένουν σε λειτουργία στην στρατόσφαιρα μέχρι και 5 χρόνια.
2. **ηλιακά τροφοδοτούμενα μη επανδρωμένα αεροσκάφη**, (HALE), με άνοιγμα φτερών έως και 70m και ωφέλιμο φορτίο μεταξύ 50-300 Kg (**Σχήμα 1.4**). Στόχος τους είναι να μπορούν να μένουν στην στρατόσφαιρα μέχρι και 6 μήνες.

3. επανδρωμένα αεροσκάφη, τα οποία έχουν μικρό χρόνο παραμονής στην στρατόσφαιρα (περίπου 8 ώρες), λόγω των περιορισμένων καυσίμων, με ωφέλιμο φορτίο γύρω στα 900 Kg και την ανάγκη ενός στόλου 3 αεροσκαφών για 24ωρη κάλυψη (Σχήμα 1.5).



NAL 'SPF' (Stratospheric Platform)
(JAPAN)



ATG 'StratSat' (UK)



Lockheed Martin NESS (US)



European Space Agency (ESA)

Σχήμα 1.3: Μη επανδρωμένα αερόπλοια



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 1.4: Ηλιακά τροφοδοτούμενα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, HALE (High Altitude Long Endurance Platforms)



Angel Technologies HALO (Proteus)



M-55 Stratospheric aircraft
(Geoscan Network)

Σχήμα 1.5: Επανδρωμένα στρατοσφαιρικά αεροσκάφη

Στον Πίνακα 1.6 που ακολουθεί, γίνεται μια σύγκριση των τριών 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
Φιλικό προς το περιβάλλον	ναι	ναι	όχι
Διάρκεια πτήσης	εώς 5 χρόνια	εώς 6 μήνες	1-8 ώρες
Όγκο φορτίου	1000-2000 Kg	50-300 Kg	εώς 2000Kg
Ισχύς εκπομπής	εώς 10 kW	εώς 3 kW	εώς 30 kW
Παραδείγματα	Ispace, Korfa, Kion ATG, Lockheed Martin SkyStation	Helios, Pathfinder Plus (AeroVironment) Heliplat	HALO (Angel Techn.) M-55 (Geoscan)

Πίνακας 1.6: Σύγκριση των τριών διαφορετικών τύπων στρατοσφαιρικής πλατφόρμας.

Τηλεπικοινωνιακές εναέριες πλατφόρμες

Τα προτεινόμενα για τηλεπικοινωνιακή χρήση αερόπλοια λειτουργούν με τη βοήθεια ηλεκτρικών κινητήρων και με έλικες, ώστε να επιτυγχάνεται η σταθερότητα της θέσης, ενώ πετούν αντίθετα προς τους επικρατούντες ανέμους σε ύψη 3 έως 22 km. Η απαραίτητη κινητήρια δύναμη για την προώθησή τους προέρχεται από ελαφριές ηλιακές κυψέλες, με τυπικό βάρος λιγότερο από 400 g/m², που καλύπτουν το επάνω μέρος της επιφάνειας του αερόπλοιου. Επιπλέον κατά τη διάρκεια της ημέρας αποθηκεύουν ενέργεια σε επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά στοιχεία καύσιμης ύλης (fuel cells), τα οποία τίθενται σε λειτουργία για την εξυπηρέτηση των αναγκών της νύχτας. Ενδεικτικές τιμές για τις διαστάσεις αυτών των αερόπλοιων είναι 100 με 200 m σε μήκος, ενώ εκτιμάται ότι θα έχουν τη δυνατότητα υποστήριξης φορτίου περίπου 800 με 1000 kg. Το αναμενόμενο βάρος τους φτάνει τους 15 τόνους και οφείλεται ως επί το πλείστον στο βάρος του φυσικού καυσίμου που μεταφέρουν.

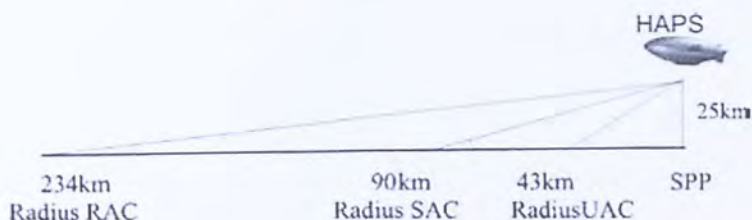
Μια διαφορετική μορφή εναέριων τηλεπικοινωνιακών πλατφόρμων είναι τα μη επανδρωμένα αεροπλάνα που κινούνται με ηλιακή ενέργεια ενάντια στον άνεμο, αλλά και τα επανδρωμένα αεροσκάφη με πιλότους που εκτελούν οκτώρες βάρδιες. Τα τελευταία επιτυγχάνουν μια ψευδο – σταθερότητα θέσης πετώντας σε κυκλική κατά προσέγγιση τροχιά διαμέτρου όχι πάνω από 13 km. Έχουν άνοιγμα φτερών ως 80 m και δυνατότητα να μεταφέρουν κάτω από την άτρακτο 125 περίπου μικροκυματικές κεραιές, σε ύψος 16 με 19 km πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Τέλος, ως τηλεπικοινωνιακές πλατφόρμες μπορούν να λειτουργήσουν τα λεγόμενα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα UAV (Unmanned Aerial Vehicles), καθώς και τα δεμένα στο έδαφος αερόστατα (tethered aerostats). Τα UAVs είναι μικρά, χωρίς πλήρωμα αεροσκάφη, εφοδιασμένα με καύσιμα που επαρκούν για σύντομες και χαμηλού ύψους αποστολές. Χρησιμοποιούνται ευρύτερα για στρατιωτικές παρακολούθησεις. Τα δεμένα αερόστατα είναι αερόστατα που τροφοδοτούνται με καλώδιο, γεγονός που καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την πτήση πάνω από τα 5 με 8 km. Υπάρχει προφανής κίνδυνος στην περίπτωση αυτή για την εναέρια κυκλοφορία, αν οι πλατφόρμες δεν ίπτανται σε ζώνες που απαγορεύεται η πτήση άλλων αεροσκαφών.

1.3 Περιοχές Κάλυψης

Επιφάνεια κάλυψης μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων πάνω στη γη, απ' όπου η πλατφόρμα "φαίνεται" υπό **γωνία ανύψωσης (elevation angle)** μεγαλύτερη μιας προκαθορισμένης τιμής. Ο Τομέας Ραδιοεπικοινωνιών ITU-R (Radiocommunication Sector) έχει ορίσει 3 περιοχές κάλυψης (Σχήμα 1.7).

- **Ζώνη αστικής κάλυψης UAC (Urban Area Coverage):** Οι γωνίες ανύψωσης των επίγειων σταθμών ως προς την πλατφόρμα κυμαίνονται μεταξύ 30° και 90°. Η περιοχή κάλυψης εκτείνεται έως τα 36 ή 43 km από ένα σημείο ακριβώς κάτω από την πλατφόρμα, για ύψος πτήσης 21 και 25 km αντίστοιχα. Οι χρήστες της αστικής ζώνης μπορούν να έχουν φορητές τερματικές συσκευές με εύρος δέσμης περίπου 11° ή κεραιές κέρδους 26 dBi και διαστάσεων 10 cm επί 10 cm. Τα τερματικά αυτά χρειάζονται κατά προσέγγιση 0.15 watt εκπεμπόμενης RF ισχύος. Οι κεραιές στον εναέριο σταθμό πρέπει να έχουν κέρδος 30 dBi (1 watt RF ισχύος ανά κανάλι).
- **Ζώνη ημιαστικής κάλυψης SAC (Suburban Area Coverage):** Οι γωνίες ανύψωσης των επίγειων σταθμών είναι μεταξύ 15° και 30°. 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 αντίστοιχως. Στα τερματικά, απαραίτητη είναι η χρήση κατευθυντικών κεραιών υψηλότερου κέρδους (41 dBi) με ισχύ εκπομπής 0.2 watt. Οι ίδιες κεραιές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις ζώνες UAC για σταθερή εγκατάσταση σε οροφές κτιρίων. Η εναέρια πλατφόρμα έχει όπως και πριν κεραιές κέρδους 30 dBi.
- **Ζώνη αγροτικής κάλυψης RAC (Rural Area Coverage):** Οι γωνίες ανύψωσης κυμαίνονται από 5° ως 15° και η περιοχή κάλυψης υπολογίζεται ότι φτάνει από τα όρια της ζώνης SAC ως τα 203 ή 234 km, ανάλογα αν το HAP βρίσκεται στα 21 ή 25 km από την επιφάνεια της θάλασσας. Η αγροτική ζώνη αναμένεται να αφιερωθεί στην υψηλή ταχύτητα, σημείου 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.



Σχήμα 1.7: Περιοχές κάλυψης μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας

Στον **Πίνακα 1.8** που ακολουθεί, συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των τριών ζωνών της περιοχής κάλυψης ενός HAP.

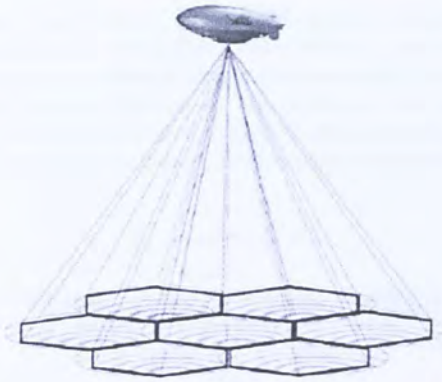
Περιοχή κάλυψης	Γωνία ανύψωσης (°)	Ακτίνα στο έδαφος (km)	
		Πλατφόρμα στα 21 km	Πλατφόρμα στα 25 km
UAC	90 – 30	0 – 36	0 – 43
SAC	30 – 15	36 – 76.5	43 – 90.5
RAC	15 – 5	76.5 – 203	90.5 – 234

Πίνακας 1.8: Ζώνες κάλυψης ενός HAP

Οι παραπάνω περιοχές κάλυψης επιτυγχάνονται με τη χρήση στοιχειοκεραiviών που έχουν προσθήκη πολωτή για την εξασφάλιση της κατάλληλης απομόνωσης διασταύρωσης πόλωσης XPI (cross – polarization isolation).

1.4 Κυψέλες

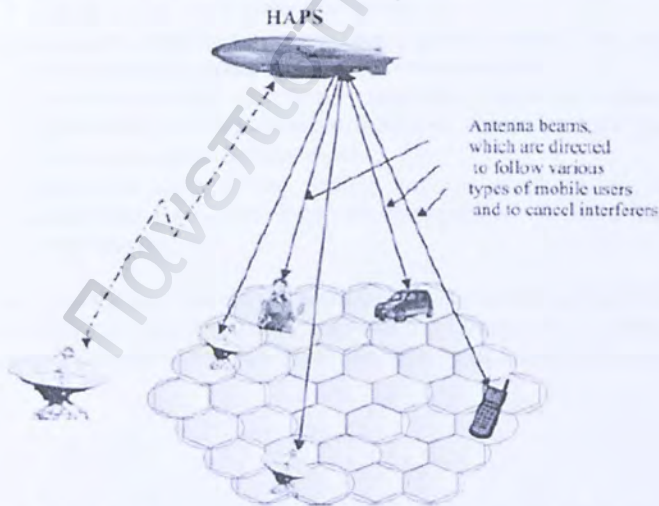
Θεωρώντας ως κατώτατο όριο για τη γωνία ανύψωσης στην ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση BWA (Broadband Wireless Access) τις 5° και ένα μέσο ύψος πλατφόρμας 21 km, προκύπτει περιοχή ακτίνας 203 km ή 129.000 km² περίπου. Μια τέτοια ευρεία περιοχή μπορεί να υποδιαιρεθεί σε μικρότερες ζώνες κάλυψης, ή κυψέλες (**Σχήμα 1.9**), με αποτέλεσμα την βελτίωση της συνολικής χωρητικότητας του συστήματος με τεχνικές επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Ο αριθμός, το μέγεθος και το σχήμα των κυψελών προσδιορίζονται κεντρικά από την εναέρια πλατφόρμα και τις κεραίες της, γεγονός που δίνει το πλεονέκτημα εύκολης αναπροσαρμογής της κυψελωτής δομής στις εκάστοτε απαιτήσεις κίνησης. Με τον τρόπο αυτό έχουμε αποδοτική μεταχείριση του εύρους ζώνης και μεγιστοποίηση της χωρητικότητας.



Σχήμα 1.9: Κυψελωτό σύστημα βασισμένο σε ένα HAP

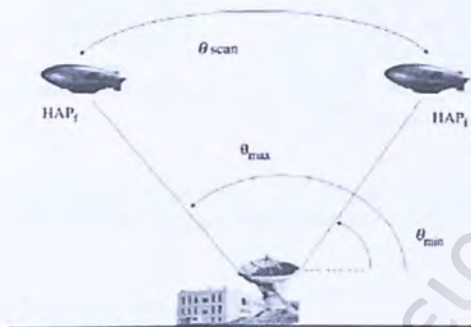
1.5 Κεραίες

Οι κεραίες που βρίσκονται στις πλατφόρμες επιλέγονται να είναι κεραίες πολλαπλών δεσμών, προκειμένου να λειτουργήσει ικανοποιητικά η κυψελωτή σχεδίαση. Οι πλατφόρμες χρησιμοποιούν «προσαρμοστικές κεραίες» (**adaptive antennas system-AAS**), οι οποίες κάνουν έξυπνο συνδυασμό των σημάτων σε πολλαπλά στοιχεία κεραίων. Έχουν την δυνατότητα να μεταβάλλουν την χωρική κατανομή του σήματος που εκπέμπεται, κατευθύνοντας έτσι με καλύτερο τρόπο το σήμα (**beamforming**), (Σχήμα 1.10). Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται κάποια αναφορά στη χρήση των συστημάτων AAS ως προς την αντιμετώπιση των παρεμβολών, καθώς επίσης και στο Παράρτημα Α.



Σχήμα 1.10: Χρήση προσαρμοστικών κεραίων από τα HAP

Οι κεραιές των επίγειων τερματικών επίσης ενδέχεται να έχουν σταθερό ή ηλεκτρονικά στρεφόμενο διάγραμμα ακτινοβολίας. Από τη στιγμή που τόσο η οριζόντια, όσο και η κατακόρυφη θέση της πλατφόρμας δεν είναι απόλυτα σταθερές, παρατηρείται μια χρονική διακύμανση της γωνίας με την οποία ο σταθμός εδάφους βλέπει το HAP. Αν η γωνιακή αυτή μεταβολή είναι μεγαλύτερη από το εύρος δέσμης της κεραιάς, τότε ενδείκνυται κεραιά με ηλεκτρονικά στρεφόμενο διάγραμμα (Σχήμα 1.11).

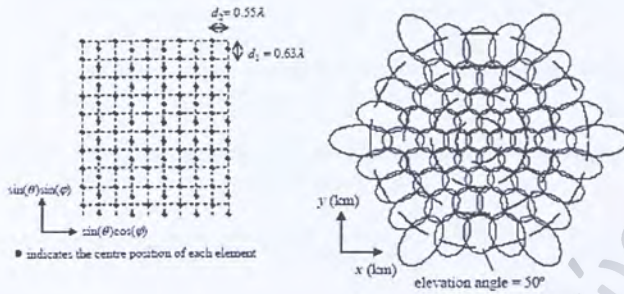


Σχήμα 1.11: Εύρος γωνίας σάρωσης ανάλογα με τη μεταβολή θέσης του HAP

Οι βασικές προδιαγραφές των κεραιών των στρατοσφαιρικών συστημάτων μπορούν να συνοψιστούν οι παρακάτω:

- υψηλές συχνότητες λειτουργίας προκειμένου να εξασφαλίζεται η ευρυζωνική λειτουργία
- ευελιξία στην παραμετροποίηση των κεραιών ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των πόρων του συστήματος
- μειωμένο μέγεθος, σχήμα και βάρος, χαμηλή κατανάλωση ισχύος καθώς και καλή απόδοση στο περιβάλλον της στρατόσφαιρας
- κατευθυντικότητα με υψηλή απολαβή, ώστε να εξισορροπούνται οι εξασθενήσεις που οφείλονται στη διάδοση σε υψηλές συχνότητες
- χρήση πολλαπλών δεσμών κηλίδας
- μηχανισμό ελέγχου της δέσμης για την αναίρεση της επίδρασης των μεταβολών ύψους και θέσης της πλατφόρμας στο ίχνος της κεραιάς στην επιφάνεια της γης

Ένα παράδειγμα συστοιχίας πολλαπλών κεραιών πάνω σε πλατφόρμα, με τα δημιουργούμενα κελιά στο έδαφος φαίνεται στο Σχήμα 1.12. Οι δέσμες των κεραιών στο έδαφος μπορούν να μεταβληθούν, ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις.



Σχήμα 1.12: Παράδειγμα συστοιχίας 100 κεραιών με ηλεκτρονικά στρεφόμενο διάγραμμα ακτινοβολίας και τα δημιουργούμενα κελιά στο έδαφος

1.6 Ανάθεση Συχνοτήτων

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU: International Telecommunication Union) και οι εθνικές τηλεπικοινωνιακές αρχές ανά τον κόσμο, μετά από εξέταση της τεχνολογίας των HAPs, την κατέταξαν στις υψηλής πυκνότητας σταθερές υπηρεσίες HDFS (high density fixed service).

Σύμφωνα με τις αποφάσεις και τους κανονισμούς της ITU-R, τα HAPs μπορούν να λειτουργούν στις εξής ζώνες συχνοτήτων:

- 2.1 GHz IMT-2000
- 27/28 και 31 GHz
- 47/48GHz

Ο τρόπος ανάθεσης συχνοτήτων και οι περιοχές της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU), επεξηγούνται αναλυτικά στο Παράρτημα Α.

Ζώνες συχνοτήτων:

1885 – 1980 MHz, 2010 – 2025 MHz και 2110 – 2170 MHz στις περιοχές 1 και 3. Η ανάθεση των ζωνών αυτών δεν είναι αποκλειστική, ούτε έχει προτεραιότητα έναντι σε άλλες υπηρεσίες που χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες.

1885 – 1980 MHz και 2110 – 2160 MHz στην περιοχή 2. Ομοίως η ανάθεση αυτή δεν είναι αποκλειστική, ούτε με προτεραιότητα.

27.50 – 28.35 GHz για την προς τα κάτω ζεύξη (downlink) στο Μπουτάν, την Ινδονησία, την Ισλαμική Δημοκρατία του Ιράν, την Ιαπωνία, τις Μαλδίβες, τη Μογγολία, το Μυανμάρ, το Πακιστάν, τη Δημοκρατία της Κορέας, τη Σρι Λάνκα, την Ταϊλάνδη και το Βιετνάμ. Η λειτουργία των HAPs στις παραπάνω συχνότητες οφείλει να μην παρενοχλεί άλλες σταθερές υπηρεσίες (fixed service), ούτε και να διεκδικεί προστασία παρεμβολών από αυτές.

31.0 – 31.3 GHz για την προς τα άνω ζεύξη (uplink) στο Μπουτάν, την Ινδονησία, την Ισλαμική Δημοκρατία του Ιράν, την Ιαπωνία, τις Μαλδίβες, τη Μογγολία, το Μυανμάρ, το Πακιστάν, τη Δημοκρατία της Κορέας, τη Σρι Λάνκα, την Ταϊλάνδη και

το Βιετνάμ. Και εδώ πρέπει να περιορίζονται οι παρεμβολές προς άλλα συστήματα σταθερών υπηρεσιών, ενώ δεν προβλέπεται αντίστοιχη προστασία για τα HAPs.

47.2 – 47.5 GHz για την προς τα κάτω ζεύξη (downlink) σε όλον τον κόσμο, εκτός από τις χώρες όπου υπάρχει η ανάθεση 31.0 – 31.3 GHz.

47.9 – 48.2 GHz για την προς τα άνω ζεύξη (uplink) σε όλον τον κόσμο, εκτός από τις χώρες όπου υπάρχει η ανάθεση 31.0 – 31.3 GHz.

Στον Πίνακα 1.13 φαίνεται συγκεντρωτικά η 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 Ζεύξης	Σταθιές	Σταθιές, Κινητές Σταθιές Δορυφορικές
31.0-31.3 GHz	10 χώρες παγκοσμίως (Ασία, Αφρική, Περιοχή 2)	Άνω Ζεύξη	Σταθιές	Σταθιές, Κινητές Διαστήματος
27.5-28.35 GHz	10 χώρες παγκοσμίως (Ασία, Αφρική, Περιοχή 2)	Κάτω Ζεύξη	Σταθιές	Σταθιές, Κινητές Σταθιές Δορυφορικές
1885-1980 GHz 2010-2025 GHz 2110-2160 GHz	Περιοχή 1 και 3	Άνω και κάτω Ζεύξης	IMT-2000	Σταθιές, Κινητές IMT-2000, PCS
1885-1980 GHz 2110-2160 GHz	Περιοχή 2	Άνω και κάτω Ζεύξης	IMT-2000	Σταθιές, Κινητές IMT-2000, PCS

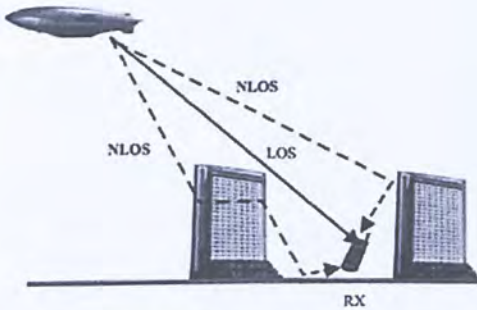
Πίνακας 1.13: Ανάθεση συχνοτήτων για τα δίκτυα με τη χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών

1.7 Περιβάλλον Διάδοσης

Τα μοντέλα διάδοσης έχουν ως στόχο την πρόβλεψη της μέσης τιμής ισχύος του λαμβανόμενου σήματος σε μια δεδομένη απόσταση από τον πομπό (μακρόχρονα μοντέλα διάδοσης), καθώς και των διακυμάνσεων της λαμβανόμενης ισχύος για πολύ μικρές αποστάσεις (κάποια μήκη κύματος) ή για μικρές χρονικές περιόδους (βραχύχρονα μοντέλα διάδοσης ή μοντέλα διαλείψεων).

1.7.1 Ατμοσφαιρικές απώλειες

Κατά τη διάδοση των ραδιοκυμάτων μεταξύ μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας και ενός επίγειου σταθμού, το σήμα λαμβάνεται μέσω διαφορετικών διαδρομών διάδοσης (πολυδιαδρομική διάδοση-*multipath*), (Σχήμα 1.14). Έτσι, στο δέκτη έχουμε τελικά μια σύνθεση αντιγράφων του αρχικού σήματος με διαφορά πλάτους, φάσης, καθυστέρησης και γωνίας άφιξης, η οποία μπορεί να είναι επικοδομητική ή όχι.

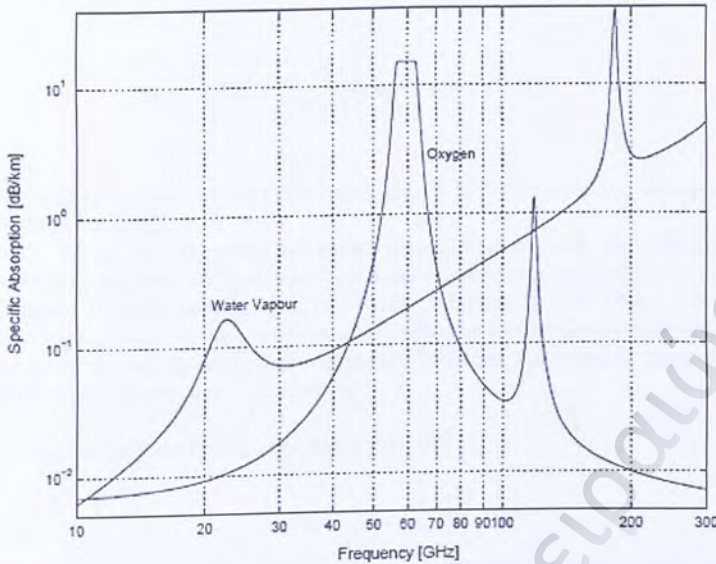


Σχήμα 1.14: HAP δίκτυο επηρεασμένο από την πολυδιαδρομική διάδοση (multipath)

Σαν ελάχιστη **εξασθένηση** θεωρούμε ότι είναι οι **απώλειες ελεύθερου χώρου** (free space loss), στην οποία προστίθενται οι όποιες επιπρόσθετες απώλειες μπορεί να ληφθούν υπόψη όπως:

- ατμοσφαιρικές αποσβέσεις λόγω απορρόφησης αερίων στην τροπόσφαιρα
- εξασθένηση λόγω βροχής
- εξασθένηση λόγω νεφών
- σκέδαση από την επιφάνεια της γης
- σκέδαση λόγω βροχής
- τροποσφαιρικές κατακρημνίσεις

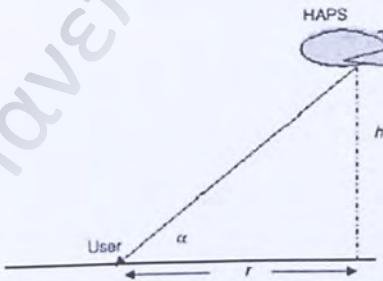
Σε συχνότητες χαμηλότερες των 10 GHz οι ατμοσφαιρικές απώλειες μπορούν κατά ένα μεγάλο ποσοστό να αγνοηθούν, εφόσον είναι μικρές σε σχέση με τις απώλειες ελεύθερου χώρου, ενώ σημαντικό ρόλο παίζουν η πολυδιαδρομική διάδοση και η σκίαση (shadowing). Ωστόσο στις συχνότητες 27/31 και 47/48GHz, η απορρόφηση και η σκέδαση των ραδιοκυμάτων από το οξυγόνο, τους υδρατμούς, τα σύννεφα και τη βροχή είναι σημαντική και συνεπώς πρέπει να ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό του προϋπολογισμού ζεύξης (link budget). Στο **Σχήμα 1.15** φαίνεται η εξασθένηση (dB/km) από το οξυγόνο και τους υδρατμούς, υπό συγκεκριμένες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Υπάρχει ένα μέγιστο γύρω στα 60 GHz, που προκαλεί σημαντική εξασθένηση, απαγορεύοντας την χρήση της ζώνης των 57-64 GHz για στρατοσφαιρικές και δορυφορικές επικοινωνίες. Ειδικότερα η βροχή προκαλεί βίαιη εξασθένηση. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι απώλειες λόγω βροχής λαμβάνουν χώρα μόνο στα πρώτα λίγα χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης, γιατί το φαινόμενο των βροχοπτώσεων περιορίζεται στην περιοχή κάτω από την ισόθερμη των 0° C που συνήθως δεν ξεπερνά τα 5 km.



Σχήμα 1.15: Εξασθένιση (dB/km) από το οξυγόνο και τους υδρατμούς, υπό συγκεκριμένες ατμοσφαιρικές συνθήκες.

1.7.2 Μοντελοποίηση Καναλιού (Channel Modelling)

Ο κύριος στόχος της μοντελοποίησης καναλιού είναι ο ακριβής χαρακτηρισμός των φαινομένων που προκαλούν την εξασθένιση του σήματος. Για συστήματα με στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, μπορούμε να διαχωρίσουμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σύστημα και τα στατιστικά χαρακτηριστικά. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά φαίνονται στο **Σχήμα 1.16**.



Σχήμα 1.16: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός HAP συστήματος

Στην Ενότητα 1.3, αναφέρθηκαν τρεις διαφορετικές περιοχές κάλυψης (RAC, UAC και SAC). Η διάμετρος κάθε μιας περιοχής $d = 2 * r$, δίνεται από την σχέση (1):

$$dia = 2R(\cos^{-1}(\frac{R}{R+h} \cos a) - a) \quad (1)$$

Όπου R είναι η ακτίνα της γης (6378 km), h είναι το ύψος της πλατφόρμας και a η γωνία ανύψωσης.

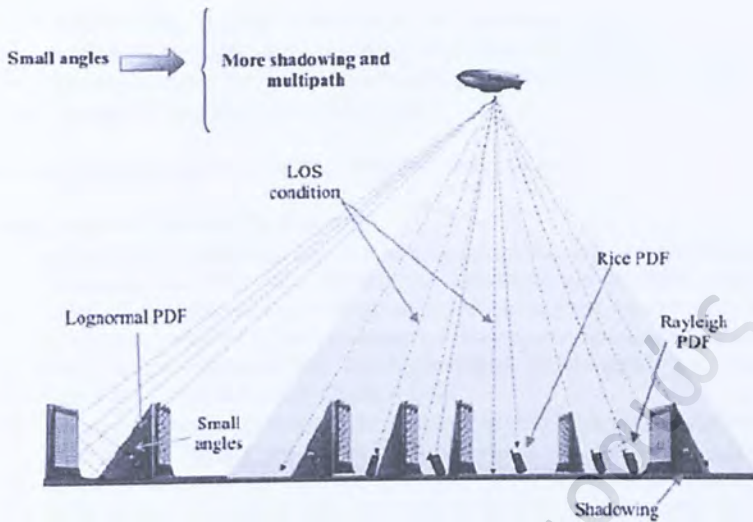
Ένας χρήστης που βρίσκεται ακριβώς κάτω από την πλατφόρμα (γωνία ανύψωσης περίπου 90°), το κανάλι μπορεί να θεωρηθεί ότι ακολουθεί την κατανομή Gaussian με πολύ υψηλές τιμές του παράγοντα Rice ($k > 20$). Όσο η γωνία μειώνεται, το κανάλι μπορεί να θεωρηθεί ότι ακολουθεί την κατανομή Rice με μικρότερες τιμές του k και τα φαινόμενα πολυδιαδρομικής διάδοσης και σκίασης είναι πιο σημαντικά πλέον στην εξασθένηση του σήματος.

Ο παράγοντας Rice δίνεται από την σχέση (2):

$$k = \frac{\nu^2}{2\sigma^2} \quad (2)$$

όπου k είναι ο λόγος της μέσης ισχύος του απευθείας σήματος, προς την μέση ισχύ των προϊόντων της πολυδιαδρομικής διάδοσης. Όταν $k=0$ το κανάλι θεωρούμε ότι ακολουθεί την κατανομή Rayleigh, ενώ για πολύ μεγάλες τιμές του $k \rightarrow \infty$, την κατανομή Gaussian.

Σε περιοχές αστικής κάλυψης, προτείνεται η κατανομή Rice για το κανάλι, παρόλο που τα φαινόμενα πολυδιαδρομικής διάδοσης και σκίασης δεν μπορούν να αγνοηθούν. Σε περιοχές ημιαστικής κάλυψης, η μέση ισχύς του απευθείας σήματος μειώνεται και τα εμπόδια είναι πιο σημαντικά, συνεπώς θεωρούμε κατανομή Rayleigh, ενώ σε περιοχές αγροτικής κάλυψης η σκίαση είναι το κύριο χαρακτηριστικό, συνεπώς θεωρούμε λογαριθμοκανονική κατανομή (lognormal), (Σχήμα 1.17).



Σχήμα 1.17: Κανάλια ενός HAP συστήματος

Ο Πίνακας 1.18 συνοψίζει τις διάφορες παραμέτρους και συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας (pdf) για κάθε περιοχή κάλυψης:

Coverage areas	Statistical characterization	
	PDF	Parameters
UAC	Rician	$8 < k < 10$
SAC	Rician-Rayleigh	$2 < k < 6$
RAC	Rayleigh-lognormal	$k = 0$

Πίνακας 1.18: Στατιστικά χαρακτηριστικά ενός HAP συστήματος

1.7.3 Τεχνικές Μείωσης Διαλείψεων (FMT, Fading Mitigation Techniques)

Μερικές τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση των διαλείψεων είναι οι παρακάτω:

- Έλεγχος ισχύος (*power control*): για παράδειγμα μπορεί να έχουμε αύξηση της εκπεμπόμενης ισχύος σε περίπτωση διαλείψεων, τόσο στην πλατφόρμα όσο και στον επίγειο σταθμό βάσης.
- Χρήση διαφορετικών ρυθμών κωδικοποίησης (*coding rate switching*) με κώδικες διόρθωσης λαθών (FEC: Forward Error Correction codes): μπορεί να γίνει και στις δύο κατευθύνσεις (uplink, downlink) με χρήση πλεοναζόντων bit, προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό BER (Bit Error Rate).
- Αύξηση της ενέργειας ανά bit με μείωση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (*transmission rate switching*): μπορεί επίσης να γίνει και στις δύο

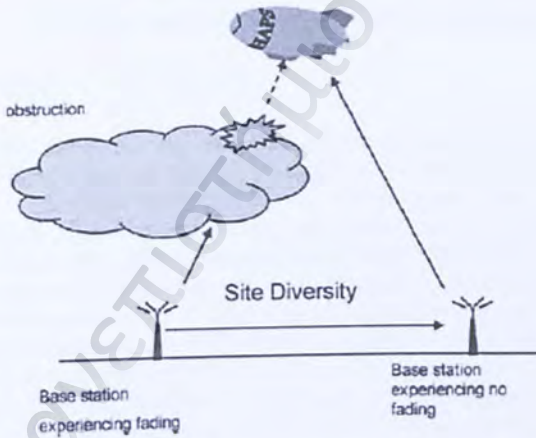
κατευθύνσεις (uplink, downlink) και εγγυάται ένα επιθυμητό BER για συγκεκριμένο εύρος ζώνης και ποιότητα υπηρεσίας (QoS)

- Προσαρμοστικές τεχνικές διαμόρφωσης (*adaptive modulation schemes*)
- Τεχνικές διαφορισιμότητας (*diversity*)

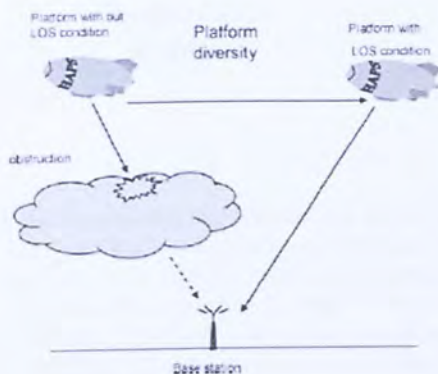
Μερικές τεχνικές διαφορισιμότητας αναφέρονται παρακάτω:

- διαφορισιμότητα θέσης (*site diversity*)

- σε επίγειους σταθμούς: εάν ένα σημείο υποφέρει από έντονη βροχόπτωση, θεωρούμε ότι ένα άλλο σημείο (σε απόσταση τουλάχιστον 10km) είναι στατιστικά ανεξάρτητο από το πρώτο (η διάλειψη είναι *ασυσχέτιστη*), συνεπώς ο επίγειος σταθμός με την μικρότερη διάλειψη χρησιμοποιείται προκειμένου να γίνει ανα-δρομολόγηση της πληροφορίας στον αρχικό της προορισμό, μέσω του επίγειου δικτύου (Σχήμα 1.19).
- στην στρατοσφαιρική πλατφόρμα (*platform diversity*): κατά τον σχεδιασμό του συστήματος πρέπει να γίνει βελτιστοποίηση ως προς τον αριθμό των πλατφορμών που θα χρησιμοποιηθούν, ώστε ζεύξεις με μικρές γωνίες ανύψωσης να αποφεύγονται, επιτυγχάνοντας έτσι συνθήκες οπτικής επαφής. Επίσης, οι επίγειοι σταθμοί βάσης θα πρέπει να μπορούν να επιλέξουν την πλατφόρμα με τις καλύτερες συνθήκες καναλιού (Σχήμα 1.20).



