

**Τμήμα
Μηχανικών
Πληροφορικής τ.ε.**

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Δυτικής Ελλάδας

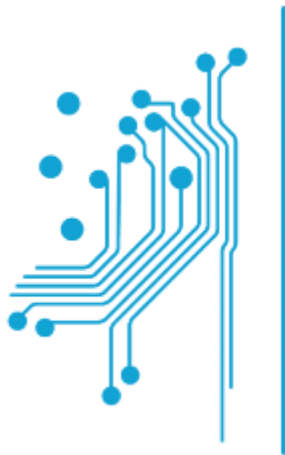
Πτυχιακή Εργασία

**Το Φυσικό Επίπεδο των Δεκτών με Πολλαπλές Κεραίες: Θεωρία και
Πειραματική Εξομοίωση**

Τσάκος Δημήτριος (Α.Μ 0317)

Επιβλέπων καθηγητής: Αμπελιώτης Δημήτριος

ANTIPPIO 2014



**Τμήμα
Μηχανικών
Πληροφορικής τ.ε.**
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Δυτικής Ελλάδας

Πτυχιακή Εργασία

**Το Φυσικό Επίπεδο των Δεκτών με Πολλαπλές Κεραίες: Θεωρία και
Πειραματική Εξομοίωση**

Τσάκος Δημήτριος (Α.Μ 0317)

Επιβλέπων καθηγητής: Αμπελιώτης Δημήτριος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 22^η Σεπτεμβρίου 2014

.....
Δ. Αμπελιώτης

.....
Μ. Παρασκευάς

.....
Η. Ασαρίδης

ANTIPPIO 2014

.....
Τσάκος Δημήτριος

Διπλωματούχος Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων

Copyright © Τσάκος Δημήτριος 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου η τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση ότι αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Τμήματος Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων.

Περίληψη

Σκοπός της πτυχιακής είναι η βιβλιογραφική μελέτη σχετικά τα φαινόμενα του διασκορπισμού και της μετατόπισης “Doppler”, τα οποία εισάγουν παραμορφώσεις στο λαμβανόμενο σήμα ενός ασύρματου δέκτη. Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η μελέτη διάφορων τεχνικών χωρικής ποικιλομορφίας (Spatial Diversity). Οι τεχνικές αυτές εφαρμόζονται σε δέκτες που είναι εξοπλισμένοι με πολλαπλές κεραιές και προσπαθούν να αντιμετωπίσουν το φαινόμενο της πολύ μεγάλης εξασθένησης την οποία μπορεί να εισάγει ένα ασύρματο τηλεπικοινωνιακό κανάλι σε κάποια χρονική στιγμή. Πιο συγκεκριμένα, ένας δέκτης που χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές μπορεί να συνδυάζει κατάλληλα τα διαφορετικά σήματα τα οποία λαμβάνει από τις κεραιές αυτές, όπου η πιθανότητα όλα τα σήματα αυτά να βρίσκονται σε πολύ μεγάλη εξασθένηση είναι μικρότερη σε σχέση με ένα δέκτη με μια μοναδική κεραία. Για την πρακτική μελέτη αρχικά δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα εξομοίωσης ενός καναλιού επίπεδης εξασθένησης Rayleigh, το οποίο μοντελοποιεί ικανοποιητικά τις παραπάνω παραμορφώσεις του λαμβανόμενου σήματος. Τέλος, πραγματοποιήθηκε η εξομοίωση του φυσικού επιπέδου ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος στο οποίο το λαμβανόμενο σήμα έχει υποβαθμιστεί από ένα κανάλι επίπεδης εξασθένησης Rayleigh. Για το σύστημα αυτό εξετάστηκαν οι περιπτώσεις όπου ο δέκτης έχει περισσότερες από μια κεραιές, και θα υπολογίστηκε το κέρδος το οποίο προκύπτει όταν ο δέκτης αξιοποιεί τα σήματα τα οποία λαμβάνει από όλες τις κεραιές του χρησιμοποιώντας τις τεχνικές (α) Selection Diversity, (β) Feedback (ή Scanning) Diversity και (γ) Maximal Ratio Combining Diversity.

Abstract

The purpose of graduation project is the bibliographical study on the effects of dispersion and drift "Doppler", which introduce distortions in the received signal to a wireless receiver. The subject of this thesis is to study various techniques of spatial diversity (Spatial Diversity). These techniques apply to receivers that are equipped with multiple antennas and trying to cope with the extremely debilitating phenomenon which may introduce a wireless telecommunication channel at some time. More specifically, a receiver that utilizes multiple antennas may combine the different signals received from these antennas, where the likelihood of all these signals in a very great weakness is slower compared to a receiver with a single antenna. For practical study originally created a wrapper of a flat-fading channel Order, which satisfactorily the models above deformations of signal strength. Finally, the physical layer emulation of a telecommunications system in which the received signal has been downgraded from a flat-fading channel Order. For this system examined cases where the receiver has more than one antennae, and I calculated the profit which occurs when the receiver uses signals received from all antennas using the techniques (s) Selection Diversity, (b) Feedback (or Scanning) Diversity and (c) Maximal Ratio Combining Diversity.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στον τομέα των τηλεπικοινωνιών στο Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων του Τ.Ε.Ι Μεσολογγίου (Παράρτημα Ναυπάκτου. Η υπόδειξη και η επίβλεψη του θέματος έγινε από τον κ.Αμπελιώτη Δημήτριο. Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δημήτριο Αμπελιώτη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την ανάθεση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν και με έκαναν καλύτερο άνθρωπο. Εκτός από τους καθηγητές ένα μεγάλο και εγκάρδιο ευχαριστώ αξίζουν οι γονείς μου και για την ηθική και οικονομική στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια, δίνοντας μου κουράγιο να φτάσω στο στόχο μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Γενικά	11
1.2	Τεχνικές δικτύων	11
1.2.1	Δίκτυα μεταγωγής	11
1.2.2	Δίκτυα πολλαπλής πρόσβασης	13
1.3	Γεωγραφική διαίρεση δικτύων	13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

2.1	Εισαγωγή.....	15
2.2	Βασικές κατηγορίες ασύρματων δικτύων	15
2.2.1	Κυψελώδη δίκτυα.....	16
2.2.2	Μη κυψελωτά δίκτυα.....	17
2.3	Διάκριση Εξασθενήσεων.....	17
2.4	Εξασθένηση Ευρείας κλίμακας	19
2.4.1	Μοντέλο μετάδοσης σε ελεύθερο χώρο.....	20
2.4.2	Το μοντέλο Okumura	21
2.4.3	Το Μοντέλο HATA.....	22
2.5	Εξασθένηση μικρής κλίμακας	23
2.5.1	Η διάδοση μέσω Πολυδιόδευσης.	23
2.5.2	Φαινόμενο Doppler	24
2.5.3	Το μοντέλο Clarke.....	24
2.5.4	Το μοντέλο Jake	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΙΜΟ

3.1	Εισαγωγικά.....	27
3.2	Ορισμοί συστημάτων SISO,SIMO,MISO και MIMO	27
3.2.1	Συστήματα μιας εισόδου μιας εξόδου SISO	27

3.2.2Συστήματα μιας εισόδου – πολλαπλών εξόδων SIMO	28
3.2.3Συστήματα πολλαπλών εισόδων-μιας εξόδου.....	29
3.2.4Συστήματα πολλαπλών εισόδων-πολλαπλών εξόδων.....	30
3.3Πλεονεκτήματα από τη χρήση MIMO.....	33
3.4Εφαρμογές συστημάτων MIMO	35
3.5Διαφορισμός.....	36
3.5.1Τεχνικές διαφορισμού	37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

4.1Εισαγωγή στο Matlab.....	40
4.2Βασικά στοιχεία προγράμματος Matlab.....	40
4.3 Ανάλυση συστήματος	43
4.4Αποτελέσματα προσομοίωσης	44

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	49
-------------------	----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι:ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	51
--	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	60
--------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.Γενικά

Δίκτυο τηλεπικοινωνιών ορίζεται ως ένα σύστημα επικοινωνιών το οποίο διαθέτει: α)περίπλοκες τηλεπικοινωνιακές συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται από όλους τους συνδρομητές του δικτύου, β) τηλεπικοινωνιακούς κόμβους και τα φυσικά μέσα διάδοσης της πληροφορίας. Βασική ιδιότητα του κάθε δικτύου είναι η παροχή ικανοποιητικής και αποτελεσματικής επικοινωνίας με τον ελάχιστο δυνατό αριθμό διασυνδέσεων των κόμβων του.

1.2Τεχνικές δικτύων

Τα δίκτυα με βάση τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των δεδομένων διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Δίκτυα μεταγωγής
- Δίκτυα πολλαπλής πρόσβασης

1.2.1 Δίκτυα μεταγωγής

Στα δίκτυα μεταγωγής, όλα τα δεδομένα που εισέρχονται στο δίκτυο από κάποια πηγή πληροφορίας μεταφέρονται μέσω των ενδιάμεσων κόμβων μέχρι να καταλήξουν στο δέκτη. Οι κόμβοι διακινούν τα δεδομένα προς τον τελικό προορισμό τους, Η διακίνηση αυτή δεν είναι πάντοτε αποτελεσματική για αυτό σημαντικό ρόλο για την αξιοπιστία του δικτύου παίζει η σύνδεση των κόμβων με τους τερματικούς σταθμούς. Στα δίκτυα μεταγωγής χρησιμοποιούνται τρεις τεχνικές για τα δίκτυα μεταγωγής:

- Μεταγωγή κυκλώματος(Circuit switching)
- Μεταγωγή πακέτων(Packet switching)
- Μεταγωγή μηνύματος(Message switching)

Στη μεταγωγή κυκλώματος(Circuit switching) για να προωθηθεί η πληροφορία από τον πομπό στο δέκτη αποκαθίσταται μια αποκλειστική φυσική σύνδεση μεταξύ πομπού και δέκτη που διατηρείται σταθερή σε όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας. Η σύνδεση αυτή

ουσιαστικά αποτελείται από μία σειρά συνδέσεων μεταξύ των κόμβων του δικτύου και αποτελείται από τρεις φάσης:

Αποκατάσταση κυκλώματος: Όταν για παράδειγμα θέλει να επικοινωνήσει ο κόμβος Α με τον κόμβο Ω. Για να επιτευχθεί αυτό δημιουργείται μία σύνδεση από τον κόμβο Α μέχρι τον κόμβο Ω. Η σύνδεση αυτή γίνεται τμηματικά περνώντας από όλους τους κόμβους του δικτύου ξεκινώντας από τον Α με τελικό προορισμό το Ω.

Μεταφορά πληροφορίας: Όταν ιδρυθεί η φυσική σύνδεση μπορεί να ξεκινήσει η μεταφορά της πληροφορίας από τον κόμβο Α στον κόμβο Ω. Η μετάδοση αυτή μπορεί να είναι ψηφιακή ή αναλογική, ανάλογα με τη φύση του δικτύου. Τα τελευταία χρόνια η χρήση ψηφιακή μετάδοσης τόσο για την φωνή όσο και για τα δεδομένα έχει αρχίσει να κυριαρχεί.

Τερματισμός κυκλώματος: Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα η μεταφορά των δεδομένων τελειώνει και η σύνδεση τερματίζεται. Οι κόμβοι μεταγωγής που συμμετείχαν στη σύνδεση ενημερώνονται κατάλληλα ώστε να ελευθερώσουν τους πόρους που είχαν δεσμεύσει.

Γενικά η τεχνική της μεταγωγής κυκλώματος μπορεί να είναι αναποτελεσματική. Η χωρητικότητα του τηλεπικοινωνιακού καναλιού, αφιερώνεται σε όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας των δύο σταθμών ακόμη και αν δεν μεταδίδεται πληροφορία.

Στη μεταγωγή πακέτων(Packet switching) τα πακέτα που πρόκειται να μεταδοθούν τεμαχίζονται σε πακέτα μικρού αριθμού bytes με τυπικό μέγιστο μήκος πακέτου τα 100 bytes. Κάθε τεμαχισμένο πακέτο περιέχει τμήμα της ωφέλιμης πληροφορίας του χρήστη και επιπλέον μια διεύθυνση προορισμού(destination address) και ένα αριθμό σειράς(sequence number).Κάθε κόμβος του δικτύου, που ονομάζεται κόμβος μεταγωγής πακέτου(Packet Switching Node, PSN) χρησιμοποιεί τη διεύθυνση προορισμού του πακέτου για να αποφασίσει σε πιο κόμβο θα το προωθήσει. Οι αριθμοί σειράς των πακέτων χρησιμοποιούνται από το σταθμό προορισμού, για να ανακατασκευάζει το αρχικό μήνυμα από τα κομμάτια που έχει λάβει μέσα από τα πακέτα.

Στη μεταγωγή μηνύματος(Message switching) τα προς μετάδοση δεδομένα αποστέλλονται με τη μορφή μηνύματος. Το μήνυμα ανεξάρτητα από το μέγεθός του προωθείται από το δίκτυο από κόμβο σε κόμβο μέχρι να φτάσει στον προορισμό του. Κάθε κόμβος αποφασίζει ποιος θα είναι ο επόμενος κόμβος που θα στείλει το μήνυμα. Παρόλο που η μεταγωγή μηνύματος έχει αρκετά πλεονεκτήματα, η τεχνική αυτή στην πράξη αντικαθίσταται από την μεταγωγή πακέτων.

1.2.2 Δίκτυα πολλαπλής πρόσβασης

Τα δίκτυα πολλαπλής πρόσβασης στο κανάλι διάδοσης είναι πιο εύχρηστα και έχουν εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά από τα δίκτυα μεταγωγής που είδαμε παραπάνω. Τα κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων πολλαπλής πρόσβασης είναι τα εξής:

- Δεν υπάρχουν ενδιάμεσοι κόμβοι μεταξύ πομπού και δέκτη για τη μετάδοση των δεδομένων.
- Το μέσο επικοινωνίας είναι το ίδιο για όλους τους συνδρομητές
- Το εκπεμπόμενο σήμα μπορεί να λαμβάνεται από όλους τους συνδρομητές δεδομένου ότι διαθέτουν την κατάλληλη συσκευή πρόσβασης.
- Ενδέχεται να υπάρχουν αρκετοί πομποί που μοιράζονται χρονικά το ίδιο μέσο μετάδοσης.

Οι πιο γνωστοί τύποι τέτοιων δικτύων είναι:

- Τα επίγεια ραδιοδίκτυα
- Τα δορυφορικά δίκτυα
- Τα τοπικά δίκτυα(WAN)

1.3 Γεωγραφική διαίρεση δικτύων

Ανάλογα με τη γεωγραφική έκταση που καλύπτουν, τα δίκτυα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Αστικά δίκτυα(Metropolitan Area Networks-MAN)
- Τοπικά δίκτυα(Local Area Network-LAN)
- Δίκτυα ευρείας περιοχής(Wide Area Networks-WAN)

Ως αστικά δίκτυα χαρακτηρίζονται τα δίκτυα των οποίων το μέγεθος δεν ξεπερνά τα όρια μιας πόλης. Ως τοπικά χαρακτηρίζονται τα δίκτυα των οποίων όλα τα στοιχεία από τα οποία απαρτίζονται βρίσκονται στον ίδιο γεωγραφικό χώρο. Τέλος τα δίκτυα ευρείας περιοχής καλύπτουν μία πολύ μεγάλη περιοχή ή ακόμα και μία ολόκληρη χώρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

2.1 Εισαγωγή

Ασύρματη επικοινωνία είναι η μετάδοση δεδομένων που πραγματοποιείται χωρίς τη χρήση κάποιου τύπου καλωδίου. Ως ασύρματο δίκτυο χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, συνήθως τηλεφωνικό ή δίκτυο υπολογιστών το οποίο χρησιμοποιεί ραδιοκύματα ως φορείς πληροφορίας. Η κύρια διαφορά της ασύρματης επικοινωνίας από την ενσύρματη είναι το κανάλι μετάδοσης. Στην ενσύρματη επικοινωνία το κανάλι αποτελεί ένα συγκεκριμένο μέσο(καλώδιο, οπτική ίνα).Στην ασύρματη επικοινωνία όμως δεν χρησιμοποιείται ως μέσο μετάδοσης κάποιο τύπο καλωδίου. Τα δεδομένα σε ένα ασύρματο δίκτυο μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα η οποία εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που απαιτείται να υποστηρίξει το δίκτυο. Παλαιότερα τα τηλεφωνικά δίκτυα ήταν αναλογικά, αλλά στις μέρες μας πλέον, όλα τα ασύρματα δίκτυα βασίζονται σε ψηφιακή τεχνολογία και, επομένως, κατά μία έννοια είναι ουσιαστικώς δίκτυα υπολογιστών. Το βασικό πλεονέκτημα της ασύρματης επικοινωνίας σε σχέση με την ενσύρματη είναι ότι μπορούν να παρέχουν υπηρεσίες οι οποίες θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν με τη χρήση καλωδίων. Αυτό συμβαίνει κυρίως όταν απαιτείται να γίνει μετάδοση δεδομένων σε πολύ μεγάλες αποστάσεις όπως στις ραδιοεπικοινωνίες. Τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα ασύρματων δικτύων είναι η κινητή τηλεφωνία, οι δορυφορικές επικοινωνίες το σύστημα GPS,τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής(WWAN),τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα(WPAN) κ.λπ. Τέλος, η τηλεόραση και το ραδιόφωνο αν και ως τηλεπικοινωνιακά μέσα είναι εκ φύσεως ασύρματα στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν συμπεριλαμβάνονται στα ασύρματα δίκτυα, καθώς η μετάδοση γίνεται προς κατά πάσα κατεύθυνση χωρίς να υπάρχει κάποιο δομημένο <<δίκτυο>> τηλεπικοινωνιακών κόμβων(συσκευών)με τη συνήθη έννοια.

2.2 Βασικές κατηγορίες ασύρματων δικτύων

Από την αρχαιότητα ο άνθρωπος προσπαθούσε να ανακαλύψει τρόπους για να επικοινωνήσει με τους γύρους του. Από τις κραυγές και τα σήματα καπνού καταλήξαμε στις σύγχρονα ασύρματα δίκτυα. Τα ασύρματα δίκτυα διακρίνονται στις εξής δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Κυψελωτά Δίκτυα
- Μη κυψελωτά ή Δίκτυα ad hoc

2.2.1 Κυψελωτά δίκτυα

Η βασική ιδέα των κυψελωδών δικτύων είναι να επιτευχθεί ο διαχωρισμός της αρχικής γεωγραφικής περιοχής κάλυψης του δικτύου σε μικρότερες περιοχές, οι οποίες ονομάζονται κυψέλες ή κύτταρα και την τοποθέτηση σταθμών βάσεων σε αυτές. Η μορφή των κυψελών εξαρτάται κυρίως από τη μορφολογία του εδάφους αλλά συνήθως μοιάζει με εξάγωνο για καθαρά υπολογιστικούς λόγους. Όλοι οι χρήστες που βρίσκονται μέσα στην ίδια κυψέλη εξυπηρετούνται από τον ίδιο σταθμό βάσης(Base Station). Ένα σύνολο από γειτονικές κυψέλες ονομάζεται cluster(συστάδα). Ένα κυψελοειδές σύστημα αποτελείται από πολλές συστάδες και επιτρέπει την εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών. Η κάθε μια από τις κυψέλες χρησιμοποιεί ένα σύνολο συχνοτήτων. Για να μπορεί γίνει εφικτή η ταυτόχρονη χρησιμοποίηση του δικτύου από πολλούς συνδρομητές χρησιμοποιείται η μέθοδος της επαναχρησιμοποίησης συχνότητας.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 εμφανίστηκαν τα κυψελωδή δίκτυα πρώτης γενιάς(1G) τα οποία έκαναν χρήση αναλογικών σημάτων. Στα μέσα της δεκαετίας του '90 αντικαταστάθηκαν από τα δίκτυα δεύτερης γενιάς(2G) τα οποία έκαναν χρήση ψηφιακών σημάτων. Το κυριότερο πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε για αυτά τα συστήματα είναι το GSM(Global System for Mobile Communications). Οι σημαντικότερες λειτουργίες που έκαναν την εμφάνισή τους είναι η ανταλλαγή γραπτών μηνυμάτων(Short-Message-Service) αλλά και οι ήχοι κλήσης(ring tone). Στην συνέχεια ήρθε ο ερχομός των δικτύων 3^{ης} γενιάς(3G) η οποία άνοιξε το δρόμο για την εμφάνιση ακόμα περισσότερων υπηρεσιών, που μέχρι εκείνη τη στιγμή, κανένα από τα προηγούμενα πρότυπα δεν μπορούσε να προσφέρει. Πλέον οι χρήστες τις κινητής τηλεφωνίας μπορούν να συμμετέχουν σε διαδραστικές συνεδρίες στο διαδίκτυο αλλά και να λαμβάνουν μουσικά κομμάτια αλλά και video. Πριν τη τέταρτη γενιά(4G) δικτύων υπάρχει μία ενδιάμεση γενιά η οποία συνδέει την τρίτη και τη τέταρτη γνωστή ως 3.5G. Στη γενιά αυτή γίνεται χρήση της τεχνολογίας High Speed Downlink Packet Access (HSDPA). Το πρότυπο αυτό, αφορά τη μετάδοση πακέτων από το σταθμό βάσης προς το χρήστη (downlink) με ρυθμό ως και 15 φορές μεγαλύτερο από το GPRS. Τέλος το LTE(Long Term Evolution) προσφέρει υψηλότερο ρυθμό αποστολής δεδομένων και εξασφαλίζει ποιότητα στις προσφερόμενες υπηρεσίες.

2.2.2 Μη κυβελωτά δίκτυα

Ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο (αυτοοργανωμένο δίκτυο ή δίκτυο κατ' απαίτηση) είναι ένας αποκεντρωμένος τύπος ασύρματου δικτύου. Το δίκτυο είναι ad hoc επειδή δε βασίζεται σε κάποια προϋπάρχουσα υποδομή, όπως δρομολογητές στα ενσύρματα ή ασύρματα access points στα διαχειριζόμενα ασύρματα δίκτυα. Αντίθετα, κάθε κόμβος λαμβάνει μέρος στη δρομολόγηση προωθώντας τα δεδομένα προς τους άλλους κόμβους, κι έτσι ο καθορισμός του ποιοι κόμβοι προωθούν δεδομένα γίνεται δυναμικά με βάση τη συνδεσιμότητα του δικτύου. Πέρα από την κλασσική δρομολόγηση, τα ad hoc δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιήσουν την υπερχειλίση για να προωθήσουν τα δεδομένα.

Τα πρώτα ασύρματα ad hoc δίκτυα ήταν τα PRNETs (δίκτυα "ραδιοφωνικών πακέτων") από τη δεκαετία του '70, υπό την αιγίδα του DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) μετά το ALOHA net project. Ο αποκεντρωμένος χαρακτήρας των ασύρματων ad hoc δικτύων τα καθιστά κατάλληλα για ποικίλες εφαρμογές οι οποίες δε μπορούν να βασίζονται σε κεντρικούς κόμβους, και μπορούν να βελτιώσουν την ευελιξία τους σε σχέση με τα διαχειριζόμενα ασύρματα δίκτυα. Ωστόσο, έχουν εντοπιστεί θεωρητικοί και πρακτικοί περιορισμοί στις δυνατότητες των δικτύων αυτών. Η γρήγορη εγκατάσταση και η ελάχιστη απαιτούμενη διαμόρφωση καθιστά τα ασύρματα ad hoc δίκτυα κατάλληλα για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως φυσικές καταστροφές ή πολεμικές συρράξεις. Η παρουσία δυναμικών και προσαρμοστικών πρωτοκόλλων επιτρέπει στα ad hoc δίκτυα να σχηματίζονται γρήγορα. Τα ασύρματα ad hoc δίκτυα μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω με βάση την εφαρμογή τους:

- Κινητά ad hoc δίκτυα (MANET - Mobile Ad hoc NETWORKs)
- Ασύρματα δίκτυα πλέγματος (WMN - Wireless Mesh Networks)
- Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN - Wireless Sensor Networks)

2.3 Διάκριση εξασθενήσεων

Στα κινητά τηλεπικοινωνιακά συστήματα το ασύρματο κανάλι παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, καθώς η επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη γίνεται κάτω από διαφορετικές συνθήκες ακόμα και κατά τη διάρκεια της ίδιας κλήσης, Αυτό οφείλεται στη κίνηση των κόμβων το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει πάντα απευθείας μονοπάτι μεταξύ πομπού και δέκτη. Σε αυτή τη περίπτωση οι χρήστες δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή (line-

of-sight)-επικοινωνία, αλλά ανάμεσα τους παρεμβάλλονται ψηλά κτήρια βουνά ή δέντρα. Επομένως, η μοντελοποίηση του καναλιού θεωρείται ένα από τα δυσκολότερα κομμάτια του σχεδιασμού ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος και η περιγραφή του είναι βασισμένη σε μετρήσεις σε κάποιο τηλεπικοινωνιακό σύστημα.

Οι μηχανισμοί διάδοσης ενός ηλεκτρομαγνητικού σήματος είναι η ανάκλαση(reflection), η διάθλαση (diffraction) και ο διασκορπισμός (scattering). Επίσης, τα περισσότερα κυψελωτά συστήματα λειτουργούν σε αστικές περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει στις οποίες δεν υπάρχει στις οποίες δεν υπάρχει line-of-sight επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη εξαιτίας των κτηρίων, των αυτοκινήτων αλλά και των άλλων αντικειμένων που παρεμβάλλονται. Εξαιτίας των πολλαπλών ανακλάσεων που μπορεί να υποστεί ένα σήμα από τα διάφορα αντικείμενα που μας περιβάλλουν, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα <<ταξιδεύει>> από διαφορετικά μονοπάτια, καθένα από τα οποία μπορεί να έχει και διαφορετικό μήκος, μέχρι τον προορισμό του. Η αλληλεπίδραση όλων αυτών των διαφορετικών εκδοχών του ίδιου σήματος σε ένα σημείο προκαλεί το φαινόμενο της πολυδιόδευσης (multipath), ενώ όσο αυξάνει η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη η λαμβανόμενη ισχύς στον δέκτη μειώνεται.

Γενικά τα μοντέλα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού σήματος επικεντρώνεται στη πρόβλεψη της λαμβανόμενης ισχύς σε μία δεδομένη απόσταση από τον πομπό όπως επίσης και στη διακύμανση που παρουσιάζει η λαμβανόμενη ισχύς σε μία μικρή γειτονική περιοχή ενός συγκεκριμένου σημείου.

Επομένως στην προσπάθεια μοντελοποίησης του καναλιού που κάνουμε, μελετούμε την εξασθένηση που υφίσταται το ηλεκτρομαγνητικό σήμα κατά την μετάδοσή του σε ένα ασύρματο, κυψελωτό δίκτυο σε διάφορες κλίμακες γεωγραφικές έκτασης. Για παράδειγμα, διαφορετικό είδος εξασθένησης εμφανίζεται για παράδειγμα αν μετρήσουμε την ισχύ λήψης σε δύο σημεία που απέχουν μεταξύ τους κάποια εκατοστά(cm) και διαφορετική εξασθένηση παρουσιάζουν δύο σημεία που απέχουν μεταξύ τους κάποια χιλιόμετρα(Km). Για το λόγο αυτό, μπορούμε να διαχωρίσουμε την εξασθένηση σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Εξασθένηση Ευρείας Κλίμακας (Large Scale Fading): Η εξασθένηση ευρείας κλίμακας καλύπτει μακροσκοπικά φαινόμενα, δηλαδή μελετά τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται η ισχύς λήψης, όταν ο δέκτης απομακρύνεται από το σταθμό βάσης.
- Εξασθένηση Μικρής Κλίμακας (Small Scale Fading): Η εξασθένηση μικρής κλίμακας μελετά τα μικροσκοπικά φαινόμενα που εμφανίζονται κατά την μετάδοση των

ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές αυξομειώσεις της ισχύος λήψης όταν ο δέκτης βρίσκεται σε σταθερή απόσταση από το σταθμό βάσης και απλά μετακινείται κατά έστω και μερικά εκατοστά.

2.4 Εξασθένηση Ευρείας Κλίμακας

Καθώς αυξάνεται η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, η μέση ισχύς του λαμβανόμενου σήματος ελαττώνεται βαθμιαία, εφόσον τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα απορροφώνται από το περιβάλλον (αέρας, έδαφος, αντικείμενα) και εξασθενούν. Η μακροσκοπική αυτή εξασθένηση, ονομάζεται εξασθένηση ευρείας κλίμακας και συνεπάγεται μείωση της ισχύος λήψης. Αυτό που μας ενδιαφέρει κυρίως είναι ο τρόπος με τον οποίο μειώνεται η ισχύς και συγκεκριμένα η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην ισχύ εκπομπής P_t και στην ισχύ λήψης $P_r(d)$ σε κάποια ακτίνα d από τον πομπό.

Όπως είδαμε και παραπάνω, με τον όρο απώλεια μονοπατιού αναφερόμαστε στην μελέτη της απόσβεσης που παρουσιάζει ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα καθώς αυξάνεται η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη. Γενικά την εξασθένηση ευρείας κλίμακας, ή αλλιώς απώλεια μονοπατιού (path loss) μπορούμε να την διακρίνουμε σε μέση απώλεια μονοπατιού και επισκίαση (shadowing) όπως φαίνεται και στην εξίσωση παρακάτω, όπου με $\overline{PL}(d)$ εκφράζουμε την μέση απώλεια μονοπατιού και με S την επισκίαση

$$PL(d) = \overline{PL}(d) + S.$$

Στην συνέχεια της ενότητας αυτής, θα δούμε κάποια από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται προκειμένου να περιγραφεί αυτό το φαινόμενο.

2.4.1 Μοντέλο Μετάδοσης σε Ελεύθερο Χώρο

Το μοντέλο μετάδοσης σε ελεύθερο χώρο (free-space model) χρησιμοποιείται προκειμένου να προβλέψει την λαμβανόμενη ισχύ ενός σήματος σε ένα σημείο του χώρου, δεδομένου ότι μεταξύ πομπού και δέκτη δεν μεσολαβεί κανένα εμπόδιο, δηλαδή υπάρχει ελεύθερος χώρος (κενό). Σε γενικές γραμμές οι δορυφορικές επικοινωνίες και οι μικροματικοί line-of-sight σύνδεσμοι ακολουθούν αυτό το μοντέλο διάδοσης. Όπως και τα περισσότερα μοντέλα διάδοσης που αφορούν τα ευρείας κλίμακας φαινόμενα έτσι και το μοντέλο του ελεύθερου χώρου προβλέπει τη λαμβανόμενη ισχύ ως φθίνουσα συνάρτηση της απόστασης που παρεμβάλλεται μεταξύ πομπού και δέκτη.