Σχήμα 1.19: Διαφορισιμότητα θέσης (*site diversity*) σε επίγειους σταθμούς



Σχήμα 1.20: Διαφορισμότητα στην στρατοσφαιρική πλατφόρμα (platform diversity)

- *χρονική διαφορισμότητα:* περιλαμβάνει πολλαπλές εκπομπές του ίδιου σήματος καθυστερημένες κατά μερικά λεπτά, που συγκεντρώνονται στα τερματικά των χρηστών και ανασυνθέτουν την αρχική πληροφορία.

- *διαφορισμότητα συχνότητας:* μπορεί να εφαρμοστεί όταν είναι διαθέσιμες δύο συχνότητες λειτουργίας, οπότε κατά τη διάρκεια των διαλείψεων χρησιμοποιείται η χαμηλότερη συχνότητα που επηρεάζεται λιγότερο από την διάλειψη.

1.8 Εφαρμογές

Τα HAPs αποτελούν μια εφαρμόσιμη και ελκυστική εναλλακτική πρόταση, λόγω της μεγάλης ζήτησης για νέες υπηρεσίες σε συνδυασμό με την διαρκώς εξελισσόμενη τεχνολογία των αερόπλοιων (βελτιωμένα υλικά κατασκευής και ηλιακές κυψέλες). Σημαντικές εφαρμογές των HAPs είναι οι ψηφιακές επικοινωνίες υψηλής ταχύτητας και ευρείας ζώνης (interactive video, broadcasting, multimedia), οι κινητές επικοινωνίες, η τηλεπισκόπηση, η παρατήρηση του γήινου περιβάλλοντος και η συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων, η παροχή υπηρεσιών σε επείγουσες καταστάσεις, ο εντοπισμός και η πλοήγηση, η χρήση σε αναπτυσσόμενες χώρες και εξειδικευμένες αγορές υπηρεσιών (χωρίς την οικονομική και χρονική επιβάρυνση εγκατάστασης ογκώδους επίγειου εξοπλισμού), η αναμετάδοση δορυφορικών σημάτων, τα ναυτιλιακά συστήματα επικοινωνιών, η στρατιωτική χρήση.

Κεφάλαιο 2 WiMax

2.1 Εισαγωγή

Το WiMAX (World Interoperability for Microwave Access) είναι μια τεχνολογία που βασίζεται στα πρότυπα 802.16 της IEEE και επιτρέπει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων σε μεγάλες αποστάσεις (Σχήμα 2.1). Σε μια τυπική ακτίνα κυψελωτής κάλυψης που κυμαίνεται από 3 έως 10 Km, ο επίσημος εξοπλισμός, WiMAX Forum Certified™, θα είναι σε θέση να παρέχει ρυθμούς μετάδοσης από 1 έως 70 Mbps ανά κανάλι, τόσο για τις σταθερές εφαρμογές, όσο και για τις φορητές. Η τεχνολογία WiMAX έχει πλέον ενσωματωθεί στους υπολογιστές και στους υπολογιστές παλάμης-PDAs, [K2-9], επιτρέποντας στις αστικές περιοχές και στις μικρότερες πόλεις να γίνουν ένα είδος μητροπολιτικών δικτύων για τη φορητή ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση.

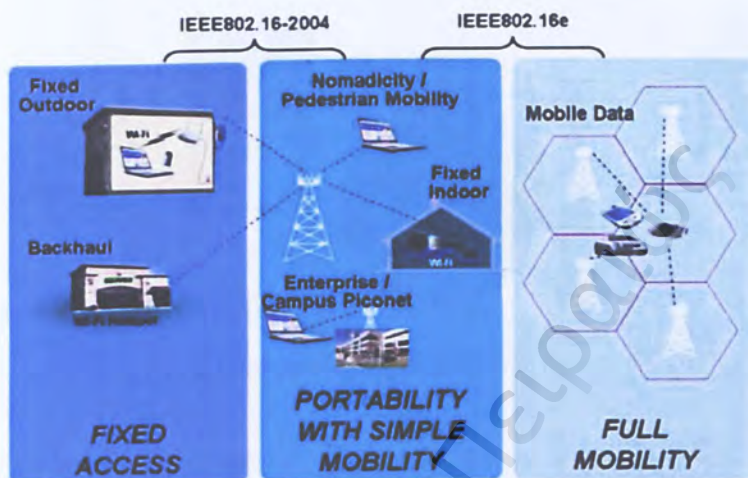


Σχήμα 2.1: Δίκτυο WiMax

Πρόκειται για ένα εμπορικό όνομα που αναφέρεται σε κάθε σύστημα και εφαρμογή που χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.16. Το να ταυτοποιείται ένα προϊόν με το όνομα WiMAX, σημαίνει ότι έχει κατασκευαστεί με βάση το πρότυπο 802.16 και έτσι εξασφαλίζεται η συμβατότητα και η διαλειτουργικότητα (interoperability) στον ευρυζωνικό ασύρματη πρόσβασης (BWA, Broadband Wireless Access) εξοπλισμό.

2.2 Γενικά Χαρακτηριστικά

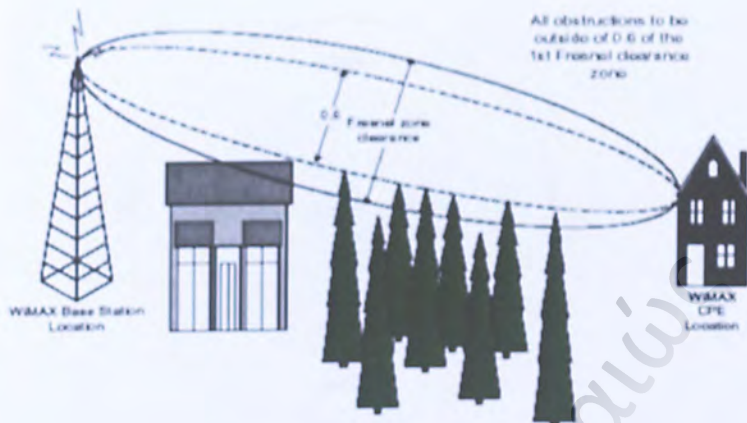
Το WiMAX είναι σε θέση να παρέχει σταθερή, φορητή, και κινητή ασύρματη ευρυζωνική σύνδεση (Σχήμα 2.2), χωρίς να είναι απαραίτητη η άμεση οπτική επαφή με έναν σταθμό βάσης (NLOS: Non Line of Sight).



Σχήμα 2.2: Το WiMAX παρέχει σταθερή, φορητή, και κινητή ασύρματη ευρυζωνική σύνδεση

Σε μια NLOS σύνδεση ένα σήμα φθάνει στο δέκτη μέσω αντανάκλασεων και διασποράς. Το σήμα αυτό που φτάνει στο δέκτη αποτελείται από σήμα που έφτασε άμεσα από το πομπό, σήμα που έφτασε από πολλαπλά μονοπάτια μέσω αντανάκλασης, διασπαρμένη ενέργεια και μονοπάτια όπου συνέβη περίθλαση.

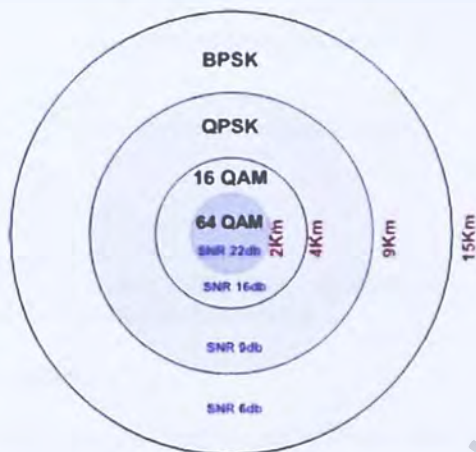
Σε μια LOS (Line of Sight) σύνδεση, ένα σήμα ταξιδεύει σε μία άμεση και χωρίς εμπόδια διαδρομή από το πομπό στο δέκτη. Μια σύνδεση LOS, απαιτεί το περισσότερο μέρος της ζώνης Fresnel να μην παρεμποδίζεται από κάτι. Αν δεν ισχύει αυτός ο παράγοντας, τότε η ισχύς του σήματος ελαττώνεται σημαντικά. Η ζώνη Fresnel καλύπτει τη ζώνη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη. Τα παραπάνω φαίνονται καλύτερα στο Σχήμα 2.3. Η Fresnel zone clearance που αναφέρεται στο σχήμα, εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος και βέβαια από την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη.



Σχήμα 2.3: Ζώνη Fresnel

Το πρότυπο IEEE 802.16 σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία περιοχή συχνοτήτων, η οποία εκτείνεται από 2 ως 66 GHz. Καλύπτει κυρίως συνδέσεις σημείου προς πολλά σημεία (PMP), χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για συνδέσεις σημείου προς σημείο (PP), καθώς και για τοπολογίες mesh [Παράρτημα Α]. Η διαμόρφωση η οποία κυρίως χρησιμοποιείται είναι η OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [Παράρτημα Α]. Πρόκειται για μια πολύ ανθεκτική διαμόρφωση σε ότι αφορά φαινόμενα εξωτερικών παρεμβάσεων, ειδικότερα στις συχνότητες άνω των 2 GHz (μεγάλη αντίσταση στην πολυδιαδρομική διάδοση-επιτρέπει την λειτουργία του WiMax σε NLOS συνθήκες).

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του δικτύου είναι η δυνατότητα για επιλογή της κατάλληλης διαμόρφωσης και τεχνικής διόρθωσης λαθών, ανάλογα με την κατάσταση του καναλιού (Adaptive Modulation and Coding – AMC, (Σχήμα 2.4)). Όταν ο λόγος σήματος προς θόρυβο είναι υψηλός (δηλαδή το κανάλι είναι «καλό»), γίνεται εκπομπή με τον υψηλότερο δυνατό ρυθμό μετάδοσης και η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται είναι λιγότερο ανθεκτική στο θόρυβο π.χ. QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Μ' αυτόν τον τρόπο μεγιστοποιείται η μέση διεκπαιρευτική ικανότητα (throughput) για δεδομένο BER (Bit Error Rate). Άλλα χαρακτηριστικά του προτύπου είναι η υποστήριξη QoS (Quality of Service- ποιότητα παροχής υπηρεσιών), «έξυπνων-προσαρμοστικών κεραιών» (Adaptive Antenna System – AAS) [Παράρτημα Α], υποστήριξη για διαφορετικούς τύπους δικτύων (ATM, Ethernet, PPP κ.λ.π.), για καλύτερη διασυνδεσιμότητα κ.ά.



Σχήμα 2.4: Προσαρμοστική Διαμόρφωση και Κωδικοποίηση (Adaptive Modulation and Coding – AMC)

Ένα σύστημα WiMAX αποτελείται από δύο μέρη:

- **Σταθμός βάσης WiMAX:** Ο σταθμός βάσης αποτελείται από τις ηλεκτρονικές εγκαταστάσεις και έναν πύργο WiMAX. Ένας σταθμός βάσης θεωρητικά, μπορεί να καλύψει ακτίνα μέχρι 50 km, εντούτοις οι πρακτικές μελέτες το περιορίζουν σε περίπου 10 km. Οποιοσδήποτε ασύρματος κόμβος μέσα στην περιοχή κάλυψης θα είναι σε θέση να έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο.
- **Ένας δέκτης WiMAX:** ο δέκτης και η κεραία θα μπορούσαν να είναι ένα αυτόνομο κιβώτιο ή μια κάρτα PCMCIA που βρίσκεται στο laptop ή τον υπολογιστή. Η πρόσβαση στο σταθμό βάσης WiMAX είναι παρόμοια με την πρόσβαση ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης σε ένα δίκτυο WiFi, αλλά η κάλυψη είναι σαφώς μεγαλύτερη.

Διάφοροι σταθμοί βάσεων μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους μέσω backhaul μικροκυματικών συνδέσεων μεγάλης ταχύτητας. Αυτό επιτρέπει την περιπλάνηση ενός συνδρομητή WiMAX από έναν σταθμό βάσης σε μια άλλη περιοχή σταθμού βάσης, όπως γίνεται με την κινητή τηλεφωνία.

Τα τεμαχικά, δηλαδή οι χρήστες του δικτύου μπορούν να χωριστούν ως εξής:

- **Σταθερά Τεμαχικά:** Το πρότυπο 802.16-2004 (που αντικατέστησε τα 802.16 a, c, d), [Παράρτημα Α] είναι σχεδιασμένο για συνδέσεις σταθερής πρόσβασης. Αναφέρεται και ως «σταθερό ασύρματο» (“fixed wireless”) γιατί χρησιμοποιεί κεραίες που είναι τοποθετημένες στον χώρο του συνδρομητή. Η κεραία είναι τοποθετημένη στην οροφή του κτιρίου ή σε κάποιον ιστό. Στο 802.16-2004 προβλέπονται επίσης και εσωτερικές εγκαταστάσεις, οι οποίες όμως ενδεχομένως να μην είναι το ίδιο αποδοτικές. Προσφέρεται έτσι μία εναλλακτική, ασύρματη τεχνολογία σε σχέση με τις καλωδιακές και xDSL γραμμές, καθώς και με τις γραμμές οπτικών ινών.
- **Φορητά Τεμαχικά:** Για τα φορητά τεμαχικά είναι υπεύθυνο το πρότυπο 802.16e [Παράρτημα Α], το οποίο είναι μία προσθήκη στο ήδη υπάρχον

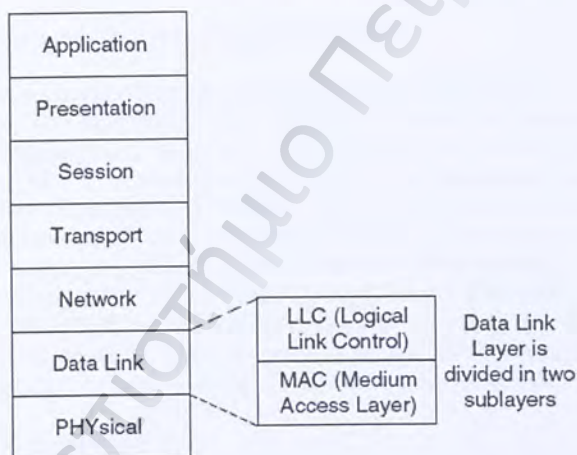
802.16-2004. Σκοπός του είναι η προσθήκη φορητότητας και η δυνατότητα για άμεση σύνδεση φορητών συσκευών στο WiMAX δίκτυο.

Πλεονεκτήματα του 802.16

- Εγγενής υποστήριξη για Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS)
- Υψηλή απόδοση
- Προτυποποιημένο
- Υποστήριξη για έξυπνες κεραιές
- Υποστήριξη backbone συνδέσεων
- Νέα τεχνολογία με ολοένα αυξανόμενη υποστήριξη από τους κατασκευαστές αλλά και από την επιστημονική κοινότητα

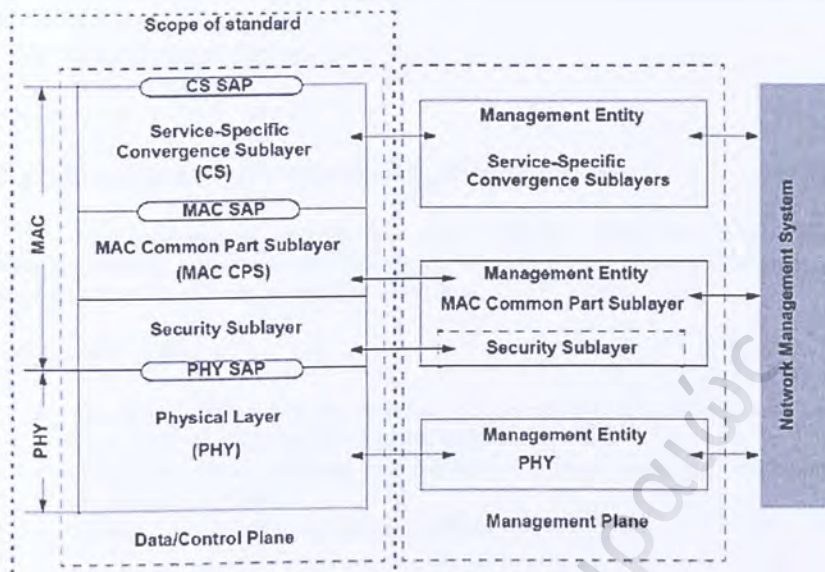
2.3 Μοντέλο Αναφοράς

Η IEEE με την εισαγωγή της σειράς προτύπων 802 δίνει βάση στα δύο χαμηλότερα επίπεδα του OSI (Open Systems Interconnect), στο φυσικό στρώμα (PHY) και στο MAC (Medium Access Control), (Σχήμα 2.5). Έτσι και το 802.16 που αναφέρεται στο WiMAX, αναλύει αυτά τα δύο επίπεδα.



Σχήμα 2.5: Επίπεδα του OSI (Open Systems Interconnect)

Οι καινοτομίες που έλαβαν χώρα στα δύο παραπάνω στρώματα, σε σχέση με το πρότυπο 802.11 είναι σημαντικές. Κύριος σκοπός των αλλαγών αυτών είναι η δημιουργία ενός νέου προτύπου που θα μπορούσε να καλύψει τα κενά που αφήνει ο προκάτοχος του (IEEE 802.11) και ταυτόχρονα να κάνει πραγματικότητα την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση. Στο Σχήμα 2.6 φαίνεται το μοντέλο αναφοράς για το πρότυπο 802.16.



Σχήμα 2.6: Μοντέλο Αναφοράς του 802.16

Προδιαγράφονται δύο βασικά επίπεδα, το φυσικό (PHY) που είναι υπεύθυνο για την μετάδοση των δεδομένων στον ασύρματο διάλογο και ό,τι αυτό απαιτεί (κωδικοποίηση, διαμόρφωση, μετάδοση, λήψη κ.λ.π.) και το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσω (MAC), το οποίο υποδιαιρείται σε τρία υποεπίπεδα, το υποεπίπεδο ασφάλειας, το MAC Common Part Sublayer (MAC CPS) και το Service-Specific Convergence Sublayer (CS). Το υποεπίπεδο ασφάλειας είναι υπεύθυνο για την πιστοποίηση, την ασφαλή ανταλλαγή κλειδιών και την κωδικοποίηση. Το MAC CPS είναι αυτό που προσφέρει την κύρια MAC λειτουργικότητα όπως είναι η πρόσβαση του συστήματος, η δέσμευση του απαραίτητου bandwidth, η εγκαθίδρυση μιας σύνδεσης και η συντήρησή της. Τέλος το ανώτερο επίπεδο, το CS, είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία του συστήματος με άλλα συστήματα και πρωτόκολλα.

2.3.1 Φυσικό Επίπεδο (PHY)

Το φυσικό επίπεδο του 802.16 είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές τεχνολογίες και τύπους μετάδοσης, χωρίς να επηρεάζονται τα υψηλότερα από αυτό επίπεδα. Το WiMAX λειτουργεί τόσο στην αδειοδοτούμενη περιοχή συχνοτήτων από 10-66GHz, όσο και στις περιοχές κάτω των 11 GHz, αδειοδοτούμενες (όπως 3GHz) αλλά και ελεύθερες (όπως 2,4GHz και 5GHz). Αυτό δίνει το πλεονέκτημα της διαλειτουργικότητας στο 802.16 αφού έτσι ουσιαστικά δίνεται η δυνατότητα για την ύπαρξη ενός μεγάλου εύρους επιλογών από τον σχεδιαστή – διαχειριστή του δικτύου καθώς και του κατασκευαστή.

Οι διαφορετικές υλοποιήσεις για το φυσικό επίπεδο είναι οι εξής [Παράρτημα Α]:

- WirelessMAN-SC
- WirelessMAN-SCa

- WirelessMAN-OFDM
- WirelessMAN-OFDMA
- WirelessHUMAN

2.3.2 Επίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης Μέσου (MAC)

Στην ομάδα των υποεπιπέδων που συμπεριλαμβάνει το MAC (Medium Access Control), υλοποιούνται λειτουργίες που έχουν να κάνουν με υπηρεσίες που παρέχονται σε όλους τους χρήστες του δικτύου.

Αυτές περιλαμβάνουν:

- Μετάδοση, συγκέντρωση των δεδομένων σε ένα πλαίσιο (frame) που να περιλαμβάνει πεδία διεύθυνσης και ανίχνευσης λαθών.
- Λήψη, αποσυναρμολόγηση του πλαισίου και αναγνώριση της διεύθυνσης και της ανίχνευσης λαθών.
- Έλεγχος της πρόσβασης στο μέσο ασύρματης διάδοσης.

Το πρωτόκολλο σε αυτό το επίπεδο έχει σαν κύριο στόχο την πρόσβαση στο κανάλι μετάδοσης και έχει να κάνει με το σταθμό βάσης και τον χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, το πρωτόκολλο MAC καθορίζει το πώς και το πότε ένας σταθμός βάσης ή χρήστης μπορεί να αρχίσει τη μετάδοση στο κανάλι. Επιπλέον, πρέπει να έχει τη δυνατότητα να τροποποιεί τη χωρητικότητα του καναλιού με σκοπό να μπορεί να εξυπηρετήσει όλες τις απαιτήσεις που έχουν τα ανώτερα επίπεδα.

2.4 Mobile WiMAX (802.16e)

Το κινητό WiMAX υιοθετεί την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης OFDMA [Παράρτημα Α], για τη βελτίωση της απόδοσης σε περιβάλλον πολλαπλών διαδρομών και σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει οπτική επαφή. Το κλιμακούμενο OFDMA (SOFDMA - Scalable OFDMA) εισάγεται στο πρότυπο IEEE 802.16e για να υποστηρίξει κανάλια κλιμακούμενου εύρους ζώνης από 1.25 έως 20 MHz. Η υπεύθυνη τεχνική ομάδα (Mobile Technical Group - MTG) του WiMAX Forum, εξελίσσει τις παραμέτρους εκείνες που θα καθορίσουν τόσο τα υποχρεωτικά όσο και τα προαιρετικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του προτύπου και που θα είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές του WiMax Forum.

Οι προδιαγραφές για το κινητό WiMAX επιτρέπουν στα κινητά συστήματα να διαμορφώνονται βάσει ενός συνόλου κοινών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων που εξασφαλίζουν έτσι την βασική λειτουργία, τόσο για τα τερματικά όσο και για τους σταθμούς βάσης οι οποίοι γίνονται πλήρως διαλειτουργικοί.

Μερικά χαρακτηριστικά των σταθμών βάσης επιτρέπουν κάποια επιπλέον εξέλιξη, η οποία βασίζεται σε συγκεκριμένα σενάρια ανάπτυξης, που μπορεί να απαιτεί τροποποιήσεις τόσο στη χωρητικότητα όσο και στην κάλυψη.

Στην πρώτη κυκλοφορία του κινητού WiMAX καλύπτονται κανάλια με εύρος ζώνης 5, 7, 8.75, και 10 MHz για τις παγκόσμια εξουσιοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων των 2.3 GHz, 2.5 GHz και 3.5 GHz. Η ομάδα WiMAX Forum Network Working Group (NWG), αναπτύσσει τις υψηλότερου επιπέδου προδιαγραφές δικτύωσης για τα κινητά

συστήματα WiMAX, πέρα από αυτό που καθορίζεται στα IEEE 802.16 πρότυπα τα οποία εξετάζουν απλά τις προδιαγραφές διεπαφών αέρα.

Η κοινή προσπάθεια που κάνουν οι υπεύθυνοι εξέλιξης του IEEE 802.16 και του WiMAX Forum, βοηθά να καθοριστεί η από άκρο σε άκρο λύση για τα κινητά δίκτυα WiMAX. Τα συστήματα του κινητού WiMAX έχουν τη δυνατότητα εξέλιξης τόσο στην τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης όσο και στην αρχιτεκτονική του δικτύου, παρέχοντας, κατά συνέπεια, μεγάλη ευελιξία στις προοπτικές επέκτασης των δικτύων και στην παροχή υπηρεσιών. Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που υποστηρίζει το κινητό WiMAX είναι:

- **Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης:** Ο συνδυασμός της εφαρμογής MIMO (Multiple Input Multiple Output) κεραιών και της ευελιξίας στο διαχωρισμό των καναλιών, καθώς και οι προηγμένες τεχνικές κωδικοποίησης και διαμόρφωσης, επιτρέπουν στην τεχνολογία κινητού WiMAX να υποστηρίζει ταχύτητες στην ζεύξη καθόδου μέχρι 63 Mbps ανά τομέα και στην ζεύξη ανόδου μέχρι 28 Mbps ανά τομέα σε ένα κανάλι 10 MHz [Παράρτημα Α].
- **Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS):** Η θεμελιώδης προϋπόθεση της MAC αρχιτεκτονικής σύμφωνα με το IEEE 802.16 είναι το QoS. Επιπλέον, ο διαχωρισμός καναλιών και η σηματοδότηση MAP παρέχουν έναν ευέλικτο μηχανισμό για τον καλύτερο δυνατό σχεδιασμό της χωρητικότητας των καναλιών, της συχνότητας και του χρόνου πάνω από την ασύρματη διεπαφή που βασίζεται σε πλαίσιο προς πλαίσιο τεχνική.
- **Κλιμάκωση:** Η τεχνολογία του κινητού WiMAX, είναι σε θέση να μπορεί να λειτουργήσει σε κλιμακούμενα κανάλια από 1.25 έως 20 MHz. Η παροχή προσιτής Διαδικτυακής πρόσβασης ακόμα και σε αγροτικές περιοχές μπορεί να γίνει χωρίς ιδιαίτερα υψηλό κόστος, όπως απαιτούσαν μέχρι τώρα οι ενσύρματες λύσεις.
- **Ασφάλεια:** Τα χαρακτηριστικά ασφάλειας που παρέχονται για το κινητό WiMAX βασίζονται σε τεχνολογίες όπως: Extensible Authentication Protocol- EAP, AES-CCM- (Advanced Encryption Standard Counter with Cipherblock chaining Message authentication code), CMAC-block Cipher-based Message Authentication Code και HMAC-keyed Hash Message Authentication Code. Επίσης υποστηρίζονται διάφορες κάρτες όπως Universal Subscriber Identify Module/Subscriber Identify Module- SIM/USIM, Smart Cards και Digital Certificates.
- **Κινητικότητα:** Το κινητό WiMAX υποστηρίζει εξελεγμένους τρόπους μετάδοσης, με χρονική πιθανότητα λάθους λιγότερο από 50 ms, έτσι ώστε να εξασφαλίζει ότι εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως VoIP, θα λειτουργούν πλήρως αποδοτικά. Τα ευέλικτα σχέδια διαχείρισης εγγυώνται ότι η ασφάλεια διατηρείται πλήρως κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.

Παράλληλα με την εξέλιξη που πραγματοποιείται στο κινητό WiMAX, οι προμηθευτές του εξοπλισμού έχουν αναπτύξει εξοπλισμό που είναι σύμφωνος με τις απαιτήσεις του WiMAX/802.16e. Μάλιστα έχει ήδη αρχίσει η εμπορική διάθεση τόσο του σταθερού, όσο και του κινητού WiMAX, σε διάφορες χώρες [K2-10].

2.4.1 Φυσικό Επίπεδο

OFDMA

Όπως ήταν αναμενόμενο το πρότυπο IEEE 802.16ε χρησιμοποιεί την τεχνική πολυπλεξίας συχνότητας OFDMA, η οποία κυρίως διαχωρίζει το εύρος ζώνης σε υπό κανάλια πολλαπλάσιας συχνότητας, [Παράρτημα Α].

Scalable OFDMA-SOFDMA

Η τεχνική που χρησιμοποιεί το πρότυπο IEEE 802.16ε στα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα, είναι βασισμένη στο σκεπτικό του κλιμακούμενου OFDMA. Το SOFDMA υποστηρίζει ένα αρκετά μεγάλο φάσμα εύρους ζώνης που είναι αρκετά ευέλικτο και μπορεί να καλύψει τις ανάγκες που προκύπτουν στον τρόπο κατανομής και χρήσης του φάσματος.

Τεχνικές μετάδοσης

Το φυσικό επίπεδο του 802.16ε υποστηρίζει τεχνικές όπως: TDD, FDD, και την ημιαμφίδρομη Half-Duplex FDD. Παρόλα αυτά, η αρχική έκδοση της πιστοποίησης για το κινητό WiMAX περιλαμβάνει μόνο TDD.

2.4.2 Περιγραφή MAC επιπέδου

Τα πρότυπα 802.16 αναπτύχθηκαν εξ αρχής για την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών, όπως φωνή, δεδομένα και βίντεο. Το επίπεδο MAC είναι βασισμένο στο πρότυπο DOCSIS, το οποίο μπορεί να υποστηρίξει κυκλοφορία δεδομένων με ριπές (burst), με απαίτηση για πολύ υψηλό ρυθμό μετάδοσης, ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζει μετάδοση βίντεο και φωνής πάνω από το ίδιο κανάλι. Οι πόροι που διατίθενται σε ένα τερματικό από το χρονοπρογραμματιστή του MAC μπορεί να ποικίλουν από μια απλή χρονική περίοδο, μέχρι ένα ολόκληρο πλαίσιο, παρέχοντας κατά συνέπεια μια πολύ μεγάλη δυναμική περιοχή ρυθμαπόδοσης σε ένα συγκεκριμένο τερματικό χρηστών οποιαδήποτε στιγμή. Επιπλέον, επειδή η πληροφορία που ρυθμίζει την κατανομή πόρων μεταβιβάζεται μέσω των MAP μηνυμάτων, που βρίσκονται στην αρχή κάθε πλαισίου, ο χρονοπρογραμματιστής μπορεί δυναμικά να αλλάζει την κατανομή των πόρων πλαίσιο προς πλαίσιο, για να προσαρμοστεί στην κυκλοφορία αυτού του τύπου.

2.4.3 Σύγκριση του Mobile WiMAX (802.16e) με άλλες ασύρματες τεχνολογίες

Ο Πίνακας 2.7 αναφέρεται στις διάφορες ασύρματες τεχνολογίες και δείχνει μόνο τις μέγιστες τους ταχύτητες που μπορούν να επιτευχθούν σε ιδανικές συνθήκες [K2-11].

Standard	Family	Primary Use	Radio Tech	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)	Notes
802.16e	WiMAX	Mobile Internet	MIMO-SOFDMA	70	70	Quoted speeds only achievable at very short ranges, more practically 10 Mbps at 10 km.
HIPERMAN	HIPERMAN	Mobile Internet	OFDM	56.9	56.9	
WiBro	WiBro	Mobile Internet	OFDMA	50	50	Mobile range (900 m)
iBurst	iBurst 802.20	Mobile Internet	HC-SDMA	64	64	3-12 km
UMTS W-CDMA				0.384 14.4	0.384 5.76	HSDPA widely deployed. Typical downlink rates today 1-2Mbps, ~200kbps uplink; future downlink up to 28.8Mbps.
HSDPA+HSUPA	UMTS/3GSM	Mobile phone	CDMA/FDD			
UMTS-TDD	UMTS/3GSM	Mobile Internet	CDMA/TDD	16	16	Reported speeds according to IPWireless using 16QAM modulation similar to HSDPA+HSUPA
LTE UMS	UMTS/4GSM	General 4G	OFDMA/MIMO/SC-FDMA (HSOPA)	>100	>50	Still in development
1xRTT	CDMA2000	Mobile phone	CDMA	0.144	0.144	Obsoleted by EV-DO
EV-DO 1x Rev. 0				2.45 3.1	0.15 1.8	Rev B note: N is the number of 1.25 MHz chunks of spectrum used.
EV-DO 1x Rev.A						
EV-DO Rev.B	CDMA2000	Mobile Internet	CDMA/FDD	4.9xN	1.8xN	Not yet deployed.

Πίνακας 2.7: Σύγκριση του Mobile WiMAX (802.16e) με άλλες ασύρματες τεχνολογίες

2.5 Συγκεντρωτικά τεχνικά χαρακτηριστικά των προτύπων IEEE 802.16

Στον Πίνακα 2.8, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των προτύπων IEEE 802.16, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες, καθώς και στο [Παράρτημα Α].

	802.16	802.16-2004	802.16e-2005
Status	Completed December 2001	Completed June 2004	Completed December 2005
Frequency band	10GHz–66GHz	2GHz–11GHz	2GHz–11GHz for fixed; 2GHz–6GHz for mobile applications
Application	Fixed LOS	Fixed NLOS	Fixed and mobile NLOS
MAC architecture	Point-to-multipoint, mesh	Point-to-multipoint, mesh	Point-to-multipoint, mesh
Transmission scheme	Single carrier only	Single carrier, 256 OFDM or 2,048 OFDM	Single carrier, 256 OFDM or scalable OFDM with 128, 512, 1,024, or 2,048 subcarriers
Modulation	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Gross data rate	32Mbps–134.4Mbps	1Mbps–75Mbps	1Mbps–75Mbps
Multiplexing	Burst TDM/TDMA	Burst TDM/TDMA/OFDMA	Burst TDM/TDMA/OFDMA
Duplexing	TDD and FDD	TDD and FDD	TDD and FDD
Channel bandwidths	20MHz, 25MHz, 28MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz
Air-interface designation	WirelessMAN-SC	WirelessMAN-SCa WirelessMAN-OFDM WirelessMAN-OFDMA WirelessHUMAN ^a	WirelessMAN-SCa WirelessMAN-OFDM WirelessMAN-OFDMA WirelessHUMAN ^a
WiMAX implementation	None	256 - OFDM as Fixed WiMAX	Scalable OFDMA as Mobile WiMAX

a. WirelessHUMAN (wireless high-speed unlicensed MAN) is similar to OFDM-PHY (physical layer) but mandates dynamic frequency selection for license-exempt bands.