Η ισχύς που λαμβάνεται από τη κεραία ενός δέκτη που βρίσκεται σε απόσταση d από την κεραία του πομπού, δίνεται από τον τύπο του Friis για τον ελεύθερο χώρο:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L},$$

όπου P_t είναι η ισχύς που εκπέμπει ο πομπός, G_t και G_r είναι τα κέρδη των κεραιών του πομπού και του δέκτη αντίστοιχα, d είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, λ είναι το μήκος κύματος και $L \geq 1$ είναι οι απώλειες του συστήματος μετάδοσης-εκπομπής (όταν το $L = 1$ δεν υπάρχουν καθόλου απώλειες στο σύστημά μας).

Τα κέρδη καναλιού σχετίζονται με το φυσικό μέγεθος της κεραίας και με την συχνότητα της φέρουσας.

Σύμφωνα με το μοντέλο του Friis η λαμβανόμενη ισχύς σε ένα σημείο είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης d .

Η απώλεια μονοπατιού αναπαριστά την εξασθένηση του σήματος ως μία θετική ποσότητα που μετριέται σε dB, επομένως ορίζεται ως η διαφορά (σε dB) μεταξύ της ισχύος εκπομπής του πομπού και της λαμβανόμενης ισχύος και μπορεί να μην συμπεριλάβει τα κέρδη των κεραιών.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω η απώλεια μονοπατιού για το μοντέλο ελεύθερης διάδοσης όταν συμπεριλάβουμε και τα κέρδη κεραιών δίνεται από τη σχέση:

$$PL_{dB}(d) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log \left[\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right],$$

ενώ αν θεωρήσουμε ότι οι κεραιές έχουν μοναδικό κέρδος η απώλεια μονοπατιού μπορεί να απλοποιηθεί σύμφωνα με την εξίσωση:

$$PL_{dB}(d) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right].$$

Στο σημείο αυτό να τονίσουμε ότι οι λογάριθμοι που παρουσιάζονται τόσο στις παραπάνω εξισώσεις όσο και στην συνέχεια έχουν βάση το 10, εκτός και αν δηλώνονται διαφορετικά. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι για απόσταση $d=0$ η πρώτη εξίσωση δεν ισχύει. Άρα, όπως θα δούμε και στα μοντέλα που θα ακολουθήσουν, στα μοντέλα διάδοσης των ευρείας κλίμακας φαινομένων χρησιμοποιείται μία μικρή απόσταση d_0 γνωστή ως σημείο αναφοράς της λαμβανόμενης ισχύος. Με αυτόν τον τρόπο η λαμβανόμενη ισχύς σε κάθε απόσταση $d \geq d_0$ μπορεί να συσχετιστεί με την ισχύ $P_r(d_0)$ στο σημείο αναφοράς.

Με την χρήση της πρώτης εξίσωσης μπορούμε να εκφράσουμε τη λαμβανόμενη ισχύ του μοντέλου ελεύθερης διάδοσης σε μία απόσταση μεγαλύτερη από την d_0 ως:

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left(\frac{d_0}{d} \right)^2.$$

Σχετικά με την απόσταση αναφοράς, πρακτικά στα συστήματα με χαμηλό κέρδος κεραιάς όταν λειτουργούν στην περιοχή 1-2GHz συνήθως χρησιμοποιούμε το 1m για εσωτερικούς χώρους και 100m ή 1Km για εξωτερικούς χώρους, προκειμένου ο αριθμητής της εξίσωσης να είναι πολλαπλάσιος του 10 και να είναι πιο εύκολος ο υπολογισμός της απώλειας μονοπατιού σε dB.

2.4.2 Το μοντέλο Okomura

Το μοντέλο Okomura χρησιμοποιείται συχνά για την πρόβλεψη της εξασθένησης σε αστικές περιοχές. Εφαρμόζεται σε σήματα συχνοτήτων στο διάστημα μεταξύ 150 MHz έως 1920MHz και για αποστάσεις από 1 έως 100Km. ενώ το ύψος της κεραιάς του σταθμού

βάσης που επιτρέπεται ορίζεται στο διάστημα από 30 έως 1000m. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο μοντέλο μπορούμε να υπολογίσουμε την απώλεια μονοπατιού ως εξής:

$$PL_{dB} = L_F + A_{mn}(f_c, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA},$$

όπου με L_F αναφερόμαστε στο μοντέλο ελεύθερου χώρου, $G(h_{te})$ και $G(h_{re})$ είναι τα κέρδη των κεραιών του σταθμού βάσης και του κινητού κόμβου που είναι συναρτήσεις των κεραιών των αντίστοιχων υψών G_{area} και είναι το κέρδος της μορφολογίας του περιβάλλοντος και $A_{mn}(f_c, d)$ είναι μία τιμή που υποδηλώνει την ενδιάμεση εξασθένηση. Πιο συγκεκριμένα, ο Okumura ανέπτυξε ένα σύνολο καμπυλών που περιγράφουν την ενδιάμεση εξασθένηση που σχετίζονται με τον ελεύθερο χώρο σε μία αστική ή εν μέρει τουλάχιστον ομαλή περιοχή με ύψος σταθμού βάσης (h_{te}) ίσο με 200m και ύψος κινητού κόμβου (h_{re}) ίσο με 3m. Οι καμπύλες αυτές, αναπτύχθηκαν μετά από μετρήσεις και απεικονίζονται ως συνάρτηση της συχνότητας (f_c) στο διάστημα από 100 έως 1920m και ως συνάρτηση της απόστασης από 1 έως 100m.

2.4.3 Το Μοντέλο Hata

Το μοντέλο Hata αναφέρεται σε συχνότητα μετάδοσης στο διάστημα από 150 MHz έως 1500MHz και περιγράφει τη διάδοση σε αστική περιοχή σύμφωνα με τη παρακάτω σχέση:

$$PL_{dB}^{urban} = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - \alpha(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d,$$

Όπου f_c είναι η συχνότητα υπολογισμένη σε MHz, h_{te} είναι το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης το οποίο πρέπει να είναι στο διάστημα 30m έως 200m, h_{re} είναι το ύψος της κεραίας του δέκτη το οποίο πρέπει να είναι στο διάστημα από 1 έως 10 m. Η ποσότητα ($\alpha(h_{re})$) είναι ο παράγοντας διόρθωσης και διαφέρει σύμφωνα ε το μέγεθος της πόλης στην οποία πρόκειται να εφαρμοστεί το μοντέλο Hata. Το μοντέλο αυτό, δίνει επιπλέον την δυνατότητα να υπολογίσουμε το μοντέλο για κάποιο προάστιο ή κάποια αγροτική περιοχή χρησιμοποιώντας το μοντέλο για αστική πόλη.

2.5 Εξασθένηση Μικρής Κλίμακας

Η εξασθένηση μικρής κλίμακας χρησιμοποιείται προκειμένου να περιγράψουμε τις απότομες αυξομειώσεις του πλάτους, της συχνότητας ή της καθυστέρησης λόγω πολυδιόδευσης (multipath) ενός σήματος σε μία μικρή χρονική περίοδο ή απόσταση στην οποία τα φαινόμενα ευρείας κλίμακας μπορεί να αγνοηθούν. Με τον όρο πολυδιόδευση αναφερόμαστε στο φαινόμενο κατά το οποίο η κεραία του δέκτη, λόγω ανακλάσεων που υφίσταται το σήμα του πομπού σε διάφορα σημεία του χώρου, λαμβάνει πολλαπλές εκδόσεις του μεταδιδόμενου σήματος. Η εξασθένηση μικρής κλίμακας προκαλείται από την παρεμβολή που δημιουργείται λόγω πολυδιόδευσης και προκαλεί σημαντικές αυξομειώσεις στην ισχύ λήψης σε ένα ασύρματο σύστημα επικοινωνίας.

2.5.1 Η Διάδοση μέσω Πολυδιόδευσης

Οι κύριες συνέπειες της πολυδιόδευσης είναι οι σημαντικές αλλαγές στην ισχύ του λαμβανόμενου σήματος, η τυχαία διαμόρφωση της συχνότητας και η χρονική διασπορά. Οι αλλαγές στην ισχύ μπορεί να είναι πολύ σημαντικές ακόμα σε σημεία που απέχουν λίγα μόνο εκατοστά ή ακόμα και στο ίδιο σημείο στο πέρασμα ενός χρονικού παραθύρου. Η τυχαία διαμόρφωση της συχνότητας οφείλεται στις αλλαγές της συχνότητας Doppler στα διαφορετικά μονοπάτια ενώ η χρονική διασπορά που οφείλεται στις καθυστερήσεις λόγω της πολυδιόδευσης.

Όπως είδαμε και παραπάνω σε αστικές περιοχές εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους αλλά και της πυκνής δόμησης ή των αντικειμένων που υπάρχουν στο χώρο δεν είναι σχεδόν απίθανο να υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη. Γενικά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης υπάρχει σε αστικές περιοχές καθώς είτε δεν υπάρχει πομπού και δέκτη είτε το σήμα που θα στείλει ο πομπός θα υποστεί ανάκλαση στο διάφορα αντικείμενα που υπάρχουν στο χώρο μετάδοσής του. Επομένως γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι το σήμα στο δέκτη θα φτάσει από διαφορετικές κατευθύνσεις και από και με διαφορετικές καθυστερήσεις. Όταν όλα αυτά τα διαφορετικά σήματα φτάσουν στο δέκτη συνθέτονται διανυσματικά και λόγω των διαφοροποιήσεων που έχουν υποστεί μπορεί να παραμορφώσουν είτε να εξασθενήσουν το λαμβανόμενο σήμα.

Στην περίπτωση που τα αντικείμενα στο χώρο παραμένουν σταθερά, υπάρχει η πιθανότητα να υπάρχει μία σχετική κίνηση του πομπού ή του δέκτη ή και των δύο. Το

φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο Doppler και θα το δούμε πιο αναλυτικά παρακάτω. Τέλος, στις αστικές περιοχές υπάρχουν τρεις φυσικοί μηχανισμοί διάδοσης οι οποίοι είναι οι εξής: ανάκλαση (re-flection), η διάθλαση (diffraction) και ο διασκορπισμός (scattering). Οι ανακλάσεις δημιουργούνται κυρίως όταν το ηλεκτρομαγνητικό σήμα προσπίπτει σε κάποιο κτήριο με αποτέλεσμα να αλλάξει κατεύθυνση να μειωθεί ή ισχύς του να αλλάξει η φάση και να δημιουργηθεί χρονική καθυστέρηση στη μετάδοσή του. Η διάθλαση εμφανίζεται όταν τα αντικείμενα τα οποία βρίσκονται ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη έχουν τραχιές ακμές και γωνίες ενώ ο διασκορπισμός εμφανίζεται όταν το ηλεκτρομαγνητικό σήμα προσπίπτει σε αντικείμενα ή επιφάνειες με διαστάσεις της τάξης του μήκους κύματος του σήματος με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πολλαπλές ανακλάσεις του αρχικού σήματος προς διάφορες κατευθύνσεις.

2.5.2 Φαινόμενο Doppler

Το φαινόμενο Doppler που πήρε το όνομά του από τον Κριστιάν Ντόπλερ είναι η παρατηρούμενη αλλαγή στη συχνότητα και στο μήκος κύματος ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος από έναν παρατηρητή που βρίσκεται σε σχετική κίνηση με την πηγή των κυμάτων. Κλασικό παράδειγμα του φαινομένου Doppler είναι το παράδειγμα με τη σειρήνα ενός ασθενοφόρου που περνά από μπροστά μας με κάποια ταχύτητα. Αρχικά το ασθενοφόρο όταν βρίσκεται πολύ μακριά μας ο ήχος που φτάνει στα αυτιά μας είναι πολύ μικρότερος σε σχέση με τον ήχο που φτάνει στα αυτιά μας όταν το ασθενοφόρο βρίσκεται μπροστά μας. Η συχνότητα του ήχου της σειρήνας αν και παραμένει σταθερή εμείς ως παρατηρητές του φαινομένου αυτού δεν αντιλαμβανόμαστε ότι παραμένει σταθερή αλλά αυξομειώνεται. Το φαινόμενο Doppler περιγράφει ακριβώς αυτό το φαινόμενο το οποίο οφείλεται στη κίνηση του πομπού ή του δέκτη ή και των δύο.

2.5.3 Το Μοντέλο Clarke

Το μοντέλο Clarke είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο επειδή λαμβάνει υπόψη του το φαινόμενο του διασκορπισμού. Σε αυτό το μοντέλο ο πομπός παραμένει σταθερός έχοντας οριζόντια πόλωση. Το σύνολο των κυμάτων που δέχεται έχουν τυχαίες γωνίες άφιξης και κάθε κύμα έχει ίσα μέση τιμή πλάτους. Αυτό συμβαίνει καθώς αφού δεν υπάρχει απευθείας μονοπάτι τα σήματα που θα φτάσουν στο δέκτη λόγω των διασκορπιστών έχουν εξασθενήσει με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όταν η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη είναι μικρή. Σύμφωνα με το μοντέλο Clarke τα φαινόμενα μικρής κλίμακας εκφράζονται από τη εξίσωση:

$$h_{clarke}(t) = H_0 \sum_{k=1}^N \alpha_k \cos(2\pi f_c t + \theta_k),$$

όπου με α_k είναι πραγματικές τυχαίες μεταβλητές του σήματος και $\theta_k = 2\pi f_r t + \phi_k$ είναι οι τυχαίες γωνίες από τις οποίες λαμβάνεται κάθε συνιστώσα. Όπου f_r είναι η μετατόπιση Doppler και οι φάσεις ϕ_k είναι ομοιόμορφα κατανομημένες στο διάστημα $(0, 2\pi)$.

2.5.4 Το μοντέλο Jake

Το μοντέλο Jake αναπαριστά το λαμβανόμενο σήμα όπου όλες οι καθυστερήσεις των μονοπατιών από τα διάφορα κύματα που δημιουργούνται είναι μηδέν. Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το μοντέλο ενός καναλιού σύμφωνα με το μοντέλο Jake είναι η εξής:

$$h_{jake}(t) = \sum_{k=1}^N \alpha(k) e^{j\omega(k)t},$$

όπου $\rho(k)$ είναι το πραγματικό πλάτος του λαμβανόμενου σήματος, $\phi(k)$ είναι η αρχική φάση και $\omega(k) = 2\pi f(k)$. Επίσης ισχύει $\alpha(k) = \rho(k) e^{j\phi(k)t}$ επομένως το μοντέλο Jake μπορεί να γραφεί και ως εξής:

$$h_{jake}(t) = \sum_{k=1}^N \alpha(k) e^{j\omega(k)t},$$

όπου το $\alpha(k)$ είναι μιγαδικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΙΜΟ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Στο κεφάλαιο αυτό, δίνεται έμφαση στα συστήματα MIMO αλλά και στα υπόλοιπα <<συμβατικά>> συστήματα(MISO και SISO).Στη συνέχεια αναπτύσσονται τα πλεονεκτήματά των συστημάτων MIMO σε σύγκριση με τα συστήματα SISO.