Πίνακας 2.8: Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των προτύπων IEEE 802.16

Στον Πίνακα 2.9, παρουσιάζεται ένας ενδεικτικός Προϋπολογισμός Ζεύξης (*Link Budget*) ενός WiMax συστήματος, για δύο διαφορετικά σενάρια:

- Για ένα κινητό τερματικό WiMax σε εξωτερικούς χώρους
- Για ένα σταθερό τερματικό εξοπλισμό WiMax σε εσωτερικό χώρο

Sample Link Budgets for a WiMAX System

Parameter	Mobile Handheld in Outdoor Scenario		Fixed Desktop in Indoor Scenario		Notes
	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	
Power amplifier output power	43.0 dB	27.0 dB	43.0 dB	27.0 dB	A1
Number of tx antennas	2.0	1.0	2.0	1.0	A2
Power amplifier backoff	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	A3: assumes that amplifier has sufficient linearity for QPSK operation without backoff
Transmit antenna gain	18 dBi	0 dBi	18 dBi	6 dBi	A4: assumes 6 dBi antenna for desktop SS
Transmitter losses	3.0 dB	0 dB	3.0 dB	0 dB	A5
Effective isotropic radiated power	61 dBm	27 dBm	61 dBm	33 dBm	$A6 = A1 + 10\log_{10}(A2) - A3 + A4 - A5$
Channel bandwidth	10MHz	10MHz	10MHz	10MHz	A7
Number of subchannels	16	16	16	16	A8
Receiver noise level	-104 dBm	-104 dBm	-104 dBm	-104 dBm	$A9 = -174 + 10\log_{10}(A7 \cdot 1e6)$
Receiver noise figure	8 dB	4 dB	8 dB	4 dB	A10
Required SNR	0.8 dB	1.8 dB	0.8 dB	1.8 dB	A11: for QPSK, R1/2 at 10% BLER in ITU Ped. B channel
Macro diversity gain	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	A12: No macro diversity assumed
Subchannelization gain	0 dB	12 dB	0 dB	12 dB	$A13 = 10\log_{10}(A8)$
Data rate per subchannel (kbps)	151.2	34.6	151.2	34.6	A14: using QPSK, R1/2 at 10% BLER
Receiver sensitivity (dBm)	-95.2	-110.2	-95.2	-110.2	$A15 = A9 + A10 + A11 + A12 - A13$
Receiver antenna gain	0 dBi	18 dBi	6 dBi	18 dBi	A16
System gain	156.2 dB	155.2 dB	162.2 dB	161.2 dB	$A17 = A6 - A15 + A16$
Shadow-fade margin	10 dB	10 dB	10 dB	10 dB	A18
Building penetration loss	0 dB	0 dB	10 dB	10 dB	A19: assumes single wall
Link margin	146.2 dB	145.2 dB	142.2 dB	141.2 dB	$A20 = A17 - A18 - A19$
Coverage range	1.06 km (0.66 miles)		0.81 km (0.51 miles)		Assuming COST-231 Hata urban model
Coverage range	1.29 km (0.80 miles)		0.99 km (0.62 miles)		Assuming the suburban model

Πίνακα 2.9: Προϋπολογισμός Ζεύξης ενός WiMax συστήματος

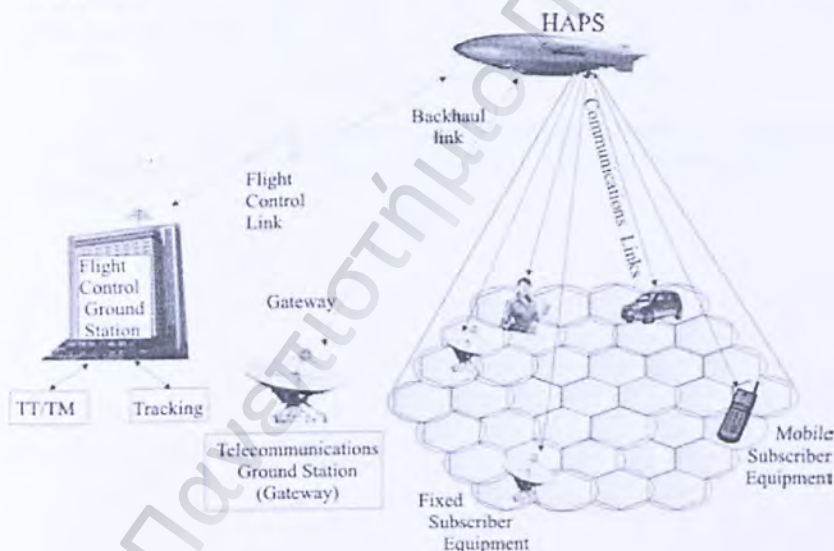
Αξίζει να σημειωθεί ότι για ρυθμό μετάδοσης της τάξης των 150kbps στο downlink και 35 kbps uplink, το σύστημα προσφέρει ένα “link margin” της τάξης των 140dB (διαφορά ευαισθησίας του δέκτη και πραγματικής λαμβανόμενης ισχύος).

2.6 IP Αρχιτεκτονική του δικτύου WiMax

Η από άκρο σε άκρο αρχιτεκτονική ενός κινητού WiMAX δικτύου είναι βασισμένη σε μια IP πλατφόρμα., που χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτων και όχι τη μεταγωγή κυκλωμάτων, που χρησιμοποιείται στην παραδοσιακή τηλεφωνία. Έχει το πλεονέκτημα ότι το συνολικό κόστος της ιδιοκτησίας μειώνεται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής μιας επέκτασης των WiMAX δικτύων. Η χρήση του IP σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα κοινό δίκτυο κορμού, χωρίς να είναι απαραίτητο να διατηρηθεί τόσο δίκτυο μεταγωγής πακέτων, όσο και μεταγωγής κυκλωμάτων. Η πρόοδος που συντελείται όσον αφορά τόσο τον εξοπλισμό όσο και το λογισμικό που χρησιμοποιεί το κινητό WiMAX είναι αματώδης και ταχύτερη από τις διάφορες εξελίξεις στο χώρο των τηλεπικοινωνιών.

2.7 Σύνδεση των επίγειων δικτύων με HAPs

Μία τυπική αρχιτεκτονική επίγειου δικτύου συνδεδεμένου με HAP φαίνεται στο Σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.10: Σενάριο υποδομής ενός HAP δικτύου

Οι επίγειοι σταθμοί περιλαμβάνουν:

1. τους επίγειους τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς (σταθμός πύλη (Gateway Station - GS) που συνδέεται με το HAP με μια backhaul ζεύξη, τους σταθερούς και κινητούς συνδρομητικούς εξοπλισμούς (Fixed/Mobile Subscriber Equipment) που συνδέονται με το HAP με ασύρματες ζεύξεις)

2. τον **επίγειο σταθμό ελέγχου πτήσης** (Flight Control Ground Station), που είναι υπεύθυνος για υπηρεσίες τηλεμετρίας και ελέγχου της πλατφόρμας.

Οι επίγειοι σταθμοί μπορεί να είναι τεχνολογίας WiMax ή φυσικά και άλλης τεχνολογίας.

Στον **Πίνακα 2.11** παρατίθενται μερικές παράμετροι της ζεύξης ενός επίγειου συνδρομητή και μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στη ζώνη συχνοτήτων 47/49GHz για τις τρεις ζώνες κάλυψης (αστική, ημιαστική και αγροτική).

Link parameters between a HAPS and a user on Earth for 47/49 GHz

	Units	Urban		Suburban		Rural	
		Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Frequency	GHz	47	48	47	48	47	48
Bandwidth	MHz	11	2	11	2	11	2
Transmit power	dBW	1.3	-8.2	1.3	-7	3.5	-1.5
Antenna gain	dBi	27	23	27	38	38	38
EIRP	dBW	27.8	14.3	27.8	30.6	41	36.1
Distance	km	42	42	81.1	81.1	240.9	240.9
Path loss	dB	158.3	158.3	164.1	164.1	173.7	173.7
Rain attenuation	dB	11.2	11.2	14.8	14.9	20.2	22.4
Receiver figure of merit G/T	dB/K	-6.5	0	8.5	0	8.5	11.1
Link margin	dB	1.4	0.7	4.2	4.5	1.5	2.2

Πίνακας 2.11: Παράμετροι ζεύξης ενός επίγειου συνδρομητή και ενός HAP στη ζώνη συχνοτήτων 47/49GHz για τις τρεις ζώνες κάλυψης (αστική, ημιαστική και αγροτική).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ανάλυση Παρεμβολών

3.1 Εισαγωγή

Ως παρεμβολή ορίζεται οποιαδήποτε μη επιθυμητή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από εκπομπές ενός ίδιου ή διαφορετικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος το οποίο λειτουργεί στην ίδια ή σε γειτονική ζώνη συχνοτήτων. Η παρεμβολή μπορεί να προκαλέσει υποβιβασμό ή ακόμα και ολοκληρωτική διακοπή της λειτουργίας ενός ασύρματου τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Κατά την σχεδίαση ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος, η θεώρηση των παρεμβολών είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες. Στο 1ο Κεφάλαιο μελετήθηκαν οι τύποι των στρατοσφαιρικών πλατφορμών και οι ζώνες συχνοτήτων που έχουν ανατεθεί από την ITU-R για την λειτουργία των στρατοσφαιρικών δικτύων. Για παράδειγμα οι υψηλές συχνότητες της ζώνης V είναι «επιβαρυνμένες» από παρεμβολές από τα ήδη υπάρχοντα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και τις δυσμενείς συνθήκες διάδοσης, συνεπώς υποβαθμίζουν την λειτουργία του στρατοσφαιρικού συστήματος. Σε αντίθεση με τον λευκό προσθετικό θόρυβο (AWGN) που δεν μπορεί να αποφευχθεί, ούτε να ελεγχθεί πλήρως, η παρεμβολή είναι δυνατόν με διάφορες μεθόδους να περιοριστεί σε ικανοποιητικά επίπεδα.

3.2 Παρεμβολές σε Στρατοσφαιρικό Δίκτυο

Οι παρεμβολές σε ένα στρατοσφαιρικό δίκτυο διακρίνονται σε:

- Παρεμβολές προερχόμενες από τους χρήστες του ίδιου του δικτύου.
- Παρεμβολές προερχόμενες από άλλα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα (κυρίως επίγεια και δορυφορικά δίκτυα που λειτουργούν στις ίδιες ή γειτονικές συχνότητες).

Στα στρατοσφαιρικά συστήματα, η διάδοση γίνεται σε συνθήκες καθαρού ουρανού, συνεπώς η πρόβλεψη των παρεμβολών που προκαλούνται από τους χρήστες του ίδιου δικτύου είναι πιο αξιόπιστη, σε αντίθεση με τα επίγεια συστήματα όπου η γεωμορφολογία της κάθε περιοχής δυσχεραίνει την πρόβλεψη των παρεμβολών.

Στην δεύτερη περίπτωση των παρεμβολών θεωρούμε ότι έχουμε τηλεπικοινωνιακά συστήματα που λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων (ομοδιαυλική παρεμβολή). Το φαινόμενο της ομοδιαυλικής παρεμβολής εμφανίζεται όταν τα συστήματα λειτουργούν σε μικρές αποστάσεις και προκαλείται κυρίως λόγω των πλευρικών λοβών του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραίας αλλά και λόγω του κύριου λοβού, όταν υπάρχει επικάλυψη της δέσμης. Μ'αυτόν τον τρόπο, το σήμα παρεμβολής στον δέκτη περιορίζει την αξιόπιστη λειτουργία της ζεύξης.

Μερικοί από τους τρόπους αντιμετώπισης της ομοδιαυλικής παρεμβολής είναι οι εξής:

- Χρήση κατευθυντικών κεραιών που περιορίζουν σε μεγάλο βαθμό τα επίπεδα ισχύος των πλευρικών λοβών
- Διατήρηση απόστασης ασφαλείας ανάμεσα στον παρεμβάλλοντα πομπό και τον δέκτη
- Περιορισμός της ισχύος εκπομπής των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων

Παρεμβολή γειτονικού διαύλου έχουμε όταν κάποιο τηλεπικοινωνιακό σύστημα χρησιμοποιεί διαφορετική ζώνη συχνοτήτων, γειτονική με αυτή του στρατοσφαιρικού συστήματος. Οφείλεται στην αδυναμία των RF φίλτρων εκπομπής και λήψης να αποκόπτουν τις συχνότητες εκτός του εύρους ζώνης λειτουργίας του συστήματος.

Οι δυνατότητες αντιμετώπισης της παρεμβολής γειτονικού διαύλου είναι σε γενικές γραμμές περιορισμένες. Ο σχεδιασμός των φίλτρων γίνεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές, σύμφωνα με τους όρους που θέτουν οι διεθνείς προδιαγραφές για την συνολική απόκριση ενός τηλεπικοινωνιακού διαύλου.

Κάποιες επιπρόσθετες παρεμβολές που μπορεί να εμφανιστούν σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι οι παρακάτω:

- Παρεμβολή ενδοδιαμόρφωσης
- Διασυμβολική παρεμβολή
- Παρεμβολή λόγω διασταύρωσης πόλωσης

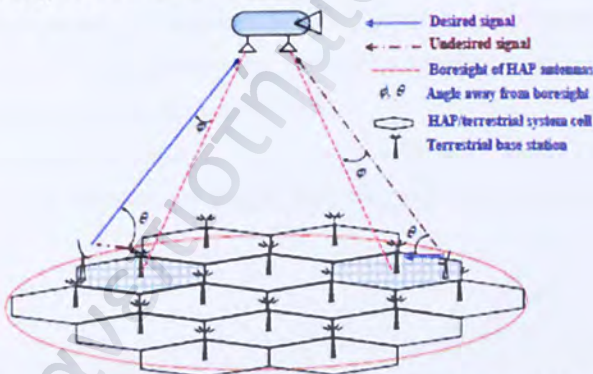
Η **παρεμβολή ενδοδιαμόρφωσης** παρουσιάζεται στον δέκτη ενός συστήματος, λόγω της εμφάνισης προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης κατά τη μη γραμμική ενίσχυση πολλαπλών σημάτων. Η παρεμβολή αυτή αντιμετωπίζεται με τη λειτουργία των ενισχυτών στη γραμμική περιοχή ενίσχυσης.

Η **διασυμβολική παρεμβολή** οφείλεται στη χρονική εξάπλωση των ψηφίων που μεταδίδονται στο δίαυλο, κάτι που δυσκολεύει την ανάκτηση και αποκωδικοποίηση άλλων γειτονικών ψηφίων. Αυτό συνεπάγεται μείωση της διαθεσιμότητας του τηλεπικοινωνιακού συστήματος, αύξηση του ρυθμού των λαθών (BER: Bit Error Rate).

Η **παρεμβολή λόγω διασταύρωσης πόλωσης**, εμφανίζεται σε συστήματα που με χρήση δύο ή και περισσότερων πολώσεων, κάνουν αναχρησιμοποίηση της συχνότητας. Η συγκεκριμένη παρεμβολή οφείλεται στην αποπόλωση που δημιουργείται λόγω των *ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων*, την ατελή ηλεκτρομαγνητική αποπόλωση των διαφορετικών πολώσεων και είναι πιο έντονη για συχνότητες μεγαλύτερες από 10GHz.

Όλες οι παραπάνω μορφές παρεμβολής υποβαθμίζουν την λειτουργία του στρατοσφαιρικού συστήματος.

Στο **Σχήμα 3.1** φαίνεται ένα σενάριο παρεμβολών από επίγειους σταθμούς βάσης (Terrestrial Base Stations) σε ένα HAP στο uplink (το μπλε βέλος δείχνει το επιθυμητό σήμα από τον επίγειο σταθμό προς το HAP, ενώ το καφέ διακεκομμένο βέλος το αντίστοιχο σήμα παρεμβολής).

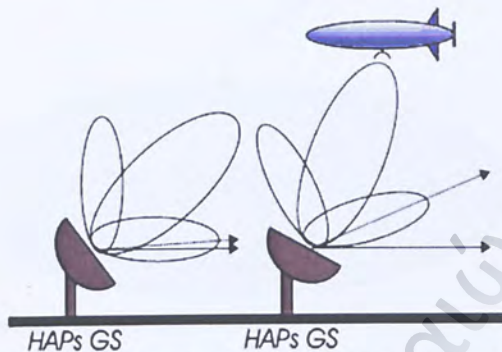


Σχήμα 3.1: Μοντέλο συνύπαρξης ενός HAP και ενός επίγειου WiMax συστήματος

3.3 Παρεμβολές σε Επίγεια Δίκτυα

Είναι προφανές, ότι και ένα HAP από την πλευρά του δύναται αντίστοιχα να προκαλέσει τις παρεμβολές που αναφέρονται στην ενότητα 3.2 σε ένα Επίγειο Δίκτυο στο downlink, ή επίσης οι επίγειοι τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί (π.χ. οι σταθμοί πύλες (Gateway Stations - GS)) που συνδέονται με το HAP μπορεί να προκαλέσουν

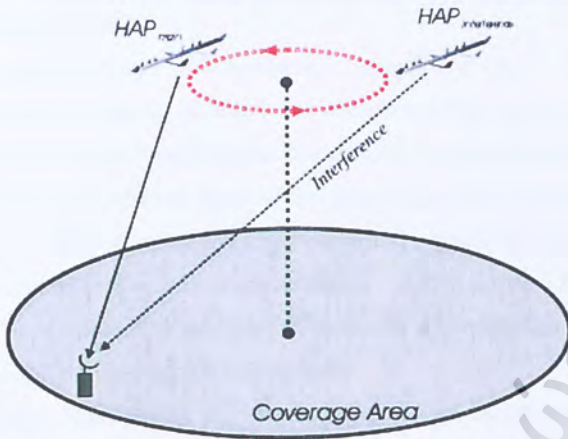
παρεμβολές σε άλλα Επίγεια Δίκτυα. Σαν λύση στην παρεμβολή αυτή προτείνεται η αύξηση της ελάχιστης γωνίας ανύψωσης, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.2**, [Κ3-10].



Σχήμα 3.2: Αύξηση της ελάχιστης γωνίας ανύψωσης

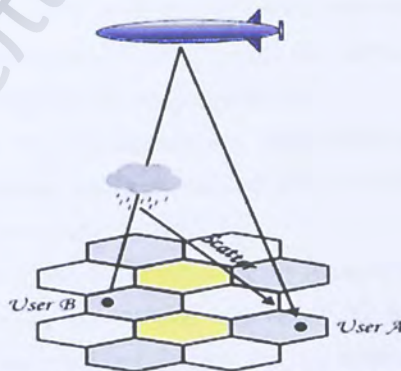
Η τεχνική **MRC (Maximum Ratio Combining)** χρησιμοποιεί το πλεονέκτημα δύο διαφορετικών λήψεων για να ξεπεράσει την διάλειψη και να μειώσει τις απώλειες του καναλιού. Μια τροποποίηση της τεχνικής αυτής περιγράφεται στο [Κ3-11], και περιλαμβάνει κεραίες πάνω στο HAP με ηλεκτρονικά στρεφόμενο διάγραμμα ακτινοβολίας (**DBF: Digital BeamForming**). Πρόκειται για τεχνική μείωσης των παρεμβολών. Αποδεικνύεται ότι όσο μειώνεται το επίπεδο των πλευρικών λοβών, τόσο βελτιώνεται το BER.

Επίσης, παρεμβολές μπορεί να υποστεί ένα Επίγειο Δίκτυο από ένα HAP-παρεμβολέα, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.3**, στην περίπτωση πολλαπλών HAP [Κ3-6].



Σχήμα 3.3: Παρεμβολή σε επίγειο τερματικό στην περίπτωση πολλαπλών HAP

Μία άλλη περίπτωση όπου μπορεί να προκληθεί ομοδιαυκτική παρεμβολή σε έναν συνδρομητή επίγειου κυψελωτού δικτύου είναι αυτή της σκέδασης λόγω βροχής (*Rain Scattering*). Οι σταγόνες της βροχής, το χιόνι, οι παγοκρύσταλλοι και τα σταγονίδια νερού που αιωρούνται στα σύννεφα, εκτός από την απορρόφηση ακτινοβολίας, μπορούν να προκαλέσουν σκέδαση της ακτινοβολίας από μια κυψέλη σε μια άλλη ομοδιαυκτική (Σχήμα 3.4). Σαν λύσεις προτείνονται στενότερες δέσμες των κεραιών και μια αύξηση του συντελεστή επαναχρησιμοποίησης συχνότητας, ώστε να μειωθεί ο αριθμός των γειτονικών ομοδιαυκτικών κυψελών που επηρεάζονται από το φαινόμενο της βροχής [K3-7], [K3-8], [K3-9].



Σχήμα 3.4: Γεωμετρία σκέδασης λόγω βροχής (πρόκληση ομοδιαυκτικής παρεμβολής)

3.4 Όρια Παρεμβολών

Στην περίπτωση της ομοδιαυλικής παρεμβολής που προκαλούν τα στρατοσφαιρικά δίκτυα προς τα επίγεια ή που αντίστοιχα δέχονται από τα επίγεια, η χρήση διαφορετικών ζωνών συχνοτήτων δεν αποτελεί πρακτικά εφικτή λύση. Οι σύγχρονες ανάγκες για αναθέσεις συχνοτήτων ξεπερνούν το διαθέσιμο ραδιοφάσμα και οι παρεμβολές μεταξύ δικτύων του ίδιου φάσματος συχνοτήτων αυξάνονται με τη συνεχή εγκατάσταση νέων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Συνεπώς είναι επιτακτική η *έγρευση κριτηρίων συνύπαρξης*, η *μελέτη ορίων-κριτηρίων παρεμβολής* καθώς και η αξιοποίηση νέων ζωνών συχνοτήτων.

Για την εύρεση κατάλληλων ορίων παρεμβολής, χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες που σχετίζονται με:

- Την διαθεσιμότητα του διαύλου ή του δικτύου
- Τον ρυθμό λαθών
- Την ποιότητα του σήματος στην έξοδο του δικτύου
- Την αύξηση της θερμοκρασίας της παρεμβαλλόμενης ζεύξης
- Τον υποβιβασμό της απόδοσης του συστήματος

Οι δείκτες αυτοί δυσκολεύουν την σύγκριση των διαφόρων ορίων-κριτηρίων παρεμβολών που προκύπτουν, καθώς είναι πλήρως εξαρτημένοι από την αρχιτεκτονική του δικτύου, τις μεθόδους μετάδοσης κτλ.

Μια συνήθης μέθοδος εργασίας για την εξαγωγή κριτηρίων παρεμβολών είναι η στατιστική ανάλυση με βάση τους λόγους *CIR* (Carrier to Interference Ratio), *CNR* (Carrier to Noise Ratio), *CINR* (Carrier to Interference plus Noise Ratio) και *INR* (Interference to Noise Ratio), όπου *C* είναι η ισχύς του επιθυμητού σήματος, *N* ο θερμικός θόρυβος και *I* η ισχύς του σήματος παρεμβολής.

Οι παρεμβολές έχουν σαν αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος, εφόσον προκαλούν μείωση της διαθεσιμότητάς του και αύξηση του ρυθμού λειτουργικών λαθών.

Υπάρχει ένας *ελάχιστος σηματοθορυβικός λόγος στο δέκτη*, C/N_{min} , που αντιστοιχεί σε ένα στόχο διαθεσιμότητας και λειτουργικών λαθών. Ο συγκεκριμένος λόγος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της ζεύξης, από τις απαιτήσεις ποιότητας και διαθεσιμότητας καθώς και από τον έλεγχο ή μη της ισχύος στο δέκτη. Ο σηματοθορυβικός λόγος στο δέκτη δεν πρέπει να πέσει κάτω από την ελάχιστη

επιτρεπτή τιμή για πάνω από συγκεκριμένη χρονική διάρκεια, ώστε να επιτυγχάνεται η διαθεσιμότητα της ζεύξης.

3.5 Τεχνικές αντιμετώπισης των παρεμβολών σε δίκτυα WiMax

Υπάρχουν κάποιες τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα προκειμένου να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο των παρεμβολών. Επίσης το πρότυπο IEEE 802.16 έχει κάποια χαρακτηριστικά που από μόνα τους συμβάλλουν σημαντικά στην καταστολή των παρεμβολών σε ένα ασύρματο δίκτυο WiMax. Τα χαρακτηριστικά αυτά και οι τεχνικές, αναλύονται στη συνέχεια:

3.5.1 OFDM

Όπως αναφέρθηκε στο 2ο Κεφάλαιο, η διαμόρφωση η οποία χρησιμοποιείται στην τεχνολογία WiMax είναι η OFDM, η οποία είναι εξαιρετικά ανθεκτική στην παρεμβολή στενού φάσματος [K3-16] διότι τέτοιου είδους παρεμβολή επηρεάζει μόνο ένα μικρό ποσοστό των υποφερουσών. Επίσης, η χρήση του διαστήματος φύλαξης μεταξύ διαδοχικών OFDM συμβόλων έχει σαν αποτέλεσμα την προστασία από τη διασυμβολική παρεμβολή (Παράρτημα Α).

3.5.2 MIMO κεραιές

Οι MIMO κεραιές (Παράρτημα Α), έχουν τη δυνατότητα να μετατρέπουν την παρεμβολή λόγω πολλαπλών διαδρομών, που συνήθως αποτελεί τροχοπέδη των ασύρματων συστημάτων, σε πλεονέκτημα, αυξάνοντας παράλληλα και το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Οι κεραιές αυτές μπορούν να βρουν εφαρμογή σε ασύρματο LOS δίκτυο WiMax κάνοντας χρήση χωρικής πολυπλεξίας (Spatial Multiplexing). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις συστημάτων επικοινωνιών τεχνολογίας MIMO αποκάλυψαν την σημαντική υπεροχή της προτεινόμενης βελτιστοποιημένης αρχιτεκτονικής στοιχειοκεραιών MIMO - παρουσία ισχυρής απευθείας συνιστώσας - σε σχέση με την συμβατική αρχιτεκτονική [K3-1]. Επίσης, οι κεραιές MIMO έχουν πρακτική εφαρμογή και σε HAP σε LOS ή και NLOS ζεύξεις στις ζώνες συχνοτήτων L (40-60 GHz, 1-2 GHz, οπτικές, υπέρυθρες) και S (2-4GHz). Συνεπώς, λαμβάνοντας τα MIMO κανάλια, εκμεταλλευόμενοι το γεγονός ότι έχουν

χωρική και χρονική συσχέτιση, με ομοιόμορφες γραμμικές συστοιχίες κεραίων (uniform linear arrays) μπορεί να αντιμετωπιστούν τα φαινόμενα των παρεμβολών [K3-17].

3.5.3 Δυναμική Επιλογή Συχνότητας (Dynamic Frequency Selection – DFS)

Επιπρόσθετα, στο πρότυπο IEEE 802.16 δίνονται κάποιες λεπτομέρειες για τις περιπτώσεις όπου γίνεται χρήση του ραδιοφάσματος στις ελεύθερες συχνότητες (2.4GHz και 5.4GHz) (*Licence Exempt Bands*), καθώς αυτές είχαν πρωτίστως δεσμευτεί για χρήση από το πρότυπο 802.11, που χρησιμοποιείται για ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN). Για να αποφευχθούν οι παρεμβολές με αυτούς τους χρήστες, που αναφέρονται και ως «πρωτεύοντες χρήστες» (Primary Users), το πρότυπο καθορίζει αλγόριθμους για να ανιχνεύονται και να αποφεύγονται αυτές οι καταστάσεις. Αναφερόμενη ως *Δυναμική Επιλογή Συχνότητας (Dynamic Frequency Selection – DFS)*, η διεργασία αυτή είναι μία δυνατότητα του συστήματος να αλλάζει φυσικά RF κανάλια μεταξύ της αποστολής και της λήψης, βασιζόμενη σε κριτήρια που έχουν να κάνουν με μετρήσεις που πραγματοποιούνται στο κανάλι επικοινωνίας. Οι DFS διεργασίες ελέγχουν τα κανάλια για τυχόν ύπαρξη «πρωτευόντων χρηστών» και διακόπτουν την επικοινωνία σε περίπτωση που βρεθεί κάποιος τέτοιος χρήστης και περιοδικά ελέγχουν ξανά το κανάλι για νέους.

3.5.4 AAS συστήματα (Adaptive Antenna Systems)

Τα AAS συστήματα (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β), που αποτελούν προαιρετικό τμήμα του προτύπου 802.16, μπορούν με διάφορους αλγόριθμους επεξεργασίας σήματος να αλλάζουν δυναμικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της συνολικής απολαβής ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να μεταβάλλουν την χωρική κατανομή του σήματος που εκπέμπεται, κατευθύνοντας έτσι το σήμα στην κατεύθυνση του δέκτη, καταστέλλοντας μ'αυτόν τον τρόπο την ομοδιαλυτική παρεμβολή. Τα συστήματα αυτά μπορούν να βελτιώσουν την επαναχρησιμοποίηση του φάσματος και την χωρητικότητα ενός WiMAX δικτύου [K3-2].

3.5.5 Διαφορική Εκπομπή και Λήψη (Transmit and Receive Diversity)

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 1, μία από τις Τεχνικές Μείωσης Διαλείψεων (*Fading Mitigation Techniques*) είναι και η διαφορισμότητα. Οι τεχνικές διαφορισμότητας κάνουν χρήση του πλεονεκτήματος της πολυδιαδρομικής διάδοσης και των πολλαπλών ανακλάσεων που εμφανίζονται σε NLOS ζεύξεις. Όπως

και τα AAS συστήματα, αποτελεί προαιρετικό χαρακτηριστικό σε ένα WiMAX σύστημα. Οι αλγόριθμοι διαφορισιμότητας τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη, αυξάνουν την διαθεσιμότητα του συστήματος. Στον πομπό χρησιμοποιείται χωρο-χρονική κωδικοποίηση (space time coding), προκειμένου να μειωθεί το απαιτούμενο περιθώριο διάλειψης και να καταπολεμηθεί η παρεμβολή. Στον δέκτη χρησιμοποιούνται διάφορες συνδυαστικές τεχνικές για να αυξήσουν την διαθεσιμότητα του συστήματος, όπως για παράδειγμα, η τεχνική MRC (maximum ratio combining). Η διαφορισιμότητα έχει αποδειχθεί ένα χρήσιμο εργαλείο αντιμετώπισης των προκλήσεων NLOS διαδόσεων [K3-2].

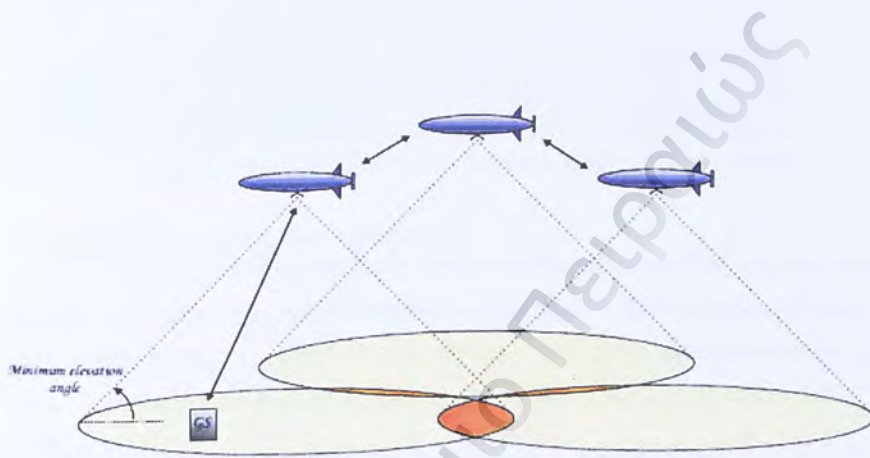
3.5.6 Έλεγχος Ισχύος (Power Control)

Οι αλγόριθμοι ελέγχου της ισχύος χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την συνολική επίδοση ενός συστήματος. Η υλοποίηση γίνεται στους σταθμούς βάσης, οι οποίοι στέλνουν πληροφορίες ελέγχου ισχύος σε κάθε συνδρομητικό εξοπλισμό CPE (Customer Premise Equipment) προκειμένου να ρυθμίζουν την εκπεμπόμενη ισχύ έτσι ώστε το επίπεδο λήψης στο σταθμό βάσης να είναι σε προκαθορισμένο σημείο. Σε ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον διαλείψεων, αυτό το προκαθορισμένο σημείο έχει την έννοια ότι κάθε συνδρομητικός εξοπλισμός εκπέμπει τόση ισχύ, όση απαιτείται για να πληρείται αυτή η απαίτηση. Ο έλεγχος της ισχύος μειώνει την συνολική κατανάλωση ισχύος του συνδρομητικού εξοπλισμού και τις ενδεχόμενες παρεμβολές από γειτονικούς σταθμούς. Για LOS ζεύξεις η εκπεμπόμενη ισχύς είναι ανάλογη με την απόσταση από το σταθμό βάσης, για NLOS εξαρτάται σημαντικά από τα εμπόδια που παρεμβάλλονται και τον ανοιχτό χώρο μεταξύ πομπού και δέκτη [K3-2].

3.5.7 Αύξηση της γωνίας ανύψωσης (elevation angle)

Επιφάνεια κάλυψης μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων πάνω στη γη απ'όπου η πλατφόρμα "φαίνεται" υπό γωνία ανύψωσης μεγαλύτερη μιας προκαθορισμένης τιμής (Κεφάλαιο 1). Έχει βρεθεί ότι για γωνίες ανύψωσης μεγαλύτερες από 40° επιτυγχάνεται καλύτερη επίδοση. Σε πολύ μικρές γωνίες ανύψωσης, η απαιτούμενη ισχύς εκπομπής είναι πολύ υψηλή και απαιτούνται συγκεκριμένες τεχνικές προκειμένου να υλοποιηθούν μικρές γωνίες ανύψωσης (MIMO, διαφορισιμότητα, μείωση του BER στα όρια της περιοχής κάλυψης) [K3-15].

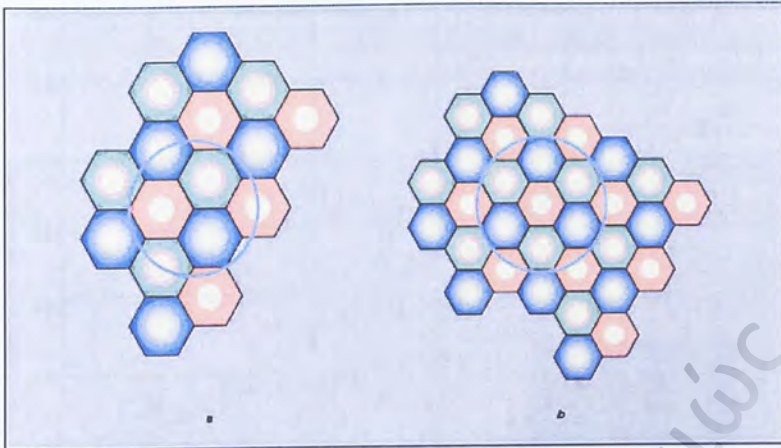
Αν στην περίπτωση πολλαπλών HAP υπάρχει επικάλυψη των αντίστοιχων περιοχών τους, προτείνεται η αύξηση της ελάχιστης γωνίας ανύψωσης προκειμένου να μειωθούν οι επιδράσεις των παρεμβολών που δημιουργούνται στην περιοχή επικάλυψης (Σχήμα 3.5), κάτι που όμως είναι οικονομικά ασύμφορο γιατί ενδέχεται ο αριθμός των HAP να αυξηθεί, εφόσον μειώνεται η περιοχή κάλυψης. Λύση στο πρόβλημα μπορεί να δώσουν και πάλι τα AAS συστήματα πάνω στα HAP.



Σχήμα 3.5: Περιοχή επικάλυψης στην περίπτωση πολλαπλών HAP

3.5.8 Χρήση κυψελών

Η ευρεία περιοχή κάλυψης ενός HAP μπορεί να υποδιαιρεθεί σε μικρότερες ζώνες κάλυψης, ή κυψέλες, με αποτέλεσμα την βελτίωση της συνολικής χωρητικότητας του συστήματος με τεχνικές επαναχρησιμοποίησης συχνότητας (Κεφάλαιο 1). Στο Σχήμα 3.6 φαίνονται δύο σενάρια κυψελωτών συστημάτων, όπου κάθε κυψέλη έχει ένα σταθμό βάσης στο κέντρο της και κάθε χρώμα αντιπροσωπεύει μια συχνότητα ή διαφορετική ομάδα συχνοτήτων. (Στην περίπτωση b, έχουμε μεγαλύτερη επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων). Η απόσταση επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων μεταξύ των οποίων το τοπικό περιβάλλον διάδοσης και ένας αποδεκτός λόγος σήματος προς θόρυβο και παρεμβολή (SINR). Η επίδοση ενός κυψελωτού HAP συστήματος δεν είναι ευαίσθητη στην ομοδιαλυτική παρεμβολή και είναι σταθερή μέσα στην περιοχή κάλυψής του [K3-5].