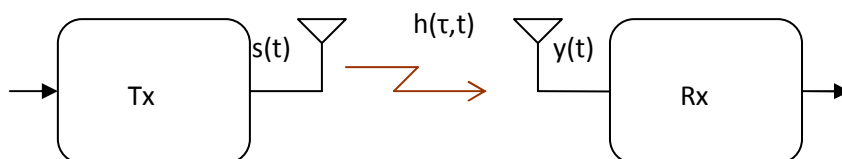
3.2 Ορισμοί συστημάτων SISO, SIMO, MISO και MIMO

Ένα ασύρματο σύστημα αποτελείται από τον πομπό τον δέκτη και από τον διάυλο επικοινωνίας. Αυτά τα συστήματα ανάλογα με το πλήθος των εισόδων και των εξόδων τους χωρίζονται σε ευρύτερες κατηγορίες. Ουσιαστικά, όταν λέμε είσοδο και έξοδο σε ένα ασύρματο σύστημα εννοούμε τις κεραίες του πομπού και τις κεραίες του δέκτη αλλά και τις διαφορετικές πολώσεις αυτών των κεραιών. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής:

- SISO (Single Input Single Output)
- SIMO (Single Input Multiple Output)
- MISO (Multiple Input Single Output)
- MIMO (Multiple Input Multiple Output)

3.2.1 Συστήματα μιας εισόδου – μιας εξόδου SISO (Single Input - Single Output)

Τα συστήματα SISO αποτελούν την απλούστερη μορφή τέτοιων συστημάτων και περιλαμβάνουν μια απλή κεραία για τον πομπό και των δέκτη όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1. Η απόκριση του διαύλου σε μία χρονική στιγμή t σε παλμό που αποστέλλεται τη χρονική στιγμή $t-\tau$ συμβολίζεται ως $h(\tau,t)$.



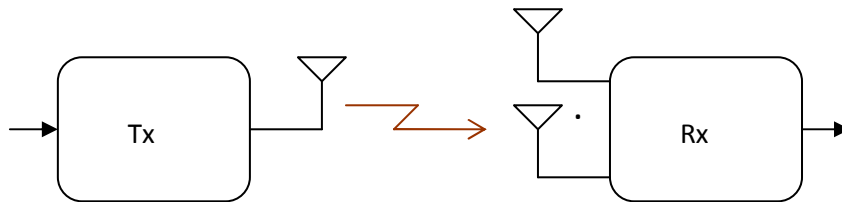
Σχήμα 3.1: Σύστημα SISO

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα Tx είναι ο πομπός και Rx ο δέκτης. Κάποια χρονική στιγμή ο πομπός εκπέμπει το σήμα $x(t)$, το λαμβανόμενο σήμα $y(t)$ δίνεται από τη συνέλιξη:

$$y(t) = h(\tau, t) \otimes x(t)$$

3.2.2 Συστήματα μιας εισόδου – πολλαπλών εξόδων SIMO (Single Input Multiple Output)

Τα συστήματα SIMO αποτελούνται από μία κεραία στο πομπό και περισσότερες από μία κεραίες στο δέκτη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2: Σύστημα SIMO

Ο πομπός αποστέλλει το σήμα μέσω της κεραίας του ενώ ο δέκτης λαμβάνει το ίδιο σήμα κατά M_R εκδοχές. Στην πιο απλή περίπτωση το SIMO σύστημα αντιμετωπίζεται ως ένα σύνολο M_R SISO ανεξάρτητων υποδιαύλων. Τότε ο συνολικός διάυλος SIMO περιγράφεται από τον πίνακα στήλη, διαστάσεων $M_R \times 1$

$$\mathbf{h}(\tau, t) = \left[h_1(\tau, t) \ h_2(\tau, t) \dots h_{M_R}(\tau, t) \right]^T$$

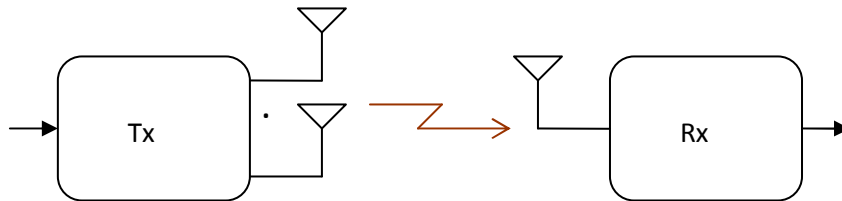
Αν $x(t)$ είναι το εκπεμπόμενο σήμα, ο δέκτης των M_R κεραιών λαμβάνει το $M_R \times 1$ διάνυσμα της μορφής:

$$\mathbf{y}(t) = \left[y_1(t) \ y_2(t) \dots y_{M_R}(t) \right]^T$$

όπου $y_i(t)$ είναι το σήμα που λαμβάνεται από την i -οστή κεραία του δέκτη.

3.2.3 Συστήματα πολλαπλών εισόδων – μιας εξόδου MISO (Multiple Input Single Output)

Τα συστήματα MISO αποτελούνται από μια κεραία στο δέκτη και $M_T > 1$ κεραίες στον πομπό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3



Σχήμα 3.3: Σύστημα MISO

Σε αυτή τη περίπτωση, το σήμα εκπέμπεται ταυτόχρονα από τις M_T κεραίες του πομπού, ενώ ο δέκτης λαμβάνει μια υπέρθεση αυτών. Στην απλούστερη περίπτωση το MISO σύστημα ισοδυναμεί προς M_T συστήματα SISO ο δίαυλος περιγράφεται από τον εξής πίνακα διαστάσεων $1 \times M_T$

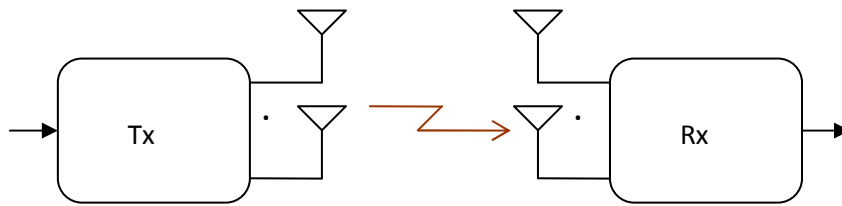
$$\mathbf{h}(\tau, t) = [h_1(\tau, t) \ h_2(\tau, t) \dots h_{M_T}(\tau, t)]$$

Αν $x_j(t)$ είναι το σήμα που εκπέμπεται από τη j -οστή κεραία του πομπού, το λαμβανόμενο σήμα από το δέκτη είναι

$$y(t) = \sum_{j=1}^{M_T} h_j(\tau, t) \otimes x_j(t)$$

3.2.4 Σύστημα πολλαπλών εισόδων – πολλαπλών εξόδων MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Τα συστήματα αυτά έχουν πολλές κεραιές και στην πλευρά του πομπού και στην πλευρά του δέκτη όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4: MIMO διάυλος

Έστω M_T ο αριθμός των κεραιών του πομπού και M_R ο αριθμός των κεραιών του δέκτη. Ο πομπός εκπέμπει ταυτόχρονα M_T σήματα, τα οποία λαμβάνονται από κάθε κεραιά του δέκτη. Άρα ο δέκτης λαμβάνει συνολικά $M_T \times M_R$ σήματα προς περαιτέρω επεξεργασία.

Ο διάυλος στην περίπτωση αυτή χαρακτηρίζεται από τον πίνακα $\mathbf{H}(\tau, t)$ διαστάσεων $M_R \times M_T$

$$\mathbf{H}(\tau, t) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(\tau, t) & h_{1,2}(\tau, t) & \cdots & h_{1,M_T}(\tau, t) \\ h_{2,1}(\tau, t) & h_{2,2}(\tau, t) & \cdots & h_{2,M_T}(\tau, t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M_R,1}(\tau, t) & h_{M_R,2}(\tau, t) & \cdots & h_{M_R,M_T}(\tau, t) \end{bmatrix}$$

Τα στοιχεία του πίνακα $\mathbf{H}(\tau, t)$ είναι μιγαδικοί αριθμοί που εκφράζουν την εξασθένηση και της ολίσθηση φάσης που εισάγει ο διάυλος στο σήμα που φθάνει στο δέκτη με καθυστέρηση τ . Το στοιχείο $h_{i,j}$ του πίνακα αποτελεί τη συνάρτηση μεταφοράς από το j -οστό στοιχείο του

πομπού στο i -οστό στοιχείο του δέκτη, ενώ ταυτόχρονα θεωρείται και ως ένας υποδιάυλος (subchannel) διάδοσης από τους $M_T \times M_R$ που υπάρχουν συνολικά.

Στο σημείο αυτό εξηγείται η υπόθεση του πίνακα στενού εύρους ζώνης (narrowband array assumption) [Ges03], με την ισχύ της οποίας απαλείφεται η χρονικά μεταβαλλόμενη φύση του διαύλου. Έστω ότι το μέτωπο κύματος από ένα σήμα $z(t)$ προσπίπτει με γωνία θ στο δέκτη, που αποτελείται από δυο κεραίες, όπως στο Σχήμα 3.5. Υποτίθεται, επίσης, ότι το $z(t)$ έχει εύρος ζώνης B και αναπαρίσταται ως

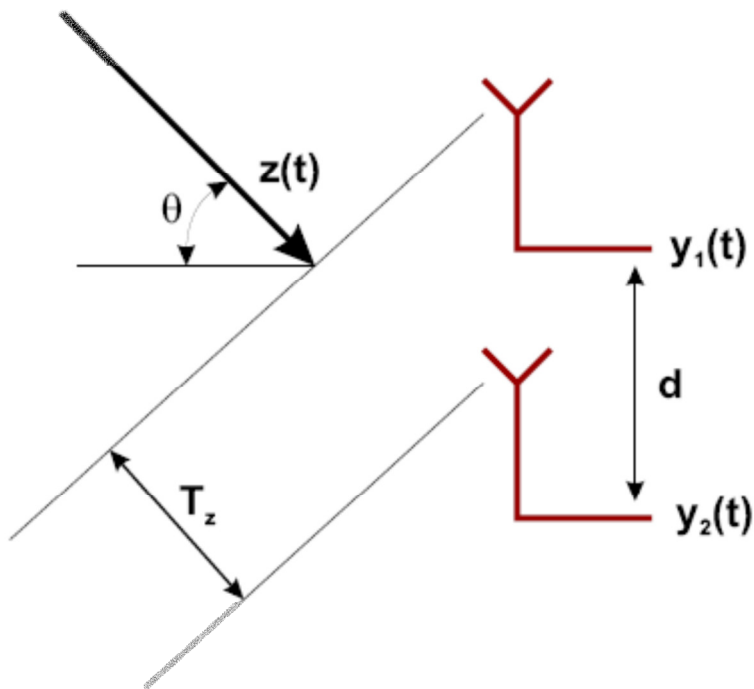
$$z(t) = \beta(t) \exp(j2\pi f_c t)$$

όπου $\beta(t)$ είναι η μιγαδική περιβάλλουσα του σήματος και f_c είναι η φέρουσα συχνότητά του. Για να ισχύει η υπόθεση του πίνακα στενού εύρους ζώνης πρέπει το B να είναι πολύ μικρότερο από τον αντίστροφο του χρόνου διάδοσης T_Z στις κεραίες του δέκτη, δηλαδή $B \ll 1/T_Z$. Έτσι, τα λαμβανόμενα σήματα είναι

$$y_1(t) = z(t)$$

$$y_2(t) = z(t) \exp\left(j2\pi \sin(\theta) \frac{d}{\lambda}\right)$$

όπου το λ είναι το μήκος κύματος του $z(t)$. Από τις σχέσεις (2.8) είναι φανερό ότι τα λαμβανόμενα σήματα στις κεραίες του δέκτη είναι ίδια και διαφέρουν μόνο στη φάση. Αυτή η ολίσθηση φάσης οφείλεται στη γεωμετρία του δέκτη και στη γωνία άφιξης του μετώπου του κύματος. Το συμπέρασμα αυτό μπορεί να γενικευτεί και σε περισσότερες από δυο κεραίες στο δέκτη. Στη συνέχεια αυτής της εργασίας η υπόθεση του πίνακα στενού εύρους ζώνης θεωρείται ότι ισχύει και έτσι ο πίνακας \mathbf{H} δεν περιέχει χρονική εξάρτηση.



Σχήμα 3.5: Σχηματική αναπαράσταση ενός σήματος που προσπίπτει σε δέκτη που αποτελείται από δυο κεραίες. Σύμφωνα με την υπόθεση του πίνακα στενού εύρους ζώνης οι έξοδοι $y_1(t)$ και $y_2(t)$ διαφέρουν μόνο σε μια ολίσθηση φάσης.

Επομένως, ο πίνακας της σχέσης γίνεται

$$\mathbf{H}(t) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(t) & h_{1,2}(t) & \cdots & h_{1,M_T}(t) \\ h_{2,1}(t) & h_{2,2}(t) & \cdots & h_{2,M_T}(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{M_R,1}(t) & h_{M_R,2}(t) & \cdots & h_{M_R,M_T}(t) \end{bmatrix}$$

3.3 Πλεονεκτήματα από τη χρήση MIMO

Τα συστήματα MIMO προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των SISO, όπως το κέρδος πίνακα (array gain), το διαφορικό κέρδος (diversity gain), το κέρδος χωρικής πολυπλεξίας (spatial multiplexing gain) και η μείωση των παρεμβολών (interference reduction). Παρά το γεγονός ότι και τα συστήματα MISO και SIMO παρέχουν παρόμοια πλεονεκτήματα, μόνο τα MIMO μπορούν να δώσουν κέρδος χωρικής πολυπλεξίας και να αυξήσουν τη χωρητικότητα του διαύλου πάνω από το όριο του Shannon. Η χώρο-χρονική κωδικοποίηση (space-time coding) και οι διάφοροι αλγόριθμοι λήψης του σήματος μπορούν να ανταλλάξουν αυτά τα κέρδη με ένα ικανοποιητικό ποσοστό λαθών BER (Bit Error Ratio) στην περίπτωση κατά την οποία το σύστημα περιορίζεται από θόρυβο και παρεμβολές. Διαφορετικά, σε ευνοϊκές συνθήκες μεγιστοποιείται η απόδοση του διαύλου. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα των συστημάτων MIMO, θεωρώντας ένα σύστημα με M_R δέκτες και M_T πομπούς.

- **Κέρδος Πίνακα (Array Gain)**

Το κέρδος πίνακα μπορεί να επιτευχθεί μετά από επεξεργασία στον πομπό και στο δέκτη και έχει ως συνέπεια την αύξηση του μέσου λαμβανόμενου σηματοθορυβικού λόγου λήψης (coherent combining). Το κέρδος πίνακα του πομπού ή του δέκτη απαιτεί γνώση της κατάστασης του διαύλου από τον πομπό ή το δέκτη, αντίστοιχα, και εξαρτάται από τον αριθμό των κεραιών εκπομπής και λήψης. Η κατάσταση του διαύλου στη γενική περίπτωση είναι γνωστή στην πλευρά του δέκτη, χωρίς όμως να ισχύει το ίδιο και για την πλευρά του πομπού, όπου είναι δύσκολη η εκτίμησή της.