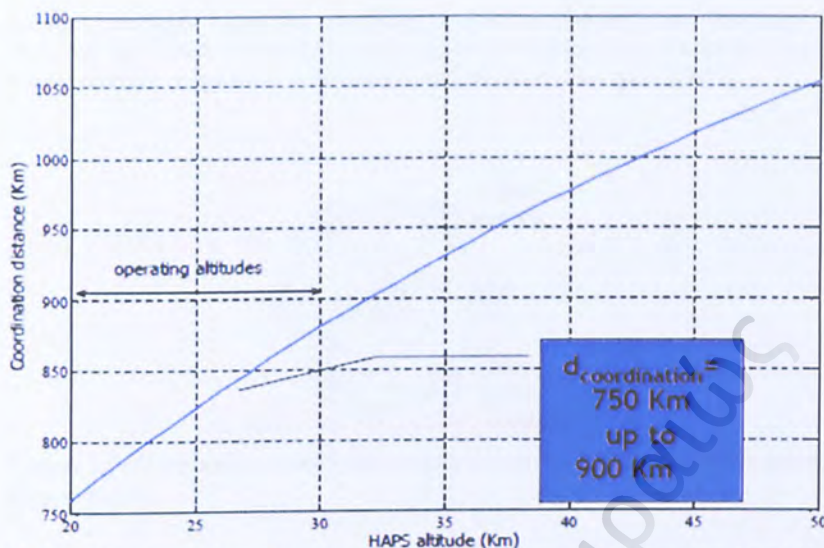
Σχήμα 3.6: Σενάρια επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων (κυψελωτό δίκτυο)

3.5.9 Μείωση του ύψους των κεραιών

Σε κυψελωτά συστήματα όπου γίνεται επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας, η μείωση του ύψους των κεραιών μπορεί να αποδειχθεί σημαντικό πλεονέκτημα ως προς τη μείωση της ομοδιαυλικής παρεμβολής, μεταξύ γειτονικών κυψελών. Κάτι τέτοιο όμως μπορεί να αναγκάσει τους σταθμούς βάσης να λειτουργήσουν σε NLOS συνθήκες [K3-2].

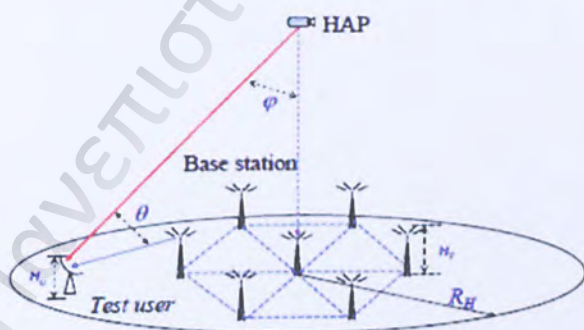
3.6 Κριτήρια Συνύπαρξης μεταξύ HAPs και Επίγειων Δικτύων

Οι σταθμοί βάσης των Επίγειων Δικτύων είναι δυνατόν να λειτουργήσουν μόνο έξω από το ορατό πεδίο της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, σύμφωνα με τα κριτήρια συνύπαρξης της ITU-R [K3-13][K3-14], (Σχήμα 3.7). Αυτό συνεπάγεται πολύ μεγάλες αποστάσεις διαχωρισμού, όπως για παράδειγμα στη σύσταση ITU-R F1501 [K3-13] όπου προτείνεται μια προκαθορισμένη αρχική απόσταση 772Km μεταξύ του στρατοσφαιρικού δικτύου και των σταθμών του Επίγειου Δικτύου, για στρατοσφαιρική πλατφόρμα στα 21Km. Απόσταση που θα έκανε την συνύπαρξη των δύο συστημάτων πρακτικά ανέφικτη.



Σχήμα 3.7: Αποστάσεις διαχωρισμού HAP - Επίγειων Δικτύων για διαφορετικά ύψη του HAP.

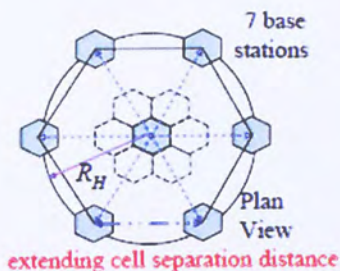
Μελέτες που έχουν γίνει έχουν δείξει ότι είναι εφικτή η υλοποίηση WiMax μέσω HAP και η χρήση από κοινού με τα Επίγεια Δίκτυα, της ίδιας ζώνης συχνοτήτων. Η επίδοση του συστήματος βελτιώνεται με τεχνικές μείωσης της ισχύος από το HAP προς την κυψέλη την οποία στοχεύει, με τη χρήση «έξυπνων κεραιών» [K3-5].



Σχήμα 3.8: Σενάριο ενός HAP με 7 επίγειους σταθμούς βάσης και έναν χρήστη

Το **Σχήμα 3.8** δείχνει το σενάριο ενός HAP με ένα επίγειο κυψελωτό δίκτυο 7 σταθμών βάσης [K3-12]. Υπάρχει μια σημαντική βελτίωση στο CIR για τους χρήστες, στην περίπτωση που αυξηθεί η απόσταση μεταξύ των κυψελών, (**Σχήμα 3.9**), (εφόσον αυξάνεται η απόσταση επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων), καθώς και στο CINR των επίγειων σταθμών. Μ'αυτόν τον τρόπο μπορεί να αντιμετωπιστεί η παρεμβολή μεταξύ των δύο συστημάτων. Επίσης, προκύπτει ότι το HAP μπορεί να

παρέχει σταθερή υπηρεσία, ανεξάρτητα από τη διάταξη των επίγειων σταθμών WiMAX (το CINR για το HAP μένει σχεδόν ανεπηρέαστο). Ο θόρυβος αποτελεί τον επικρατέστερο μηχανισμό παρεμβολής σε ένα HAP σύστημα [Κ3-12].



Σχήμα 3.9: Υλοποιήσεις κυψελωτών σταθμών βάσεων με διαφορετικές αποστάσεις διαχωρισμού

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται μια μοντελοποίηση σεναρίων συνύπαρξης μεταξύ ενός HAP και ενός επίγειου σταθμού βάσης τεχνολογίας WiMax στην ίδια ζώνη συχνοτήτων (3,5GHz), ανάλυση ζεύξης, και μελετώνται οι διαφορετικές περιπτώσεις παρεμβολών μέσα από ένα πρόγραμμα προσομοίωσης στο λογισμικό Matlab.

Κεφάλαιο 4

Μελέτη απόδοσης ευρυζωνικού δικτύου τεχνολογίας WiMAX σε HAPs και σε επίγεια συστήματα σε κοινή ζώνη συχνοτήτων (3,5GHz)

4.1 Εισαγωγή

Η παροχή WiMax από HAPs αποτελεί έναν καινοφανή τρόπο παροχής ευρυζωνικών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Τα HAPs έχουν προταθεί από την ITU να παράσχουν 3ης Γενιάς (3G) και μικροκυματική ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση (BWA) [K4-1]. Συγκεκριμένα, το 2007 η συνέλευση της ITU-R πήρε την απόφαση να συμπεριλάβει την τεχνολογία WiMax στο πλαίσιο των προτύπων του IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000). Ουσιαστικά αναγνώρισε επίσημα την τεχνολογία που εξήχθη από το πρότυπο IEEE 802.16, ενσωματώνοντάς την ως την 6η επίγεια ραδιο-επαφή του IMT-2000 [K4-2].

Τα επίγεια και τα στρατοσφαιρικά συστήματα έχουν το κάθε ένα τα δικά του πλεονεκτήματα ως προς την παροχή της τεχνολογίας WiMax. Είναι σημαντικό να μπορούσαν τα δύο συστήματα να συνυπάρξουν και να μοιραστούν τις ίδιες ζώνες συχνοτήτων, απ'τη στιγμή που η διαθεσιμότητα του φάσματος είναι περιορισμένη, κάτι που κάνει συχνό το φαινόμενο του διαμοιρασμού της συχνότητας.

Η χρήση των HAPs σαν σταθμούς βάσης για την παροχή WiMax σε ένα μεγαλύτερο υψόμετρο, μπορεί να αποδειχθεί ένας αποδοτικός τρόπος ανάπτυξης της υποδομής. Έχει αποδειχθεί ότι η παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών από τα HAPs στις μικροκυματικές ζώνες, απαιτεί μετάδοση LOS, με σημαντικό πλεονέκτημα στον προϋπολογισμό ζεύξης συγκριτικά με τους δορυφόρους, εξαιτίας της μικρότερης απόστασης διάδοσης και την πολύ ευρύτερη περιοχή κάλυψης σε σχέση με τα επίγεια συστήματα [K4-3]. Το WiMax στις πόλεις μπορεί να παρέχει ασύρματη πρόσβαση από τους επίγειους σταθμούς βάσης [K4-4], ενώ όταν υλοποιηθεί από τα HAPs εξυπηρετεί μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης, μειώνοντας παράλληλα τις υποδομές που συνήθως απαιτούνται για τα επίγεια δίκτυα, κάνοντας χρήση των μοναδικών χαρακτηριστικών των HAPs [K4-5].

Στο Κεφάλαιο 4 μελετάται η απόδοση ευρυζωνικού δικτύου τεχνολογίας WiMAX από HAPs και από επίγειους σταθμούς βάσης, στην κοινή ζώνη συχνοτήτων των 3,5GHz. Εξετάζονται διάφορα σενάρια συνύπαρξης των δύο συστημάτων και προκύπτει ότι η απόδοση επηρεάζεται από παράγοντες όπως η εκπεμπόμενη ισχύς, το εύρος δέσμης των κεραιών, το μοντέλο για το κανάλι διάδοσης και το επίπεδο της θερμικής παρεμβολής.

4.2 Μοντέλα Καναλιού για Σταθερές Ασύρματες Εφαρμογές

Μια σημαντική προϋπόθεση για την αξιολόγηση της τεχνολογίας των Σταθερών Ασύρματων Ευρυζωνικών Εφαρμογών είναι η δυνατότητα να έχουμε μια ακριβή περιγραφή του ασύρματου καναλιού. Τα μοντέλα καναλιού είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτώμενα από την ραδιο-αρχιτεκτονική. Για παράδειγμα, στα συστήματα 1^{ης} γενιάς, η αρχιτεκτονική ενός υπερ-κυττάρου χρησιμοποιείται όταν ο Σταθμός Βάσης (BTS) και ο συνδρομητής είναι σε LOS κατάσταση και το σύστημα χρησιμοποιεί μία κυψέλη χωρίς ομο-διαυλική παρεμβολή. Για τα συστήματα 2^{ης} γενιάς, μια

κλιμακούμενη αρχιτεκτονική πολλαπλών κυττάρων με NLOS συνθήκες γίνεται πλέον αναγκαία.

Το υποπρότυπο IEEE 802.16a περιγράφει τη διαδικασία της επικοινωνίας μεταξύ σταθμών που δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή, στις συχνότητες από 2-11 GHz, όπου είναι δυνατή η δημιουργία συνδέσεων χωρίς οπτική επαφή πομπού-δέκτη, παρόλο που δεν εκμεταλλευόμαστε αυτό το πλεονέκτημα από το HAP. Στην συγκεκριμένη μελέτη θεωρούμε το μοντέλο καναλιού Hata-Okumura, για την περιοχή ημιαστικής κάλυψης (SAC) του HAP, το οποίο είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο μοντέλο απωλειών διαδρομής για την πρόβλεψη της ισχύος του σήματος και την προσομοίωση σε μακρο-κυψελωτά (macrocellular) περιβάλλοντα [K4-9], [K4-10]. Το μοντέλο αυτό περιγράφεται στην ενότητα που ακολουθεί.

4.2.1 Μοντέλο Καναλιού στην Ημιαστική Περιοχή Κάλυψης (SAC) του HAP

Το μοντέλο Hata-Okumura ισχύει για το εύρος συχνοτήτων 500-1500 MHz, για αποστάσεις δέκτη μεγαλύτερες από 1 Km από το σταθμό βάσης, και για ύψη της κεραίας του σταθμού βάσης μεγαλύτερα από 30 m. Υπάρχει μια επεξεργασία για το μοντέλο Hata-Okumura, που διευρύνει το φάσμα συχνοτήτων μέχρι τα 2000 MHz [K4-11]. Διαπιστώθηκε ότι τα μοντέλα αυτά δεν είναι κατάλληλα για χαμηλότερα ύψη κεραίων του σταθμού βάσης, και για λοφώδη ή μέτρια έως πυκνή δασώδη έκταση. Για τη διόρθωση των περιορισμών αυτών, προτείνεται ένα μοντέλο που παρουσιάζεται στο [K4-7]. Το μοντέλο περιλαμβάνει τις τρεις πιο κοινές κατηγορίες εδαφών που βρέθηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ωστόσο, άλλες υπο-κατηγορίες και διαφορετικοί τύποι εδαφών μπορεί να βρεθούν σε όλο τον κόσμο. Η κατηγορία μέγιστων απωλειών διάδοσης μπορεί να περιλαμβάνει λοφώδεις εκτάσεις με μέτρια έως πυκνή πυκνότητα δέντρων (κατηγορία A), η κατηγορία ελάχιστων απωλειών διάδοσης περιλαμβάνει ως επί το πλείστον επίπεδες εκτάσεις με ελαφρά πυκνότητα δέντρων (κατηγορία C). Ενδιάμεση κατάσταση απωλειών διάδοσης περιλαμβάνεται στην κατηγορία B. Τα εκτεταμένα πειραματικά δεδομένα συλλέχθηκαν από την «AT & T Wireless Services» στις Ηνωμένες Πολιτείες, σε 95 υφιστάμενες μακρο-κυψέλες (macrocells) στα 1,9 GHz. Για μια δεδομένη κοντινή απόσταση d_0 , η απώλεια διάδοσης του μέσου (PL σε dB) εξάγεται στατιστικά από τα πειραματικά αυτά δεδομένα:

$$PL_m = A + 10\gamma \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + s \quad (1) \text{ για } d > d_0,$$

Όπου $A = 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)$ και λ το μήκος κύματος σε m, γ ο εκθέτης απωλειών

διάδοσης (path-loss exponent), με $\gamma = a - bh_b + \frac{c}{h_b}$ για h_b (ύψος του σταθμού βάσης

σε m) μεταξύ των 10m και 80m, $d_0 = 100m$ και a, b, c είναι σταθερές που εξαρτώνται από την κατηγορία του εδάφους που δίνεται στο [K4-7] και παρατίθενται στη συνέχεια στον **Πίνακα 4.1**:

Model parameter	Terrain Type A	Terrain Type B	Terrain Type C
A	4.6	4	3.6
B	0.0075	0.0065	0.005
C	12.6	17.1	20

Πίνακας 4.1: Σταθερές του εμπειρικού μοντέλου Hata-Okumura σε Ημισιαστική Περιοχή Κάλυψης, για διαφορετικές κατηγορίες εδαφών

Η επίδραση της σκίασης αναπαρίσταται με το s , το οποίο ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή. Η τυπική απόκλιση για το s είναι μεταξύ 8.2 και 10.6dB, ανάλογα με τον τύπο του εδάφους ή την πυκνότητα των δέντρων [K4-7]. Στην παρούσα μελέτη λαμβάνεται ίση με 9.4 dB.

4.2.2 Διορθωτικοί όροι Ύψους Κεραίας Λήψης και Συχνότητας

Το παραπάνω μοντέλο στηρίζεται στις συχνότητες κοντά στα 2GHz και για ύψος της κεραίας λήψης κοντά στα 2m. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο για άλλες συχνότητες και για ύψη της κεραίας λήψης μεταξύ 2 και 10 m, πρέπει να συμπεριληφθούν διορθωτικοί όροι.

Το IEEE802.16a περιλαμβάνει τους δύο διορθωτικούς όρους ΔPL_h και ΔPL_f [K4-8], για να καθορίσει το PL με μεγαλύτερη ακρίβεια για τα ύψη της κεραίας και για τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται από το IEEE802.16a.

Το μοντέλο απωλειών διάδοσης (σε dB) με τους διορθωτικούς όρους γίνεται:

$$PL_{modified} = PL_m + \Delta PL_f + \Delta PL_h \quad (2)$$

όπου PL_m οι απώλειες διάδοσης που δίνονται από τη σχέση (1) [K4-7], ΔPL_f (σε dB) ο διορθωτικός όρος για την συχνότητα [K4-12, K4-13] που δίνεται από την σχέση:

$$\Delta PL_f = 6 \log\left(\frac{f}{2000}\right) \quad (3)$$

όπου f η συχνότητα σε MHz και ΔPL_h ο διορθωτικός όρος για το ύψος της κεραίας λήψης, που δίνεται από τις σχέσεις:

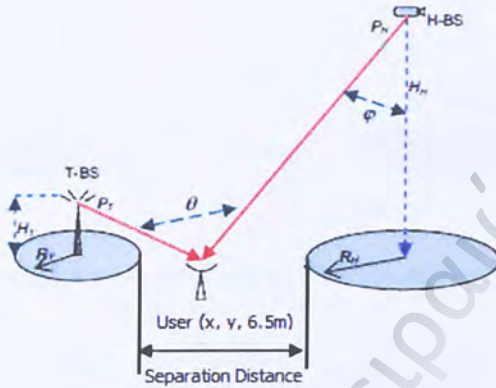
$$\Delta PL_h = -10.8 \log\left(\frac{h}{2}\right) \quad (4) \quad \text{για τις κατηγορίες A και B}$$

$$\Delta PL_h = -20 \log\left(\frac{h}{2}\right) \quad (5) \quad \text{για την κατηγορία C}$$

όπου h το ύψος της κεραίας λήψης μεταξύ 2 και 10 m.

4.3 Παράμετροι του συστήματος

Στο Σχήμα 4.2 φαίνεται ένα σενάριο συνύπαρξης ενός στρατοσφαιρικού σταθμού βάσης WiMax (H-BS: HAP Base Station) και ενός επίγειου σταθμού βάσης WiMax (T-BS: Terrestrial Base Station), σε μία σταθερή απόσταση διαχωρισμού.



Σχήμα 4.2: Βασικό σενάριο παροχής WiMAX μέσω επίγειου και στρατοσφαιρικού σταθμού βάσης

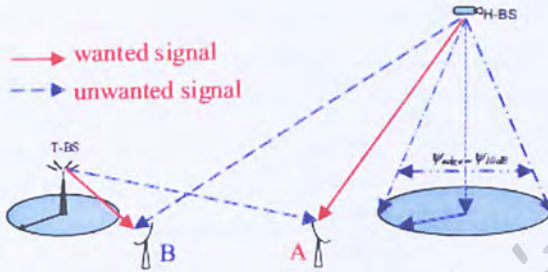
Ορίζουμε ως απόσταση διαχωρισμού, την απόσταση από την δεξιά άκρη της περιοχής κάλυψης (EOC: Edge Of Coverage) του T-BS, στην αριστερή άκρη της περιοχής κάλυψης του H-BS. Τα κέρδη των κεραιών του H-BS $A_H(\varphi)$, σε μια γωνία φ σε σχέση με την κατεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας της (boresight) και της επίγειας κεραιάς λήψης $A_U(\theta)$ σε μια γωνία θ από την κατεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας της κεραιάς αυτής, δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις [K4-3]:

$$A_H(\varphi) = G_H (\cos(\varphi))^{n_H} \quad (6)$$

$$A_U(\theta) = G_U (\max[(\cos(\theta))^{n_U}, s_f]) \quad (7)$$

Όπου G_H και G_U είναι τα κέρδη της κατεύθυνσης μέγιστης ακτινοβολίας του H-BS και της κεραιάς λήψης του χρήστη. Όπου τα n_H και n_U ελέγχουν τους ρυθμούς εξασθένισης της ισχύος των κεντρικών λοβών (power roll-off rate). Το s_f σε dB είναι ένα ενδεικτικό/θεωρητικό κατώτατο επίπεδο των πλευρικών λοβών (notional flat sidelobe floor). Λόγω του μεγάλου εύρους της δέσμης της κεραιάς του HAP, το s_f δεν λαμβάνεται υπόψη στη μελέτη, καθώς επηρεάζει περιοχές πολύ έξω από την περιοχή κάλυψης. Για την βελτίωση της απόδοσης στα άκρα της περιοχής κάλυψης, χρησιμοποιείται κατευθυντική κεραιά με 10 dB εξασθένιση του εύρους δέσμης για το HAP. Η κατεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας της κεραιάς είναι προς το σημείο προβολής του HAP στο έδαφος. Χρησιμοποιείται ένα κυκλικό συμμετρικό διάγραμμα ακτινοβολίας [K4-14] και το εύρος δέσμης των 10 dB, ψ_{10dB} , ισούται με την γωνία

ψ_{edge} που σχηματίζεται με την άκρη της περιοχής κάλυψης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3: Περίπτωση A παρεμβολή από το T-BS, περίπτωση B παρεμβολή από το H-BS.

Το μοντέλο διάδοσης για το HAP που χρησιμοποιείται στη μελέτη είναι οι απώλειες ελεύθερου χώρου (Free-Space-Path-Loss (FSPL)), όπως φαίνεται στην σχέση (8):

$$PL_H = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (8)$$

Το ύψος του HAP έχει σαν αποτέλεσμα μια μεγάλη τιμή της ελάχιστης γωνίας ανύψωσης στα άκρα της περιοχής κάλυψης, συνεπώς η περίθλαση (diffraction) και η σκίαση (shadowing) δεν περιλαμβάνονται. Η εκπεμπόμενη ισχύς του επίγειου σταθμού βάσης WiMax είναι 40dBm, ο οποίος έχει μια τυπική ακτίνα 7 Km [K4-6].

Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 4.2.1, θεωρούμε ότι το μοντέλο απωλειών διάδοσης για το T-BS, για την ζώνη ημιστιτικής κάλυψης, εκφράζεται από τη σχέση (2), βάσει του υποπροτύπου της IEEE 802.16a [K4-6]. Η σχέση (2) λοιπόν για το T-BS γίνεται:

$$PL_T = PL_m + \Delta PL_f + \Delta PL_h \quad (9)$$

όπου PL_T οι απώλειες διάδοσης για το T-BS, PL_m οι γενικές απώλειες του μέσου μετάδοσης, που δίνονται από τη σχέση (1) και ΔPL_f , ΔPL_h οι διορθωτικοί όροι που δίνονται από τις σχέσεις (3)-(5).

Οι παράμετροι στο μοντέλο σχετίζονται με τις τρεις κατηγορίες εδαφών. Στην μελέτη χρησιμοποιούμε παραμέτρους της κατηγορίας C (ως επί το πλείστον επίπεδη έκταση με μικρή πυκνότητα δέντρων), για την προσομοίωση των υλοποιήσεων του T-BS. Σημαντικές παράμετροι του συστήματος στην κάτω ζεύξη, για το H-BS, T-BS και τον επίγειο δοκιμαστικό χρήστη φαίνονται στον Πίνακα 4.4:

Parameter	H-BS	T-BS
Coverage Radius	30 km (R_H)	7 km (R_T)
Transmitter Height	17 km (H_H)	30 m (H_T)
Transmitter Power	40 dBm (P_H)	40 dBm (P_T)
Antenna Gain	3 dBi (G_H)	7 dBi (A_T)
Roll-off rate	3.3 (n_H)	N/A
Antenna efficiency	80%	
User roll off rate	58 (n_U)	
User boresight gain	18 dBi (G_U)	
User Antenna Height	6.5 m (H_U)	
Sidelobe level	-30 dB (s_f)	
Bandwidth	7 MHz	
Frequency	3.5 GHz	
Noise Power	-107dBm (N_F)	

Πίνακας 4.4: Παράμετροι του συστήματος

4.4 Μοντελοποίηση σεναρίων

Έχουμε δύο βασικά σενάρια τα οποία εξετάζονται, όπως φαίνεται στο (Σχήμα 4.3). Στην περίπτωση Α, θεωρούμε ένα δοκιμαστικό χρήστη στην περιοχή κάλυψης του HAP, ο οποίος λαμβάνει ένα επιθυμητό σήμα από το HAP (κόκκινο βέλος) και ένα ανεπιθύμητο σήμα παρεμβολής από τον επίγειο σταθμό βάσης (μπλε διακεκομμένο βέλος). Στην περίπτωση Β, θεωρούμε ότι ο δοκιμαστικός χρήστης, στην περιοχή κάλυψης του επίγειου σταθμού βάσης, λαμβάνει ένα επιθυμητό σήμα από τον επίγειο σταθμό (κόκκινο βέλος) και ένα ανεπιθύμητο σήμα παρεμβολής από το HAP (μπλε διακεκομμένο βέλος).

4.4.1 Περίπτωση Α: Παρεμβολή από το T-BS, όταν ο χρήστης επικοινωνεί με το H-BS

Η απόδοση του συστήματος προσδιορίζεται με τους λόγους CNR , $CINR$ και INR (Κεφάλαιο 3), για την κάτω ζεύξη. Τα CNR , $CINR$ και INR υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους:

$$CNR_H = \frac{C}{N} = \frac{P_H A_H(\varphi) A_U(\theta_H) PL_H}{N_F} \quad (10)$$

$$CINR_H = \frac{C}{N+I} = \frac{P_H A_H(\varphi) A_U(\theta_H) PL_H}{N_F + P_T A_T A_U(\theta_T) PL_T} \quad (11)$$

$$INR_H = \frac{I}{N} = \frac{P_T A_T A_U(\theta_T) PL_T}{N_F} \quad (12)$$

Όπου P_H και P_T είναι οι εκπεμπόμενες ισχύες των H-BS και T-BS, N_F το επίπεδο θερμικού θορύβου, A_T το κέρδος εκπομπής του T-BS. Θεωρούμε ότι ο δοκιμαστικός χρήστης έχει κατεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας προς το H-BS, συνεπώς εδώ η γωνία θ_H ισούται με μηδέν και η γωνία φ και θ (γωνία που σχηματίζεται από τον) μπορούν να υπολογιστούν από τον νόμο των συνημιτόνων. Τα PL_H (8) και PL_T (9) αναπαριστούν τις γραμμικές τιμές των απωλειών διάδοσης.

Το *INR* συνήθως χρησιμοποιείται από ρυθμιστικούς οργανισμούς, όπως την ITU σαν ένας τρόπος αξιολόγησης των επιπτώσεων των παρεμβολών από ένα σύστημα σε ένα άλλο. Το κριτήριο της συνολικής επιτρεπτής παρεμβολής στην παρούσα μελέτη θεωρείται το 10% της ισχύος του θορύβου, όπως αναφέρεται και από την ITU, δηλαδή το κατώφλι του *INR* είναι -10 dB. Υπέρβαση αυτού του κατωφλίου, σημαίνει ότι το ραδιο-φάσμα δεν είναι κανονικά διαμοιρασμένο στην εν λόγω γεωγραφική περιοχή.

4.4.2 Περίπτωση Β: Παρεμβολή από το H-BS, όταν ο χρήστης επικοινωνεί με το T-BS

Ο χρήστης μπορεί να χρειαστεί να επικοινωνήσει με το T-BS, όταν είναι μακριά από την περιοχή κάλυψης του H-BS και μέσα στην περιοχή κάλυψης του T-BS. Στην περίπτωση αυτή το σήμα από το H-BS δρα σαν παρεμβολή, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.3**.

Ομοίως με παραπάνω, τα *CNR*, *CINR* και *INR* υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους:

$$CNR_T = \frac{C}{N} = \frac{P_T A_T A_U(\theta_T) PL_T}{N_F} \quad (13)$$

$$CINR_T = \frac{C}{N+I} = \frac{P_T A_T A_U(\theta_T) PL_T}{N_F + P_H A_H(\varphi) A_U(\theta_H) PL_H} \quad (14)$$

$$INR_T = \frac{I}{N} = \frac{P_H A_H(\varphi) A_U(\theta_H) PL_H}{N_F} \quad (15)$$

Στην περίπτωση αυτή ο χρήστης έχει κατεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας προς το T-BS, συνεπώς εδώ η γωνία θ_T ισούται με μηδέν και οι γωνίες θ_H και φ μπορεί να υπολογιστούν από τον νόμο των συνημιτόνων.

4.5 Ανάλυση της απόδοσης του συστήματος

4.5.1 Υλοποίηση στο λογισμικό Matlab

Η ανάλυση της απόδοσης του συστήματος έγινε με την υλοποίηση κώδικα στο λογισμικό Matlab. Έγινε εισαγωγή των δεδομένων των **Πινάκων 4.1** και **4.4**, καθώς και των σχέσεων που περιγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Δημιουργήθηκαν ξεχωριστές συναρτήσεις για τον υπολογισμό των παρακάτω:

1. Αθροιστικής Συνάρτησης Κατανομής (CDF: Cumulative Distribution Function) του *CNR* για τις περιοχές κάλυψης των H-BS και T-BS αντίστοιχα.

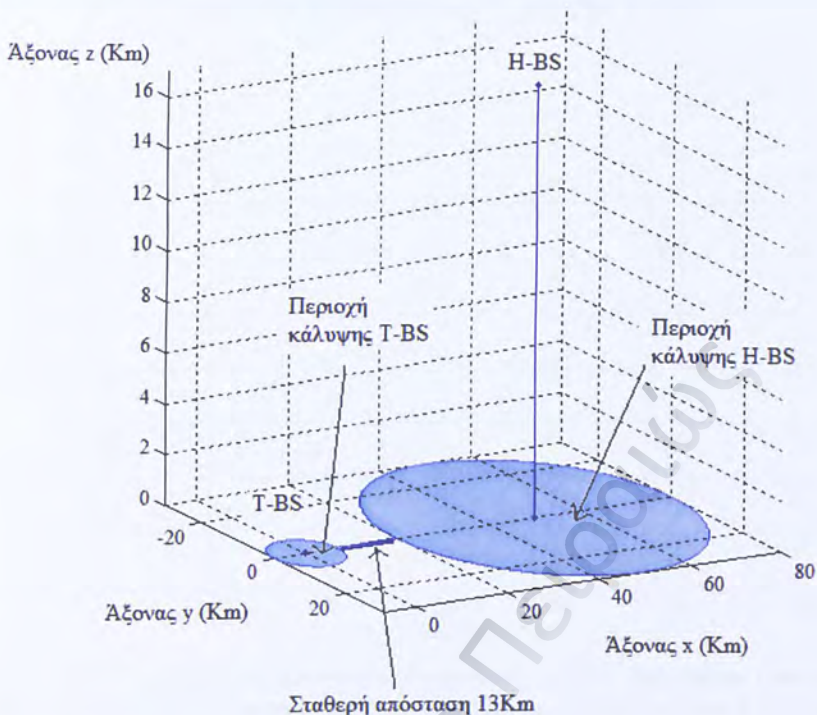
2. Ισοϋψών καμπυλών (contour plot) του $CINR$ για το H-BS για παρεμβολή από το T-BS
3. Ισοϋψών καμπυλών (contour plot) του $CINR$ για το T-BS για παρεμβολή από το H-BS
4. Το $CINR$ στο αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS και στα άκρα της περιοχής κάλυψης του T-BS, για μειούμενη απόσταση διαχωρισμού των δύο σταθμών βάσεων
5. Το INR στο αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS και στα άκρα της περιοχής κάλυψης του T-BS, για μειούμενη απόσταση διαχωρισμού των δύο σταθμών βάσεων
6. Το $CINR$ στο αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS και η απόδοση του INR_{best} του T-BS, για μειούμενη απόσταση διαχωρισμού και για ελεγχόμενη εκπεμπόμενη ισχύ από το H-BS
7. Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF) του $CINR_r$ για απόσταση διαχωρισμού 0 Km, για καθορισμένη και για ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής του H-BS
8. Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF) του $CINR_r$ για απόσταση διαχωρισμού -37 Km, για καθορισμένη και για ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής του H-BS
9. Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF) του $CINR_H$ για απόσταση διαχωρισμού 0 Km, για καθορισμένη και για ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής του H-BS
10. Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF) του $CINR_H$ για απόσταση διαχωρισμού -37 Km, για καθορισμένη και για ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής του H-BS

Κατά την εκτέλεση του κώδικα, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη της επιλογής ενός εκ των τριών τύπων του εδάφους, όπως αυτοί περιγράφηκαν στην ενότητα 4.2.1. Ανάλογα με την επιλογή, εισάγονται στο κυρίως πρόγραμμα οι αντίστοιχες σταθερές του εμπειρικού μοντέλου Hata-Okumura σε Ημιαστική Περιοχή Κάλυψης, για τη συγκεκριμένη κατηγορία εδάφους. Στη συνέχεια, με νέες επιλογές του χρήστη, γίνεται ο υπολογισμός των παραπάνω ζητούμενων.

Ο κώδικας παρατίθεται στο Παράρτημα Γ.

4.5.2 Σταθερή απόσταση μεταξύ των δύο σταθμών βάσεων

Θεωρούμε για πρώτο σενάριο σταθερή απόσταση μεταξύ των δύο σταθμών βάσεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5.

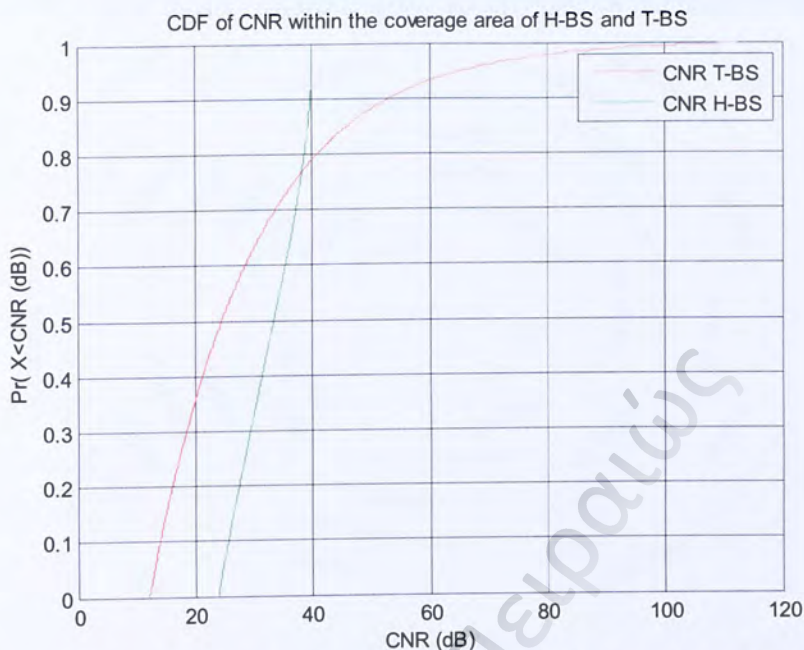


Σχήμα 4.5: Σταθερή απόσταση μεταξύ των δύο σταθμών βάσεων (απεικόνιση των θέσεων των δύο σταθμών βάσεων στο επίπεδο x-y-z)

Έγινε η θεώρηση ότι το T-BS βρίσκεται στο σημείο $(0, 0, 0.03\text{Km})$ και το H-BS στο σημείο $(50\text{Km}, 0, 17\text{Km})$, στο επίπεδο x-y-z. Οι κύκλοι αναπαριστούν τις περιοχές κάλυψης με ακτίνες 7 Km και 30 Km για το T-BS και το H-BS αντίστοιχα. Η μεταξύ τους απόσταση είναι σταθερή στα 13 Km (από το δεξί άκρο της περιοχής κάλυψης του T-BS μέχρι το αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS).

Τα αποτελέσματα που παρατίθενται στη συνέχεια, προέκυψαν επιλέγοντας την **κατηγορία εδάφους C** (η κατηγορία ελάχιστων απωλειών διάδοσης-επίπεδες εκτάσεις με ελαφρά πυκνότητα δέντρων). Θεωρήθηκε ύψος της κεραίας λήψης του χρήστη τα 6.5m [Κ4-8]. Ο χρήστης έχει αρχική θέση στο αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του T-BS, δηλαδή συντεταγμένες $(-7\text{Km}, 0, 0.0065\text{Km})$ και με βήμα τα 30m γίνεται υπολογισμός του CNR από το αριστερό, μέχρι το δεξί άκρο της περιοχής κάλυψης του T-BS με βάση την σχέση (13). Το ίδιο γίνεται και για την περιοχή κάλυψης του H-BS: ο χρήστης έχει αρχική θέση το αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS, δηλαδή συντεταγμένες $(20\text{Km}, 0, 0.0065\text{Km})$ και με βήμα τα 30m γίνεται υπολογισμός του CNR από το αριστερό μέχρι το δεξί άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS με βάση την σχέση (10).

Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF: Cumulative Distribution Function) του CNR μέσα στην περιοχή κάλυψης του H-BS στην περίπτωση A και του T-BS στην περίπτωση B, φαίνεται στο **Σχήμα 4.6**.

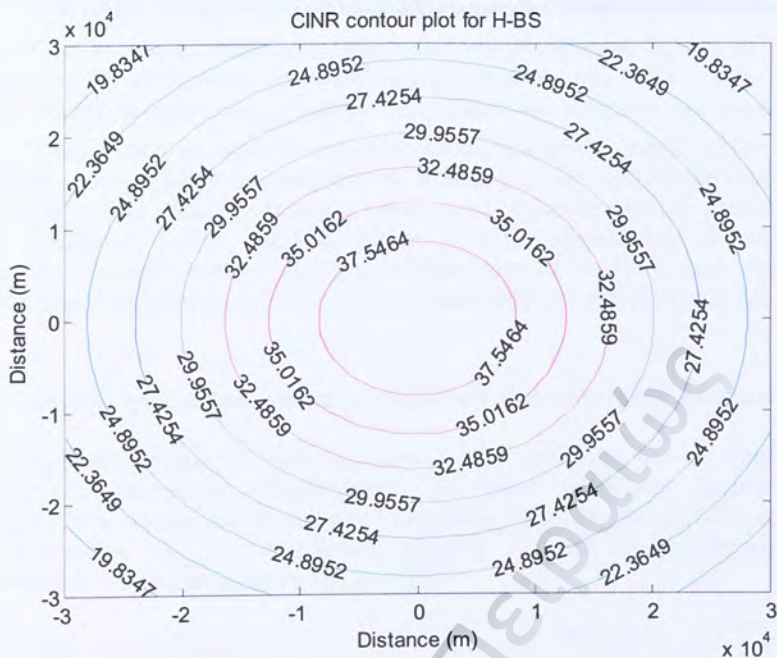


Σχήμα 4.6: Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF: Cumulative Distribution Function) του *CNR* μέσα στην περιοχή κάλυψης του H-BS και του T-BS (ακτίνα κάλυψης του H-BS 30 Km, ακτίνα κάλυψης του T-BS 7 Km)

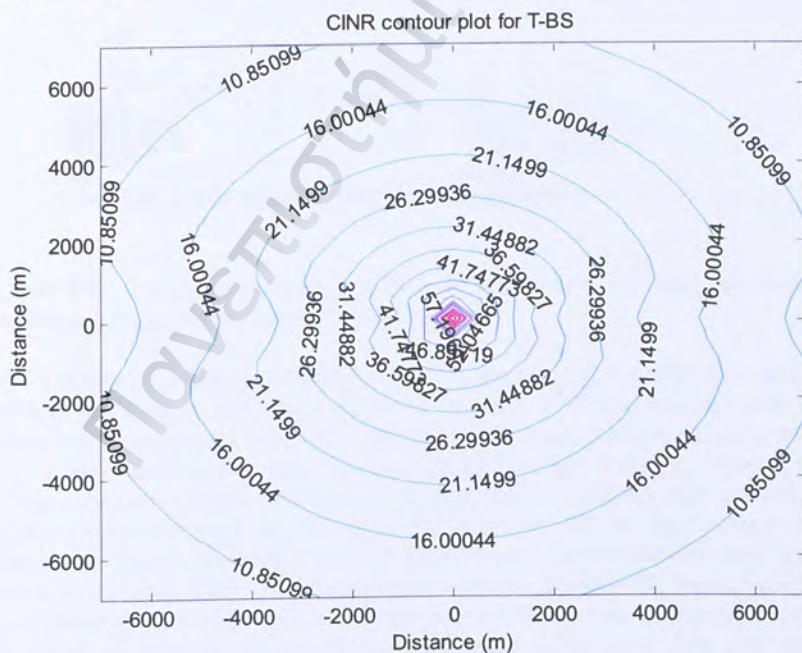
Περίπου το 80% των χρηστών στην κάλυψη του H-BS μπορεί να έχει καλύτερο *CNR* σε σχέση με την κάλυψη του T-BS. Με ένα NLOS μοντέλο διάδοσης της επίγειας WiMAX υλοποίησης, οι χρήστες μπορούν να έχουν *CNR* τουλάχιστον 10dB στο άκρο της περιοχής κάλυψης του T BS. Συγκρίνοντας τις αποδόσεις στα άκρα για τα H-BS και T-BS, το H-BS μπορεί να επωφεληθεί από το ύψος του, χρησιμοποιώντας την LOS διάδοση και να βελτιώσει την επίδοσή του.

Κατά αντιστοιχία με τα προηγούμενα, έγιναν υπολογισμοί του *CINR* στην περιοχή κάλυψης του H-BS σε διάφορα σημεία στο x-y επίπεδο και στη συνέχεια με την βοήθεια της συνάρτησης “*contour*” του Matlab σχεδιάστηκαν οι ισούψεις καμπύλες. Το ίδιο έγινε και για την περιοχή κάλυψης του T-BS.

Η απόδοση του *CINR* για το H-BS και το T-BS φαίνεται στα **Σχήματα 4.7** και **4.8** αντίστοιχα, όπου τονίζονται οι επιδράσεις των παρεμβολών.



Σχήμα 4.7: Ισοϋψείς καμπύλες (contour plot) του *CINR* για το H-BS για παρεμβολή από το T-BS

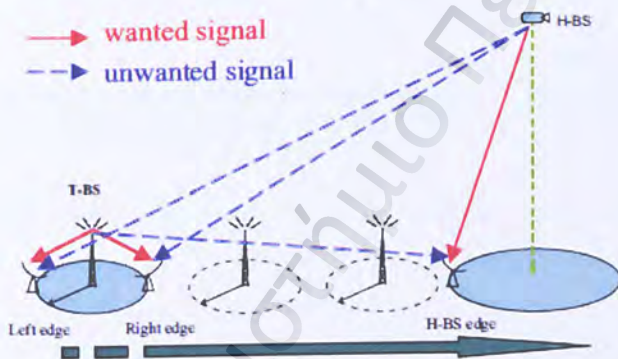


Σχήμα 4.8: Ισοϋψείς καμπύλες (contour plot) του *CINR* για το T-BS για παρεμβολή από το H-BS

Η καμπύλη $CINR_H$ διατηρεί κυκλική συμμετρία, καθώς το σήμα παρεμβολής από το T-BS είναι σημαντικά μετριασμένο από τους πλευρικούς λοβούς της κεραίας του χρήστη. Αντίθετα, στην αριστερή περιοχή κάλυψης του T-BS η καμπύλη του $CINR_T$ συρρικνώνεται προς το σταθμό βάσης υπό την επίδραση των παρεμβολών από το H-BS, επειδή το σήμα από το H-BS εισέρχεται στον κύριο λοβό της κεραίας του χρήστη και η έλλειψη σκίασης έχει σαν αποτέλεσμα τις υψηλότερες παρεμβολές. Ωστόσο, στο άλλο μισό της περιοχής κάλυψης το σήμα παρεμβολής μπαίνει πάντα στους πλευρικούς λοβούς της κεραίας του χρήστη, γεγονός που ελαττώνει την παρεμβολή, συνεπώς εδώ το περίγραμμα είναι σχετικά κυκλικό. Στην περίπτωση αυτή η περιοχή κάλυψης του T-BS είναι λιγότερο ευάλωτη στις παρεμβολές.

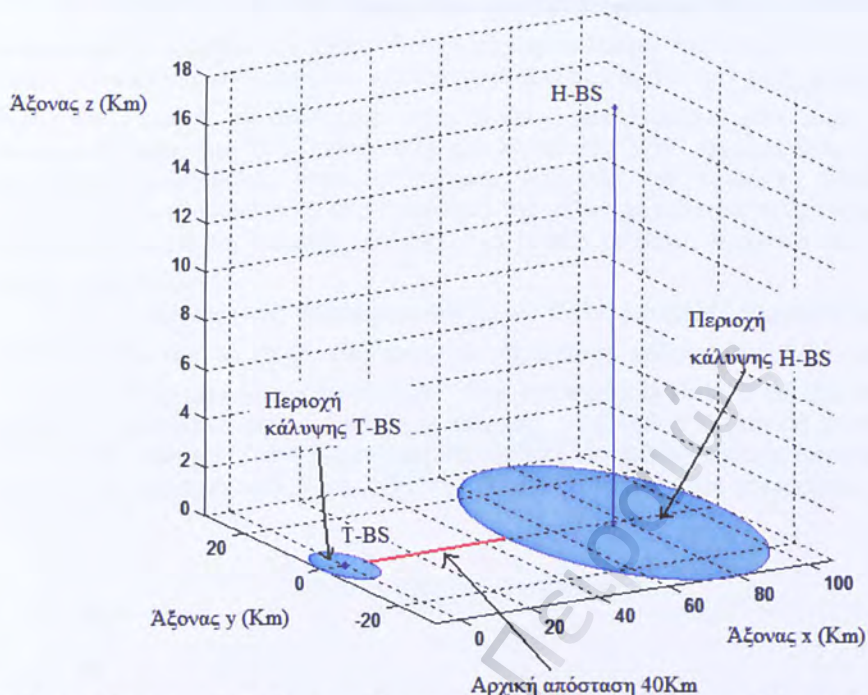
4.5.3 Μεταβλητές αποστάσεις μεταξύ των δύο σταθμών βάσεων

Είναι σημαντικό να γίνει αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος σε διαφορετικές αποστάσεις διαχωρισμού. Το βήμα αυτό θα βοηθήσει στη στοιχειοθέτηση ανάπτυξης ευρυζωνικής πρόσβασης WiMAX από το T-BS και το H-BS ταυτόχρονα, σε μία κατάλληλη περιοχή κάλυψης. Η περίπτωση αυτή μοντελοποιείται όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.9**.

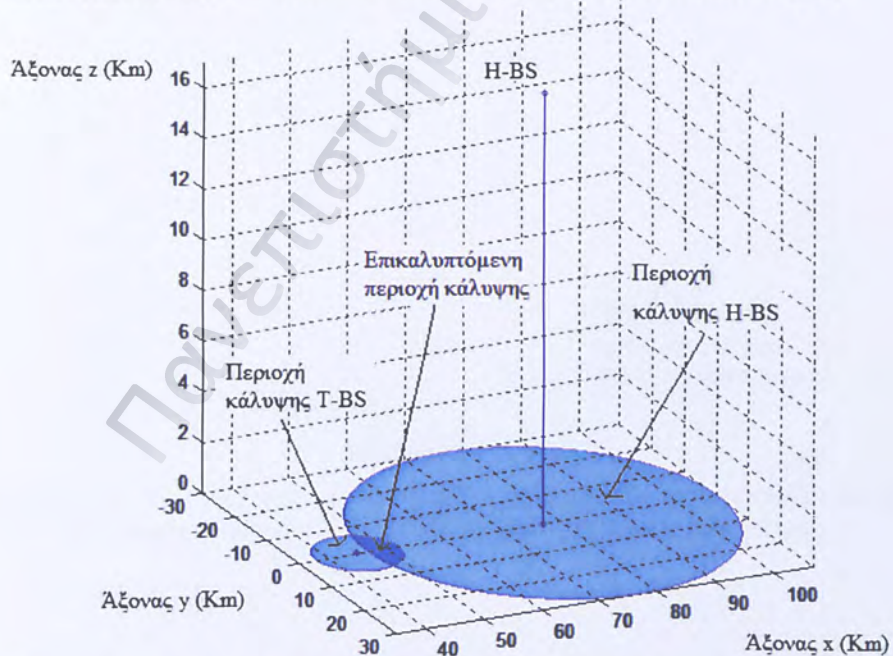


Σχήμα 4.9: Σενάρια απόδοσης στα άκρα των περιοχών κάλυψης για διαφορετικές αποστάσεις διαχωρισμού των H-BS και T-BS

Αρχικά, γίνεται η υπόθεση ότι η απόσταση διαχωρισμού θα είναι 40 Km όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.10**, και μετά θα μειώνεται η απόσταση διαχωρισμού, κάτι που φέρνει την περιοχή κάλυψης του T-BS πιο κοντά στην περιοχή κάλυψης του H-BS. Όταν η απόσταση διαχωρισμού γίνεται αρνητική, οι δύο περιοχές κάλυψης αρχίζουν να επικαλύπτονται, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.11**. Ο χρήστης εδώ καθορίζεται στη δεξιά και αριστερή άκρη της περιοχής κάλυψης του T-BS και την αριστερή άκρη της περιοχής κάλυψης του H-BS, για την αξιολόγηση των αποδόσεων των άκρων των περιοχών κάλυψης (EOC), τα οποία φαίνονται στο **Σχήμα 4.9**. Θεωρούμε ότι το T-BS «μετακινείται» στον άξονα x . Η αρχική του θέση είναι το σημείο $T=[0 \ 0 \ 30m]$ και με βήμα 1000 m γίνεται υπολογισμός των $CINR$ και INR στα άκρα των περιοχών κάλυψης, για κάθε μία από τις αποστάσεις διαχωρισμού.



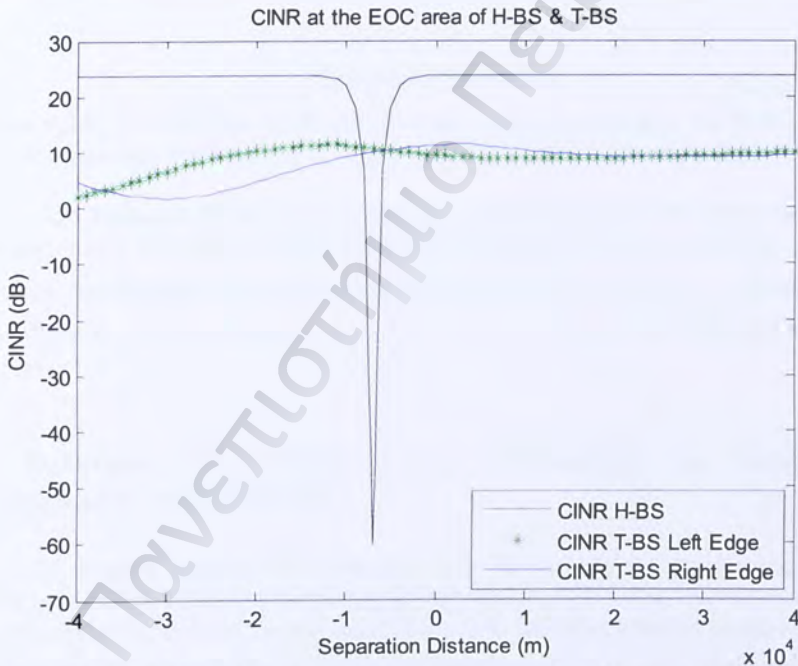
Σχήμα 4.10: Αρχική απόσταση διαχωρισμού 40 Km μεταξύ των δύο σταθμών βάσεων (απεικόνιση των θέσεων των δύο σταθμών βάσεων στο επίπεδο x-y-z)



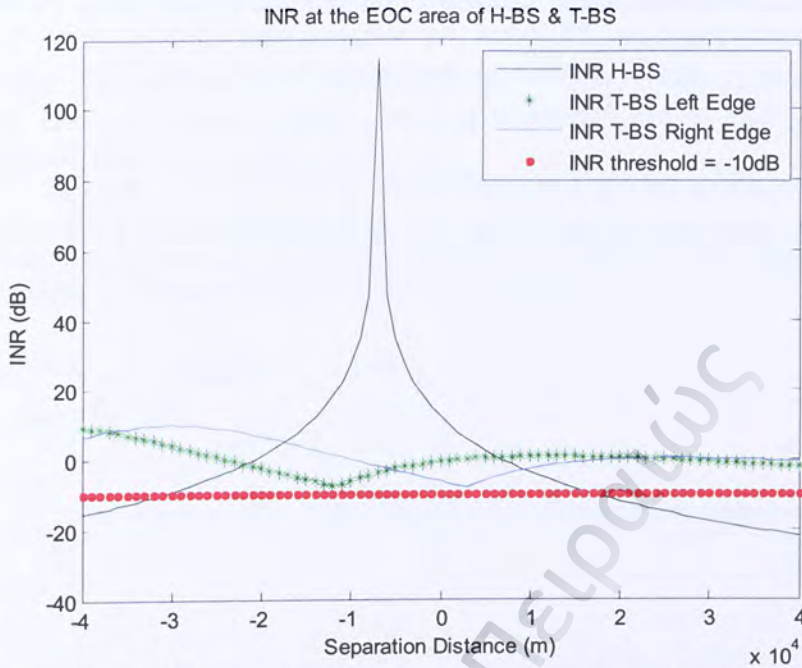
Σχήμα 4.11: Επικάλυψη των δύο περιοχών κάλυψης των σταθμών βάσεων (απεικόνιση των θέσεων των δύο σταθμών βάσεων στο επίπεδο x-y-z)

Η καμπύλη $CINR_H$ στο **Σχήμα 4.12** μεταβάλλεται αργά, μέχρι η απόσταση διαχωρισμού να μειωθεί στο μηδέν. Όταν η περιοχή κάλυψης του επίγειου WiMAX αρχίζει να επικαλύπτει το άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS, το $CINR_H$ μειώνεται ταχέως κάτω από 0 dB δεδομένου ότι ο χρήστης που λαμβάνει στην άκρη της περιοχής κάλυψης του H-BS είναι πολύ πιο κοντά στο T-BS και λαμβάνει πολύ περισσότερη παρεμβολή. Όταν η περιοχή κάλυψης του επίγειου WiMAX περιλαμβάνεται εξ ολοκλήρου στο εσωτερικό της περιοχής κάλυψης του H-BS, το $CINR_H$ (στην άκρη της περιοχής κάλυψης του H-BS) ανεβαίνει γρήγορα στο ίδιο επίπεδο όπως και πριν.

Στην δεξιά άκρη της περιοχής κάλυψης του T-BS, το $CINR_T$ συμπεριφέρεται πάντα καλύτερα από το $CINR_T$ στα αριστερά της περιοχής κάλυψης του T-BS, μέχρι η απόσταση διαχωρισμού να μειωθεί στα -7 Km, που σημαίνει ότι το T-BS βρίσκεται ακριβώς στο αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS. Είναι επειδή το σήμα από το H-BS εισέρχεται στον κύριο λοβό της κεραίας του χρήστη στο αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του T-BS, κάτι που οδηγεί σε υψηλότερες παρεμβολές και χαμηλό CINR.



Σχήμα 4.12: Το $CINR$ στο αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS και στα άκρα της περιοχής κάλυψης του T-BS, για μειούμενη απόσταση διαχωρισμού



Σχήμα 4.13: Το INR στο αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS και στα άκρα της περιοχής κάλυψης του T-BS, για μειούμενη απόσταση διαχωρισμού

Στο **Σχήμα 4.13** φαίνεται επίσης και η απόδοση του INR . Όταν η περιοχή κάλυψης του T-BS είναι εντελώς εκτός της περιοχής κάλυψης του H-BS, το INR_H στο άκρο της περιοχής κάλυψης είναι πολύ κατώτερο από το $INR_{threshold}$. Όταν έχουμε επικάλυψη των δύο περιοχών, το INR_T στο δεξί άκρο της περιοχής κάλυψης αυξάνεται.

4.6 Βελτίωση της απόδοσης της συνύπαρξης με ελεγχόμενη εκπεμπόμενη ισχύ του H-BS

Η μείωση της ισχύος εκπομπής του H-BS είναι ένας άμεσος τρόπος για τη μείωση της επίδρασης των παρεμβολών από το H-BS στις υλοποιήσεις του T-BS. Η μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος κατά ΔP_H σε dBm, η οποία λαμβάνει υπόψη τις αντίστοιχες αποστάσεις διαχωρισμού, προτείνεται αντί της σταθερής ισχύος εκπομπής P_H σε dBm. Πρώτα συγκρίνουμε τα INR_{T-L} στο αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του T-BS και INR_{T-R} αντίστοιχα στο δεξί άκρο, ώστε να προσδιορίσουμε τη χειρότερη και καλύτερη τιμή του INR από τις εξισώσεις (16) και (17).

$$INR_{T-worst} = \max(INR_{T-L}, INR_{T-R}) \quad (16)$$

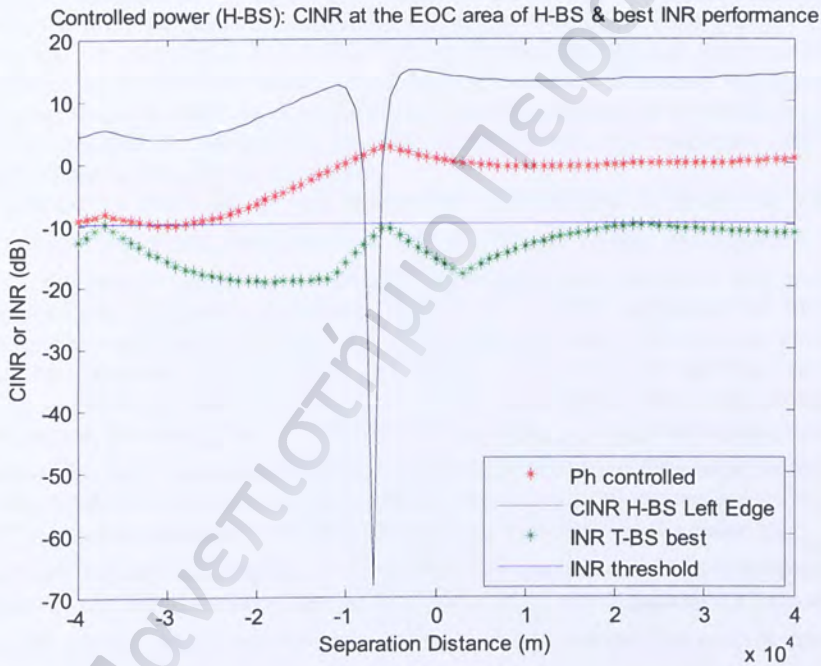
$$INR_{T-best} = \min(INR_{T-L}, INR_{T-R}) \quad (17)$$

Τότε η ελάχιστη μείωση ισχύος ΔP_H του H-BS, που προέρχεται από την εξίσωση (18), απαιτείται για την ικανοποίηση της συνθήκης το $INR_{T-worst}$ να είναι ίσο με το $INR_{T-threshold}$, ώστε το INR_{T-best} να είναι πάντα κάτω από το $INR_{T-threshold}$. Η ελεγχόμενη ισχύς δίνεται από την σχέση (19).

Το $CINR_H$ στο άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS είναι χειρότερο από την απόδοση που φαίνεται στο **Σχήμα 4.12**, αλλά εξακολουθεί να είναι αποδεκτή στα 15 dB. Εδώ η ισχύς εκπομπής του επίγειου WiMAX εξακολουθεί να είναι καθορισμένη στα 40dBm. Το **Σχήμα 4.14** δείχνει αυτήν την περίπτωση.

$$\Delta P_H = INR_{T-worst} - INR_{threshold} \quad (18)$$

$$P_{H_controlled} = P_H - \Delta P_H \quad (19)$$



Σχήμα 4.14: Το $CINR$ στο αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS και η απόδοση του INR_{best} του T-BS, για μειούμενη απόσταση διαχωρισμού και για ελεγχόμενη εκπεμπόμενη ισχύ από το H-BS.

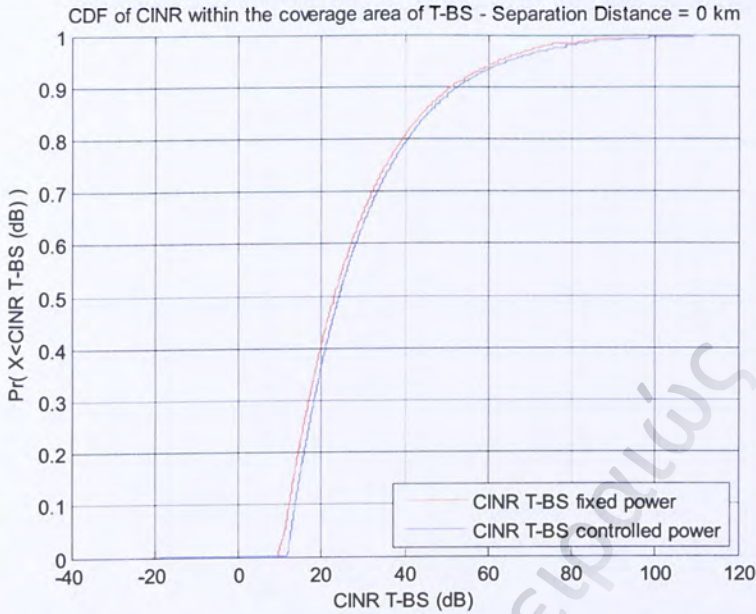
Το INR_{best} του T-BS όπως είναι αναμενόμενο, είναι κάτω από το $INR_{threshold} = -10\text{dB}$.

Στα Σχήματα 4.15, 4.16, 4.17 και 4.18, φαίνονται οι αποδόσεις των $CINR_H$ και $CINR_T$ μετά την ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής του H-BS. Μας ενδιαφέρουν οι δύο χειρότερες περιπτώσεις:

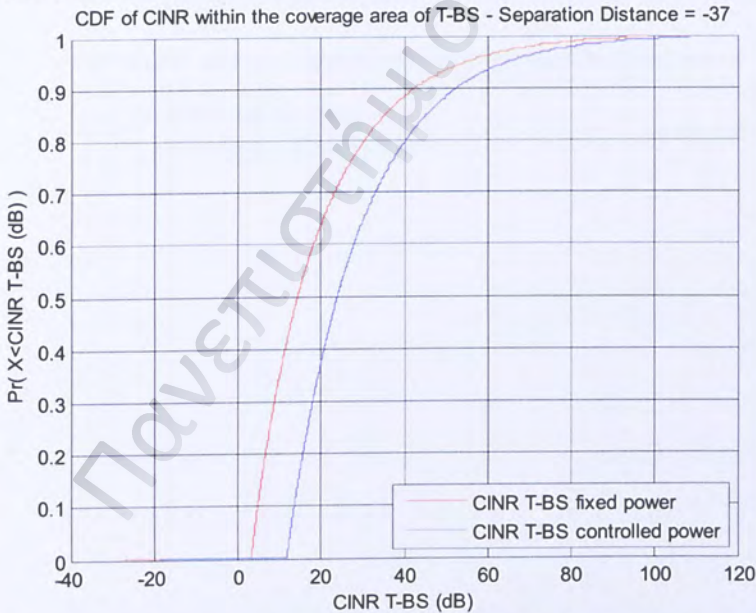
- Απόσταση διαχωρισμού 0 Km, όπου το T-BS βρίσκεται στο άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS
- Απόσταση διαχωρισμού -37 Km, όπου το T-BS είναι ακριβώς κάτω από το H-BS, δημιουργώντας ομόκεντρες επικαλυπτόμενες περιοχές κάλυψης. Λόγω της μειωμένης ισχύος εκπομπής του H-BS, η απόδοση του $CINR_H$ γίνεται χειρότερη, με αποτέλεσμα να έχουμε σχεδόν 10 dB μείωση της ισχύος όταν έχουμε επικάλυψη των δύο περιοχών.

Όταν η περιοχή κάλυψης του T-BS βρίσκεται εντελώς μέσα στην περιοχή κάλυψης του H-BS, το $CINR_H$ στο άκρο της περιοχής κάλυψης δεν είναι στη χειρότερη περίπτωση, καθώς χρήστες σε άλλες τοποθεσίες λαμβάνουν μεγαλύτερες ισχύες παρεμβολών από το T-BS. Με την πλήρη επικάλυψη, υπάρχει επίσης ένας πολύ μικρός αριθμός χρηστών που έχουν πολύ χαμηλό $CINR$ λόγω του ότι είναι πολύ κοντά στον επίγειο σταθμό βάσης (που σημαίνει ότι θα μπορούσε να συνδεθεί σε αυτόν, εάν μπορεί να επιλέξει). Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να δείξει ότι το HAP μπορεί αποτελεσματικά να συνυπάρξει με την επίγεια υλοποίηση, δεδομένης της αλληλοεπικάλυψης των περιοχών και την λειτουργία στις ίδιες ζώνες συχνοτήτων.

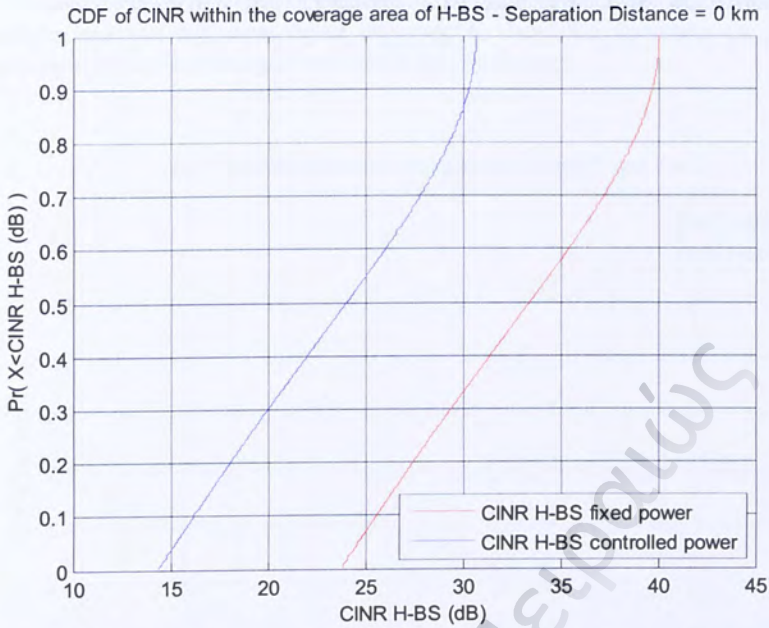
Μπορεί να φανεί ότι με την ελεγχόμενη εκπομπή από το H-BS, το $CINR_T$ βελτιώνεται σημαντικά (όπως φαίνεται από τις CDF του $CINR_T$ στα Σχήματα 4.15, 4.16.). Για παράδειγμα, όταν η απόσταση διαχωρισμού είναι ίση με -37 Km, πριν την εφαρμογή της ελεγχόμενης μετάδοσης ισχύος από το H-BS, οι χρήστες στο 20% της περιοχής κάλυψης του T-BS έχουν το $CINR$ μικρότερο από 7 dB περίπου. Ωστόσο, μετά την εφαρμογή του παραπάνω καθεστώτος, όλοι οι τελικοί χρήστες έχουν το $CINR$ περισσότερο από 12 dB περίπου. Εξάλλου ο κύριος λόγος εφαρμογής της ελεγχόμενης εκπομπής είναι η διασφάλιση ότι το $INR_{threshold}$ της συνύπαρξης των δύο συστημάτων δεν σημειώνει υπέρβαση για το επίγειο σύστημα. Έτσι παρά το γεγονός ότι το $CINR$ του επίγειου συστήματος είναι αποδεκτό πριν τη μείωση της ισχύος του HAP, η μείωση εξακολουθεί να είναι αναγκαία για την επίτευξη του ορίου $INR_{threshold}$. Η μείωση της ισχύος εκπομπής του H-BS έχει σαν αποτέλεσμα τον υποβιβασμό της απόδοσής του (όπως φαίνεται από τις CDF του $CINR_H$ στα Σχήματα 4.17 και 4.18), όμως το $CINR_H$ εξακολουθεί να είναι αποδεκτό, ακόμη και μετά τη μείωση που έχει εφαρμοστεί.



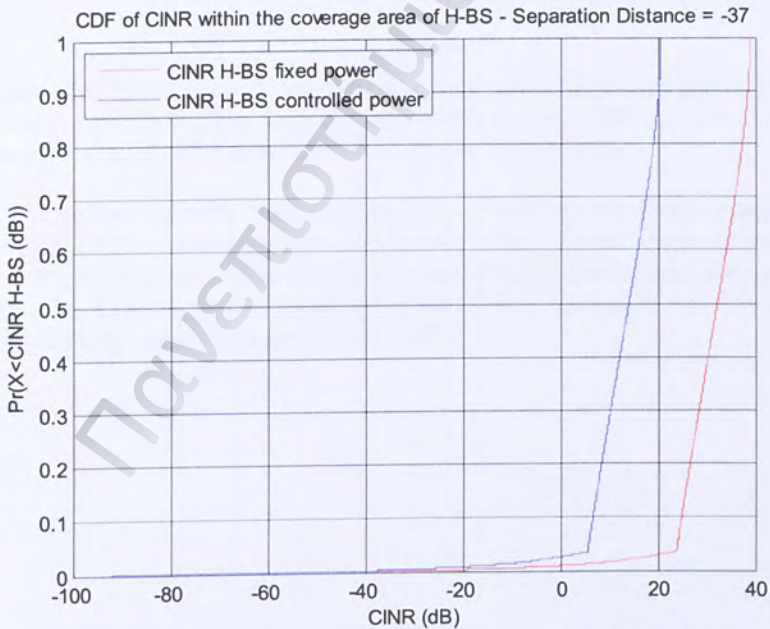
Σχήμα 4.15: Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF) του CINR_T για απόσταση διαχωρισμού 0 Km, για καθορισμένη και για ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής του H-BS



Σχήμα 4.16: Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF) του CINR_T για απόσταση διαχωρισμού -37 Km, για καθορισμένη και για ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής του H-BS

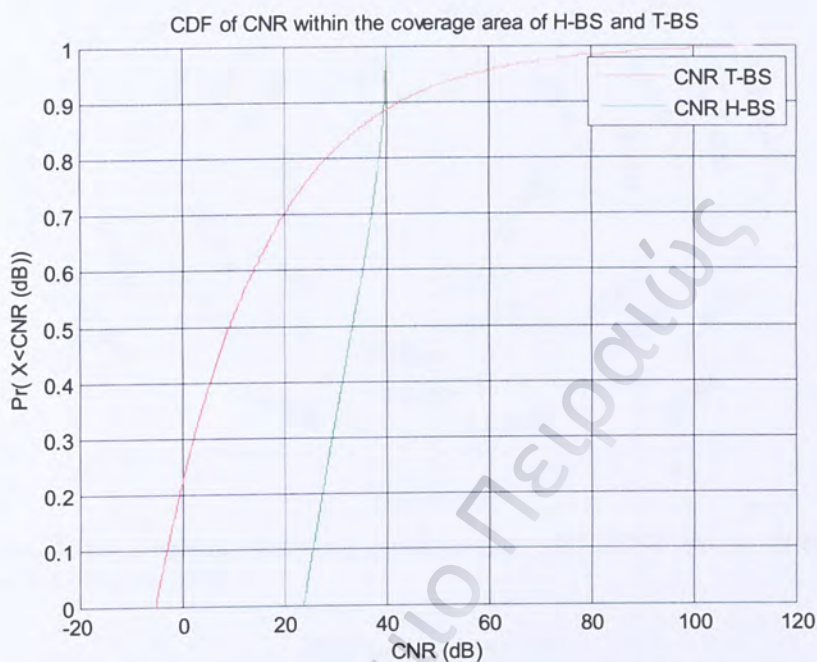


Σχήμα 4.17: Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF) του $CINR_H$ για απόσταση διαχωρισμού 0 Km, για καθορισμένη και για ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής του H-BS



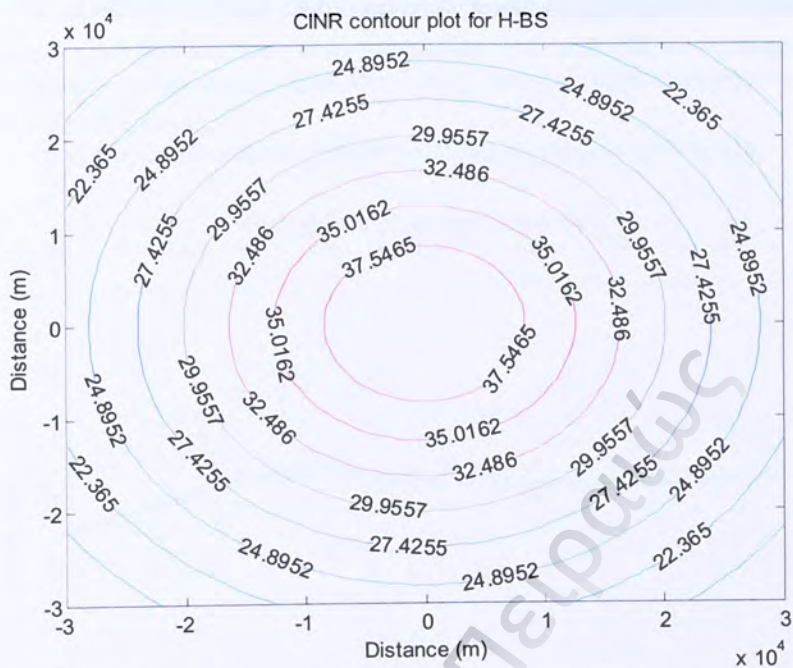
Σχήμα 4.18: Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF) του $CINR_H$ για απόσταση διαχωρισμού -37 Km, για καθορισμένη και ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής του H-BS

Στην συνέχεια, στα **Σχήματα 4.19** έως και **4.28** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την **κατηγορία εδάφους Α**: λοφώδεις εκτάσεις με μέτρια έως πυκνή πυκνότητα δέντρων (μέγιστες απώλειες διάδοσης).