Το κέρδος πίνακα έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια λόγω της ανάπτυξης των 'έξυπνων' κεραιών (smart antennas).

- **Διαφορικό κέρδος (Diversity Gain)**

Η ισχύς του σήματος σε ένα ασύρματο δίαυλο αυξομειώνεται τυχαία, ανάλογα με τις διαλείψεις που εμφανίζονται στο διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Η διαφορικότητα βασίζεται στη μετάδοση του σήματος σε πολλαπλές (ιδανικά) ανεξάρτητες, ως προς τις διαλείψεις, διαδρομές (στο πεδίο του χρόνου ή της συχνότητας ή του χώρου).

Η χρονική διαφορικότητα (time diversity) απαιτεί την επαναμετάδοση των δεδομένων μετά από μια χρονική καθυστέρηση τουλάχιστον ίση με το χρόνο συνοχής T_C (coherence time). Αυτό έχει ως συνέπεια την ελάττωση του ρυθμού μετάδοσης, καθώς αποστέλλονται αντίγραφα της ίδιας πληροφορίας.

Η διαφορικότητα στο πεδίο της συχνότητας (frequency diversity) απαιτεί την μετάδοση των δεδομένων ταυτόχρονα σε διαφορετικές συχνότητες, που διαφέρουν μεταξύ τους τουλάχιστον κατά τη συχνότητα συνοχής B_C (coherence bandwidth). Η τεχνική αυτή, οδηγεί σε ανεπιθύμητη σπατάλη εύρους ζώνης.

Η χωρική διαφορικότητα (spatial diversity) προτιμάται από τις διαφορικότητες χρόνου και συχνότητας, καθώς αυτή δεν σπαταλά τηλεπικοινωνιακούς πόρους, όπως ο χρόνος μετάδοσης και το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Αν οι $M_R \times M_T$ δίαυλοι, οι οποίοι συνθέτουν το δίαυλο MIMO, υφίστανται ανεξάρτητες μεταξύ τους αποσβέσεις και το μεταδιδόμενο σήμα έχει σχεδιαστεί κατάλληλα, ο δέκτης μπορεί να συνδυάσει τα λαμβανόμενα σήματα με τέτοιο τρόπο ώστε το τελικό σήμα να παρουσιάζει μικρότερη διασπορά πλατών σε σύγκριση με την SISO περίπτωση. Έτσι, επιτυγχάνεται διαφορικότητα τάξης $M_R \times M_T$. Αν ο πομπός δεν γνωρίζει την κατάσταση του διαύλου είναι δύσκολο να εξαχθεί διαφορικό κέρδος. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται κατάλληλα σχεδιασμένα σήματα μετάδοσης και η τεχνική αναφέρεται ως χώρο-χρονική κωδικοποίηση.

- **Κέρδος χωρικής πολυπλεξίας (Spatial Multiplexing Gain)**

Ο διάυλος MIMO προσφέρει μια γραμμική αύξηση (ανάλογη προς το $\min(M_R, M_T)$) στην χωρητικότητα χωρίς να χρειάζεται αύξηση στην ισχύ εκπομπής ή στο διαθέσιμο εύρος ζώνης. Αυτό το κέρδος, που αναφέρεται ως κέρδος χωρικής πολυπλεξίας, υλοποιείται μεταδίδοντας ανεξάρτητα μεταξύ τους σήματα από διαφορετικές κεραίες. Με ευνοϊκές συνθήκες διάδοσης, όπως το πλούσιο περιβάλλον σε σκεδαστές, ο δέκτης μπορεί να ξεχωρίσει τις διαφορετικές αυτές ροές δεδομένων, οδηγώντας έτσι σε μια γραμμική αύξηση της χωρητικότητας.

- **Μείωση των παρεμβολών (Interference Reduction)**

Οι παρεμβολές δημιουργούνται εξαιτίας της επαναχρησιμοποίησης συχνότητας που γίνεται στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες. Όταν χρησιμοποιούνται πολλαπλές κεραίες, η χωρική διαφορά ανάμεσα στο επιθυμητό σήμα και στα υπόλοιπα σήματα του ίδιου διαύλου μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των παρεμβολών. Για τη μείωση των παρεμβολών απαιτείται γνώση του διαύλου του επιθυμητού σήματος, χωρίς να χρειάζεται να είναι γνωστός ο διάυλος παρεμβολής. Η μείωση αυτή μπορεί να εφαρμοστεί και στην πλευρά του πομπού, ελαττώνοντας την ενέργεια των παρεμβολών σε σχέση με τη χρήσιμη ενέργεια. Έτσι, το φαινόμενο αυτό επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση συχνότητας και δημιουργεί αύξηση της χωρητικότητας κάθε κυψέλης.

3.4 Εφαρμογές συστημάτων MIMO

Η ανάπτυξη των ψηφιακών εφαρμογών απαιτεί την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων στον ασύρματο διάυλο. Οι ρυθμοί μετάδοσης των 50 Mbps ή 100 Mbps που φθάνουν σήμερα τα ασύρματα τοπικά δίκτυα WLAN (Wireless Local Area Networks), είναι ανεπαρκείς για υπηρεσίες όπως η τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας HDTV (High Definition TV). Οι σημερινοί ρυθμοί μετάδοσης των WLAN είναι μικροί συγκρινόμενοι με τους ρυθμούς της τάξης των 10 Gbps των ενσύρματων τοπικών δικτύων. Αυτή την αδυναμία των ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών καθώς και την ανάγκη για μεγαλύτερη κάλυψη έρχονται να βελτιώσουν τα συστήματα MIMO.

Οι ασύρματες εφαρμογές, που επιθυμούν αλλά και μπορούν να έχουν οι χρήστες, είναι όλο και περισσότερες.

- Στο γραφείο, έχουν γίνει σχεδόν απαραίτητα τα ασύρματα τοπικά δίκτυα υπολογιστών WLAN. Οι υπάλληλοι μπορούν πλέον να έχουν μεταξύ τους διαρκή επικοινωνία, να λαμβάνουν και να αποστέλλουν e-mail, να συνδέονται μέσω ενός κεντρικού δρομολογητή (router) στο διαδίκτυο, ακόμη και να μιλούν στο τηλέφωνο χρησιμοποιώντας το διαδίκτυο (VoiceOverIP). Το σημαντικότερο όμως χαρακτηριστικό, είναι ότι όλες οι προηγούμενες εφαρμογές υλοποιούνται χωρίς καλώδια, επιτρέποντας ελευθερία κινήσεων και άνεση στους χρήστες.
- Στο σπίτι, η χρήση ασύρματου μόντεμ παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να κινείται και να έχει σύνδεση στο διαδίκτυο.
- Για δημόσιους χώρους, όπως αεροδρόμια, καφετέριες, πανεπιστήμια έχει αναπτυχθεί η τεχνολογία Wi-Fi, δηλαδή ασύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο. Η κάλυψη που παρέχουν τα δίκτυα Wi-Fi είναι ακόμα πολύ μικρή, αλλά μελετάται η επέκτασή τους σε μεγαλύτερες περιοχές κάλυψης WMAN (Wireless Metropolitan Area Network).

Η ανάπτυξη των συστημάτων MIMO (Multiple Inputs Multiple Outputs) θα βοηθήσει στη διακίνηση μεγαλύτερου όγκου δεδομένων και με μεγαλύτερες ταχύτητες, χρησιμοποιώντας πολλούς παράλληλους ασύρματους διαύλους. Ήδη, ορισμένες εταιρείες έχουν ολοκληρώσει την κατασκευή ασυρμάτων μόντεμ για ADSL (Asynchronous Digital Subscriber Line) σύνδεση σε εσωτερικούς χώρους, χρησιμοποιώντας κεραιές MIMO, εκμεταλλευόμενες την αξιοπιστία και την αυξημένη χωρητικότητα, που παρέχουν.

3.5 Διαφορισμός

Στις τηλεπικοινωνίες ο διαφορισμός ή η διαφορική λήψη αναφέρεται σε μια μέθοδο για τη βελτίωση της λήψης ενός ραδιοσήματος σε περιβάλλον διαλείψεων Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, δύο ή περισσότερα αντίγραφα του αρχικού σήματος λαμβάνονται σε δέκτη του οποίου οι κεραιές είναι τοποθετημένες σε θέσεις που απέχουν κάποια συγκεκριμένη απόσταση (μπορεί να είναι και αρκετά μικρή πχ λιγότερη από ένα μέτρο). Ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα ή ένα κατάλληλο λογισμικό συνδυάζει ή επιλέγει από την κεραιά λήψης έτσι ώστε να μπορέσει να λάβει ένα σήμα βελτιωμένης ποιότητας. Γενικά η χρήση διαφορισμού στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα είναι μία τεχνική για την καταπολέμηση των διαλείψεων που παρατηρούνται στις ραδιοζεύξεις. Επίσης είναι σημαντική η χρήση τεχνικών διαφορισμού για να μην χρειαστεί ο δέκτης να αυξήσει σημαντικά την ισχύ εκπομπής του για την προστασία της ραδιοζεύξης τις χρονικές στιγμές που υπάρχουν ισχυρές διαλείψεις και θέτουν σε κίνδυνο

την επικοινωνία. Συνήθως η αξιοποίηση του διαφορισμού γίνεται στο δέκτη και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Μακροσκοπικές τεχνικές διαφορισμού: Χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της εξασθένησης της ευρείας κλίμακας.
- Μικροσκοπικές τεχνικές διαφορισμού: Χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της εξασθένησης μικρής κλίμακας. Διακρίνονται σε τεχνικές diversity στο χώρο(space diversity), στη συχνότητα (frequency diversity) ή στο χρόνο(time diversity)

A).Διαφορισμός στο χώρο

Ο διαφορισμός στο χώρο είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη τεχνική διαφορισμού για τους σταθμούς βάσης στις κινητές επικοινωνίες. Σε αυτή τη τεχνική λοιπόν χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία κεραίες στον τερματικό σταθμό. Ο λόγος για τον οποίο γίνεται αυτό είναι για να αθροίζονται τα σήματα που φτάνουν σε κάθε μία από αυτές.

B).Διαφορισμός στη συχνότητα

Ο διαφορισμός στη συχνότητα είναι η τεχνική κατά την οποία η πληροφορία μεταδίδεται ταυτόχρονα σε περισσότερες από μία συχνότητες. Σημαντικό μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η σπατάλη εύρους ζώνης καθώς η διαφορά μεταξύ των συχνοτήτων των σημάτων να είναι μεγαλύτερη από το εύρος ζώνης.

Γ).Διαφορισμός στο χρόνο

Ο διαφορισμός στο χρόνο είναι η τεχνική κατά την οποία η πληροφορία μεταδίδεται επαναληπτικά από τον πομπό μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα δίνοντας τη δυνατότητα αρχικά να λάβει παραπάνω από μία φορές το μήνυμα ώστε να το αποκωδικοποιήσει κατάλληλα.

3.5.1 Τεχνικές Διαφορισμού

Σε κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα η τεχνική διαφορισμού που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του δέκτη αλλά και από τις πληροφορίες που φτάνουν στο δέκτη. Οι βασικές τεχνικές διαφορισμού είναι τρεις :α).Selection Diversity, β).Feedback(ή Scanning Diversity) και γ).Maximal Ratio Combining Diversity.

A) Selection Diversity

Η τεχνική αυτή είναι ευρέως διαδεδομένη και η πιο απλή σε σχέση με τις υπόλοιπες. Η πολυπλοκότητα στο δέκτη απλοποιείται σημαντικά με τη χρήση αυτής της τεχνικής καθώς σε κάθε χρονική στιγμή επιλέγεται εκείνη η κεραία της οποίας η έξοδος παρουσιάζει το μικρότερο SNR. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα να βρεθούν όλες οι κεραίες σε σημεία μεγάλης εξασθένησης. Γενικά προσφέρει σημαντική βελτίωση στη σύνδεση χωρίς να απαιτεί πρόσθετη μεταδιδόμενη ισχύ ή πολύπλοκα κυκλώματα. Σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι γίνεται σπατάλη πόρων καθώς δεν χρησιμοποιούνται όλοι οι κλάδοι ταυτόχρονα.

B) Feedback (ή Scanning Diversity)

Με τη χρήση αυτής της τεχνικής τα σήματα από κάθε κεραία διατρέχονται με σταθερή σειρά μέχρι να βρεθεί κάποιο που βρίσκεται πάνω από κάποιο προκαθορισμένο κατώφλι. Χρησιμοποιείται αυτό το σήμα μέχρι η ισχύς του να πέσει κάτω από το κατώφλι αυτό, οπότε η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Γενικά παρουσιάζει χειρότερη απόδοση αλλά έχει το πλεονέκτημα ότι απαιτείται μόνο ένας δέκτης και επομένως γίνεται αρκετά απλή στην υλοποίηση.

Γ) Maximal Ratio Combining Diversity

Σε αυτή την τεχνική η έξοδος είναι γραμμικός συνδυασμός των εξόδων όλων των κεραίων και το SNR εξόδου είναι το άθροισμα των επιμέρους SNRs. Γενικά απαιτεί ένα δέκτη και ένα κύκλωμα χειρισμού φάσης για κάθε κεραία (τα σήματα πρέπει να γίνουν συμφασικά), καθώς και κάποιο κύκλωμα για τη ρύθμιση των βαρών. Είναι η καλύτερη τεχνική αλλά και η πιο περίπλοκη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή στο matlab

Το Matlab είναι ένα σύγχρονο μαθηματικό λογισμικό πακέτο που χρησιμοποιείται σε πανεπιστημιακά μαθήματα σε ερευνητικές εφαρμογές αλλά και κάποιες άλλες εφαρμογές που απαιτούν επιστημονικούς υπολογισμούς (scientific computing). Το λογισμικό αυτό παίρνει το όνομά του από τις λέξεις MATrix LABoratory (εργαστήριο πινάκων). Το Matlab είναι ένα διαδραστικό πρόγραμμα για αριθμητικούς υπολογισμούς και οπτικοποίηση δεδομένων με δυνατότητες προγραμματισμού που το καθιστούν ένα ισχυρό και χρήσιμο εργαλείο στις μαθηματικές και φυσικές επιστήμες. Ο σχεδιασμός του Matlab βασίζεται στους υπολογισμούς με πίνακες όπως είναι για παράδειγμα η επίλυση γραμμικών συστημάτων, η εύρεση ιδιοτιμών η αντιστροφή τετραγωνικού πίνακα κ.λπ. Επίσης σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης είναι η οπτική εμφάνιση αποτελεσμάτων καθώς το Matlab παρέχει τη δυνατότητα κατασκευής γραφικών παραστάσεων. Γενικά το Matlab αποτελείται από μία αρκετά μεγάλη γκάμα από έτοιμες συναρτήσεις οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν το χρήστη σε αρκετές περιπτώσεις απλές όπως ο υπολογισμός του ημιτόνου κάποιας γωνίας ή πιο σύνθετες. Τέλος όλο το πακέτο είναι εφοδιασμένο με ένα εκτενές σύστημα βοήθειας όπου κάθε εντολή επεξηγείται αναλυτικά και με αντιπροσωπευτικά παραδείγματα κάνοντας χρήση της πιο σημαντικής εντολής του Matlab της help.