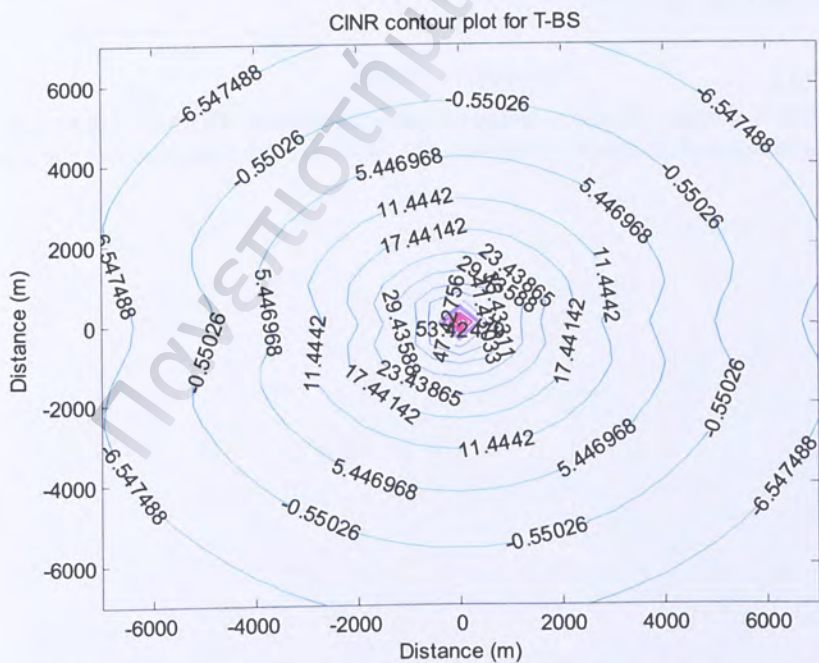


Σχήμα 4.19: Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF: Cumulative Distribution Function) του CNR μέσα στην περιοχή κάλυψης του H-BS και του T-BS (ακτίνα κάλυψης του H-BS 30 Km, ακτίνα κάλυψης του T-BS 7 Km)

Περίπου το 90% των χρηστών στην κάλυψη του H-BS μπορεί να έχει καλύτερο CNR σε σχέση με την κάλυψη του T-BS. Το CNR στην περιοχή κάλυψης του T-BS, παίρνει ακόμα και αρνητικές τιμές κάτι που υποδηλώνει κακής ποιότητας κανάλι. Το CNR στην περιοχή κάλυψης του H-BS, παραμένει στα ίδια επίπεδα με την περίπτωση της **κατηγορίας εδάφους C**.

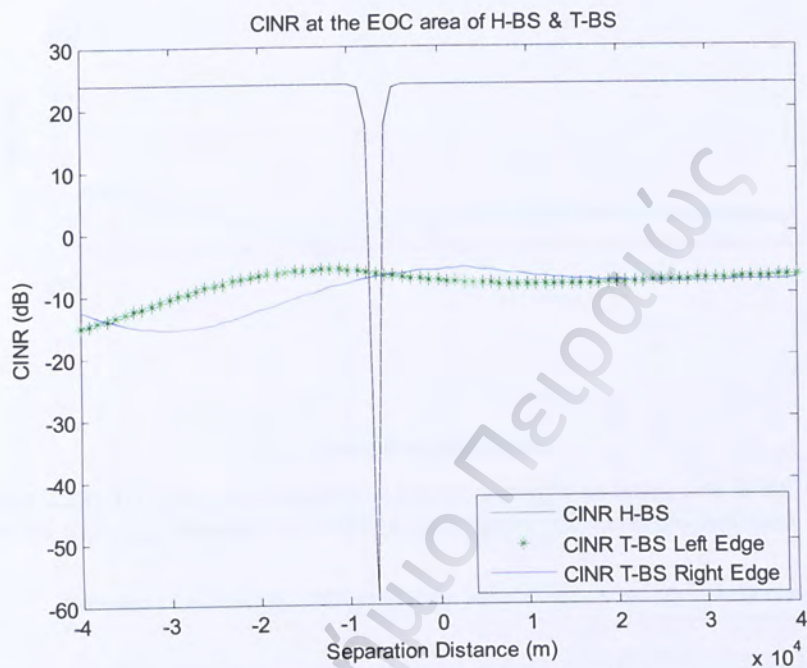


Σχήμα 4.20: Ισοϋψείς καμπύλες (contour plot) του CINR για το H-BS για παρεμβολή από το T-BS

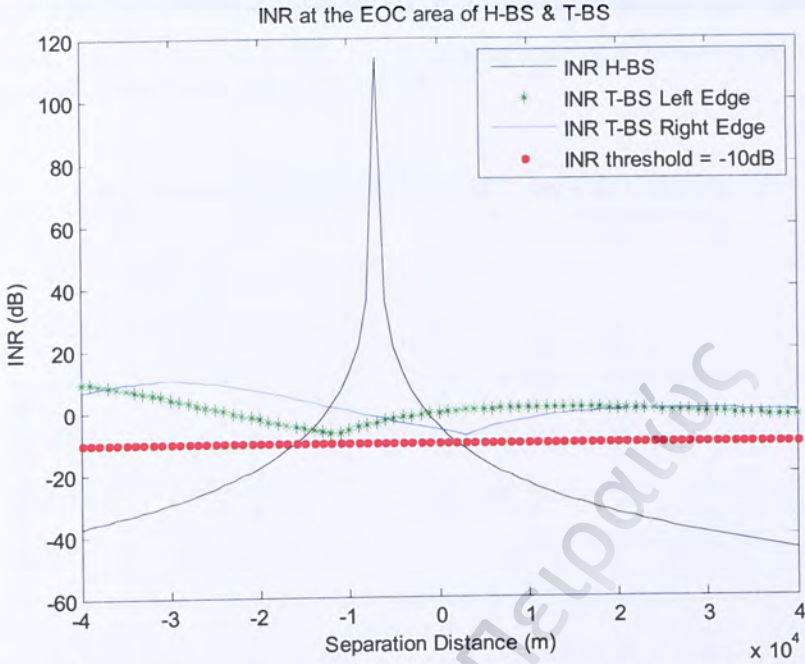


Η καμπύλη του $CINR_T$, όπως και στην **κατηγορία εδάφους C**, παρουσιάζει συρρίκνωση υπό την επίδραση των παρεμβολών από το H-BS, με τη διαφορά ότι πλέον έχουμε και αρνητικές τιμές του $CINR_T$ στην περιοχή κάλυψης του T-BS (κακής ποιότητας κανάλι).

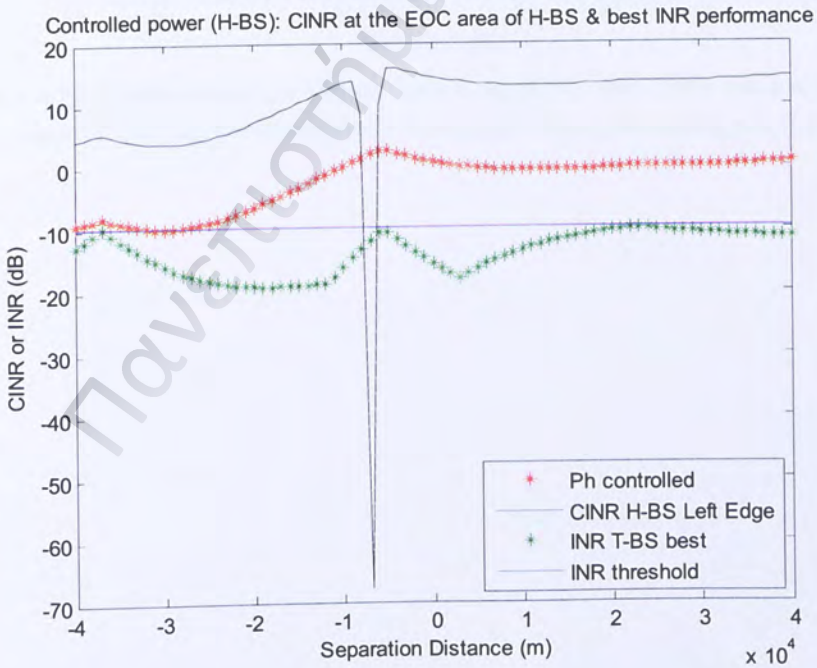
Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν και από τα επόμενα γραφήματα.



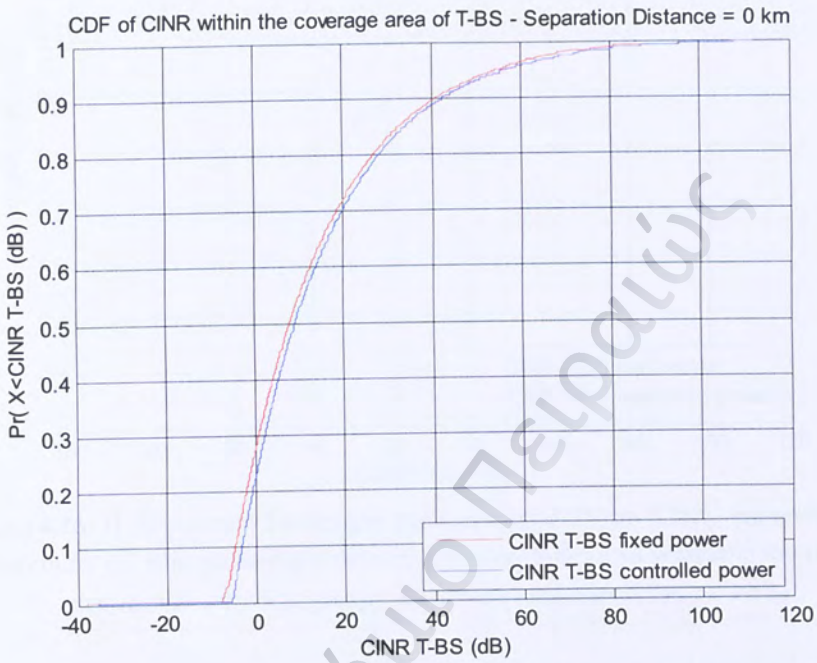
Σχήμα 4.22: Το $CINR$ στο αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS και στα άκρα της περιοχής κάλυψης του T-BS, για μειούμενη απόσταση διαχωρισμού



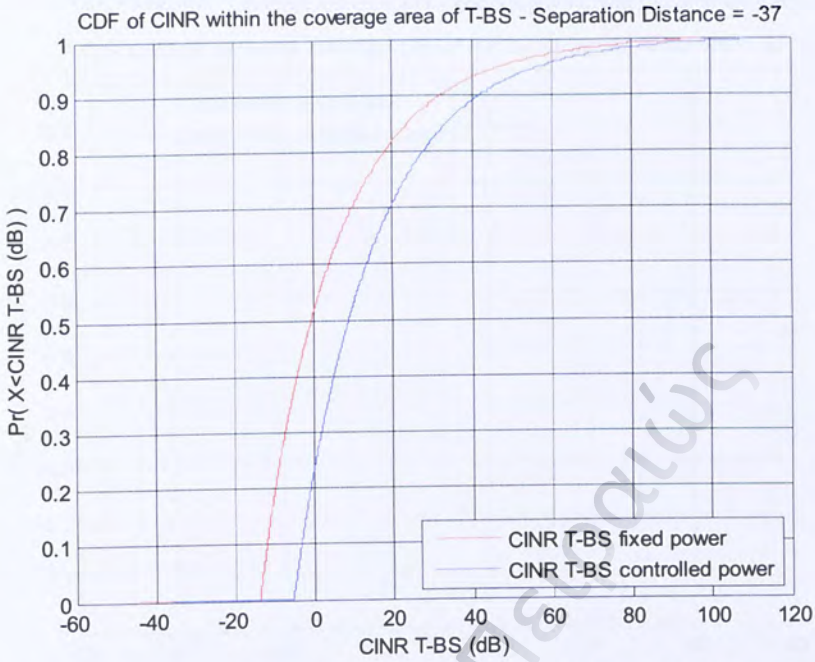
Σχήμα 4.23: Το *INR* στο αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS και στα άκρα της περιοχής κάλυψης του T-BS, για μειούμενη απόσταση διαχωρισμού



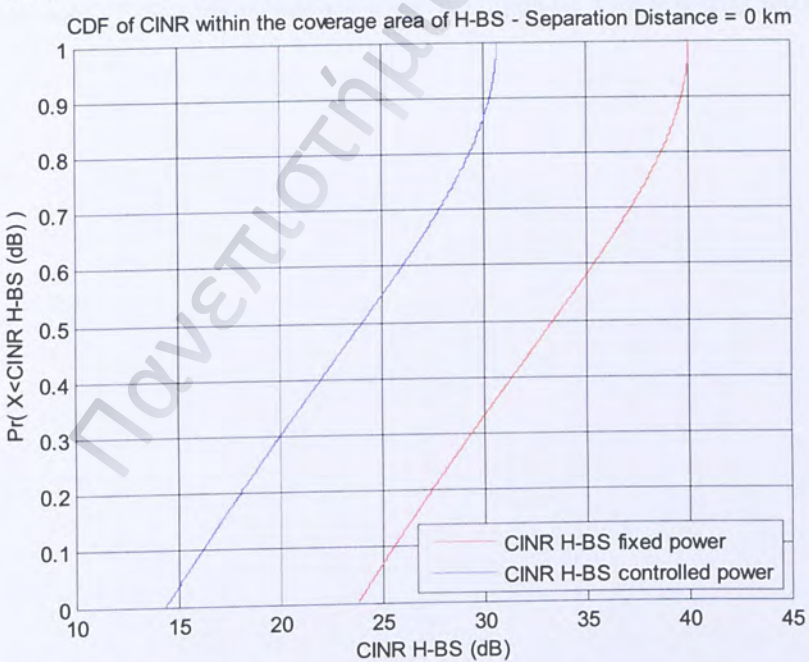
Σχήμα 4.24: Το $CINR$ στο αριστερό άκρο της περιοχής κάλυψης του H-BS και η απόδοση του INR_{best} του T-BS, για μειούμενη απόσταση διαχωρισμού και για ελεγχόμενη εκπεμπόμενη ισχύ από το H-BS.



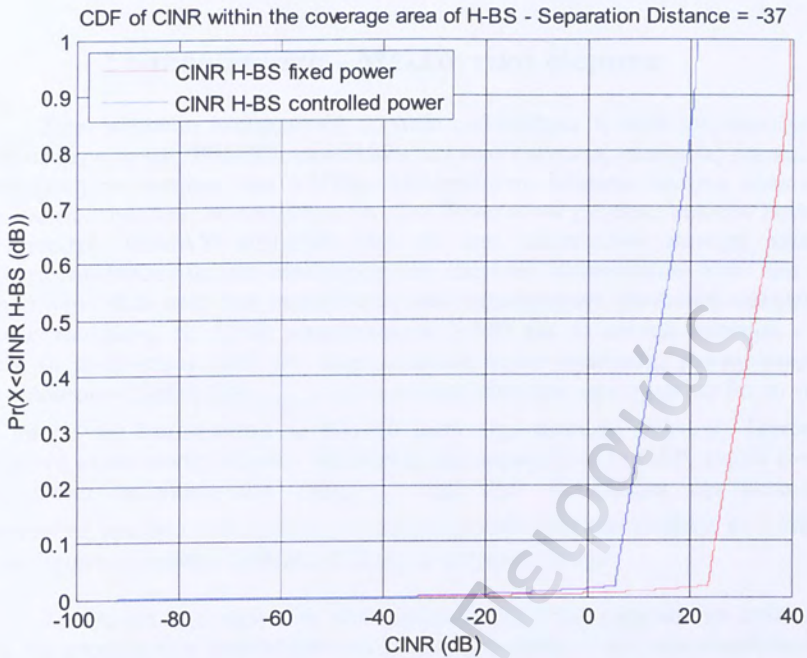
Σχήμα 4.25: Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF) του $CINR_T$ για απόσταση διαχωρισμού 0 Km, για καθορισμένη και για ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής του H-BS



Σχήμα 4.26: Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF) του CINR_T για απόσταση διαχωρισμού -37 Km, για καθορισμένη και για ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής του H-BS



Σχήμα 4.27: Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF) του CINR_H για απόσταση διαχωρισμού 0 Km, για καθορισμένη και για ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής του H-BS



Σχήμα 4.28: Η Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF) του $CINR_H$ για απόσταση διαχωρισμού -37 Km, για καθορισμένη και για ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής του H-BS

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα - Μελλοντικά Θέματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η απόδοση ευρυζωνικού δικτύου τεχνολογίας WiMAX από HAPs και από επίγειους σταθμούς βάσης, στην κοινή ζώνη συχνοτήτων των 3,5GHz. Μελετήθηκαν διάφορα σενάρια υλοποίησης των δύο συστημάτων. Αποδείχθηκε ότι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν HAPs για την παροχή WiMAX (IEEE802.16a) σε μια εκτεταμένη περιοχή κάλυψης τουλάχιστον 30Km, με την συνύπαρξη των επίγειων υλοποιήσεων στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Και στις δύο περιπτώσεις που εξετάστηκαν, γειτονική κάλυψη και αλληλοεπικάλυψη, το CINR υπερβαίνει τα 3,4dB για το επίγειο σύστημα και τα 24dB για το σύστημα HAP. Με πανομοιότυπες ισχύες εκπομπής, γίνεται υπέρβαση του ορίου των -10dB ($INR_{threshold}$) για το επίγειο σύστημα, που σημαίνει ότι το φάσμα δεν μπορεί να διαμοιραστεί σε όλα τα μέρη της περιοχής κάλυψης. Ωστόσο, η εφαρμογή στρατηγικής μείωσης της ισχύος του πομπού για το HAP, τέτοια ώστε να μην γίνεται υπέρβαση του $INR_{threshold}$, έχει σαν αποτέλεσμα την δυνατότητα συνύπαρξης των δύο συστημάτων με ένα ελάχιστο CINR για το HAP τα 5,5dB και ένα αυξημένο ελάχιστο CINR τα 12dB για το επίγειο σύστημα.

Τα θέματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορούν να επεκταθούν ώστε να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής έρευνας. Όπως προαναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν τον σηματοθορυβικό λόγο σε ένα τηλεπικοινωνιακό κανάλι, όπως η εκπεμπόμενη ισχύς, το εύρος δέσμης των κεραιών, το μοντέλο για το κανάλι διάδοσης και το επίπεδο της θερμικής παρεμβολής. Συνεπώς, θέμα μελλοντικής έρευνας θα μπορούσε να είναι η μελέτη της απόδοσης της συνύπαρξης των δύο συστημάτων στις παρακάτω περιπτώσεις:

- σε διαφορετικό φάσμα συχνοτήτων
- για διαφορετικό μοντέλο καναλιού
- για διαφορετικά ύψη του επίγειου σταθμού βάσης
- δημιουργία νέου σεναρίου με περισσότερους επίγειους σταθμούς βάσης ή και HAPs
- θεώρηση διαφορετικού διαγράμματος ακτινοβολίας των κεραιών
- διερεύνηση της πιθανότητας συνύπαρξης των σταθμών όταν ο επίγειος σταθμός αναπτύσσεται σε τυχαίες θέσεις μέσα στην προαστιακή και την αγρική περιοχή κάλυψης
- νέα όρια ισχύος του επίγειου σταθμού βάσης
- εκτίμηση της επίδρασης της κίνησης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας στο επίπεδο των παρεμβολών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

I. Μηχανισμοί Διάδοσης

Απορρόφηση (Absorption): Μείωση του πλάτους (έντασης πεδίου) ενός ραδιοκύματος λόγω αμετάκλητης μεταφοράς μέρους της ενέργειας του κύματος στο μέσο διάδοσης.

Σκέδαση (Scattering): Μια διαδικασία κατά την οποία η ενέργεια του κύματος διασπείρεται όσον αφορά στην κατεύθυνση διάδοσης, λόγω της επίδρασης ανομοιογενούς μέσου μετάδοσης.

Διάθλαση (Refraction): Αλλαγή στην κατεύθυνση διάδοσης ενός ραδιοκύματος, λόγω της χωρικής μεταβολής του δείκτη διάθλασης του μέσου διάδοσης.

Περίθλαση (Diffraction): Αλλαγή στην κατεύθυνση διάδοσης ενός ραδιοκύματος, λόγω της παρουσίας φυσικών ή τεχνητών εμποδίων στο μέσο διάδοσης.

Πολυδιαδρομική Διάδοση (Multipath) ή Χρονική Διασπορά (Time Dispersion): Λήψη στο δέκτη πολλαπλών αντιγράφων του ίδιου ραδιοκύματος μέσω διαφορετικών μονοπατιών διάδοσης, είτε λόγω ανωμαλιών του δείκτη διάθλασης στην τροπόσφαιρα και/ή την ιονόσφαιρα, είτε λόγω σκεδαστών (φυσικών και/ή τεχνητών) στην επιφάνεια της Γης.

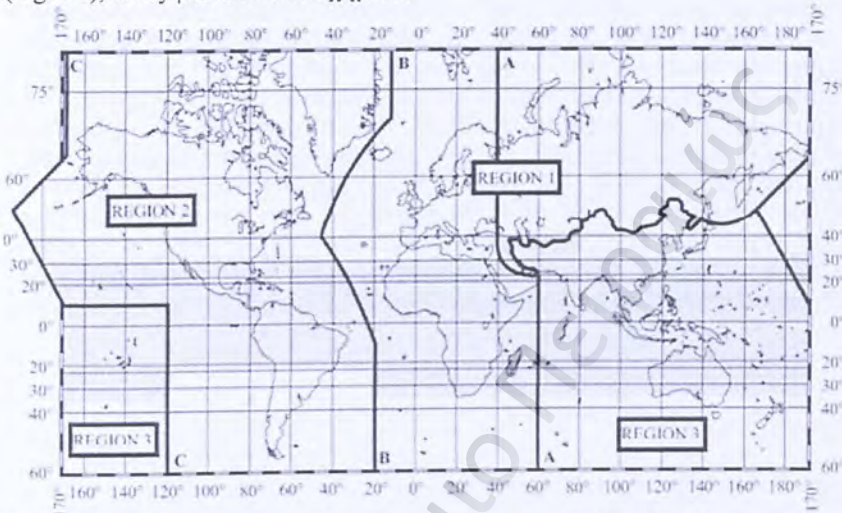
Διασπορά Συχνότητας (Frequency Dispersion): Αλλαγή στη συχνότητα και τη φάση των συνιστωσών που απαρτίζουν ένα σήμα ευρείας ζώνης λόγω διασκορπιστικού μέσου (εξάρτηση των συντακτικών παραμέτρων από τη συχνότητα).

Γοργές Διαλείψεις (Scintillation ή Rapid Fading): Γοργές και τυχαίες μεταβολές ενός ή και περισσότερων χαρακτηριστικών ενός ραδιοκύματος (πλάτους, φάσης, πόλωσης, κατεύθυνσης άφιξης), λόγω χρονικών μεταβολών του δείκτη διάθλασης στο μέσο μετάδοσης.

Διαλείψεις (Fading): Η μεταβολή του πλάτους (έντασης πεδίου) ενός ραδιοκύματος λόγω χρονικών μεταβολών του μονοπατιού (ή των μονοπατιών) διάδοσης. Περιγράφει συνήθως αργές μεταβολές.

II. Εκχωρήσεις συχνοτήτων

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών 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 1**.



Σχήμα 1: Περιοχές Εκχώρησης Συχνοτήτων Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών

Περιοχή 1: Ευρώπη, Αφρική, Μέση Ανατολή και οι χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή 1 οριοθετείται ανατολικά από τη γραμμή A και δυτικά από τη γραμμή B, εξαιρώντας το κομμάτι της Ισλαμικής Δημοκρατίας του Ιράκ που βρίσκεται ανάμεσα στις δυο αυτές γραμμές. Περιλαμβάνει ακόμα την Αρμενία, το Αζερμπαϊτζάν, τη Γεωργία, το Καζακστάν, τη Μογγολία, το Ουζμπεκιστάν, το Κυργκικιστάν, 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 A και C.

Περιοχή 2: Αμερική. Η περιοχή αυτή οριοθετείται ανατολικά από τη γραμμή B και δυτικά από τη γραμμή C.

Περιοχή 3: Υπόλοιπο Ασίας που δεν περιλαμβάνεται στην περιοχή 1 και Ωκεανία. Η 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.

Η διαδικασία εγκατάστασης και εφαρμογής κάθε νέας δορυφορικής τηλεπικοινωνιακής ζεύξης 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 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 [ΠΑ1].

III. Υποπρότυπα IEEE 802.16

IEEE 802.16 a

Η ανάγκη για επικοινωνία μεταξύ σταθμών που δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή ήταν το κίνητρο για τη δημιουργία του υποπρότυπου IEEE 802.16a. Τον Ιανουάριο του 2003, το πρότυπο επεκτάθηκε ώστε να λειτουργεί και στις συχνοότητες από 2-11 GHz όπου στις συχνοότητες αυτές ήταν δυνατή η δημιουργία συνδέσεων χωρίς οπτική επαφή πομπού - δέκτη. Το υποπρότυπο το οποίο περιγράφει τη διαδικασία αυτή ονομάστηκε IEEE 802.16 a.

IEEE 802.16 b

Το πρότυπο 802.16b ήταν από τα πρώτα που δημιουργήθηκαν. Η δημιουργία του υποπρότυπου αυτού στόχευε στις εφαρμογές εκτός νόμιμης (licensed) περιοχής στις συχνοότητες 5-6GHz. Το 802.16b παρέχει ποιότητα υπηρεσίας (QoS: Quality of Service) διαβεβαιώνοντας ότι θα υπάρχει προτεραιότητα στη μετάβαση πραγματικού χρόνου εικόνας και ήχου, καθώς επίσης παρέχει διαφοροποιημένα επίπεδα υπηρεσίας σε διαφορετικού τύπου μετακίνησης δεδομένων.

IEEE 802.16 c

Στην αρχική του έκδοση το πρότυπο IEEE 802.16 λειτουργούσε στην ζώνη συχνοτήτων 10-66 GHz. Στις παραπάνω συχνοότητες η επικοινωνία μεταξύ δύο σταθμών επιτυγχάνεται μόνο όταν οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται σε συνθήκες οπτικής επαφής. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται στο υποπρότυπο IEEE 802.16 c.

IEEE 802.16 d.

Καθώς η πολυπλοκότητα των εφαρμογών που διαδίδονται πάνω από ένα ασύρματο δίκτυο ολοένα και αυξάνει, η ποιότητα υπηρεσίας πάνω από τέτοια δίκτυα γίνεται ένας πολύ καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα της επικοινωνίας. Για παράδειγμα, η μετάδοση video σε πραγματικό χρόνο απαιτεί από το δίκτυο συνθήκες πολύ χαμηλής καθυστέρησης μετάδοσης. Γι' αυτό το λόγο, προκειμένου να ικανοποιηθεί η ανάγκη για ποιότητα υπηρεσίας ορίστηκε το υποπρότυπο IEEE 802.16 d.

IEEE 802.16 e

Το υποπρότυπο IEEE 802.16 e εισάγει και περιγράφει την έννοια της κινητικότητας των χρηστών από ένα σταθμό βάσης σε άλλο. Στο υποπρότυπο αυτό ορίζει ότι ένας κινητός χρήστης μπορεί να συνεχίσει να εξυπηρετείται από το δίκτυο ακόμα και αν κινείται με ταχύτητες οι οποίες προσεγγίζουν τα 120 Km / h .

IEEE 802.16-2004

Η ένωση των υποπρότυπων IEEE 802.16 a, c, d όρισε το πρότυπο IEEE 802.16-2004, το οποίο περιγράφει τη συνολική λειτουργικότητα των επιμέρους υποπρότυπων που προαναφέρθηκαν για συχνοότητες λειτουργίας 2-66 GHz.

Το πρότυπο IEEE 802.16-2004 ορίζει την επικοινωνία χρηστών που βρίσκονται μέσα σε ένα κελί, το οποίο καλύπτεται από ένα σταθμό βάσης. Όταν κάποιος χρήστης κινηθεί σε περιοχή που βρίσκεται εκτός περιοχής κάλυψης του σταθμού βάσης, η σύνδεση χάνεται.

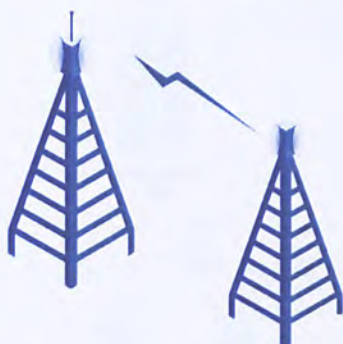
Κινητή Ευρυζωνική Ασύρματη Πρόσβαση

IEEE 802.20

Η Κινητή Ευρυζωνική Ασύρματη Πρόσβαση είναι μία τεχνολογία που αναπτύσσεται τον τελευταίο καιρό με βάση το πρωτόκολλο **IEEE 802.20**. Η τεχνολογία αυτή, λόγω της ευρείας κάλυψης που πρόκειται να έχει, λέγεται ότι είναι το τελευταίο σκαλοπάτι του παγκόσμιου δικτύου GAN (Global Area Network). Το δίκτυο αυτό θα λειτουργεί παρόμοια με τα σημερινά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, όπου οι χρήστες του θα έχουν την δυνατότητα να ταξιδεύουν ανά τον κόσμο και να εξακολουθούν να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο συνεχώς. Το δίκτυο θα έχει αρκετή ευρυζωνικότητα, για να προσφέρει Διαδικτυακή πρόσβαση, συγκρίσιμη με αυτή των υπάρχόντων καλωδιακών δικτύων που χρησιμοποιούν modem, και θα μπορούν να έχουν πρόσβαση τα κινητά τηλέφωνα, τα laptops και κινητές συσκευές επόμενης γενιάς. Τέλος, θα μπορεί κανείς να έχει πρόσβαση στο δίκτυο αυτό ακόμη και εάν κινείται με ταχύτητες της τάξεως των 350km/h.

IV. Υποστηριζόμενες τοπολογίες από το WiMax

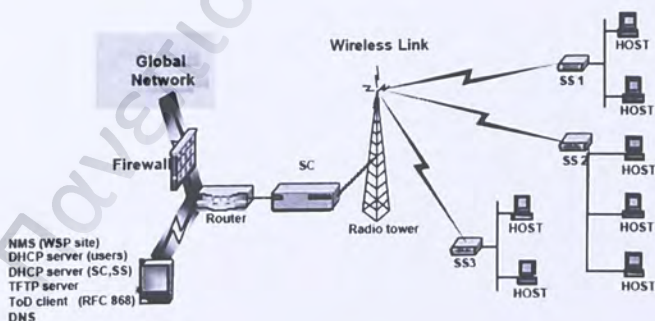
Σημείο προς σημείο (PP): όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Τοπολογία Σημείο προς σημείο (PP)

Σημείο προς πολλά σημεία (PMP): Η κάτω ζεύξη του σταθμού βάσης χρησιμοποιεί PMP. Όλοι οι δέκτες που είναι συνδεδεμένοι με αυτό το σταθμό βάσης θα λαμβάνουν τα ίδια δεδομένα. Απ' την στιγμή που ο σταθμός βάσης είναι ο μόνος που εκπέμπει (στην κάτω ζεύξη), δεν υπάρχει λόγος να μοιραστεί η πρόσβαση στο κανάλι με άλλους πομπούς. Έτσι οι δέκτες – σταθμοί συνδρομητών λαμβάνουν όλα τα δεδομένα και κρατάνε αυτά που προορίζονται για αυτούς. Επίσης μπορούν να αποστέλλονται τόσο multicast, όσο και broadcast πακέτα (κυρίως σε υπηρεσίες βίντεο και υπηρεσίες ελέγχου του δικτύου).

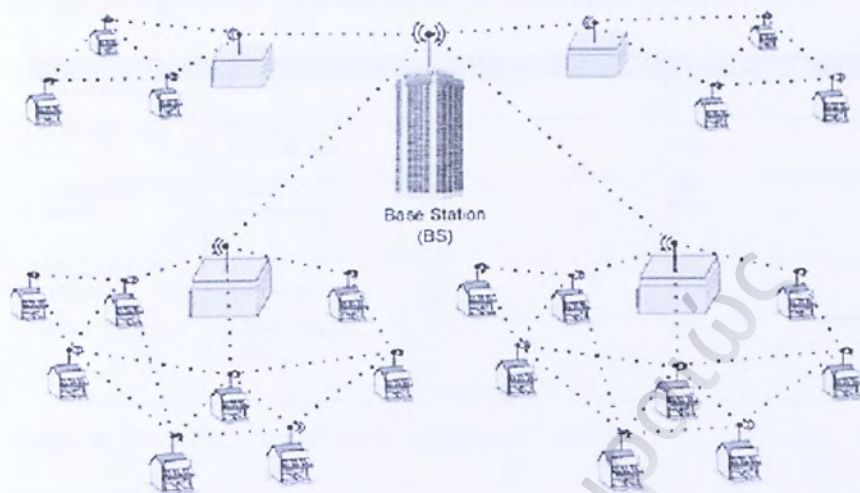
Η άνω ζεύξη πρέπει να διαμοιράζεται στους συνδρομητικούς σταθμούς (Subscriber Stations), λαμβάνοντας υπ' όψιν τις παραμέτρους του QoS.



Σχήμα 3: Τοπολογία Σημείο προς πολλά σημεία (PMP)

Δικτύωση πλέγματος (Mesh): Η δικτύωση πλέγματος είναι ένας τρόπος να καθοδηγηθούν τα στοιχεία, η φωνή και οι οδηγίες μεταξύ των κόμβων. Επιτρέπει τις συνεχείς συνδέσεις και την επαναδρομολόγηση γύρω από τις σπασμένες ή παρεμποδισμένες συνδέσεις, κάνοντας "hopping" από κόμβο σε κόμβο, έως ότου προσεγγιστεί ο προορισμός. Ένα δίκτυο πλέγματος του οποίου όλοι οι κόμβοι

συνδέονται ο ένας με τον άλλον, είναι ένα πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο. Η δικτύωση πλέγματος είναι μια υποκατηγορία της ad-hoc δικτύωσης.