4.2 Βασικά στοιχεία προγράμματος matlab

Όπως είδαμε και παραπάνω το Matlab είναι μια γλώσσα προγραμματισμού, που βοηθά ιδιαίτερα στις πράξεις με πίνακες και διανύσματα. Όλες οι μεταβλητές στο Matlab είναι πίνακες και όλες οι πράξεις που γίνονται είναι πράξεις πινάκων:

Παραδείγματα:

```
>> a = 1; % enas 1x1 pinakas pou parista mia badmwith metablhth
```

```
>> a
```

```
a =
```

```
1
```

```
>> b=[123] % enas pinakas 1x3 pou parista ena dianysma
```

```
b =
```

```
1 2 3
```


Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις πράξεις πινάκων:

$A+B$	Πρόσθεση πινάκων
$A-B$ Αφαίρεση πινάκων	Αφαίρεση πινάκων
$A*B$	Πολλ/σμος πινάκων
A/B	Διαίρεση πινάκων
$A.*B$	Στοιχείο-προς-στοιχείο πολλαπλασιασμός
$A./B$	Στοιχείο-προς-στοιχείο διάιρεση
A^2	$ans = A*A$
$A.^2$	Στοιχείο-προς-στοιχείο ύψωση σε δύναμη
$\text{sqrt}(A)$	Πίνακας με στοιχεία τις τετραγωνικές ρίζες των στοιχείων του A
$\text{exp}(A)$	Πίνακας με στοιχεία τα εκθετικά των στοιχείων του A
$A.'$	Ο ανάστροφος του A
A'	Ο συζυγής ανάστροφος του A

Επίσης στο Matlab υπάρχουν αρκετές συναρτήσεις οι οποίες ας βοηθούν στις πράξεις. Οι συναρτήσεις αυτές χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες. Ο παρακάτω πίνακας μας δείχνει τις πιο συνηθισμένες τριγωνομετρικές συναρτήσεις:

\sin	Ημίτονο
\cos	Συνημίτονο
\tan	Εφαπτομένη
exp	Εκθετική συνάρτηση
\log	Λογάριθμος βάσης e
abs	Απόλυτη τιμή

Στον επόμενο πίνακα θα δούμε κάποιες συναρτήσεις που αφορούν τα διανύσματα.

Max	Μέγιστο στοιχείο
Min	Ελάχιστο στοιχείο
Length	Μήκος διανύσματος
Sum	Άθροισμα στοιχείων διανύσματος
Prod	Γινόμενο στοιχείων διανύσματος

Και τέλος στον τελευταίο πίνακα απεικονίζονται κάποιες από τις συναρτήσεις που βοηθούν είτε στη κατασκευή και διαχείριση πινάκων είτε δίνουν πληροφορίες για κάποιο πίνακα.

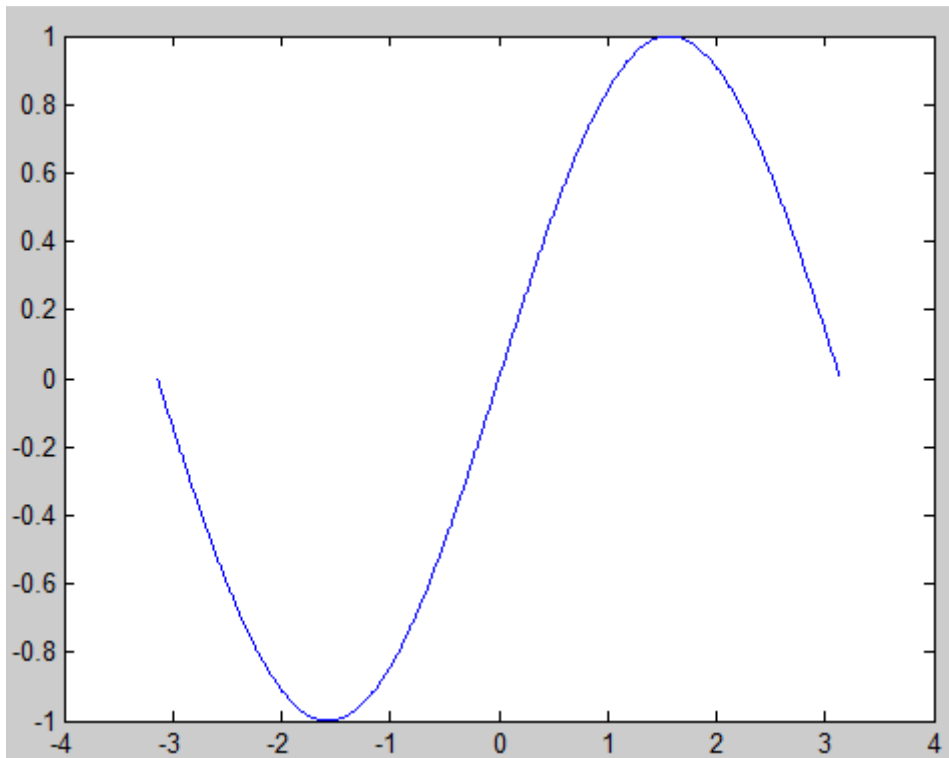
size	Μέγεθος ενός πίνακα
det	Ορίζουσα ενός πίνακα
inv	Αντίστροφος ενός πίνακα
poly	Χαρακτηριστικό πολυώνυμο ενός πίνακα
eye	Ταυτοτικός πίνακας
zeros	Μηδενικός πίνακας
ones	Μοναδιαίος πίνακας
rand	(ψευδο)τυχαίος πίνακας

Κλείνοντας τα βασικά στοιχεία του Matlab πρέπει να δούμε και τη βασική εντολή που χρησιμοποιούμε στο Matlab για την κατασκευή γραφημάτων. Η εντολή αυτή είναι η plot. Παρακάτω θα δούμε ένα παράδειγμα γραφικής παράστασης του ημιτόνου μιας γωνίας για να καταλάβουμε πως δουλεύει.

```
>> x=-pi:0.01:pi;
```

```
>> y=sin(x);
```

```
>> plot(x,y)
```



4.3 Ανάλυση συστήματος

Γενικά τα φαινόμενα διασκορπισμού και της μετατόπισης Doppler τα οποία εμφανίζονται όταν ο ασύρματος δέκτης κινείται με κινείται σε ένα περιβάλλον με αντικείμενα με διαστάσεις του κύματος λ του σήματος, αποτελούν αιτίες υποβάθμισης του λαμβανόμενου σήματος. Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η δημιουργία ενός προγράμματος εξομοίωσης ενός καναλιού επίπεδης εξασθένισης Rayleigh, το οποίο μοντελοποιεί ικανοποιητικά τις όποιες παραμορφώσεις υπόκειται ένα λαμβανόμενο σήμα. Η εξομοίωση του φυσικού επιπέδου ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος στο οποίο το λαμβανόμενο σήμα έχει υποβαθμιστεί από ένα κανάλι επίπεδης εξασθένισης Rayleigh. Για το σύστημα αυτό θα εξεταστούν οι περιπτώσεις όπου ο δέκτης έχει περισσότερες από μια κεραίες, και θα υπολογιστεί το κέρδος το οποίο προκύπτει όταν ο δέκτης αξιοποιεί τα σήματα τα οποία λαμβάνει από όλες τις κεραίες του χρησιμοποιώντας τη τεχνικές Maximal Ratio Combining Diversity. Γενικά, στο κανάλι επίπεδης εξασθένισης Rayleigh το οποίο μοντελοποιεί τις παραμορφώσεις λόγω του διασκορπισμού και της μετατόπισης Doppler, εισάγει ένα πολλαπλασιαστικό παράγοντα παραμόρφωσης. Ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας αυτός ή ο παράγοντας h είναι χρονικά μεταβαλλόμενη και λαμβάνει μιγαδικές τιμές. Με τον τρόπο αυτό

το κανάλι Rayleigh μεταβάλλει τόσο το πλάτος όσο και τη φάση των συμβόλων που εμφανίζονται στην είσοδό του και στη συνέχεια εισάγεται λευκός θόρυβος Gauss. Για να καταφέρουμε να προσομοιώσουμε ένα κανάλι επίπεδης εξασθένισης Rayleigh αρχικά θα πρέπει να αρχικά να δημιουργήσουμε τους μιγαδικούς συντελεστές h_n για το διάστημα στο οποίο πρόκειται να εξετάσουμε το τηλεπικοινωνιακό σύστημα που επιθυμούμε το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με τη προσομοίωση στο χρόνο και τη προσομοίωση στη συχνότητα. Η πολλαπλασιαστική σταθερά δίνεται από τον τύπο:

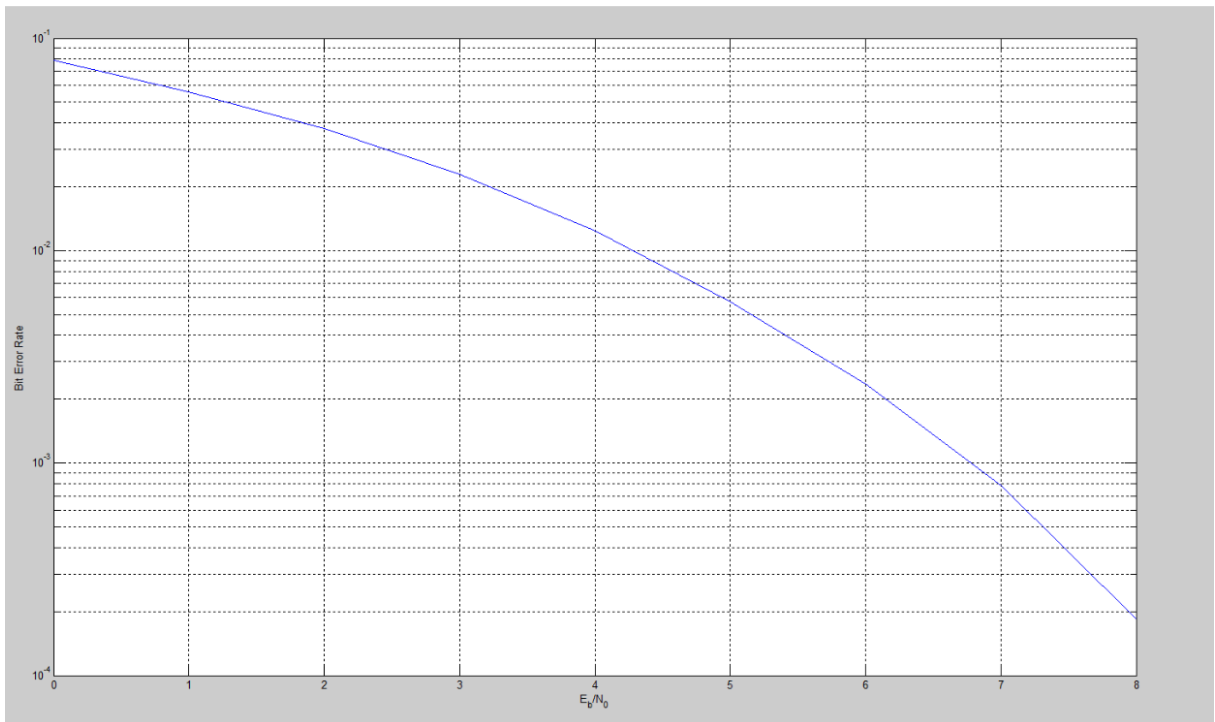
$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N \exp\{j(\phi_i + 2\pi f_d t \cos(\theta_i))\}$$

Την παραπάνω σχέση μπορούμε να την υπολογίσουμε οποιαδήποτε χρονική στιγμή επιθυμούμε. Για τη διαδικασία δημιουργίας της μιγαδικής σταθεράς ακολουθούμε τη παρακάτω διαδικασία:

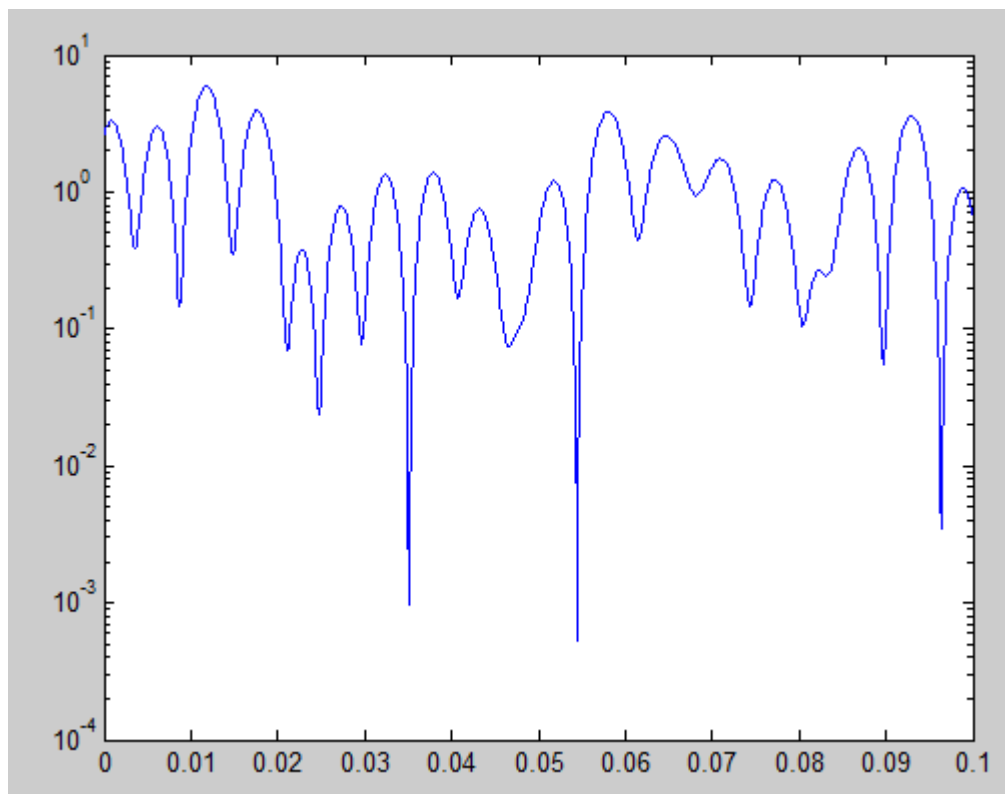
- Είσοδος: f_d , N , t
- Δημιουργούμε τυχαίες τιμές για τις φάσεις ϕ_i ομοιόμορφα κατανεμημένες στο διάστημα $[0, 2\pi)$
- Υπολογίζουμε τις γωνίες θ_i έτσι ώστε να ισαπέχουν οι γωνίες των διασκορπιστών.
- Υπολογίζουμε τον παραπάνω τύπο για τη δοσμένη χρονική στιγμή t .

4. 4Αποτελέσματα προσομοίωσης

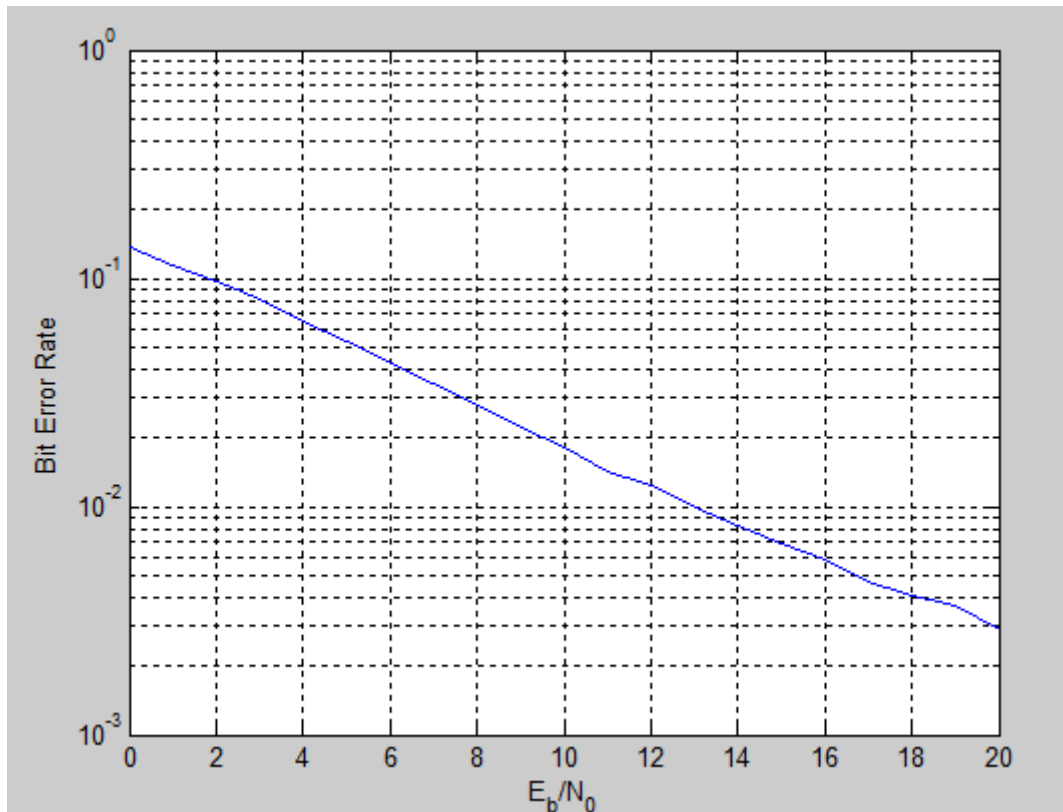
1^η προσομοίωση: Ένα σύστημα QAM-4 βασικής ζώνης με το κανάλι του λευκού προσθετικού θορύβου. Για το σύστημα αυτό θεωρήθηκε πως η αντιστοίχιση από δυαδικά ψηφία σε σύμβολα γίνεται σύμφωνα με τον κώδικα Gray δηλαδή γειτονικά σύμβολα διαφέρουν μόνο ως προς 1 δυαδικό ψηφίο. Παρακάτω φαίνεται η καμπύλη του ρυθμού εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων (Bit Error Rate) ως προς την ισχύ μετάδοσης (Λόγος σήματος προς θόρυβο SNR).



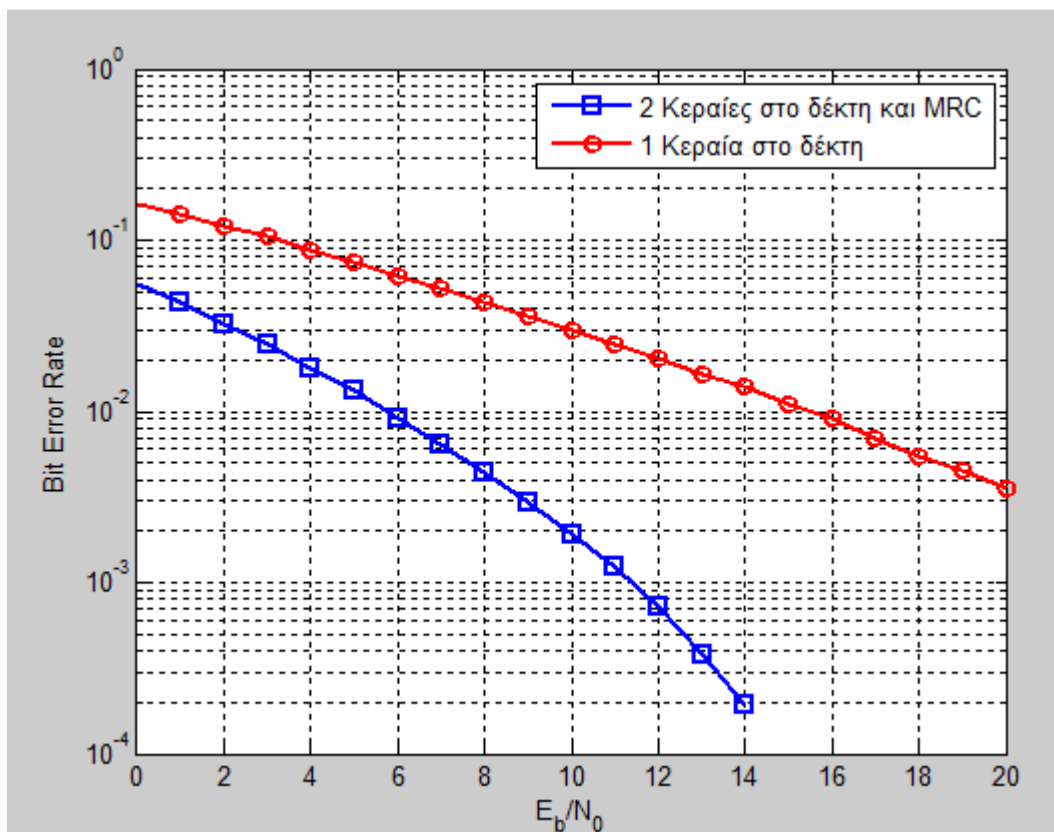
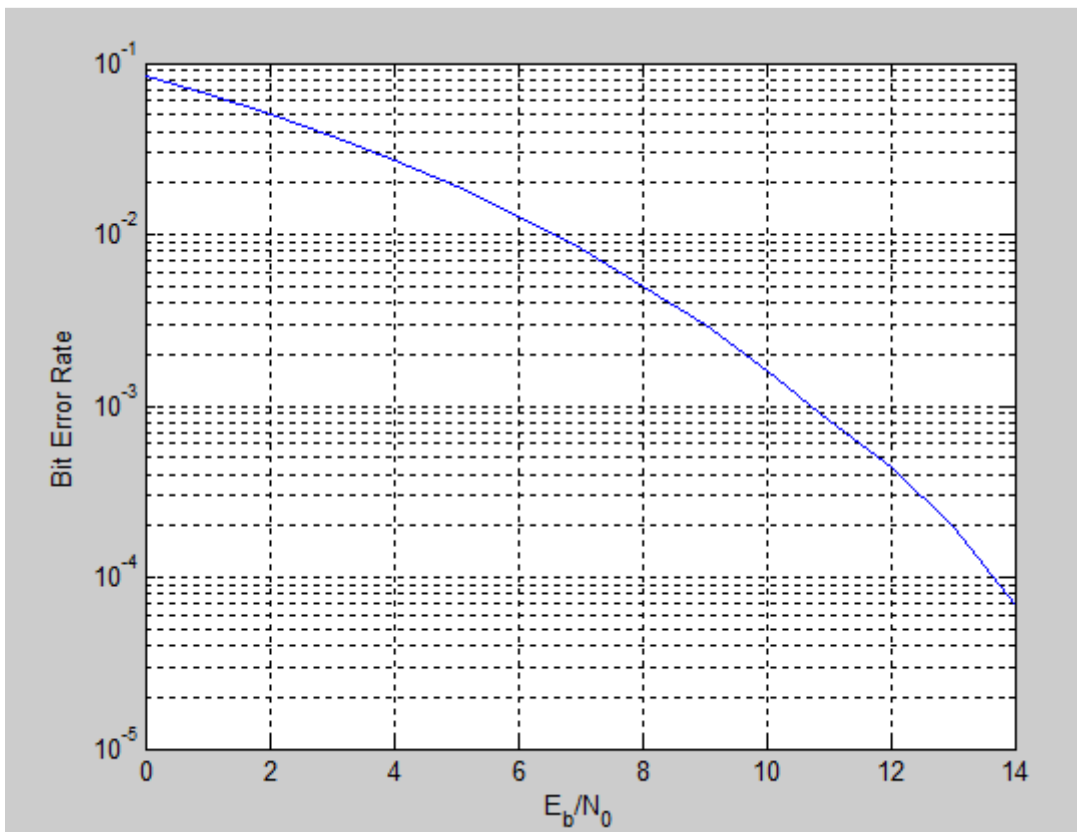
2^η προσομοίωση: Τα χαρακτηριστικά ενός καναλιού επίπεδης εξασθένισης Rayleigh με είσοδο τη μέγιστη συχνότητα Doppler $f_d=100\text{Hz}$ το πλήθος των διασκορπιστών $N=21$ και ένα χρονικό διάστημα t από 0 έως 0.1 sec. Παρακάτω βλέπουμε το διάγραμμα που παρουσιάζει τις μιγαδικές στιγμές της παραμέτρου $h(t)$ του καναλιού στις συγκεκριμένες χρονικές στιγμές.



3^η προσομοίωση: Ένα σύστημα QAM-4 βασικής ζώνης με το κανάλι επίπεδης εξασθένησης Rayleigh. Για το σύστημα αυτό θεωρήθηκε πως το κανάλι είναι γνωστό στο δέκτη. Επίσης η προσομοίωση εκτελέστηκε αρκετές φορές για να λάβουμε μέσους όρους για να πετύχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα. Στο διάγραμμα παρακάτω βλέπουμε τη καμπύλη του ρυθμού εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων ως προς την ισχύ μετάδοσης.



4^η προσομοίωση: Σε αυτή τη προσομοίωση θεωρήσαμε πως ο δέκτης χρησιμοποιεί 2 κεραίες. Επίσης υποθέσαμε πως αυτές οι δύο κεραίες βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από $\lambda/2$. Στην περίπτωση αυτή, το σήμα το οποίο λαμβάνει κάθε κεραία έχει υποστεί ανεξάρτητη υποβάθμιση. Υποθέσαμε δηλαδή πως κάθε ένα από τα δύο κανάλια τα οποία δημιουργούνται ανάμεσα στη κεραία του πομπού και στις κεραίες του δέκτη είναι ένα κανάλι επίπεδης εξασθένησης Rayleigh και πως τα κανάλια είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Σε ένα τέτοιο σύστημα ο πομπός θα πρέπει να έχει μια τεχνική συνδυασμού των σημάτων από τις δύο κεραίες ή απλά επιλογής του πιο ισχυρού από αυτά. Η ιδέα είναι πως η πιθανότητα και τα δύο κανάλια να είναι σε υποβάθμιση είναι πολύ μικρότερη από όταν είχαμε ένα κανάλι. Για τους σκοπούς της προσομοίωσης αυτής θεωρήσαμε πως ο δέκτης έχει πλήρη γνώση των καναλιών και σε κάθε χρονική στιγμή επιλέγει να χρησιμοποιήσει ένα γραμμικό συνδυασμό των σημάτων από τις δύο κεραίες σύμφωνα με τη τεχνική Maximum Ratio Combining (MRC). Στη συνέχεια υπάρχουν 2 διαγράμματα. Στο πρώτο είναι η καμπύλη του ρυθμού εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων ως προς τη ισχύ μετάδοσης. Και στο δεύτερο γίνεται μια σύγκριση στις καμπύλες στα δύο διαφορετικά σενάρια όταν έχουμε μία κεραία και δύο κεραίες στο δέκτη αντίστοιχα.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ-ΚΩΔΙΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

1. Σημαντικές συναρτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν

```
function Modulation=MPSK(M)
%
% Create the symbols of an M-ary Phase Shift Keying modulation
%
% Number of bits per symbol
k=log2(M);

% Discrete phase values
P=linspace(0,2*pi-2*pi/M,M);

% Complex symbols
S=sin(P)+j*cos(P);

% Bit to symbol assignments
B=Gray_Code(k);

% Create a struct to keep all that data
Modulation=struct('k',k,'S',S,'B',B);

function List=Gray_Code(k)
%
% Return the Gray code for k bits
%
List=[0;1];

for i=1:k-1,
    nLines=size(List,1);
    nColumns=size(List,2);
    NewList=zeros(2*nLines,nColumns+1);

    % Create first half
    for j=1:nLines,
        NewList(j,:)=[0 List(j,:)];
    end

    % Create second half
    for j=1:nLines,
        NewList(nLines+j,:)=[1 List(nLines+1-j,:)];
    end

    List=NewList;
end
```

Η παραπάνω συνάρτηση ορίζει τα σύμβολα μιας διαμόρφωσης M-PSK όπου το πλήθος των συμβόλων M δίνεται από το χρήστη. Η διαμόρφωση περιγράφεται από μία δομή η οποία έχει 3 πεδία:

- Το πλήθος k των bit ανά σύμβολο ($k = \log_2(M)$)
- Ένα διάνυσμα S το οποίο έχει μήκος M και το οποίο σε κάθε θέση του περιέχει ένα σύμβολο της διαμόρφωσης, ως ένα μιγαδικό αριθμό όπου το πραγματικό μέρος του μιγαδικού αριθμού είναι η συνιστώσα I του συμβόλου, και το φανταστικό μέρος του μιγαδικού αριθμού είναι η συνιστώσα Q του συμβόλου.
- Ένα πίνακα B, μεγέθους M επί k όπου σε κάθε γραμμή i του πίνακα δίνουμε τα k bit στα οποία έχουμε αντιστοιχίσει το σύμβολο της θέσης i του διανύσματος S (η αντιστοίχιση αυτή γίνεται χρησιμοποιώντας το κώδικα Gray).

```
function s=Modulate(b,M)
%
% Map the input bit sequence into a sequence of symbols
% using the modulation M
%
% Create a matrix with the mappings of the current modulation
MAP=zeros(2^M,k,1);
for i=1:size(MAP,1),
    MAP(b2d(M.B(i,:))+1)=M.S(i);
end

% Group the input bits into groups of M.k bits
ib=reshape(b,M*k,length(b)/M*k)';

% Initialize s
s=zeros(1,length(b)/M*k);

% Do the mapping
for i=1:size(ib,1),
    s(i)=MAP(b2d(ib(i,:))+1);
end

function d=b2d(b)
%
% binary to decimal
%
d=0;
l=size(b,2);
for i=1:l,
    d=d+b(l+1-i)*2^(i-1);
end
```

Η παραπάνω συνάρτηση μετατρέπει μία ακολουθία δυαδικών ψηφίων στα αντίστοιχα σύμβολα ακριβώς όπως ορίζει η διαμόρφωση που χρησιμοποιούμε. Για να το πετύχουμε αυτό

δημιουργούμε ένα πίνακα MAP ο οποίος έχει M γραμμές, όπου κάθε γραμμή θα αντιστοιχεί στους διαδικούς αριθμούς από 0 έως 2^k-1 τους οποίους μπορούμε να δημιουργήσουμε με τα k bits ανά σύμβολο που έχουμε και στη διαμόρφωσή μας, και η τιμή που θα έχει ο πίνακας αυτός στη γραμμή i θα είναι το σύμβολο που αντιστοιχεί σε αυτά τα bits. Στη συνέχεια είναι αρκετά απλό να ομαδοποιήσουμε τα δυαδικά δεδομένα εισόδου σε ομάδες των k -bit και να εκτελέσουμε τη διαδικασία αντιστοίχησης τους σε σύμβολα.

```
function ob=Detect_Bits(r,M)
%
% Maximum-Likelihood Detector, for the received sequence r
% and Modulation M
%
% Get number of symbols
nS=length(M.S);

% Initialize output bits
ob=zeros(M.k,length(r));

% for each received sample
for i=1:length(r),
    % Compute all distances
    D=abs(r(i)*ones(1,nS)-M.S);

    % Compute minimum distance
    [mind,mini]=min(D);

    % Write the bits
    ob(:,i)=M.B(mini,:);
end

% reshape
ob=reshape(ob,1,length(r)*M.k);
```