Σχήμα 4: Τοπολογία Δικτύωσης Πλέγματος (Mesh)

V. Το Φυσικό Επίπεδο (PHY) του 802.16

Στο Σχήμα 5 φαίνονται οι υλοποιήσεις του Φυσικού Επιπέδου του 802.16:

Υλοποίηση	Ζώνη Συχνοτήτων	Λειτουργίες	Duplexing
WirelessMAN-SC	10-60GHz		TDD FDD
WirelessMAN-SCa	<11GHz αδειοδοτούμενες	AAS ARQ STC	TDD FDD
WirelessMAN-OFDM	<11GHz αδειοδοτούμενες	AAS ARQ STC Mesh	TDD FDD
WirelessMAN-OFDMA	<11GHz αδειοδοτούμενες	AAS ARQ STC	TDD FDD
WirelessHUMAN	<11GHz ελεύθερες	AAS ARQ STC Mesh Topology	TDD

Σχήμα 5: Υλοποιήσεις του Φυσικού Επιπέδου του 802.16

WirelessMAN-SC PHY

Το όνομα του επιπέδου αυτού προκύπτει από το Single-Carrier modulation και λειτουργεί στις ζώνες από 10GHz έως 60GHz. Στις ζώνες αυτές, λόγω του μικρού μήκους κύματος, απαιτείται οπτική επαφή πομπού με δέκτη (Line Of Sight – LOS) και αμελητέος θόρυβος πολλαπλών διαδρομών (multipath interference). Στην ζώνη αυτή, το εύρος των καναλιών είναι συνήθως 25MHz ή 28MHz με καθαρό ρυθμό αποστολής δεδομένων να υπερβαίνει τα 125Mb/s. Είναι προφανές ότι αυτό το περιβάλλον είναι κατ' εξοχήν χρήσιμο για πρόσβαση σημείου προς πολλά σημεία (PMP) υποστηρίζοντας εφαρμογές από μικρές έως μεγάλες επιχειρήσεις. Σημαντικό ρόλο σε αυτό παίζει προφανώς και το ότι αναφερόμαστε αυστηρά σε ζώνες που απαιτούν αδειοδότηση.

WirelessMAN-SCa PHY

Το WirelessMAN-SCa PHY είναι βασισμένο στην τεχνολογία single-carrier access και είναι σχεδιασμένο για NLOS (Non Line Of Sight) λειτουργία, χρησιμοποιώντας φάσμα κάτω από τα 11GHz. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε δεσμευμένες ζώνες συχνοτήτων, όσο και σε ελεύθερες. Κύρια χαρακτηριστικά του είναι:

- Λειτουργία TDD (Time Division Duplex) ή FDD (Frequency Division Duplex)
- Χρησιμοποίηση TDMA (Time Division Multiple Access) για την ζεύξη ανόδου
- TDM ή TDMA για την ζεύξη καθόδου
- Block-adaptive διαμόρφωση και προβλεπτική διόρθωση λαθών (FEC: Forward Error Correction) και για την ζεύξη ανόδου και για την ζεύξη καθόδου
- Βελτιωμένη πρόβλεψη και εξισορρόπηση καναλιού για NLOS περιβάλλοντα, καθώς και για περιβάλλοντα όπου η διακύμανση καθυστέρησης διάδοσης είναι αυξημένη

- Concatenated FEC με Read-Solomon και TCM (Trellis Coded Modulation) διαμόρφωση.
- BTC (Block Turbo Coding) και CTC (Convolutional Turbo Codes) FEC επιλογές
- Μη χρησιμοποίηση FEC όταν χρησιμοποιείται Αυτόματη Αίτηση Επανεκπομπής (ARQ: Automatic Repeat-reQuest), για έλεγχο λαθών. Εξάφραση αποτελούν τα FCH (Frame Control Header).
- STC (Space Time Code)
- Robust modes για λειτουργία με χαμηλό CINR
- AAS (Adaptive Antenna Systems) (προαιρετικά)
- Έλεγχος ισχύος

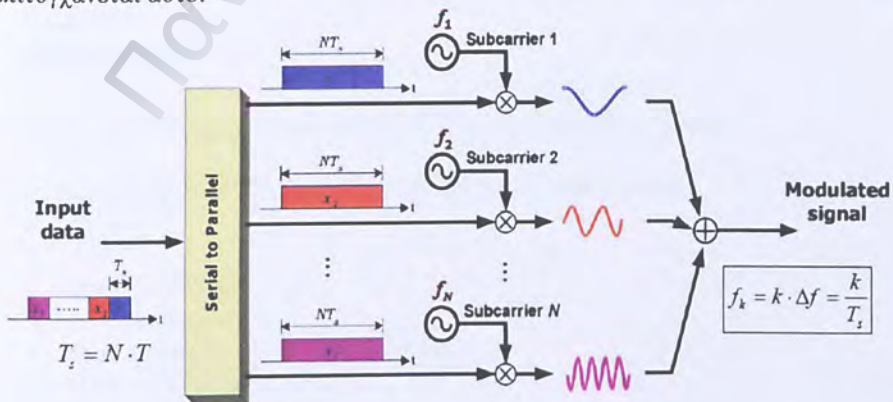
Επίσης, το WirelessMAN-SCa PHY υποστηρίζει τις εξής διαμορφώσεις:

- Spread BPSK (Binary Phase Shift Keying)
- BPSK
- QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying)
- 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation.)
- 64-QAM
- 256-QAM (προαιρετικά)

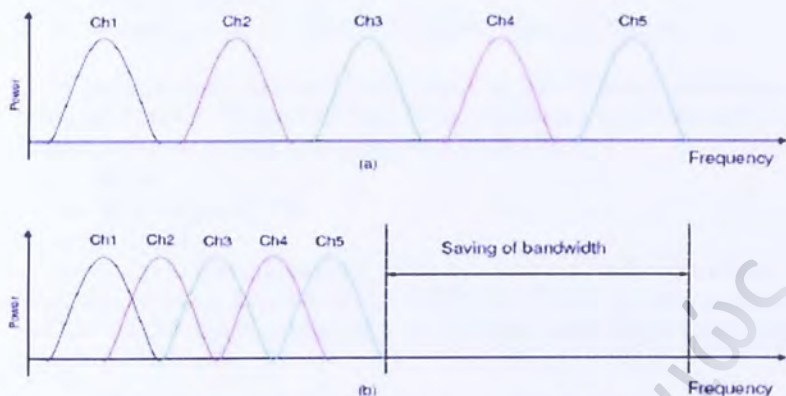
WirelessMAN-OFDM PHY

Το WirelessMAN-OFDM PHY είναι σχεδιασμένο για περιβάλλοντα NLOS και για συχνότητες κάτω των 11GHz και χρησιμοποιεί, όπως αναφέρεται και στο όνομά του OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) διαμόρφωση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε αδειοδοτούμενες συχνότητες, όσο και σε ελεύθερες.

Σε ένα κλασικό σύστημα παράλληλης μετάδοσης δεδομένων το συνολικά διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων διαιρείται σε N μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια συχνοτήτων. Κάθε υποκανάλι διαμορφώνεται και από διαφορετικό σύμβολο και έπειτα τα N υποκανάλια πολυπλέκονται στο πεδίο των συχνοτήτων. Το OFDM οδηγεί στην εξοικονόμηση φάσματος. Χρησιμοποιεί επικαλυπτόμενα υποκανάλια, που χαρακτηρίζονται από την κοινή ιδιότητα της μεταξύ τους ορθογωνιότητας, γεγονός που οδηγεί στην αποφυγή ισοστάθμισης, την αντιμετώπιση θορύβου και εξασθένησης σήματος λόγω πολυδίοδευσης (multipath fading), καθώς και την πλήρη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος. Στα Σχήματα 6 και 7, φαίνεται πώς επιτυγχάνεται αυτό:

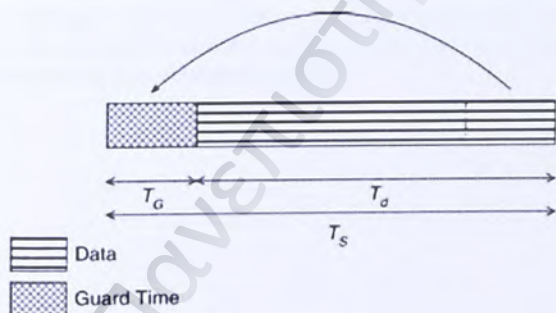


Σχήμα 6: OFDM διαμόρφωση



Σχήμα 7: Σύγκριση μεταξύ FDM και OFDM.

Είναι εμφανής η διαφορά μεταξύ των συμβατικών τεχνικών με μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια (για παράδειγμα FDM (Frequency Division Multiplexing)) και του OFDM. Στο FDM τα υποκανάλια μοιράζονται σε πολλούς χρήστες, ενώ στο OFDM χρησιμοποιούνται πολλαπλά υποκανάλια ταυτόχρονα για έναν χρήστη. Κατά αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση εύρους φάσματος που αγγίζει κατά περίπτωση ακόμα και το 50%. Βέβαια πρέπει να γίνει χρήση διαστήματος φύλαξης μεταξύ διαδοχικών OFDM συμβόλων για την προστασία από διασυμβολική παρεμβολή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8: Προσθήκη κυκλικού προθέματος σε κάθε OFDM σύμβολο

Άλλα χαρακτηριστικά του φυσικού αυτού επιπέδου είναι τα εξής:

- AAS
- ARQ
- Mesh Topology
- STC (προαιρετικά)
- Concatenated FEC με Reed-Solomon
- BTC, CTC (προαιρετικά)

- Transmission Convergence Layer (Επίπεδο Σύγκλισης Μετάδοσης) ίδιο με του WirelessMAN-SC (προαιρετικά)
- Έλεγχος ισχύος
- Μεταβλητό εύρος καναλιού (ελάχιστο εύρος 1.25MHz)

Η κωδικοποίηση του καναλιού γίνεται σε τρία βήματα: randomizing, FEC και τέλος interleaving. Το επόμενο βήμα είναι η διαμόρφωση των δεδομένων. Υποστηριζόμενες μορφές διαμόρφωσης είναι οι εξής:

- BPSK
- Gray-mapped QPSK
- 16-QAM
- 64-QAM (προαιρετική για χρήση σε ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων)

Όπως και τα άλλα, έτσι και το WirelessMAN-OFDM μπορεί να χρησιμοποιεί είτε FDD, είτε TDD. Επίσης αντίστοιχα, σε ελεύθερες ζώνες συχνοτήτων χρησιμοποιείται μόνο το TDD.

WirelessMAN-OFDMA PHY

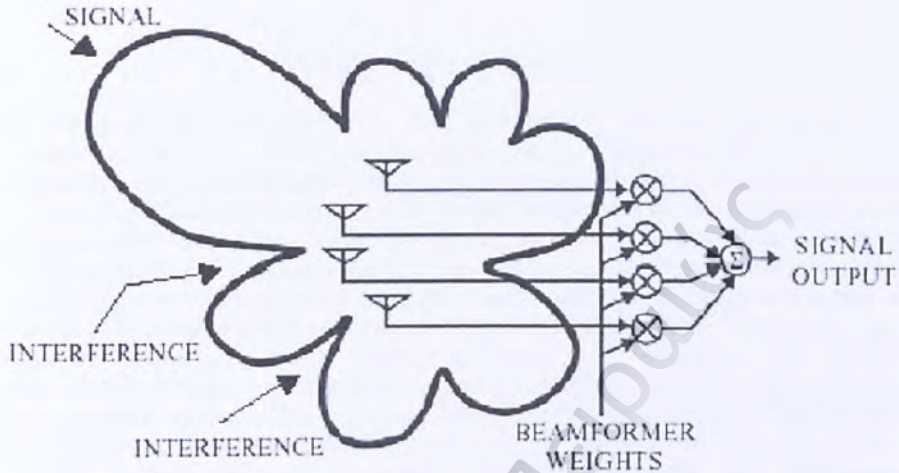
Το WirelessMAN-OFDMA PHY είναι παρόμοιο με το WirelessMAN-OFDM PHY, με κύρια διαφορά ότι χρησιμοποιεί το OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) το οποίο «ομαδοποιεί» τις φέρουσες σε υποκανάλια. Έτσι ένας χρήστης μπορεί να εκπέμπει χρησιμοποιώντας ένα μέρος των υποκαναλιών, ή όλα ταυτόχρονα. Παράλληλα μειώνεται το ελάχιστο εύρος του καναλιού από 1.25MHz σε 1MHz. Άλλη σημαντική διαφορά είναι η μη υποστήριξη τοπολογίας mesh.

WirelessMAN-HUMAN PHY

Το συγκεκριμένο δεν προσδιορίζει κάποιο καινούριο φυσικό στρώμα, απλά αναφέρεται ουσιαστικά στα WirelessMAN-SCa, WirelessMAN-OFDM και WirelessMAN-OFDMA όταν αυτά χρησιμοποιούνται σε ελεύθερες ζώνες συχνοτήτων, θέτοντας κάποιους περιορισμούς που αφορούν το εύρος των καναλιών που θα χρησιμοποιούνται, καθώς και τη μέγιστη επικάλυψη που μπορεί να υπάρχει ανάμεσα σε δύο γειτονικά κανάλια.

VI. Συστήματα Κεραιών

Adaptive Antenna Systems (AAS)

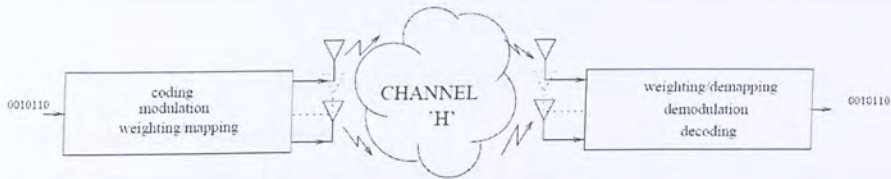


Σχήμα 9: Αρχική ιδέα για τα AAS συστήματα

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται από τα AAS συστήματα συχνά αναφέρεται και ως τεχνολογία «έξυπνων κεραιών», λόγω της δυνατότητας που έχουν οι κεραιές του συστήματος αυτού να προσαρμόζονται κατάλληλα στις εκάστοτε συνθήκες, με σκοπό την βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος, δηλαδή την χωρητικότητα του καναλιού. Συνήθως, στα AAS συστήματα όταν λέμε πολλαπλές κεραιές εννοούμε μία κεραιά που αποτελείται από πολλά μικρότερα στοιχεία. Έτσι, αυτά τα συστήματα κεραιών, με διάφορους αλγόριθμους επεξεργασίας σήματος, μπορούν να αλλάζουν δυναμικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της συνολικής απολαβής, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να μεταβάλλουν την χωρική κατανομή του σήματος που εκπέμπεται (αφού συνήθως χρησιμοποιείται στους πομπούς και όχι στους δέκτες λόγω κόστους), κατευθύνοντας έτσι με καλύτερο τρόπο το σήμα (*beamforming*) [ΠΑ4].

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)

Για ένα ασύρματο σύστημα επικοινωνιών, το MIMO αναφέρεται σε μία ζεύξη, όπου τόσο ο πομπός όσο και ο δέκτης είναι εξοπλισμένοι με πολλαπλές κεραιές όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.



Σχήμα 10: Σύστημα MIMO

Η ιδέα πίσω από την τεχνολογία αυτή είναι ότι τα σήματα στις κεραίες που εκπέμπουν στο ένα άκρο και σε αυτές που λαμβάνουν στο άλλο άκρο «συνδυάζονται» με τέτοιο τρόπο, ώστε η ποιότητα (ρυθμός λαθών – Bit Error Rate) ή ο ρυθμός μετάδοσης (bit/sec) του συστήματος να βελτιώνεται. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν space-time processing τεχνικές με τρόπο κατά τον οποίο η χρονική διάσταση λαμβάνεται υπόψη παράλληλα με την χωρική διάσταση, που προέρχεται από τη χρήση πολλαπλών κεραιών. Τα συστήματα αυτά, μπορούν μέχρι ένα βαθμό να θεωρηθούν μία προέκταση των συστημάτων που χρησιμοποιούν την τεχνική των «έξυπνων κεραιών» (AAS). Όμως, το μαθηματικό υπόβαθρο των MIMO περιβαλλόντων μπορεί να προσφέρει αποδόσεις που ξεφεύγουν κατά πολύ από αυτές των έξυπνων κεραιών. Ίσως το πιο εντυπωσιακό χαρακτηριστικό των MIMO συστημάτων είναι η δυνατότητα που έχουν να μετατρέπουν την παρεμβολή λόγω πολλαπλών διαδρομών, που συνήθως αποτελεί τροχοπέδη των ασύρματων συστημάτων, σε πλεονέκτημα, αυξάνοντας τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Βιβλιογραφία 1ου Κεφαλαίου

- [K1-1] “High altitude platforms for communications services”, T. C. Tozer, IEEE Vehicular Technology Society News, 4–9, December 2003.
- [K1-2] “Wireless Communications System Using Stratospheric Platforms, R&D Program on Telecom and Broadcasting System Using High Altitude Platform Stations”, R. Miura and M. Oodo, Journal of the Communications Research Laboratory, Communications Research Laboratory, Tokyo, Japan, vol. 48, no. 4, pp. 33-48, 2001.
- [K1-3] “Preliminary Flight Test Program on Telecom and Broadcasting Using High Altitude Platform Stations”, R. Miura, M.Suzuki, Wireless Personal Communications, An International Journal, Kluwer Academic Publishers, vol.24, no.2, Jan. 2003, pp. 341-361
- [K1-4] “Propagation Handbook for Wireless Communication System Design”, R.K. Crane, CRC Press LLC, 2003.
- [K1-5] “Small-Scale Fading for High-Altitude Platform (HAP) Propagation Channels”, F. Dovis, R. Fantini, M. Mondin, and P. Savi, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 20, no. 3, April 2002, pp. 641-647.
- [K1-6] “A Stochastic Geometrical Vector Model of Macro- and Mega-cellular Communication Channels”, Oestges C., IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 51, no. 6, November 2002, pp. 1352-1360.
- [K1-7] “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.
- [K1-8] “Wireless Communications, Principles and Practice”, T.S.Rappaport, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, 1996.
- [K1-9] «Μελέτη και προσομοίωση παρεμβολών μεταξύ δορυφορικών συστημάτων και στρατοσφαιρικών τηλεπικοινωνιακών πλατφορμών», Διπλωματική Εργασία Ευαγγελία Μ. Γεωργιάδου, Ναταλύ Μ. Ευάνθους, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο
- [K1-10] “Propagation considerations and fading countermeasures for mobile multimedia services”, A. Jahn, International Journal of Satellite Communications, 19, 223–250, 2001.

[K1-11] "High-Altitude Platforms for Wireless Communications", Alejandro Arago'n-Zavala, Tecnolo'gico de Monterrey, Campus Quere'taro, Mexico, Jose' Luis Cuevas-Rui'z, Tecnolo'gico de Monterrey, Campus Estado de Me'xico, Mexico, Jose' Antonio Delgado-Peni'n, Universitat Polit_ecnica de Catalunya, Spain, A John Wiley & Sons, Ltd, Publications, 2008

Βιβλιογραφία 2ου Κεφαλαίου

[K2-1] "Broadband Telecommunications Handbook", Regis "Bud" J. Bates, McGraw-Hill, 2002

[K2-2] "Broadband Communications", Balaji Kumar, McGraw-Hill, series on Computer Communications

[K2-3] WiMAX - IEEE 802.16, Χρήστος Μπούρας, Δίκτυα Υψηλών Ταχυτήτων, <http://ru6.cti.gr/bouras/dyt.php>

[K2-4] "Multimedia Wireless Networks - Technologies Standards And QoS", Prentice Hall

[K2-5] "Space-time processing for wireless communications", A. Paulraj, C.B. Papadias, IEEE Signal Proc. Mag, vol.14, pp.49-83, Nov.1997

[K2-6] «Δίκτυα Δεδομένων WiMAX», Δημητρακόπουλος Νικόλαος Παπαδημητρίου Αργύρης, Μελέτη στα πλαίσια του μαθήματος «Ειδικά θέματα στα Δίκτυα», Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

[K2-7] "Understanding WiFi and WiMAX as Metro-Access Solutions", Intel

[K2-8] "Fundamentals of WiMAX. Understanding Broadband Wireless Networking", Jeffrey G. Andrews, Ph.D., Department of Electrical and Computer Engineering, The University of Texas at Austin, Arunabha Ghosh, Ph.D. AT&T Labs Inc., Rias Muhamed, AT&T Labs Inc, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, 2007.

[K2-9] http://www.samsung.com/us/news/newsRead.do?news_group=productnews&news_type=consumerproduct&news_ctgry=mobilephone&news_seq=3523

[K2-10] http://translate.google.gr/translate?hl=el&sl=en&tl=el&u=http%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FList_of_deployed_WiMAX_networks&anno=2

[K2-11] <http://el.wikipedia.org/wiki/WiMAX>

Βιβλιογραφία 3ου Κεφαλαίου

- [K3-1] “WiMax MIMO measurement in a residential Line-of-Sight environment”, I. Sarris, A. R. Nix, A. Doufexi
- [K3-2] “WiMAX’s technology for LOS and NLOS environments”, WiMax Forum
- [K3-3] “Wireless Channel Characteristic and Its Performance for Stratospheric Platform Communication”, Iskandar
- [K3-4] “High Altitude Platform for Wireless Communications and other services”, Zain Elabdin Omer Elshaikh, Md Rafiqul Islam, Ahmad Faris Ismail and Othman O. Khalifa
- [K3-5] “Broadband Communications and Applications from High Altitude Platforms”, A. Mohammed and Z. Yang, Department of Signal Processing, Blekinge Institute of Technology, Ronneby, Sweden
- [K3-6] “Broadband Communications via High Altitude Platforms (HAPs) – A survey”, S. Karapantazis and F.-N. Pavlidou Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Engineering Dept. Of Electrical & Computer Engineering, Telecommunications Division
- [K3-7] “Broadband Communications from High Altitude Platforms – The HeliNet Solution”, D. Grace, J. Thornton, T. Konefal, C. Spillard, T. C. Tozer, Wireless Personal Mobile Conference (WPMC 2001), Proceedings, vol. 1, pp. 75-80, 9-12 September 2001, Aalborg, Denmark.
- [K3-8] “Effect of station antenna beamwidth on rain scatter interference in high-altitude platform links”, C. L. Spillard, D. Grace, J. Thornton and T.C. Tozer, IEE Electronics Letters, vol. 38, no. 20, 26 Sept. 2002, pp. 1211-1213.
- [K3-9] “Broadband communications from a high-altitude platform: the European Helinet programme”, J. Thornton, D. Grace, C. Spillard, T. Konefal and T. C. Tozer, IEE Electronics & Communication Engineering Journal, vol. 13, no. 3, June 2001, pp.138-144.
- [K3-10] “Sharing and Compatibility Study between Fixed Service Using High Altitude Platform Stations (HAPs) and Other Services in the 31/28 GHz Bands”, M. Oodo, R. Miura, T. Hori, T. Morisaki, K. Kashiki and M. Suzuki, Wireless Personal Communications, An International Journal, Kluwer Academic Publishers, vol. 23, no. 1, Oct. 2002, pp. 3-14.

[K3-11] “Modified MRC beamformer to suppress strong interferences for on-board DBF antenna in HAPs”, R. Jin, R. Miura, M. Oodo, Hongwen Zhu and M. Suzuki, IEE Electronics Letters, vol. 38, no. 16, 1 August 2002, pp. 847-848.

[K3-12] “Coexistence Performance of WiMAX in HAP and Multiple-Operator Terrestrial

Deployments in Shared Frequency Bands”, Iskandar, Dimas Rinarso Putro

[K3-13] “Coordination distance for systems in the fixed service (FS) involving high-altitude platform stations (HAPs) 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.

[K3-14] “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.

[K3-15] “Performance Evaluation of Broadband WiMAX Services over High Altitude Platforms (HAPs) Communication Channel”, Iskandar, Dimas Rinarso Putro

[K3-16] “OFDM-Based Broadband Wireless Networks Design & Optimization”, Hui Liu, Guoqing Li, Wiley Publications.

[K3-17] “Three-Dimensional HAP-MIMO Channels: Modeling and Analysis of Space-Time Correlation”, Michailidis, E.T., Kanatas, A.G.; Dept. of Digital Syst., Univ. of Piraeus, Greece, Vehicular Technology, IEEE Transactions on, Volume: 59, Issue:5, pages: 2232-2242, 08 Feb. 2010.

[K3-18] “Δίκτυα Σταθερών Επικοινωνιών Ευρείας Ζώνης με τη χρήση Στρατοσφαιρικών Πλατφορμών”, Βασίλειος Φ. Μήλας, Διδακτορική Διατριβή.

[K3-19] “Co-channel Interference between High-altitude Platforms and Terrestrial Systems”, Vasilis F. Milas and prof. P

Βιβλιογραφία 4ου Κεφαλαίου

[K4-1] “Minimum Performance Characteristics and Operational Conditions for High Altitude Platform Stations Providing IMT-2000 in the Bands 1885-1980MHz, 2010-2025MHz and 2110-2170MHz in Regions 1 and 3 and 1885-1980MHz and 2110-2160 MHz Region 2”, Recommendation ITU-R M.1456, International Telecommunications Union, 2000.

[K4-2] http://www.itu.int/newsroom/press_releases/2007/30.html

[K4-3] “Optimizing an Array of Antennas for Cellular Coverage from a High Altitude Platform”, J. Thornton, D. Grace, M.H. Capstick, T.C. Tozer, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vo12, No.3, pp. 484-92, May 2003

[K4-4] “WiMAX IN-Depth”, Paul Piggitt, IEE communications Engineer, October, November 2004

- [K4-5] “Improving spectrum utilization for broadband services in the mm-Wave bands through the use of multiple High Altitude Platforms”, D. Grace, J. Thornton, G P. White, T. C. Tozer, IEE Conference - Getting the most out of the Radio Spectrum, 24-25 October 2002
- [K4-6] Modifications and Additional Physical layer Specifications for 2-11GHz, IEEE Standard 802.16a-2003, pp 281-299, 2003
- [K4-7] “An Empirically Based Path Loss Model for Wireless Channels in Suburban Environments”, Vinko Erceg, Larry J. Greenstein, Sony Y. Tjandra, Seth R. Parkoff, Ajay Gupta, Boris Kulic, Arthur A. Julius, Renee Bianchi, IEEE Journal on selected areas in communications, Vol.17, No.7, July 1999
- [K4-8] “Channel Models for Fixed Wireless Applications”, IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, IEEE 802.16.3c-01/29r4, pp1-10, July 2001
- [K4-9] “Field strength and its variability in UHF and VHF land-mobile radio service”, Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, and K. Fukua, Rev. Elec. Commun. Lab., vol. 16, no. 9, 1968.
- [K4-10] “Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services”, M. Hata, IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 29, pp. 317-325, Aug. 1980.
- [K4-11] “Urban transmission loss models for mobile radio in the 900 and 1800 MHz bands”, EURO-COST-231 Revision 2, Sept. 1991.
- [K4-12] “A quantification of link budget differences between the cellular and PCS bands”, T.-S. Chu and L.J. Greenstein, IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 48, no. 1, January 1999, pp. 60-65.
- [K4-13] “Comparison of mobile radio transmission at UHF and X-band”, W.C. Jakes and D.O. Reudink, IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-16, pp. 10-13, Oct. 1967.
- [K4-14] “Exploiting HAP antenna Directivity in Multiple HAP constellations”, G. Chen, D. Grace, T.C.Tozer, Wireless Personal Mobile Conference, Abano Terme, 2004
- [K4-15] Function “DISTMATRIX”, by Kardi Teknomo, <http://people.revoledu.com/kardi/>

Βιβλιογραφία Παραρτήματος Α

- [ΠΑ1] “Frequency Allocations,” ITU-R Regulations Article 5
- [ΠΑ2] “Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα Συμβατά με το Πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX)”, 2005–Τσαντήλας Κ., Πάσχου Μ., Ραυμομανίκη Μ, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής:
- [ΠΑ3] Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Mesh_network
- [ΠΑ4] “An overview of Adaptive Antenna Systems”, Hafeth Hourani, Helsinki University of Technology, Communications Lab
- [ΠΑ5] “Space-time processing for wireless communications”, A. Paulraj, C.B. Papadias, IEEE Signal Proc. Mag, vol.14, pp.49-83, Nov.1997
- [ΠΑ6] “On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas”, G. J. Foschini, M. J. Gans, Wireless Personal Communications vol.6, pp.311-335, March 1998
- [ΠΑ7] “Layered space-time architecture for wireless communication”, G. J. Foschini, Bell Labs Technical Journal, vol.1, pp.41-59, Autumn 1996


```

%-----%
Ph=10;
ux_h=20000;uy=0;uz=h;      % user's initial coordinates
                           (for HAP-BS coverage)
ux_t=-7000;                % user's initial coordinates
                           (for T-BS coverage)

T=[0 0 30];                % Coordinates of T-BS - fixed
H=[50000 0 17000];        % Coordinates of H-BS - fixed

% =====
%      Calculations of CNR      %
% =====

u1_h=ux_h;                 % user's "initial" position
                           (u1=20000m -> u2=80000m step = 1000m)-(H-BS coverage)
u2_h=80000;                % user's "final" position (H-BS coverage)
u1_t=ux_t;                 % user's "initial" position
                           (u1=-7000m -> u2=7000m step = 30m)-(T-BS coverage)
u2_t=7000;                 % user's "final" position (T-BS coverage)
ustep_h=30;                % step = 30m - (H-BS coverage)
ustep_t=30;                % step = 30m - (T-BS coverage)

[CNR_H,CNR_T]=calculate(a,b,c,DPL_h,Ph,Pt,A_t,Gu,Gh,s_f,n_U,n_H,h
b,lamda,freq,s,u1_h,u2_h,u1_t,u2_t,ustep_h,ustep_t,ux_h,ux_t,uy,u
z,d0,N_f,H,T,h);

%----- CDF plot of CNR for T-BS & H-BS -----%
[h1,stats1] = cdfplot(CNR_T);
hold on
[h2,stats2] = cdfplot(CNR_H);
title('CDF of CNR within the coverage area of H-BS and T-BS')
xlabel('CNR (dB)')
ylabel('Pr( X<CNR (dB))')
legend('CNR T-BS','CNR H-BS')

set(h1,'color','r');
set(h2,'color','g');

elseif ch==2 % Contour plot of CINR for H-BS and T-BS

Ph=10;
T=[0 0 30];                % Coordinates of T-BS - fixed
H=[0 50000 17000];
ux1_t=-7000;                % user in various positions in x-y axis
                           (T-BS coverage)

ux2_t=7000;
uy1_t=-7000;
uy2_t=7000;
uz1_t=h;                    % receive antenna height
ustep_t=500;                % CINR calculations with step = 500m

[CINR_T]=calculate_2b(ux1_t,ux2_t,uy1_t,uy2_t,uz1_t,ustep_t,a,b,c,DPL_h
,Ph,Pt,A_t,Gu,Gh,s_f,n_U,n_H,hb,lamda,freq,s,d0,N_f,H,T,h);

```

```

%-----
ux1_h=20000; % user in various positions in x-y axis
              (H-BS coverage)

ux2_h=80000;
uy1_h=-30000;
uy2_h=30000;
uz1_h=h; % receive antenna height
ustep_h=1000; % CINR calculations with step = 1000m

[CINR_H]=calculate_2a(ux1_h,ux2_h,uy1_h,uy2_h,uz1_h,ustep_h,a,b,c,DPL_h
,Ph,Pt,A_t,Gu,Gh,s_f,n_U,n_H,hb,lamda,freq,s,d0,N_f,H,T,h);

%-----
UUx_h=ux1_h-50000:ustep_h:ux2_h-50000; % array with the positions
of user in x-axis (H-BS coverage)
UUy_h=uy1_h:ustep_h:uy2_h; % array with the positions of user in y-
axis (H-BS coverage)
UUx_t=ux1_t:ustep_t:ux2_t; % array with the positions of user in x-
axis (T-BS coverage)
UUy_t=uy1_t:ustep_t:uy2_t; % array with the positions of user in y-
axis (T-BS coverage)

%----- CINR contour plot for H-BS & T-BS -----%
figure(1);
[cc,hh]=contour(UUx_h,UUy_h,CINR_H,8);
set(hh,'ShowText','on','TextStep',get(hh,'LevelStep')*2)
colormap cool
title('CINR contour plot for H-BS')
xlabel('Distance (m)')
ylabel('Distance (m)')

figure(2);
[ccl,hhl]=contour(UUx_t,UUy_t,CINR_T,20);
set(hhl,'ShowText','on','TextStep',get(hhl,'LevelStep')*2)
colormap cool
title('CINR contour plot for T-BS')
xlabel('Distance (m)')
ylabel('Distance (m)')

elseif ch==3 % CINR & INR at the EOC area of H-BS & T-BS %
x=0;
T=[x 0 30]; % Coordinates of T-BS - variable
H=[77000 0 17000]; % Coordinates of T-BS - fixed

ultx=-7000;ulty=0;ultz=h; % user's initial coordinates
                          (left edge T-BS)
UL_T=[ultx+x ulty ultz];

urtx=7000;urty=0;urtz=h; %---user's initial coordinates
                          (right edge T-BS)---*
UR_T=[urtx+x urty urtz];

ulhx=47000;ulhy=0;ulhz=h; %---(Fixed) user's coordinates
                          (left edge H-BS)---*
UL_H=[ulhx ulhy ulhz];

```

```

-----
% Calculations of (CINR, INR...) for various positions of T-BS in
% x-axis from x1 to x2, with xstep
-----
x1=x;          % initial position of T-BS
x2=80000;     % final position of T-BS
xstep=1000;   % step = 1000m

[sep_dist, CINR_H_LH, CINR_T_LT, CINR_T_RT, INR_H_LH, INR_T_LT, INR_T_RT]=cal
culate_3(a,b,c,DPL_h,Ph,Pt,A_t,Gu,Gh,s_f,n_U,n_H,hb,lamda,freq,s,x1,x2,
xstep,d0,N_f,UL_T,UR_T,UL_H,ultx,ulty,ultz,urtx,urty,urtz,ulhx,ulhy,ulh
z,H,T,h);

figure(1);
plot(sep_dist,CINR_H_LH,'k',sep_dist,CINR_T_LT,'g*',sep_dist,CINR_T_RT,
'b--')

title('CINR at the EOC area of H-BS & T-BS')
xlabel('Separation Distance (m)')
ylabel('CINR (dB)')
legend('CINR H-BS','CINR T-BS Left Edge',
       'CINR T-BS Right Edge')

figure(2);
plot(sep_dist,INR_H_LH,'k',sep_dist,INR_T_LT,'g*',sep_dist,
INR_T_RT,'b--',sep_dist,INR_threshold,'r.')

title('INR at the EOC area of H-BS & T-BS')
xlabel('Separation Distance (m)')
ylabel('INR (dB)')
legend('INR H-BS','INR T-BS Left Edge',
       'INR T-BS Right Edge','INR threshold = -10dB')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Controlled power of H-BS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

INR_T_worst=max(INR_T_LT,INR_T_RT);

for i=1:size(INR_T_LT)
INR_threshold(i,1)=-10;end;
DP_H=(INR_T_worst-INR_threshold);
Ph_controlled=(10-DP_H);

[Ph_0km,Ph_37km,sep_dist,CINR_H_LH,CINR_T_LT,CINR_T_RT,INR_H_LH,INR_T_L
T,INR_T_RT]=calculate_4(Ph_controlled,a,b,c,DPL_h,Ph,Pt,A_t,Gu,Gh,s_f,n
_U,n_H,hb,lamda,freq,s,x1,x2,xstep,d0,N_f,UL_T,UR_T,UL_H,ultx,ulty,ultz
,urtx,urty,urtz,ulhx,ulhy,ulhz,H,T,h,INR_threshold);

INR_T_best=min(INR_T_LT,INR_T_RT);

```

```
figure(3);
plot(sep_dist,Ph_controlled,'r*',sep_dist,CINR_H_LH,'k',sep_dist,INR_T_
best,'g*',sep_dist,INR_threshold,'b--')
```

```
title('Controlled power (H-BS):
      CINR at the EOC area of H-BS & best INR performance')
xlabel('Separation Distance (m)')
ylabel('CINR or INR (dB)')
legend('Ph controlled','CINR H-BS Left Edge',
      'INR T-BS best','INR threshold')
```

```
Ph=10;
x=40000; % sep_dist=0km
T=[x 0 30]; % Coordinates of T-BS
H=[77000 0 17000]; % Coordinates of T-BS - fixed

u1_h=47000; % user's "initial" position
(u1_h=47000m -> u2_h=107000m step = 30m)-(H-BS coverage)
u2_h=107000; % user's "final" position (H-BS coverage)
u1_t=33000; % user's "initial" position
(u1_t=33000m -> u2_t=47000m step = 30m)-(T-BS coverage)
u2_t=47000; % user's "final" position (T-BS coverage)
ustep_h=30; % step = 30m - (H-BS coverage)
ustep_t=30; % step = 30m - (T-BS coverage)
```

```
[CINR_T_0,CINR_H_0]=CDF_CINR(u1_h,u2_h,u1_t,u2_t,ustep_h,ustep_t,a,b,c,
DPL_h,Ph,Pt,A_t,Gu,Gh,s_f,n_U,n_H,hb,lamda,freq,s,d0,N_f,H,T,h);
```

```
Ph=Ph_0km; %controlled power at sep_dist=0km
```

```
[CINR_T_0_DP_H,CINR_H_0_DP_H]=CDF_CINR(u1_h,u2_h,u1_t,u2_t,ustep_h,uste
p_t,a,b,c,DPL_h,Ph,Pt,A_t,Gu,Gh,s_f,n_U,n_H,hb,lamda,freq,s,d0,N_f,H,T,
h);
```

```
Ph=10;
x=77000; %sep_dist=-37km
T=[x 0 30]; % Coordinates of T-BS
```

```
u1_t=70000; % user's "initial" position
(u1_t=70000m -> u2_t=84000m)-(T-BS coverage)
u2_t=84000; % user's "final" position (T-BS coverage)
```

```
[CINR_T_37,CINR_H_37]=CDF_CINR(u1_h,u2_h,u1_t,u2_t,ustep_h,ustep_t,a,b,
c,DPL_h,Ph,Pt,A_t,Gu,Gh,s_f,n_U,n_H,hb,lamda,freq,s,d0,N_f,H,T,h);
```

```
Ph=Ph_37km; %controlled power at sep_dist=37km
```

```
[CINR_T_37_DP_H,CINR_H_37_DP_H]=CDF_CINR(u1_h,u2_h,u1_t,u2_t,ustep_h,us
tep_t,a,b,c,DPL_h,Ph,Pt,A_t,Gu,Gh,s_f,n_U,n_H,hb,lamda,freq,s,d0,N_f,H,
T,h);
```

```
figure(4);
[h1,stats1] = cdfplot(CINR_T_0);
hold on
```

```

[h2,stats2] = cdfplot(CINR_T_0_DP_H);
title('CDF of CINR within the coverage area of T-BS -
      Separation Distance = 0 km')
xlabel('CINR T-BS (dB)')
ylabel(' Pr( X<CINR T-BS (dB) )')
legend('CINR T-BS fixed power','CINR T-BS controlled power')

figure(5);
[h3,stats3] = cdfplot(CINR_T_37);
hold on
[h4,stats4] = cdfplot(CINR_T_37_DP_H);
title('CDF of CINR within the coverage area of T-BS
      Separation Distance = -37')
xlabel('CINR T-BS (dB)')
ylabel(' Pr( X<CINR T-BS (dB) )')
legend('CINR T-BS fixed power','CINR T-BS controlled power')

figure(6);
[h5,stats5] = cdfplot(CINR_H_0);
hold on
[h6,stats6] = cdfplot(CINR_H_0_DP_H);
title('CDF of CINR within the coverage area of H-BS -
      Separation Distance = 0 km')
xlabel('CINR H-BS (dB)')
ylabel(' Pr( X<CINR H-BS (dB) )')
legend('CINR H-BS fixed power','CINR H-BS controlled power')

figure(7);
[h7,stats7] = cdfplot(CINR_H_37);
hold on
[h8,stats8] = cdfplot(CINR_H_37_DP_H);
title('CDF of CINR within the coverage area of H-BS -
      Separation Distance = -37')
xlabel('CINR (dB)')
ylabel(' Pr(X<CINR H-BS (dB) )')
legend('CINR H-BS fixed power','CINR H-BS controlled power')

set(h1,'color','r');
set(h2,'color','b');
set(h3,'color','r');
set(h4,'color','b');
set(h5,'color','r');
set(h6,'color','b');
set(h7,'color','r');
set(h8,'color','b');

end;
ch=menu_2();
end;

```

2. calculate.m (Συνάρτηση)

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Fixed Separation Distance = 13km %%%%%%%%%
% User located at various points in the x-axis %%%%%%%%%
% CNR calculation for H-BS & T-BS %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function
[CNR_H,CNR_T]=calculate(a,b,c,DPL_h,Ph,Pt,A_t,Gu,Gh,s_f,n_U,n_H,hb,lamd
a,freq,s,u1_h,u2_h,u1_t,u2_t,ustep_h,ustep_t,ux_h,ux_t,uy,uz,d0,N_f,H,T
,h)

n_itter_h=(u2_h-u1_h)/ustep_h+1; % user from point u1_h to u2_h
                                with ustep_h
CNR_H=zeros(n_itter_h,1); % array initialization
n_itter_t=(u2_t-u1_t)/ustep_t+1; % user from point u1_t to u2_t
                                with ustep_t
CNR_T=zeros(n_itter_t,1); % array initialization
d_HT =DistMatrix(H,T); % Fixed Separation Distance = 13km
theta_H=0; % test user directly points at the H-BS
            (at H-BS coverage area)
theta_T=0; % test user directly points at the T-BS
            (at T-BS coverage area)
A_u_H=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_H))^n_U,10^(s_f/10))); % the gain of
the antenna of the user at an angle "theta_H" with respect to its
boresight (H-BS->theta_H=0)
A_u_H=10*log10(A_u_H);
A_u_T=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_T))^n_U,10^(s_f/10))); % the gain of
the antenna of the user at an angle "theta_T" with respect to its
boresight (T-BS->theta_T=0)
A_u_T=10*log10(A_u_T);

%%%%%%%%%% CNR calculation for H-BS %%%%%%%%%%%
i=1;
for ux_h=u1_h:ustep_h:u2_h % number of iterations:(u2_h-
u1_h)/ustep_h +1

    U=[ux_h uy uz]; %user's coordinates in x-y-z axis
    d_H =DistMatrix(U,H); % Separation Distance between user and H-BS
    d_T =DistMatrix(U,T); % Separation Distance between user and T-BS

    f_h =acos(17000/d_H); % angle "f" with respect to H-BS
                        boresight (17000-6.5~=17000m)
    A_h=10^(Gh/10)*((cos(f_h))^n_H); % the gain of the antenna of
                                H-BS at an angle "f" with
                                respect to its boresight (in Watt)
    A_h=10*log10(A_h); % the gain of the antenna of H-BS (in dB)
    PL_h=20*log10(4*pi*d_H/lamda); % the propagation model used for
                                H-BS is the Free-Space-Path-Loss (FSPL)

    %%%%%%%%%%%
    CNR_H(i)=(Ph+A_h+A_u_H-PL_h)-(N_f); % CNR calculation
    %%%%%%%%%%%
endfor

```

```

    i=i+1;
end;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
CNR calculation for T-BS %%%%%%%%%%%%%%%
j=1;
for ux_t=ul_t:ustep_t:u2_t    % number of iterations:
    (u2_t-ul_t)/ustep_t +1

    U=[ux_t uy uz];
    d_H =DistMatrix(U,H); % Separation Distance between user and H-BS
    d_T =DistMatrix(U,T); % Separation Distance between user and T-BS

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    f_h =acos(17000/d_H); % angle "f" with respect to
                        H-BS boresight (17000-6.5*17000m)

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % For a given close-in distance d0, the median path loss
    % (PL in dB) is given by
    %     PL = A + 10 γ log10 (d/d0) + s for d > d0,
    % where A = 20 log10(4 π d0 / λ) (λ being the wavelength in m),
    %     γ = is the path-loss exponent with γ = (a - b hb + c / hb)
    % for hb between 10 m and 80 m
    % (hb is the height of the base station in m),
    % d0 = 100m and a, b, c are constants
    % dependent on the terrain category
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    A=20*log10(4*pi*d0/lamda);
    g=a-(b*hb)+(c/hb);
    PLm = (A + 10*g*log10(d_T/d0)+s);
    freq_mhz=freq*10^(-6);
    DPL_f = 6*(log10(( freq_mhz)/(2000)));
    PL_t = PLm + DPL_f + DPL_h; % Hata-Okumura model
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    CNR_T(j)=Pt+A_t+A_u_T-PL_t-(N_f);

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
j=j+1;
end;

```



```

PLm = (A + 10*g*log10(d_T/d0)+s);
PL_t = (PLm + DPL_f + DPL_h);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

A_u_T_Watt=10^(A_u_T/10);
PL_t_Watt=10^(-PL_t/10);
IN_H_Watt=(N_f_Watt+(Pt_Watt*A_t_Watt*A_u_T_Watt*PL_t_Watt));
IN_H_dB=10*log10(IN_H_Watt);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

CINR_H(i,j)=(Ph+A_h+A_u_H-PL_h)-(IN_H_dB);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
j=j+1;
end
i=i+1;
j=1;

end

```

4. calculate_2b.m (Συνάρτηση)

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Fixed Separation Distance = 13km %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% User located at various points in the x-y plane %%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CINR contour plot for T-BS %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function
[CINR_T]=calculate_2b(ux1_t,ux2_t,uy1_t,uy2_t,uz1_t,ustep_t,a,b,c,DPL_h
,Ph,Pt,A_t,Gu,Gh,s_f,n_U,n_H,hb,lamda,freq,s,d0,N_f,H,T,h)

i=1;
j=1;
n_itter=(abs(ux1_t)+abs(ux2_t))/ustep_t+1; %ux1=-7000

CINR_T=zeros(n_itter,n_itter);
uz=uz1_t; %h=6.5m receive antenna height
theta_T=0; % test user directly points at the T-BS (boresight)
A_u_T = 10^(Gu/10) * (max((cos(theta_T))^n_U,10^(s_f/10)));
A_u_T=10*log10(A_u_T);
d_HT =DistMatrix(H,T); % Fixed Separation Distance = 13km
N_f_Watt=10^(N_f/10);
Pt_Watt=10^(Pt/10);
A_t_Watt=10^(A_t/10);
A=20*log10(4*pi*d0/lamda);
g=a-(b*hb)+(c/hb);
Ph_Watt=10^(Ph/10);
freq_mhz=freq*10^(-6);
DPL_f = 6*(log10((freq_mhz)/(2000)));

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CINR contour plot for T-BS %%%%%%%%%
for ux = ux1_t : ustep_t : ux2_t % (u2-u1)/ustep fores
  for uy = uy1_t : ustep_t : uy2_t

    U=[ux uy uz]; %user's coordinates in x-y-z axis
    d_H =DistMatrix(U,H); % Separation Distance between user and H-BS
    d_T =DistMatrix(U,T); % Separation Distance between user and T-BS

    f_h =acos(17000/d_H);
    theta_H=acos( ((d_T)^2 + (d_H)^2 - (d_HT)^2 ) / (2*d_T*d_H) );
    % angle theta_H away from user's boresight
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    A_u_H = 10^(Gu/10)*(max((cos(theta_H))^n_U,10^(s_f/10)));
    A_h=10^(Gh/10)*((cos(f_h))^n_H);
    A_u_H=10*log10(A_u_H);
    A_h=10*log10(A_h);
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    PL_h=20*log10(4*pi*d_H/lamda); % the propagation model used for
                                H-BS is the Free-Space-Path-Loss (FSPL)
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

    PLm = (A + 10*g*log10(d_T/d0)+s);
    PL_t = (PLm + DPL_f + DPL_h);
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    PL_t_Watt=10^(-PL_t/10);
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

    A_h_Watt=10^(A_h/10);
    PL_h_Watt=10^(-PL_h/10);
    A_u_H_Watt=10^(A_u_H/10);
    IN_T_Watt=(N_f_Watt+(Ph_Watt*A_h_Watt*A_u_H_Watt*PL_h_Watt));
    IN_T_dB=10*log10(IN_T_Watt);
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    CINR_T(i,j)=(Pt+A_t+A_u_T-PL_t)-(IN_T_dB);
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    j=j+1;

  end
  i=i+1;
  j=1;

```

end

5. calculate_3 (Συνάρτηση)

```

%%
%% Variable Separation Distance of H-BS & T-BS
%% Users at the EOC area of H-BS and T-BS, at x-axis
%%
function
[sep_dist,CINR_H_LH,CINR_T_LT,CINR_T_RT,INR_H_LH,INR_T_LT,INR_T_RT]=cal
culate_3(a,b,c,DPL_h,Ph,Pt,A_t,Gu,Gh,s_f,n_U,n_H,hb,lamda,freq,s,x1,x2,
xstep,d0,N_f,UL_T,UR_T,UL_H,ultx,ulty,ultz,urtx,urty,urtz,ulhx,ulhy,ulh
z,H,T,h);

i=1;
n_itter=(x2-x1)/xstep+1; % number of itterations:(x2-x1)/xstep +1

CINR_H_LH=zeros(n_itter,1); %arrays' initialization
INR_H_LH=zeros(n_itter,1);
CINR_T_LT=zeros(n_itter,1);
CINR_T_RT=zeros(n_itter,1);
CINR_T_LH=zeros(n_itter,1);
INR_T_LT=zeros(n_itter,1);
INR_T_RT=zeros(n_itter,1);
INR_T_LH=zeros(n_itter,1);
sep_dist=zeros(n_itter,1);
UL_H=[ulhx ulhy ulhz]; % user's coordinates (left edge of H-BS EOC
area)-fixed
theta_LT=0; %angle theta - left edge of T-BS - from boresight (the
test user antenna directly points at the T-BS)
theta_RT=0; %angle theta - right edge of T-BS - from boresight (the
test user antenna directly points at the T-BS)
theta_LH=0; %angle theta - left edge of H-BS - from boresight (the
test user antenna directly points at the H-BS)
A_u_LT=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_LT))^n_U,10^(s_f/10)));
A_u_RT=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_RT))^n_U,10^(s_f/10)));
A_u_LH=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_LH))^n_U,10^(s_f/10)));
A_u_LT=10*log10(A_u_LT); % gain of user in dB (left edge of T-BS)
A_u_RT=10*log10(A_u_RT);
A_u_LH=10*log10(A_u_LH);
A_u_LT_Watt=10^(A_u_LT/10);
A_u_RT_Watt=10^(A_u_RT/10);
A_u_LH_Watt=10^(A_u_LH/10);
A=20*log10(4*pi*d0/lamda);
g=a-(b*hb)+(c/hb);

N_f_Watt=10^(N_f/10);
Pt_Watt=10^(Pt/10);
A_t_Watt=10^(A_t/10);
%Ph_Watt=10^(Ph/10);
freq_mhz=freq*10^(-6);
DPL_f = 6*(log10((freq_mhz)/(2000)));

for x=x1:xstep:x2 % T-BS is "moving" on x-axis
% from x1->x2 with xstep (T=[0 0 30]-> T=[x 0 30])

Ph_Watt=10^(Ph/10);

```

```

T=[x 0 30];
UL_T=[ultx+x ulty ultz]; % user's coordinates in x-y-z axis
                             (left edge of T-BS EOC area)
UR_T=[urtx+x urty urtz]; % user's coordinates
                             (right edge of T-BS EOC area)

sep_dist(i)=(ulhx-(urtx+x)); %separation distance:
                             from the point on the right edge
                             of T-BS EOC to the left edge of H-BS EOC.

d_HT =DistMatrix(H,T); %distance between H-BS and T-BS
d_LT_H = DistMatrix(UL_T,H); %distance of left edge T-BS from H-BS
d_RT_H = DistMatrix(UR_T,H); %distance of right edge T-BS from H-BS
d_LH_H = DistMatrix(UL_H,H); %distance of left edge H-BS from H-BS

d_LT_T = DistMatrix(UL_T,T); %distance of left edge T-BS from T-BS
d_RT_T = DistMatrix(UR_T,T); %distance of right edge T-BS from T-BS
d_LH_T = DistMatrix(UL_H,T); %distance of left edge H-BS from T-BS

f_h_LT =acos(17000/d_LT_H); %17000-6.5~=17000m
f_h_RT =acos(17000/d_RT_H); %17000-6.5~=17000m
f_h_LH =acos(17000/d_LH_H); %17000-6.5~=17000m

theta_LT_H=acos( ((d_LT_T)^2 + (d_LT_H)^2 - (d_HT)^2 ) /
(2*d_LT_T*d_LT_H) ); %angle theta - left edge of T-BS -
                             from H-BS (boresight: T-BS)
theta_RT_H=acos( ((d_RT_T)^2 + (d_RT_H)^2 - (d_HT)^2 ) /
(2*d_RT_T*d_RT_H) ); %angle theta - right edge of T-BS -
                             from H-BS (boresight: T-BS)
theta_LH_T=acos( ((d_LH_T)^2 + (d_LH_H)^2 - (d_HT)^2 ) /
(2*d_LH_T*d_LH_H) ); %angle theta - left edge of H-BS -
                             from T-BS (boresight: H-BS)

A_u_LT_H=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_LT_H))^n_U,10^(s_f/10)));
A_u_RT_H=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_RT_H))^n_U,10^(s_f/10)));
A_u_LH_T=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_LH_T))^n_U,10^(s_f/10)));

A_u_LT_H=10*log10(A_u_LT_H);
A_u_RT_H=10*log10(A_u_RT_H);
A_u_LH_T=10*log10(A_u_LH_T);

A_h_LT=10^(Gh/10)*((cos(f_h_LT))^n_H);
A_h_RT=10^(Gh/10)*((cos(f_h_RT))^n_H);
A_h_LH=10^(Gh/10)*((cos(f_h_LH))^n_H);

A_h_LT=10*log10(A_h_LT);
A_h_RT=10*log10(A_h_RT);
A_h_LH=10*log10(A_h_LH);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
PL_h_LT=20*log10(4*pi*d_LT_H/lamda);
PL_h_RT=20*log10(4*pi*d_RT_H/lamda);
PL_h_LH=20*log10(4*pi*d_LH_H/lamda);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

PLm_LT = (A + 10*g*log10(d_LT_T/d0)+s);

```

```

PLm_RT = (A + 10*g*log10(d_RT_T/d0)+s);
PLm_LH = (A + 10*g*log10(d_LH_T/d0)+s);

PL_t_LT = (PLm_LT + DPL_f + DPL_h);
PL_t_RT = (PLm_RT + DPL_f + DPL_h);
PL_t_LH = (PLm_LH + DPL_f + DPL_h);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

A_u_LT_H_Watt=10^(A_u_LT_H/10);
A_u_RT_H_Watt=10^(A_u_RT_H/10);
A_u_LH_T_Watt=10^(A_u_LH_T/10);

PL_t_LT_Watt=10^(-PL_t_LT/10);
PL_t_RT_Watt=10^(-PL_t_RT/10);
PL_t_LH_Watt=10^(-PL_t_LH/10);

IN_H_LH_Watt =N_f_Watt+Pt_Watt*A_t_Watt*A_u_LH_T_Watt*PL_t_LH_Watt;
IN_H_LH_dB=10*log10(IN_H_LH_Watt);

CINR_H_LH(i)=(Ph+A_h_LH+A_u_LH-PL_h_LH)-(IN_H_LH_dB);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
INR_H_LH(i)=Pt+A_t+A_u_LH-PL_t_LH-(N_f);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
A_h_LT_Watt=10^(A_h_LT/10);
A_h_RT_Watt=10^(A_h_RT/10);
A_h_LH_Watt=10^(A_h_LH/10);

PL_h_LT_Watt=10^(-PL_h_LT/10);
PL_h_RT_Watt=10^(-PL_h_RT/10);

IN_T_LT_Watt=(N_f_Watt+Ph_Watt*A_h_LT_Watt*A_u_LT_H_Watt*PL_h_LT_Watt);
IN_T_RT_Watt=(N_f_Watt+Ph_Watt*A_h_RT_Watt*A_u_RT_H_Watt*PL_h_RT_Watt);

IN_T_LT_dB=10*log10(IN_T_LT_Watt);
IN_T_RT_dB=10*log10(IN_T_RT_Watt);

CINR_T_LT(i)=(Pt+A_t+A_u_LT-PL_t_LT)-(IN_T_LT_dB);
CINR_T_RT(i)=(Pt+A_t+A_u_RT-PL_t_RT)-(IN_T_RT_dB);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

INR_T_LT(i)=Ph+A_h_LT+A_u_LT_H-PL_h_LT-(N_f);
INR_T_RT(i)=Ph+A_h_RT+A_u_RT_H-PL_h_RT-(N_f);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%disp('INR_T_LT=');
%disp(INR_T_LT);
i=i+1;
end

```

6. calculate_4 (Συνάρτηση)

```

% Variable Separation Distance of H-BS & T-BS
% Controlled power of HAP-BS
% CINR or INR (dB)

function
[Ph_0km, Ph_37km, sep_dist, CINR_H_LH, CINR_T_LT, CINR_T_RT, INR_H_LH, INR_T_L
T, INR_T_RT]=calculate_4(Ph_controlled, a, b, c, DPL_h, Ph, Pt, A_t, Gu, Gh, s_f, n
_U, n_H, hb, lamda, freq, s, x1, x2, xstep, d0, N_f, UL_T, UR_T, UL_H, ultx, ulty, ultz
, urtx, urty, urtz, ulhx, ulhy, ulhz, H, T, h, INR_threshold);

i=1;
n_itter=(x2-x1)/xstep+1; % number of iterations: (x2-x1)/xstep +1

CINR_H_LH=zeros(n_itter,1); %arrays' initialization
INR_H_LH=zeros(n_itter,1);
CINR_T_LT=zeros(n_itter,1);
CINR_T_RT=zeros(n_itter,1);
CINR_T_LH=zeros(n_itter,1);
INR_T_LT=zeros(n_itter,1);
INR_T_RT=zeros(n_itter,1);
INR_T_LH=zeros(n_itter,1);
sep_dist=zeros(n_itter,1);
UL_H=[ulhx ulhy ulhz]; % user's coordinates (left edge of H-BS EOC
area)-fixed
theta_LT=0; %angle theta - left edge of T-BS - from boresight (the
test user antenna directly points at the T-BS)
theta_RT=0; %angle theta - right edge of T-BS - from boresight (the
test user antenna directly points at the T-BS)
theta_LH=0; %angle theta - left edge of H-BS - from boresight (the
test user antenna directly points at the H-BS)
A_u_LT=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_LT))^n_U, 10^(s_f/10)));
A_u_RT=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_RT))^n_U, 10^(s_f/10)));
A_u_LH=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_LH))^n_U, 10^(s_f/10)));
A_u_LT=10*log10(A_u_LT); % gain of user in dB (left edge of T-BS)
A_u_RT=10*log10(A_u_RT);
A_u_LH=10*log10(A_u_LH);
A_u_LT_Watt=10^(A_u_LT/10);
A_u_RT_Watt=10^(A_u_RT/10);
A_u_LH_Watt=10^(A_u_LH/10);
A=20*log10(4*pi*d0/lamda);
g=a-(b*hb)+(c/hb);

N_f_Watt=10^(N_f/10);
Pt_Watt=10^(Pt/10);
A_t_Watt=10^(A_t/10);
%Ph_Watt=10^(Ph/10);
freq_mhz=freq*10^(-6);
DPL_f = 6*(log10((freq_mhz)/(2000)));

for x=x1:xstep:x2 % T-BS is "moving" on x-axis
% from x1->x2 with xstep (T=[0 0 30]-> T=[x 0 30])

```

```

Ph=Ph_controlled(i,1);
Ph_Watt=10^(Ph/10);
T=[x 0 30];
UL_T=[ultx+x ulty ultz]; % user's coordinates in x-y-z axis (left
edge of T-BS EOC area)
UR_T=[urtx+x urty urtz]; % user's coordinates (right edge of T-BS
EOC area)

sep_dist(i)=(ulhx-(urtx+x)); %separation distance: from the point
on the right edge of T-BS EOC to the left edge of H-BS EOC.
if (x==40000)
    Ph_0km=Ph_controlled(i,1);
end;
if (x==77000)
    Ph_37km=Ph_controlled(i,1);
end;

d_HT =DistMatrix(H,T); %distance between H-BS and T-BS
d_LT_H = DistMatrix(UL_T,H); %distance of left edge T-BS from H-BS
d_RT_H = DistMatrix(UR_T,H); %distance of right edge T-BS from H-BS
d_LH_H = DistMatrix(UL_H,H); %distance of left edge H-BS from H-BS

d_LT_T = DistMatrix(UL_T,T); %distance of left edge T-BS from T-BS
d_RT_T = DistMatrix(UR_T,T); %distance of right edge T-BS from T-BS
d_LH_T = DistMatrix(UL_H,T); %distance of left edge H-BS from T-BS

f_h_LT =acos(17000/d_LT_H); %assumption: 17000-6.5~=17000m
f_h_RT =acos(17000/d_RT_H); %assumption: 17000-6.5~=17000m
f_h_LH =acos(17000/d_LH_H); %assumption: 17000-6.5~=17000m

theta_LT_H=acos( ((d_LT_T)^2 + (d_LT_H)^2 - (d_HT)^2 ) /
(2*d_LT_T*d_LT_H) ); %angle theta - left edge of T-BS - from H-BS
(boresight: T-BS)
theta_RT_H=acos( ((d_RT_T)^2 + (d_RT_H)^2 - (d_HT)^2 ) /
(2*d_RT_T*d_RT_H) ); %angle theta - right edge of T-BS - from H-BS
(boresight: T-BS)
theta_LH_T=acos( ((d_LH_T)^2 + (d_LH_H)^2 - (d_HT)^2 ) /
(2*d_LH_T*d_LH_H) ); %angle theta - left edge of H-BS - from T-BS
(boresight: H-BS)

A_u_LT_H=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_LT_H))^n_U,10^(s_f/10)));
A_u_RT_H=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_RT_H))^n_U,10^(s_f/10)));
A_u_LH_T=10^(Gu/10)*(max((cos(theta_LH_T))^n_U,10^(s_f/10)));

A_u_LT_H=10*log10(A_u_LT_H);
A_u_RT_H=10*log10(A_u_RT_H);
A_u_LH_T=10*log10(A_u_LH_T);

A_h_LT=10^(Gh/10)*((cos(f_h_LT))^n_H);
A_h_RT=10^(Gh/10)*((cos(f_h_RT))^n_H);
A_h_LH=10^(Gh/10)*((cos(f_h_LH))^n_H);

A_h_LT=10*log10(A_h_LT);
A_h_RT=10*log10(A_h_RT);

```

```

A_h_LH=10*log10(A_h_LH);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
PL_h_LT=20*log10(4*pi*d_LT_H/lamda);
PL_h_RT=20*log10(4*pi*d_RT_H/lamda);
PL_h_LH=20*log10(4*pi*d_LH_H/lamda);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

PLm_LT = (A + 10*g*log10(d_LT_T/d0)+s);
PLm_RT = (A + 10*g*log10(d_RT_T/d0)+s);
PLm_LH = (A + 10*g*log10(d_LH_T/d0)+s);

PL_t_LT = (PLm_LT + DPL_f + DPL_h);
PL_t_RT = (PLm_RT + DPL_f + DPL_h);
PL_t_LH = (PLm_LH + DPL_f + DPL_h);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

A_u_LT_H_Watt=10^(A_u_LT_H/10);
A_u_RT_H_Watt=10^(A_u_RT_H/10);
A_u_LH_T_Watt=10^(A_u_LH_T/10);

PL_t_LT_Watt=10^(-PL_t_LT/10);
PL_t_RT_Watt=10^(-PL_t_RT/10);
PL_t_LH_Watt=10^(-PL_t_LH/10);

IN_H_LH_Watt =
N_f_Watt+Pt_Watt*A_t_Watt*A_u_LH_T_Watt*PL_t_LH_Watt;
IN_H_LH_dB=10*log10(IN_H_LH_Watt);

CINR_H_LH(i)=(Ph+A_h_LH+A_u_LH-PL_h_LH)-(IN_H_LH_dB);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
INR_H_LH(i)=Pt+A_t+A_u_LH-PL_t_LH-(N_f);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
A_h_LT_Watt=10^(A_h_LT/10);
A_h_RT_Watt=10^(A_h_RT/10);
A_h_LH_Watt=10^(A_h_LH/10);
PL_h_LT_Watt=10^(-PL_h_LT/10);
PL_h_RT_Watt=10^(-PL_h_RT/10);

IN_T_LT_Watt=(N_f_Watt+Ph_Watt*A_h_LT_Watt*A_u_LT_H_Watt*PL_h_LT_Watt);
IN_T_RT_Watt=(N_f_Watt+Ph_Watt*A_h_RT_Watt*A_u_RT_H_Watt*PL_h_RT_Watt);

IN_T_LT_dB=10*log10(IN_T_LT_Watt);
IN_T_RT_dB=10*log10(IN_T_RT_Watt);

CINR_T_LT(i)=(Pt+A_t+A_u_LT-PL_t_LT)-(IN_T_LT_dB);
CINR_T_RT(i)=(Pt+A_t+A_u_RT-PL_t_RT)-(IN_T_RT_dB);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
INR_T_LT(i)=Ph+A_h_LT+A_u_LT_H-PL_h_LT-(N_f);
INR_T_RT(i)=Ph+A_h_RT+A_u_RT_H-PL_h_RT-(N_f);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
i=i+1;

```

end

7. caseTerrain (Συνάρτηση)

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Terrain Type Choice & Calculation of DPL_h %%%%%%%%%%%%%%%  
% (DPL_h: receive antenna height correction term for the path loss) %  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
function [a,b,c,DPL_h,chw]=caseTerrain(h) %Terrain Type Choice  
  
chw = menu();  
  
fprintf('\n');  
while(chw ~= 4 )  
    switch (chw)  
        case 1  
            disp('Terrain Type A:  
                Maximum path loss category  
                (hilly terrain with moderate-to-heavy  
                tree densities)');  
            a=4.6; b=0.0075; c=12.6;  
            DPL_h = - 10.8*log10(h/2);  
            break;  
        case 2  
            disp('Terrain Type B:  
                Intermediate path loss condition');  
            a=4; b=0.0065; c=17.1;  
            DPL_h = - 10.8*log10(h/2);  
            break;  
        case 3  
            disp('Terrain Type C:  
                Minimum path loss category  
                (flat terrain with light tree densities)');  
            a=3.6; b=0.005; c=20;  
            DPL_h = - 20*log10(h/2); %where h is the  
                receive antenna height between 2 m and 10 m.  
            break;  
        otherwise  
            disp('Not a right choice');  
    end ;  
  
    fprintf('\n');  
    chw = menu();  
    fprintf('\n');  
  
end;  
  
chw=chw;
```



```

PL_t = (PLm + DPL_f + DPL_h);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
A_u_T_Watt=10^(A_u_T/10);
PL_t_Watt=10^(-PL_t/10);
IN_H_Watt=(N_f_Watt+(Pt_Watt*A_t_Watt*A_u_T_Watt*PL_t_Watt));
IN_H_dB=10*log10(IN_H_Watt);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
CINR_H(i)=(Ph+A_h+A_u_H-PL_h)-(IN_H_dB);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

i=i+1;
end;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CINR calculation for T-BS %%%%%%%%%
j=1;
for ux=u1_t:ustep_t:u2_t %number of iterations:(u2_t-u1_t)/ustep_t +1

U=[ux uy uz]; %user's coordinates in x-y-z axis
d_H =DistMatrix(U,H); % Separation Distance between user and H-BS
d_T =DistMatrix(U,T); % Separation Distance between user and T-B

f_h =acos(17000/d_H);
A_u_T = 10^(Gu/10)*(max((cos(theta_T))^n_U,10^(s_f/10)));
A_u_T=10*log10(A_u_T);

theta_T=0; % test user directly points at the T-BS (boresight)
theta_H=acos( ((d_T)^2 + (d_H)^2 - (d_HT)^2 ) / (2*d_T*d_H) );
% angle theta_H away from user's boresight
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
A_u_H = 10^(Gu/10)*(max((cos(theta_H))^n_U,10^(s_f/10)));
A_h=10^(Gh/10)*((cos(f_h))^n_H);
A_u_H=10*log10(A_u_H);
A_h=10*log10(A_h);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
PL_h=20*log10(4*pi*d_H/lamda); % the propagation model used
% for H-BS is the Free-Space-Path-Loss (FSPL)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
PLm = (A + 10*g*log10(d_T/d0)+s);
PL_t = (PLm + DPL_f + DPL_h);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
PL_t_Watt=10^(-PL_t/10);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
A_h_Watt=10^(A_h/10);
PL_h_Watt=10^(-PL_h/10);
A_u_H_Watt=10^(A_u_H/10);
IN_T_Watt=(N_f_Watt+(Ph_Watt*A_h_Watt*A_u_H_Watt*PL_h_Watt));
IN_T_dB=10*log10(IN_T_Watt);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
CINR_T(j)=(Pt+A_t+A_u_T-PL_t)-(IN_T_dB);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
j=j+1;
end;

```

9. DistMatrix (Συνάρτηση)

```
function d=DistMatrix(A,B) % returns distance matrix between points in
                           A=[x1 y1 ... w1] and in B=[x2 y2 ... w2]
    [hA,wA]=size(A);
    [hB,wB]=size(B);
    if wA ~= wB, error(' second dimension of A and B must be
the same');
    end
    for k=1:wA
        C{k}= repmat(A(:,k),1,hB);
        D{k}= repmat(B(:,k),1,hA);
    end
    S=zeros(hA,hB);
    for k=1:wA
        S=S+(C{k}-D{k}).^2;
    end
    d=sqrt(S);
```

10. menu (Συνάρτηση)

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function a1 = menu()
    fprintf('\n');
    disp('-----TERRAIN-TYPE-CHOICE: -----');
    fprintf('\n');
    disp('-enter-[1]-for-A: Maximum path loss category is hilly terrain
with moderate-to-heavy tree densities');
    disp('-enter-[2]-for-B: Intermediate path loss condition');
    disp('-enter-[3]-for-C: Minimum path loss category is mostly flat
terrain with light tree densities');
    disp('-enter-[4]-for--: -----EXITING-THE-PROGRAM-----');
    fprintf('\n');

    a1 = input('          choice = ');fprintf('\n');

    while ((a1 < 1) || (a1 > 4))
        disp('Enter the right choice ');fprintf('\n');
        a1 = menu();fprintf('\n');
    end ;
```

11. menu_2 (Συνάρτηση)

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function a2 = menu_2()
```

```

fprintf('\n');
disp('----- MENU-OF-CALCULATIONS: -----');
fprintf('\n');
disp('-enter-[1]-for-: CDF of CNR within the coverage area
                    of H-BS and T-BS');
disp('-enter-[2]-for-: Contour plot of CINR for H-BS and T-BS');
disp('-enter-[3]-for-: (i) CINR&INR at the EOC area of H-BS & T-BS');
disp('                    (ii) CDF of CINR within the coverage area
                    of H-BS & T-BS-Fixed & Controlled power of H-BS ');
disp('-enter-[4]-for-: -----EXITING-THE-PROGRAM-----');
fprintf('\n');

a2 = input('          choice = ');fprintf('\n');

while ((a2 < 1 ) || ( a2 > 4))
    disp('Enter the right choice ');fprintf('\n');
    a2 = menu_2();fprintf('\n');
end ;

```

Πανεπιστήμιο Πειραιώς