Στη παρακάτω συνάρτηση φαίνεται το script της εξομοίωσης του ρυθμού εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων προς το θόρυβο.

```
% Generation of random bits
N=240000;
b=rand(1,N)>=0.5;

% Define the modulation to be used
M=MPSK(16);

% Perform modulation of all bits
s=Modulate(b,M);
```

```

% Definition of the Eb/N0 range
EbN0=0:1:8;

% Initialize Bit Error Rates
BER=zeros(1,length(EbN0));

% Iterate on EbN0
i=1;
for x = EbN0,
    % Compute the variance of the noise
    sigma2=1/(2*M.k*10^(x/10));

    % Generate noise
    n=sqrt(sigma2)*(randn(1,length(s))+j*randn(1,length(s)));

    % Received data
    r=s+n;

    % Detection
    bhat=Detect_Bits(r,M);

    % Computation of BER
    BER(i)=nnz(b-bhat)/N;
    i=i+1;
end

close all;
semilogy(EbN0,BER);
xlabel('E_b/N_0');
ylabel('Bit Error Rate');
grid on;

```

Τέλος, η παρακάτω συνάρτηση χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση του ατερισμού συμβόλων της διαμόρφωσης της οποίας χρησιμοποιούμε.

```

function Plot_Constellation(M)
%
% Draw the constellation diagram for modulation M
%

close all;
figure;
hold on;
XMIN=min(real(M.S))-0.2;
XMAX=max(real(M.S))+0.2;
YMIN=min(imag(M.S))-0.2;
YMAX=max(imag(M.S))+0.2;
axis([XMIN XMAX YMIN YMAX]);
axis off;
line([XMIN XMAX],[0 0]);
line([0 0],[YMIN YMAX]);
for i=1:size(M.S,2),
    plot(real(M.S(i)),imag(M.S(i)),'o');
    s='';
    for j=1:size(M.B,2),

```

```

        s(j)=sprintf('%c', num2str(M.B(i, j)));
    end
    text(real(M.S(i))+0.1, imag(M.S(i))+0.1, s);
end

```

2.Κώδικας προσομοιώσεων

1^η προσομοίωση: Ένα σύστημα QAM-4 βασικής ζώνης με το κανάλι του λευκού προσθετικού θορύβου. Για το σύστημα αυτό θεωρήθηκε πως η αντιστοίχιση από δυαδικά ψηφία σε σύμβολα γίνεται σύμφωνα με τον κώδικα Gray δηλαδή γειτονικά σύμβολα διαφέρουν μόνο ως προς 1 δυαδικό ψηφίο. Παρακάτω φαίνεται η καμπύλη του ρυθμού εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων (Bit Error Rate) ως προς την ισχύ μετάδοσης (Λόγος σήματος προς θόρυβο SNR).

```

% Generation of random bits
N = 240000;
b = rand(1,N) >= 0.5;

% Define the modulation to be used
M = qam4();

% Perform modulation of all bits
s = Modulate(b,M);

% Definition of the Eb/N0 range
EbN0 = 0:1:8;

% Initialize Bit Error Rates
BER = zeros(1, length(EbN0));

% Iterate on EbN0
i = 1;
for x = EbN0,
    % Compute the variance of the noise
    sigma2 = 1/(2*M.k*10^(x/10));

    % Generate noise
    n = sqrt(sigma2)*(randn(1,length(s))+j*randn(1,length(s)));

    % Received data
    r = s + n;

    % Detection
    bhat = Detect_Bits(r, M);

    % Computation of BER
    BER(i) = nnz(b-bhat)/N;
end

```

```

        i = i + 1;
end

close all;
semilogy(EbN0, BER);
xlabel('E_b/N_0');
ylabel('Bit Error Rate');
grid on;

```

2^η προσομοίωση: Τα χαρακτηριστικά ενός καναλιού επίπεδης εξασθένισης Rayleigh με είσοδο τη μέγιστη συχνότητα Doppler $f_d=100\text{Hz}$ το πλήθος των διασκορπιστών $N=21$ και ένα χρονικό διάστημα t από 0 έως 0.1 sec. Παρακάτω βλέπουμε το διάγραμμα που παρουσιάζει τις μιγαδικές στιγμές της παραμέτρου $h(t)$ του καναλιού στις συγκεκριμένες χρονικές στιγμές.

```

function h = Rayleigh(fd, N, t)

    x=(2*pi)/N;
    h = zeros();
    for n = 1:1:N
        h = h + exp(j .* (2 * pi * rand + 2 * pi * fd * cos(n * x) .* t));
    end
    h = (1 / sqrt(N)) .* h;
end

```

Η παραπάνω συνάρτηση καλείται με τον εξής τρόπο:

```
N = 1000; % diastima metaksy ton diadoxikon t
```

```
t(1) = 0;
```

```
for n = 1:1:N
```

```
    t(n + 1) = n * 0.1 / N;
```

```
end
```

```
h = Rayleigh(100, 21, t);
```

```
semilogy(t, abs(h) .^ 2)
```

3^η προσομοίωση: Ένα σύστημα QAM-4 βασικής ζώνης με το κανάλι επίπεδης εξασθένισης Rayleigh. Για το σύστημα αυτό θεωρήθηκε πως το κανάλι είναι γνωστό στο δέκτη. Επίσης η προσομοίωση εκτελέστηκε αρκετές φορές για να λάβουμε μέσους όρους για να πετύχουμε

αξιόπιστα αποτελέσματα. Στο διάγραμμα παρακάτω βλέπουμε τη καμπύλη του ρυθμού εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων ως προς την ισχύ μετάδοσης.

```

% Generation of random bits
N = 240000;
% We call Rayleigh assuming that the rate is 960kbit/s.
% So, 240000bits (= 120000 symbols in qam-4) of the original signal will be
transmitted in 0.25 seconds.
% Thus we must produce 120000 Rayleigh values in 0.25 seconds
t(1) = 0;
for index = 2:1:120000
    t(index) = (index - 1) * 0.25 / 120000;
end

b = rand(1,N) >= 0.5;

% Define the modulation to be used
M = qam4();

% Perform modulation of all bits
s = Modulate(b,M);

% Generate Rayleigh values considering question 2 parameters
h = Rayleigh(100, 21, t);

% Definition of the Eb/N0 range
EbN0 = 0:1:20;

% Initialize Bit Error Rates
BER = zeros(1, length(EbN0));

% Iterate on EbN0
i = 1;
for x = EbN0,
    % Compute the variance of the noise
    sigma2 = 1/(2*M.k*10^(x/10));

    % Generate noise
    n = sqrt(sigma2)*(randn(1,length(s))+j*randn(1,length(s)));

    % Received data
    r = h.*s + n; % + n + h;

    % Detection
    bhat = Detect_Bits(r./h, M);

    % Computation of BER
    BER(i) = nnz(b-bhat)/N;
    i = i + 1;
end

close all;
semilogy(EbN0, BER);
xlabel('E_b/N_0');

```

```
ylabel('Bit Error Rate');
grid on;
```

4^η προσομοίωση: Σε αυτή τη προσομοίωση θεωρήσαμε πως ο δέκτης χρησιμοποιεί 2 κεραίες. Επίσης υποθέσαμε πως αυτές οι δύο κεραίες βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από $\lambda/2$. Στην περίπτωση αυτή, το σήμα το οποίο λαμβάνει κάθε κεραία έχει υποστεί ανεξάρτητη υποβάθμιση. Υποθέσαμε δηλαδή πως κάθε ένα από τα δύο κανάλια τα οποία δημιουργούνται ανάμεσα στη κεραία του πομπού και στις κεραίες του δέκτη είναι ένα κανάλι επίπεδης εξασθένισης Rayleigh και πως τα κανάλια είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Σε ένα τέτοιο σύστημα ο πομπός θα πρέπει να έχει μια τεχνική συνδυασμού των σημάτων από τις δύο κεραίες ή απλά επιλογής του πιο ισχυρού από αυτά. Η ιδέα είναι πως η πιθανότητα και τα δύο κανάλια να είναι σε υποβάθμιση είναι πολύ μικρότερη από όταν είχαμε ένα κανάλι. Για τους σκοπούς της προσομοίωσης αυτής θεωρήσαμε πως ο δέκτης έχει πλήρη γνώση των καναλιών και σε κάθε χρονική στιγμή επιλέγει να χρησιμοποιήσει ένα γραμμικό συνδυασμό των σημάτων από τις δύο κεραίες σύμφωνα με τη τεχνική Maximum Ratio Combining(MRC). Στη συνέχεια υπάρχουν 2 διαγράμματα. Στο πρώτο είναι η καμπύλη του ρυθμού εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων ως προς τη ισχύ μετάδοσης. Και στο δεύτερο γίνεται μια σύγκριση στις καμπύλες στα δύο διαφορετικά σενάρια όταν έχουμε μία κεραία και δύο κεραίες στο δέκτη αντίστοιχα.

```
% Generation of random bits
N = 2*240000;
% We call Rayleigh assuming that the rate is 960kbit/s.
% So, 240000bits (= 120000 symbols in qam-4) of the original signal will be
transmitted in 0.25 seconds.
% Thus we must produce 120000 Rayleigh values in 0.25 seconds
t(1) = 0;
for index = 2:1:(N/2)
    t(index) = (index - 1) * 0.25 / (N/2);
end

b = rand(1,N) >= 0.5;

% Define the modulation to be used
M = qam4();

% Perform modulation of all bits
s = Modulate(b,M);

% Generate Rayleigh values for each channel considering question 2
parameters
h1 = Rayleigh(100, 21, t);
h2 = Rayleigh(100, 21, t);

% Definition of the Eb/N0 range
EbN0 = 0:1:14;

% Initialize Bit Error Rates
BER = zeros(1, length(EbN0));

% Iterate on EbN0
i = 1;
for x = EbN0,
```

```

% Compute the variance of the noise
sigma2 = 1/(2*M.k*10^(x/10));

% Generate noise for each channel
n1 = sqrt(sigma2)*(randn(1,length(s))+j*randn(1,length(s)));
n2 = sqrt(sigma2)*(randn(1,length(s))+j*randn(1,length(s)));

% Received data to each antenna
r1 = h1.*s + n1;
r2 = h2.*s + n2;

% MRC at the receiver
r=(conj(h1).*r1+conj(h2).*r2)./(abs(h1).^2+abs(h2).^2);

% Detection
bhat = Detect_Bits(r, M);

% Computation of BER
BER(i) = nnz(b-bhat)/N;
i = i + 1;
end

close all;
semilogy(EbN0, BER);
xlabel('E_b/N_0');
ylabel('Bit Error Rate');
grid on;

```

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Οικονομοπούλου Στέλλα, «Ασύρματη Μετάδοση με Χρήση Πολλαπλών Κεραιών», Πάτρα.
- [2]. Σπύρου Δήμητρα, «Ανάπτυξη και Αξιολόγηση τεχνικών Εκτίμησης και παρακολούθησης του χάρτη διαύλων σε γνωστικά συστήματα ραδιοφάσματος (cognitive Radio) και άλλα ασύρματα δίκτυα», Πάτρα.
- [3]. Αναστάσιος Κ. Παπαζαφειρόπουλος, «Στατιστική Μοντελοποίηση του Φυσικού Καναλιού σε Ασύρματα Ψηφιακά Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα με Γενικευμένα Μοντέλα Διαλείψεων», Πάτρα.
- [4]. Μπιτζίδης Ν. Γεώργιος, «Ασύρματη Η Μετάβαση από τις 3G στις 4G Ασύρματες Επικοινωνίες», Θεσσαλονίκη.
- [5]. Μπουρτσουλαντζε Ειρινα, «Μελέτη Δικτύων Διαφορισμού επιλογής σε ασύρματα Κανάλια Διαλείψεων και εξέταση θεμάτων υλοποίησης», Θεσσαλονίκη.
- [6]. Δημητρίου Α. Ζώγα, «Μέθοδοι και τεχνικές βελτιστοποίησης της απόδοσης των ψηφιακών ασύρματων συστημάτων λειτουργούντων σε περιβάλλον με διαλείψεις», Πάτρα.
- [7]. Μπαρούσης Βλάσιος, «Μελέτη χωρητικότητας συστημάτων πολλαπλών εισόδων-πολλαπλών εξόδων (MIMO)», Πάτρα.
- [8]. Ιωακείμ Μάκης, «Μελέτη ασύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων με δεκτες διαφορισμου και προσομοίωση του χωρικά διασκορπισμένου συστήματος μεταγωγής και παραμονής», Θεσσαλονίκη.
- [9]. Οικονομοπούλου Στέλλα, «Ασύρματη Μετάδοση με Χρήση Πολλαπλών Κεραιών», Πάτρα.
- [10]. Θεοδωρίδης Σωτήριος, Κρυσταλλίδης Δημήτριος, «Μελέτη και έλεγχος συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με αποθήκευση και χρήση υδρογόνου για οικιακές εφαρμογές», Θεσσαλονίκη.
- [11]. Παππή Κοραλία, «θ-QAM: Μια Παραμετρική Οικογένεια Ψηφιακής Διαμόρφωσης και η Επίδοσή της σε Κανάλια Λευκού Gaussian Προσθετικού Θορύβου (AWGN) και Διαλείψεων», Θεσσαλονίκη.
- [12]. Οικονομοπούλου Στέλλα, «Ασύρματη Μετάδοση με Χρήση Πολλαπλών Κεραιών», Πάτρα.
- [13]. Ζώρου Ε. Βασιλική, «Μελέτη Επίδοσης ψηφιακών διαμορφώσεων με κωδικοποίηση σε ασύρματο κανάλι Κεραιών», Πειραιάς
- [14]. Πάντος Αναστάσιος, «Ανάλυση και προσομοίωση δέκτη γενικευμένου διαφορισμού με προεπιλεγμένο κατώφλι σε διαλειπτικά κανάλια NAGAMI-m», Θεσσαλονίκη.

INTERNET PAGES

- [15]http://nereus.mech.ntua.gr/courses/control/control_pdf/matlab_primer.pdf
- [16]http://www.hpclab.ceid.upatras.gr/courses/num_anal/matlab.pdf
- [17]http://www.telecom.tuc.gr/courses/signalsSystems/docs/class_notes/MatlabIntro.pdf
- [18]<http://utopia.duth.gr/~ioankiki/MATLAB/Matlab.pdf>
- [19]<http://www.teiser.gr/icd/staff/simeonid/psee/Digital%20Image%20Processing%20Matlab%20Jan%202008.pdf>
- [20]<http://www.mathworks.com/help/>
- [21]http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation
- [22]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%AF%CE%B5%CF%82>
- [23]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE_%CF%80%CE%B1%CE%BA%CE%AD%CF%84%CE%BF%CF%85
- [24]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE_%CE%BA%CF%85%CE%BA%CE%BB%CF%8E%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82
- [25]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%83%CF%8D%CF%81%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF