
ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΓΡΗΓΟΡΩΝ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΕΡΚΟΥΡΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΜΙΧΑΗΛ Θ. ΧΡΥΣΟΜΑΛΛΗΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2003
ΞΑΝΘΗ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι οι μεταβολές που υφίσταται το σήμα ενός κινητού καθώς αυτό κινείται σε ένα ασύρματο κινητό περιβάλλον. Οι μεταβολές αυτές ονομάζονται διαλείψεις και διακρίνονται σε διαλείψεις μεγάλης και μικρής κλίμακας ανάλογα με την απόσταση που διανύει το κινητό. Ειδικότερα θα επικεντρωθούμε στις διαλείψεις μικρής κλίμακας που οφείλονται στην πολύοδη διάδοση και αφού αναφερθούμε στις αιτίες και τη φύση του φαινομένου θα γίνει προσπάθεια μελέτης του με τη βοήθεια προσομοιώσεων που θα πραγματοποιηθούν στο πρόγραμμα σχεδιασμού και προσομοίωσης ADS της HP-Eesof. Για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις προσομοιώσεις θα χρησιμοποιηθεί και το MATLAB.

Αναλυτικότερα η διπλωματική εργασία αποτελείται από τρία κεφάλαια τα οποία διαπραγματεύονται τα εξής:

Στο 1^ο Κεφάλαιο κάνουμε μια εισαγωγή στη διάδοση που συμβαίνει στις κινητές ασύρματες επικοινωνίες και στις διαλείψεις που υφίσταται το σήμα εκπομπής. Περιγράφεται η φύση της πολύοδης διάδοσης και οι πρακτικές αιτίες των διαλείψεων. Στη συνέχεια μελετούνται οι κατανομές Rayleigh και Rice μέσω των οποίων μας δίνεται η δυνατότητα να περιγράψουμε στατιστικά το φαινόμενο των διαλείψεων ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι ισχυρής απευθείας πολύοδης συνιστώσας. Τέλος δίνονται οι τέσσερις συναρτήσεις Bello με τη βοήθεια των οποίων μπορούμε να περιγράψουμε οποιοδήποτε πολύοδο κανάλι διάδοσης.

Στο 2^ο Κεφάλαιο αφού περιγράψουμε επιγραμματικά τις διαλείψεις μεγάλης κλίμακας θα επικεντρωθούμε στις διαλείψεις μικρής κλίμακας. Θα μελετήσουμε τους δύο μηχανισμούς των διαλείψεων μικρής κλίμακας που είναι η χρονική διασπορά του σήματος και η χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού διάδοσης τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας. Τέλος θα αναφερθούμε στις κατηγορίες των διαλείψεων μικρής κλίμακας και στις επιπτώσεις του φαινομένου στο εκπεμπόμενο σήμα.

Στο 3^ο Κεφάλαιο μελετούνται τα φαινόμενα των διαλείψεων που περιγράφονται στα προηγούμενα κεφάλαια μέσω προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πρόγραμμα ADS. Αρχικά θα μελετήσουμε την απώλεια διαδρομής για διαφορετικά είδη περιβάλλοντος καθώς και το μοντέλο καναλιού επίπεδης γης. Στη συνέχεια θα εξετά-

σουμε τους δύο μηχανισμούς των διαλείψεων μεγάλης κλίμακας τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας. Καταλήγοντας θα μελετήσουμε τις συναρτήσεις Bello του καναλιού διάδοσης αγροτικής περιοχής του GSM και του καναλιού διάδοσης αστικής περιοχής του GSM.

Στο Παράρτημα δίνονται οι βιβλιοθήκες με τις κεραίες και τα μοντέλα καναλιών διάδοσης που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στο πρόγραμμα σχεδιασμού και προσομοίωσης ADS.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Μιχαήλ Χρυσομάλλη τόσο για την ανάθεση όσο και για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας. Επίσης ευχαριστώ τον Χρήστο Μπάτζιο για τη βοήθεια που μου παρείχε.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>	1
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</u>	3
<u>ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΟΛΥΟΔΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ</u>	3
<u>1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ</u>	3
<u>1.1.1 ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ</u>	3
<u>1.1.2 ΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΚΑΝΑΛΙ</u>	4
<u>1.1.3 ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ</u>	5
<u>1.1.4 ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΚΑΝΑΛΙ</u>	5
<u>1.2 Η ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΤΙΣ ΚΙΝΗΤΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ</u>	6
<u>1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΟΔΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ</u>	9
<u>1.4 Η ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΠΟΛΥΟΔΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ</u>	11
<u>1.5 ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΑΩΓΝ</u>	14
<u>1.6 ΟΙ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΤΩΝ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ</u>	15
<u>1.7 Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ RAYLEIGH</u>	17
<u>1.8 Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ RICE</u>	18
<u>1.9 ΟΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ BELLO</u>	21
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</u>	23
<u>ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ</u>	23
<u>2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	23
<u>2.2 ΕΝΑ ΙΔΑΝΙΚΟ ΚΑΝΑΛΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ</u>	23
<u>2.3 ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ: ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ</u> <u>ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ</u>	25
<u>2.3.1 ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ</u>	28
<u>2.3.2 ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ</u> <u>ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ</u>	30
<u>2.4 ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ</u> <u>ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ – ΠΡΟΦΙΛ ΠΟΛΥΟΔΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ</u>	34
<u>2.4.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ</u> <u>ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ</u>	35
<u>2.5 ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ</u> <u>ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ</u>	36
<u>2.5.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ</u> <u>ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ</u>	38
<u>2.6 ΧΡΟΝΙΚΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ</u> <u>ΧΡΟΝΟΥ</u>	40
<u>2.6.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΔΥΑΔΙΚΟΤΗΤΑΣ</u>	41
<u>2.6.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΑ</u> <u>ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ</u>	42
<u>2.7 ΧΡΟΝΙΚΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ</u> <u>ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ DOPPLER (ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ) – ΤΟ ΦΑΣΜΑ DOPPLER</u>	43
<u>2.8 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΑ</u> <u>ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ</u>	46

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</u>	49
<u>ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΔΙΑΔΕΙΨΕΩΝ</u>	49
<u>3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	49
<u>3.2 ΑΠΩΛΕΙΑ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΓΙΑ ΤΕΣΣΕΡΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΙΔΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ</u>	50
<u>3.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΓΗΣ</u>	52
<u>3.3.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΓΗΣ–ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ</u>	52
<u>3.3.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΓΗΣ - ΨΗΦΙΑΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ</u>	56
<u>3.4 ΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ GAUSSIAN, RAYLEIGH ΚΑΙ RICE</u>	60
<u>3.5 Η Ρ.Δ.Φ. ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ RICE ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ Κ</u>	63
<u>3.6 ΔΙΑΔΕΙΨΕΙΣ RAYLEIGH ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΛΕΥΚΟΥ ΓΚΑΟΥΣΙΑΝΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ</u>	65
<u>3.7 ΔΙΑΣΠΟΡΑ DOPPLER ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΝΟΧΗΣ</u>	66
<u>3.8 ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ</u>	68
<u>3.9 ΤΥΠΙΚΑ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ</u>	71
<u>3.9.1 ΤΥΠΙΚΑ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΔΙΑΔΟΣΗΣ GSM</u>	72
<u>3.9.2 ΤΥΠΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΔΙΑΔΟΣΗΣ</u>	79
<u>3.10 ΟΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ BELLO</u>	81
<u>3.10.1 ΚΑΝΑΛΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ GSM ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</u>	81
<u>3.10.2 ΚΑΝΑΛΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ GSM ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</u>	87
<u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	93
<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</u>	95
<u>ADS: ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ</u>	95
<u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	95
<u>AntBase (Base Station Stationary Antenna Model)</u>	96
<u>AntMobile (Cellular Mobile Antenna)</u>	98
<u>PropFlatEarth (Direct and Reflected Ray Propagation Model)</u>	100
<u>PropGSM (GSM Propagation Model)</u>	102
<u>PropNADCdma (Propagation Channel (CDMA) Model)</u>	107
<u>PropNADCtdma (NADC Propagation (TDMA) Model, Directional)</u>	110
<u>UserDefChannel (User-Defined Channel)</u>	113
<u>ΑΝΑΦΟΡΕΣ</u>	115

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΟΛΥΟΔΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Ο όρος «κανάλι επικοινωνίας» δεν είναι πλήρως καθορισμένος και συχνά χρησιμοποιείται με τρόπο αμφιλεγόμενο. Μπορούμε να θεωρήσουμε ένα πρακτικό κανάλι σαν τη διασύνδεση ανάμεσα σε δύο σημεία κατά μήκος μιας επικοινωνιακής διαδρομής. Κατά τον καθορισμό ενός συγκεκριμένου καναλιού πρέπει να υποδεικνύονται οι συνθήκες κάτω από τις οποίες το κανάλι μπορεί να θεωρηθεί είτε γραμμικό είτε αντίστροφο ή ταυτόχρονα και γραμμικό και αντίστροφο.

Η γραμμικότητα περιγράφεται ως εξής: Εάν εφαρμόσουμε δύο σήματα x_1 και x_2 στην είσοδο ενός καναλιού και στην έξοδο του καναλιού πάρουμε αντίστοιχα δύο σήματα y_1 και y_2 , το κανάλι θεωρείται γραμμικό όταν για είσοδο το άθροισμα $x = x_1 + x_2$ παίρνουμε στην έξοδο του καναλιού το σήμα $y = y_1 + y_2$.

Συχνά ένα κανάλι συμπεριφέρεται με γραμμικό τρόπο μόνο για συγκεκριμένες περιοχές τιμών της τάσης εισόδου, θερμοκρασίας κ.τ.λ. Σε αυτήν την περίπτωση αναφερόμαστε σε αυτές τις περιοχές της γραμμικής λειτουργίας του καναλιού.

Ένα κανάλι αναφέρεται σαν αντίστροφο όταν η συμπεριφορά του παραμένει ίδια, ανεξάρτητα από την κατεύθυνση ροής της πληροφορίας. Συνεπάγεται ότι ένα αντίστροφο κανάλι είναι απαραίτητο να μελετηθεί μόνο κατά τη μια κατεύθυνση αφού η συμπεριφορά του κατά την αντίθετη κατεύθυνση θα είναι ίδια. Στο Σχήμα 1.1 παρουσιάζονται οι κατηγορίες των καναλιών που χρησιμοποιούνται στα συστήματα επικοινωνιών [2].

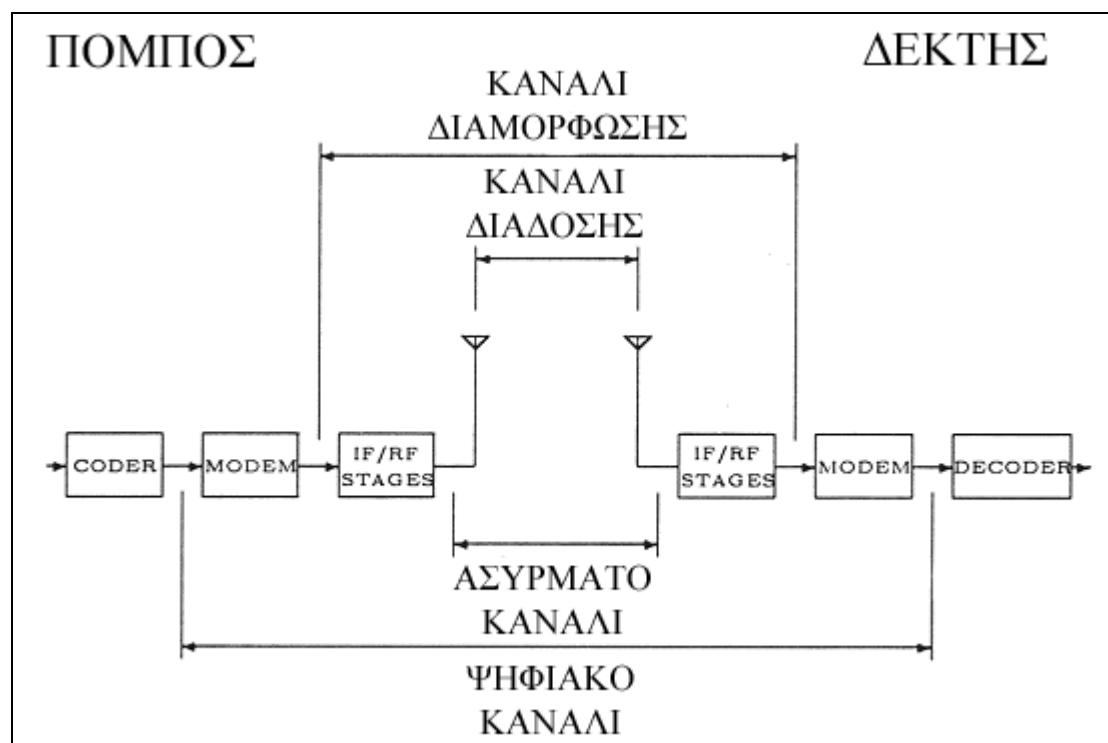
1.1.1 ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Το κανάλι (propagation channel) διάδοσης αποτελεί το φυσικό μέσο που υποστηρίζει τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ανάμεσα σε έναν πομπό και σε ένα δέ-

κτη. Με άλλα λόγια, το κανάλι διάδοσης συμπεριλαμβάνει οτιδήποτε επηρεάζει τη διάδοση ανάμεσα σε δύο κεραίες.

Μπορούμε να υποθέσουμε ότι, σε ένα ασύρματο κινητό περιβάλλον, τα διαδιδόμενα κύματα συναντούν εμπόδια τα οποία έχουν συμπεριφορά τόσο γραμμική όσο και αντίστροφη. Η παραπάνω υπόθεση υποδηλώνει ότι το κανάλι διάδοσης είναι τόσο γραμμικό όσο και αντίστροφο.

Το κανάλι διάδοσης είναι επίσης χρονικά μεταβαλλόμενο λόγω της κίνησης του πομπού ή του δέκτη ή κάποιου εμποδίου σκέδασης.



Σχήμα 1.1 Κατηγορίες καναλιών στις ασύρματες επικοινωνίες

1.1.2 ΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΚΑΝΑΛΙ

Η κεραία εκπομπής, το κανάλι διάδοσης και η κεραία λήψης συνιστούν το ασύρματο κανάλι (radio channel). Επειδή το κανάλι διάδοσης είναι αντίστροφο, το ασύρματο κανάλι είναι αντίστροφο ή όχι ανάλογα με τη συμπεριφορά των κεραιών. Μπορεί ναδειχτεί ότι οι κεραίες έχουν το ίδιο διάγραμμα ακτινοβολίας στον ελεύθερο χώρο εάν είναι γραμμικές και αντίστροφες. Κάτω από αυτές τις συνθήκες το ασύρματο κανάλι είναι και αυτό αντίστροφο. Οι κεραίες είναι δυνατόν να εμφανίζουν μη γραμμικότητα εξαιτίας της σκόνης, πάγου ή άλλων αντικειμένων στήριξης που τοποθετούνται πάνω σε αυτές. Ωστόσο ο βαθμός της μη γραμμικότητας είναι πολύ μικρός και θεωρείται αμελητέος.

1.1.3 ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Το κανάλι διαμόρφωσης (modulation channel) εκτείνεται από την έξοδο του διαμορφωτή έως την είσοδο του αποδιαμορφωτή, και περιλαμβάνει τον πομπό, το δέκτη και το κανάλι διάδοσης.

Θεωρώντας ένα γραμμικό ασύρματο κανάλι, η γραμμικότητα του καναλιού διαμόρφωσης καθορίζεται από τα στάδια του πομπού και του δέκτη. Για να επιτύχουμε γραμμικότητα, προτιμούμε οι ενισχυτές να βρίσκονται στις γραμμικές περιοχές και χρησιμοποιούμε μίκτες χαμηλής παραμόρφωσης και φίλτρα γραμμικής φάσης. Οι γραμμικοί ενισχυτές κοστίζουν περισσότερο από τους μη γραμμικούς ενισχυτές για την ίδια ισχύ εξόδου.

Η αποδοτικότητα στην ισχύ αποτελεί ένα επιπλέον πρόβλημα. Οι ενισχυτές που λειτουργούν στη γραμμική περιοχή (τάξης A) είναι μη αποδοτικοί συγκριτικά με τους μη γραμμικούς ενισχυτές (για παράδειγμα τάξης C). Σε ένα ασύρματο κινητό περιβάλλον η αποδοτικότητα στην ισχύ είναι σημαντική παράμετρος επειδή το μέγεθος και το βάρος του κινητού δέκτη εξαρτάται από το μέγεθος των μπαταριών που χρησιμοποιεί.

Οι σχεδιαστές συστημάτων επικοινωνιών αποφεύγουν να χρησιμοποιούν γραμμικά στοιχεία εκτός και αν η χρήση τους ικανοποιεί την ανάγκη για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε μικρο-κυψελίδες όπου τα επίπεδα της εκπεμπόμενης ισχύς είναι σχετικά μικρά.

Το κανάλι διαμόρφωσης δεν είναι αντίστροφο μιας και οι ενισχυτές και τα άλλα στοιχεία δεν είναι αντίστροφα.

1.1.4 ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΚΑΝΑΛΙ

Ένα επιπλέον κανάλι προτάθηκε από τον Aulin για την περίπτωση των ψηφιακών μεταδόσεων. Ονομάστηκε ψηφιακό κανάλι (digital channel) και περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία του συστήματος (συμπεριλαμβανομένου του καναλιού διάδοσης) που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των μη διαμορφωμένων ψηφιακών δεδομένων στον πομπό με τα ανακτημένα δεδομένα στο δέκτη.

Το ψηφιακό κανάλι είναι μη γραμμικό αφού η έξοδος μπορεί να παίρνει κάποιες συγκεκριμένες τιμές. Επίσης δεν είναι αντίστροφο για τους ίδιους λόγους που περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

1.2 Η ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΤΙΣ ΚΙΝΗΤΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Σε ένα κυψελιδωτό σύστημα η ασύρματη επικοινωνία πραγματοποιείται ανάμεσα σε ένα σταθερό σταθμό βάσης (Base Station) και σε έναν αριθμό κινητών σταθμών (Mobile Stations). Η γεωγραφική περιοχή στην οποία πραγματοποιείται αυτή η επικοινωνία ονομάζεται κυψελίδα. Τα όρια της κυψελίδας καθορίζουν τη μέγιστη απόσταση που ένας κινητός σταθμός (MS) μπορεί να κινηθεί σε σχέση με το σταθμό βάσης (BS) πριν η ποιότητα της επικοινωνίας καταστεί μη αποδεκτή. Οι κυψελίδες στις κινητές ασύρματες επικοινωνίες διαφοροποιούνται ουσιαστικά τόσο στο μέγεθος όσο και στο σχήμα. Όταν το μέγεθος της κυψελίδας είναι μεγάλο, με ακτίνα μέχρι και 30 Km, τότε σπάνια υπάρχει μια απευθείας συνιστώσα με οπτική επαφή (LOS) ανάμεσα στο σταθμό βάσης (BS) και τους κινούμενους σταθμούς (MSs). Στις μικρο-κυψελίδες όπου η ακτίνα μπορεί να είναι μόνο 100 m έχουμε συχνά μια συνιστώσα με οπτική επαφή (LOS). Η παρουσία συνιστώσας LOS επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά του καναλιού διάδοσης με αποτέλεσμα τα χαρακτηριστικά του καναλιού διάδοσης να εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος και το σχήμα της κυψελίδας.

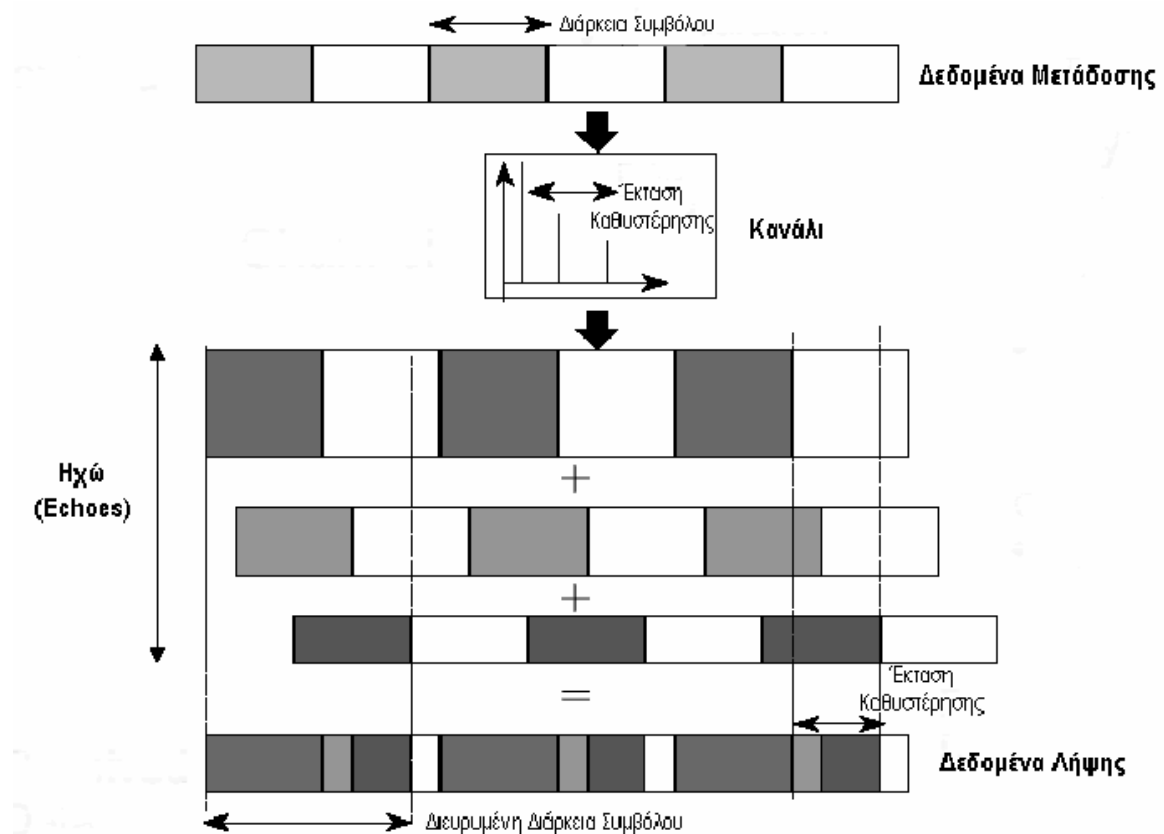
Η διάδοση στις κινητές ασύρματες επικοινωνίες θα εξεταστεί σε βάθος στα κεφάλαια που ακολουθούν. Ωστόσο είναι σημαντικό να παρουσιάσουμε κάποιες στοιχειώδεις έννοιες γενικά για τη διάδοση. Καθώς η απόσταση ανάμεσα σε ένα σταθμό βάσης και σε έναν κινητό σταθμό λήψης αυξάνεται, τόσο η μέση τιμή του λαμβανόμενου σήματος μειώνεται. Για σχετικά μικρές αποστάσεις η μέση τιμή του λαμβανόμενου σήματος παραμένει ουσιαστικά σταθερή. Ωστόσο η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος είναι δυνατόν να μεταβάλλεται με γρήγορους ρυθμούς τυπικά μέχρι και 40 dB. Αυτές οι μεταβολές είναι γνωστές ως διαλείψεις και το φαινόμενο αυτό θα μας απασχολήσει στα επόμενα κεφάλαια.

Ας θεωρήσουμε ένα σταθμό βάσης (BS) που εκπέμπει ένα μη διαμορφωμένο φέρον. Στην περιοχή κάλυψης του σταθμού βάσης βρίσκεται ένας κινητός σταθμός (MS). Ο MS δεν λαμβάνει μόνο μια συνιστώσα του εκπεμπόμενου σήματος αλλά αρκετές «εκδόσεις» του σήματος που προκύπτουν από τις διάφορες ανακλάσεις και περιθλάσεις σε κτίρια και άλλα εμπόδια. Πραγματικά στις περισσότερες περιοχές, κάθε «έκδοση» του εκπεμπόμενου σήματος που καταφθάνει στον κινητό δέκτη υφίσταται μια συγκεκριμένη χρονική καθυστέρηση, μεταβολή του πλάτους και της φάσης του σήματος καθώς μια μετατόπιση Doppler ανάλογα με το μήκος της κάθε διαδρομής ανάμεσα στο σταθμό βάσης και τον κινητό σταθμό. Κατά συνέπεια το σήμα που καταφθάνει στο δέκτη είναι δυνατόν να διαφέρει σημαντικά από το αρχικό σταθερού πλάτους εκπεμπόμενο σήμα. Όταν τα σήματα από τις διάφορες διαδρομές αθροίζονται με εποικοδομητικό τρόπο στον κινητό δέκτη τότε η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος αυξάνεται. Ωστόσο, όταν τα πολύοδα σήματα αθροίζονται στο δέκτη με μη εποικοδομητικό τρόπο τότε η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος μειώνεται. Καθώς ένας MS κινείται μέσα σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο η στάθμη του λαμβανόμενου

σήματος υφίσταται διαλείψεις σε αποστάσεις της τάξης του μισού μήκους κύματος στη διεύθυνση κίνησης του. Όταν έχουμε μια πολύ βαθιά διάλειψη τότε το λαμβανόμενο σήμα είναι ουσιαστικά μηδέν με αποτέλεσμα η έξοδος του δέκτη να εξαρτάται από το θόρυβο του καναλιού (ο λόγος σήματος προς θόρυβο SNR μπορεί να είναι αρνητικός).

Παραπάνω θεωρήσαμε την εκπομπή ενός μη διαμορφωμένου φέροντος, γεγονός που δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα. Στις ψηφιακές κινητές ασύρματες επικοινωνίες τα φαινόμενα διάδοσης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη σχέση ανάμεσα στη διάρκεια συμβόλου και στη διασπορά καθυστέρησης του χρονικά μεταβαλλόμενου καναλιού διάδοσης. Η διασπορά καθυστέρησης μπορεί να θεωρηθεί σαν το εύρος των λαμβανόμενων παλμών όταν εκπέμπουμε ένα κρουστικό παλμό. Μπορούμε να αντιληφθούμε ότι όταν εκπέμπουμε δεδομένα με χαμηλό ρυθμό τότε καθίσταται εύκολος ο διαχωρισμός των δεδομένων στο σταθμό λήψης. Αυτό συμβαίνει γιατί η διεύρυνση που υφίσταται ο παλμός δεδομένων λόγω της πολύοδης διάδοσης δεν οδηγεί σε επικάλυψη με τους παρακείμενους παλμούς δεδομένων. Ωστόσο αν αυξήσουμε τον ρυθμό των δεδομένων θα φθάσουμε σε ένα σημείο στο οποίο κάθε σύμβολο θα διασπείρεται σε σημαντικό βαθμό εντός των γειτονικών συμβόλων, ένα φαινόμενο που είναι γνωστό ως ενδο-συμβολική παρεμβολή (Intersymbol Interference-ISI). Δίχως την χρήση ισοσταθμιστών για την αντιμετώπιση της ISI, ο BER (Bit Error Rate) είναι δυνατόν να φθάσει σε μη αποδεκτά επίπεδα.

Είναι πιο εύκολο να κατανοήσει κανείς την έννοια της διασποράς καθυστέρησης στο πεδίο του χρόνου. Ένα μεταδιδόμενο σύμβολο υφίσταται μια καθυστέρηση μέσα στο κανάλι. Η καθυστέρηση αυτή θα ήταν ασήμαντη εάν όλη η ενέργεια έφτανε στο δέκτη την ίδια χρονική στιγμή. Ωστόσο, στην πραγματικότητα η ενέργεια διασπείρεται στο χρόνο και το σύμβολο φτάνει στο δέκτη με μια διάρκεια ίση με τη διάρκεια που διαρκεί η εκπομπή συν τη χρονική περιοχή καθυστέρησης (delay range) του καναλιού (Σχήμα 1.2). Το σύμβολο επομένως φτάνει ακόμα στο δέκτη όταν φτάνει η αρχική ενέργεια του επόμενου συμβόλου. Ένα παράδειγμα της διασποράς καθυστέρησης στα συστήματα αναλογικής διαμόρφωσης είναι το «είδωλο» που παρατηρείται, όταν ένα τηλεοπτικό σήμα λαμβάνεται τόσο άμεσα από το δέκτη όσο και έμμεσα μέσω ενός ισχυρού σκεδαστή, όπως ένα κτίριο [1].



Σχήμα 1.2 Η ενδο-συμβολική παρεμβολή μεταξύ συμβόλων λόγω της διασποράς καθυστέρησης [1].

Ας υποθέσουμε ότι συνεχίζουμε να εκπέμπουμε δεδομένα σε υψηλούς ρυθμούς που προκαλούν ISI, αλλά μετακινούμε τον κινητό σταθμό λήψης πλησιέστερα στον σταθμό βάσης μειώνοντας ταυτόχρονα την εκπεμπόμενη ισχύ. Εάν η απόσταση είναι αρκετά μικρή, η διασπορά καθυστέρησης θα μειωθεί αφού οι καθυστερήσεις των πολύδων συνιστωσών θα είναι γενικά μικρότερες. Η ενδο-συμβολική παρεμβολή τότε δεν θα είναι σημαντική, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για ισοστάθμιση. Το σήμα διάδοσης θα υφίσταται ακόμα διαλείψεις, οι οποίες μπορεί να είναι αρκετά σοβαρές. Οι διαλείψεις σε αυτήν την περίπτωση ονομάζονται επίπεδες ή στενής ζώνης καθώς επηρεάζουν ομοιόμορφα όλο το εύρος ζώνης συχνοτήτων του καναλιού. Όταν έχουμε ISI οι διαλείψεις λέμε ότι είναι επιλεκτικές στην συχνότητα ή ευρείας ζώνης. Στην περίπτωση των διαλείψεων ευρείας ζώνης το σήμα θα υφίσταται σημαντική παραμόρφωση, η οποία μεταβάλλεται κατά μήκος του εύρους ζώνης του καναλιού.

Ως συμπέρασμα, στα συστήματα κυψελίδων και πιο συγκεκριμένα όταν χρησιμοποιούμε μεγάλες κυψελίδες, όπου η μέγιστη διασπορά καθυστέρησης μπορεί να υπερβαίνει τα 10 μsec , είναι αναγκαία η χρήση ισοσταθμιστών για σχετικά αργούς ρυθμούς μετάδοσης π.χ. 64 kb/s. Στις ασύρματες επικοινωνίες μέσα σε κτίρια, όπου η μέγιστη διασπορά καθυστέρησης είναι συχνά σημαντικά μικρότερη από ένα 1 μsec , το σήμα διάδοσης είναι δυνατόν να υφίσταται διαλείψεις στενής ζώνης ακόμα και

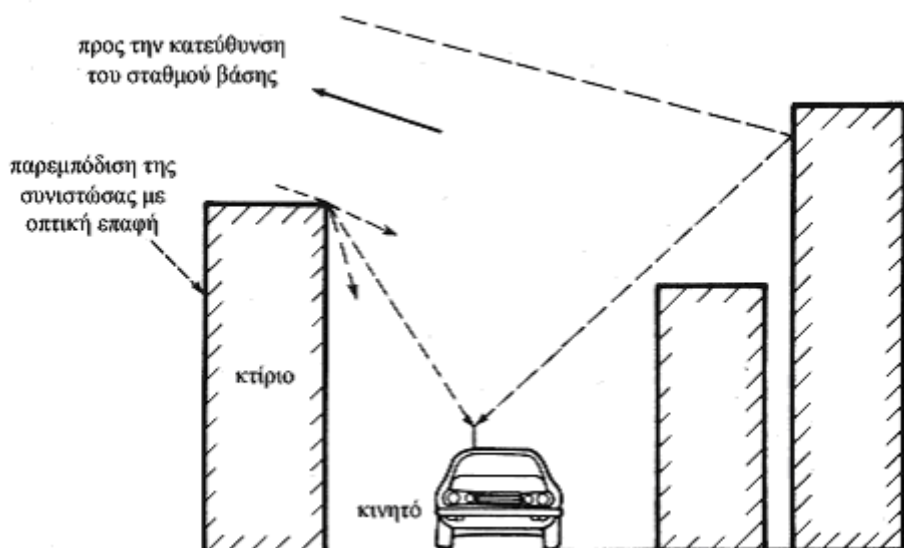
όταν ο ρυθμός μετάδοσης υπερβαίνει το ένα megabit/sec. Οι μικρές κυψελίδες δεν είναι απλά μικρότερες αλλά παρουσιάζουν και διαφορετικά χαρακτηριστικά διάδοσης. Οι κυψελίδες πολύ μικρής έκτασης γνωστές και ως πικο-κυψελίδες (picocells) μπορούν να υποστηρίξουν αρκετά megabit/sec χωρίς ισοστάθμιση αφού η διασπορά καθυστέρησης είναι μόνο μερικές δεκάδες nanoseconds [2].

1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΟΔΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε στις αστικές περιοχές προκαλούνται βασικά από το γεγονός ότι η κεραία του κινητού βρίσκεται πολύ χαμηλότερα από τα κτίρια που βρίσκονται γύρω από αυτό με αποτέλεσμα να μην υπάρχει διαδρομή με οπτική επαφή (περίπτωση NLOS, non-line-of-sight) ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη. Επομένως η διάδοση στην περίπτωση αυτή γίνεται με ανακλάσεις και περιθλάσεις στις επιφάνειες των κτιρίων. Το Σχήμα 1.3 παρουσιάζει μερικούς πιθανούς τρόπους με τους οποίους η ενέργεια μπορεί να φθάσει σε μια κεραία ενός οχήματος. Στην πραγματικότητα η ενέργεια καταφθάνει δια μέσου αρκετών διαδρομών και θεωρούμε ότι υπάρχει μια κατάσταση πολύοδης διάδοσης στην οποία τα διάφορα εισερχόμενα ραδιοκύματα καταφθάνουν από διαφορετικές διευθύνσεις και με διαφορετικές χρονικές καθυστερήσεις. Αυτά συνδυάζονται διανυσματικά στην κεραία του δέκτη και μας δίνουν ένα συνιστάμενο σήμα το οποίο μπορεί να είναι μεγάλο ή μικρό ανάλογα με τη συνεισφορά των φάσεων που έχουν τα εισερχόμενα κύματα. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένας δέκτης, που βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη θέση, να υφίσταται μια σημαντική μεταβολή στο σήμα του, η οποία μπορεί να είναι αρκετές δεκάδες dB, σε σχέση με το σήμα που έχει σε μια άλλη θέση, που απέχει μικρή απόσταση, και στην οποία η σχέση ανάμεσα στις φάσεις των εισερχόμενων κυμάτων είναι διαφορετική. Οπότε έχουμε σημαντικές μεταβολές στο πλάτος του σήματος. Αυτές οι διακυμάνσεις του σήματος ονομάζονται διαλείψεις και οι σύντομης διάρκειας διακυμάνσεις που προκαλούνται από την τοπική πολύοδη διάδοση είναι γνωστές ως διαλείψεις μικρής κλίμακας έτσι ώστε να τις διακρίνουμε από τις πολύ μεγαλύτερης διάρκειας μεταβολές στην μέση τιμή του σήματος, που είναι γνωστές ως διαλείψεις μεγάλης κλίμακας. Το τελευταίο φαινόμενο παρατηρείται κατά την κίνηση σε αποστάσεις αρκετά μεγάλες έτσι ώστε να προκαλούνται σημαντικές μεταβολές της συνολικής διαδρομής ανάμεσα στο πομπό και στο δέκτη. Επειδή αυτές οι μεταβολές στο σήμα προκύπτουν από την κίνηση του κινητού στην σκιά λόφων και κτιρίων οι διαλείψεις μικρής κλίμακας συχνά αποκαλούνται και σκίαση. Η σκίαση περιγράφεται από την κατανομή log-normal και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο όρος διαλείψεις log-normal.

Βασικά οι διαλείψεις είναι ένα φαινόμενο στο χώρο, αλλά οι μεταβολές αυτές στο χώρο εμφανίζονται σαν προσωρινές μεταβολές του σήματος διάδοσης καθώς ο δέκτης κινείται διαμέσου του πεδίου της πολύοδης διάδοσης. Η τυπική πειραματική μεταβολή της περιβάλλουσας του λαμβανόμενου σήματος σαν συνάρτηση της απόστασης παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.4. Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας παρατηρούνται σε αποστάσεις περίπου μισού μήκους κύματος. Διαλείψεις με βάθος μικρότερο από 20 dB είναι αρκετά συχνές, ενώ βαθύτερες διαλείψεις βαθύτερες από 30 dB δεν είναι τόσο συχνές αλλά όχι και απίθανες. Η αργή μεταβολή της μέσης τιμής του σήματος που φαίνεται στο Σχήμα 1.4 (διακεκομμένη γραμμή) συμβαίνει για αρκετά μεγαλύτερες αποστάσεις. Ένας δέκτης που κινείται με ταχύτητα ίση με 50 Km/h είναι δυνατόν να υποστεί αρκετές διαλείψεις σε ένα δευτερόλεπτο ή ίσως ακόμη χειρότερα είναι πιθανόν να έχουμε διακοπή εξαιτίας των διαλείψεων. Θεωρητικά η επικοινωνία τότε γίνεται πολύ δύσκολη αλλά στην πράξη κάποια διερχόμενα οχήματα με τις ανακλάσεις που προκαλούν συνεισφέρουν στο πεδίο με αποτέλεσμα η κατάσταση να βελτιώνεται σημαντικά.

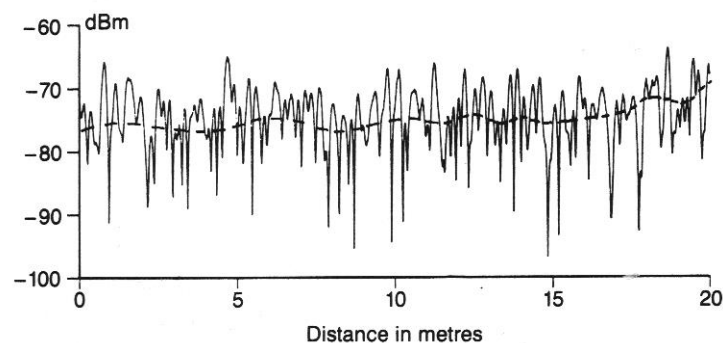
Κάθε φορά που έχουμε σχετική κίνηση ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη υπάρχει μια εμφανής μεταβολή στη συχνότητα του λαμβανόμενου σήματος εξαιτίας του φαινομένου Doppler. Θα επιστρέψουμε αργότερα στη μελέτη του φαινομένου Doppler ωστόσο προς το παρόν είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι οι συνέπειες του φαινομένου Doppler είναι καλύτερα φανερές στο πεδίο της συχνότητας.



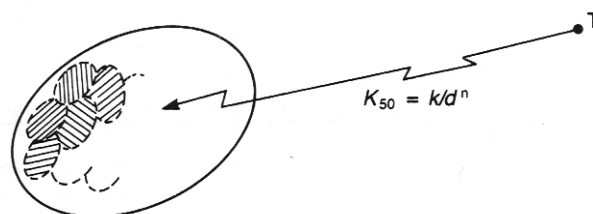
Σχήμα 1.3 Οι μηχανισμοί της ασύρματης διάδοσης σε αστικές περιοχές.

Μολονότι φυσικοί λόγοι υποδεικνύουν την ύπαρξη δύο διαφορετικών μηχανισμών διαλείψεων, στην πραγματικότητα, δεν υπάρχει ξεκάθαρο όριο ανάμεσα στους δύο διαφορετικούς μηχανισμούς. Παρόλα αυτά το διάγραμμα του Σχήματος 1.4 δεί-

χνει ένα τρόπο με τον οποίο είναι δυνατόν να γίνει διάκριση ανάμεσα στις συνέπειες της σύντομης διάρκειας πολύοδης διάδοσης και στις μεγάλης διάρκειας μεταβολές της τοπικής μέσης τιμής. Πράγματι είναι βολικό να προχωρήσουμε ακόμα περισσότερο και να θεωρήσουμε ότι στις περιοχές που έχουμε κτίρια το σήμα του κινητού έχει μια τοπική μέση τιμή που παραμένει σταθερή για μικρές περιοχές αλλά μεταβάλλεται αργά καθώς ο δέκτης κινείται. Σε αυτό το κεφάλαιο θα συγκεντρωθούμε βασικά στις μικρής διάρκειας συνέπειες της πολύοδης διάδοσης για κανάλια στενής ζώνης. Με άλλα λόγια θα συγκεντρωθούμε στις στατιστικές του σήματος μέσα σε μια από τις σκιαγραφημένες περιοχές του Σχήματος 1.5, θεωρώντας ότι η μέση τιμή του σήματος παραμένει σταθερή [3].



Σχήμα 1.4 Πειραματική μέτρηση του λαμβανόμενου σήματος σε μια αστική περιοχή

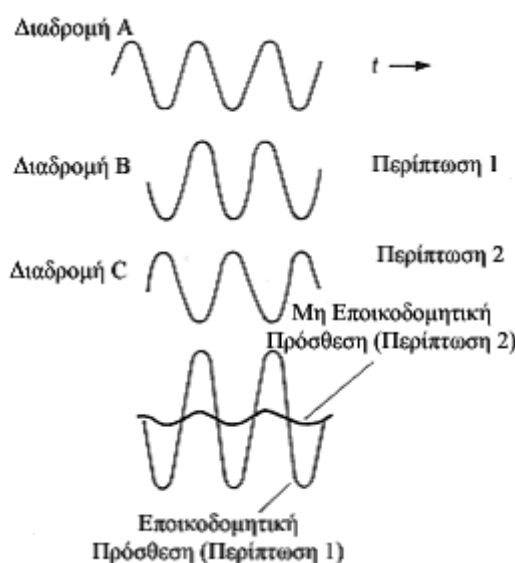


Σχήμα 1.5 Μοντέλο ασύρματης κινητής διάδοσης στο οποίο παρουσιάζονται μικρές περιοχές, όπου η μέση τιμή του σήματος είναι σταθερή, μέσα σε μια μεγαλύτερη περιοχή, όπου η μέση τιμή του σήματος μεταβάλλεται, καθώς κινείται ο δέκτης.

1.4 Η ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΠΟΛΥΟΔΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Ένα μέσο πολύοδης διάδοσης περιλαμβάνει αρκετές διαφορετικές διαδρομές μέσω των οποίων η ενέργεια ταξιδεύει από τον πομπό στο δέκτη. Εάν αρχικά θεωρήσουμε την περίπτωση ενός ακίνητου δέκτη, τότε μπορούμε να φανταστούμε μια κατάσταση «στατικής πολύοδης διάδοσης» στην οποία ένα σήμα στενής ζώνης, π.χ. ένα

μη διαμορφωμένο φέρον, εκπέμπεται και αρκετές εκδοχές του σήματος φθάνουν διαδοχικά στο δέκτη. Οι διαφορετικές χρονικές καθυστερήσεις εισάγουν σχετικές αλλαγές στη φάση ανάμεσα στα συνιστάμενα κύματα και η υπέρθεση των διαφορετικών συνιστωσών οδηγεί είτε σε εποικοδομητική είτε σε μη εποικοδομητική συνεισφορά (σε μια χρονική στιγμή) ανάλογα με τις σχετικές φάσεις. Το Σχήμα 1.6 παρουσιάζει δύο ακραίες περιπτώσεις. Το συνιστάμενο σήμα που προκύπτει από τη μετάδοση μέσω της διαδρομής A και της διαδρομής B θα είναι μεγάλο εξαιτίας της εποικοδομητικής συνεισφοράς σε αντίθεση με εκείνο που προκύπτει από τη μετάδοση μέσω της διαδρομής A και της διαδρομής C και το οποίο θα είναι πολύ μικρό.

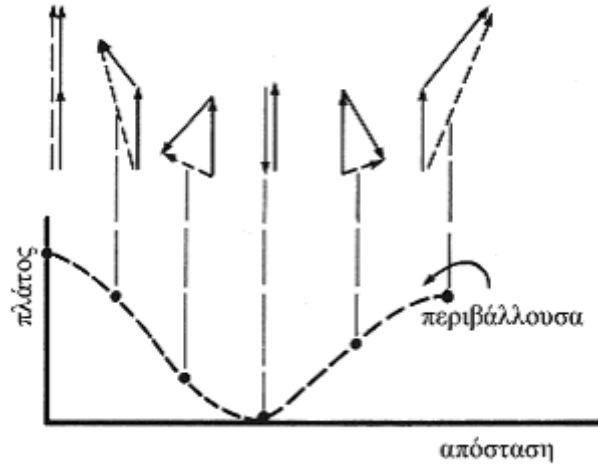


Σχήμα 1.6 Εποικοδομητική και μη εποικοδομητική πρόσθεση δυο διαδρομών διάδοσης.

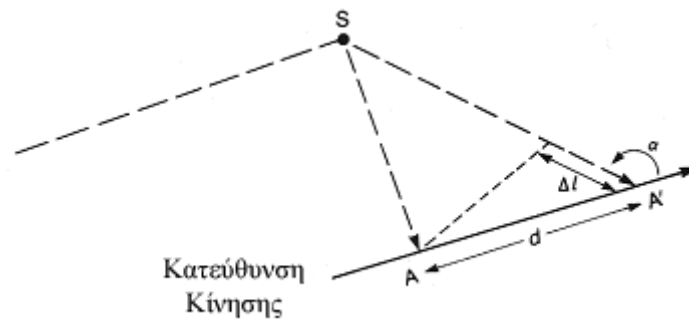
Εάν τώρα θεωρήσουμε την περίπτωση που είτε ο πομπός είτε ο δέκτης βρίσκονται σε κίνηση, τότε έχουμε μια κατάσταση «δυναμικής πολύοδης διάδοσης» όπου υπάρχει μια συνεχής μεταβολή στο ηλεκτρικό μήκος σε κάθε διαδρομή διάδοσης με αποτέλεσμα οι σχετικές διαφορές στη φάση ανάμεσα τους να αλλάζουν συνεχώς σαν συνάρτηση του χώρου. Το Σχήμα 1.7 δείχνει πώς το πλάτος του λαμβανόμενου σήματος μεταβάλλεται στην απλή περίπτωση όταν υπάρχουν δυο διαδρομές με σχετικές φάσεις που μεταβάλλονται ανάλογα με την τοποθεσία. Σε μερικές θέσεις υπάρχει εποικοδομητική συνεισφορά, ενώ σε άλλες θέσεις έχουμε πλήρη απόσβεση. Στην πραγματικότητα φυσικά υπάρχουν πολλές διαφορετικές διαδρομές που συνδυάζονται με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με την τοποθεσία και αυτό οδηγεί σε ένα πιο πολύπλοκο σήμα σαν εκείνο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.4.

Οι χρονικές μεταβολές ή οι δυναμικές αλλαγές στα μήκη των διαδρομών διάδοσης μπορούν να συσχετιστούν άμεσα με την κίνηση του κινητού και έμμεσα με τις συνέπειες του φαινομένου Doppler. Ο ρυθμός μεταβολής της φάσης, εξαιτίας της κί-

νησης, είναι εμφανής σαν μια μετατόπιση Doppler στη συχνότητα για κάθε μια διαδρομή διάδοσης και για να το εξηγήσουμε αυτό θεωρούμε ένα κινητό που κινείται με ταχύτητα u , κατά μήκος της διαδρομής AA' στο Σχήμα 1.8 και λαμβάνει ένα κύμα



Σχήμα 1.7 Ο τρόπος με τον οποίο η περιβάλλουσα ενός σήματος υφίσταται διαλείψεις όταν δυο εισερχόμενα κύματα συνδυάζονται στο δέκτη με διαφορετικές φάσεις.



Σχήμα 1.8 Το φαινόμενο Doppler

από το σκεδαστή S . Η απόσταση d δίνεται από τη σχέση $d = u\Delta t$ και από τη γεωμετρία του σχήματος είναι προφανές ότι η μεταβολή στο μήκος της διαδρομής του κύματος είναι $\Delta l = d \cos \alpha$. Τότε η αλλαγή στη φάση είναι:

$$\Delta \phi = -\frac{2\pi}{\lambda} \Delta l = -\frac{2\pi u \Delta t}{\lambda} \cos \alpha \quad (1.1)$$

και η συνεπαγόμενη αλλαγή στη συχνότητα (μετατόπιση Doppler) είναι:

$$f = -\frac{1}{2\pi} \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{u}{\lambda} \cos \alpha \quad (1.2)$$

Είναι προφανές ότι σε κάθε περίπτωση, η αλλαγή στο μήκος της διαδρομής εξαρτάται από τη γωνία ανάμεσα στο κύμα και στη διεύθυνση της κίνησης. Γενικά κύματα που καταφθάνουν από τη μπροστινή μεριά του κινητού έχουν θετική μετατόπιση Doppler, δηλαδή αύξηση στη συχνότητα, ενώ ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση που τα κύματα καταφθάνουν από την πίσω μεριά του κινητού. Κύματα που καταφθάνουν ακριβώς μπροστά ή ακριβώς πίσω σε σχέση με το κινητό υπόκεινται στο μέγιστο ρυθμό μεταβολής της φάσης, δίνοντας $f_m = u / \lambda$ [3].

Στο Σχήμα 1.9 παρουσιάζονται οι συνέπειες της διασποράς Doppler στο εκπεμπόμενο φάσμα εξαιτίας της διάδοσης μέσω του πολύοδου καναλιού. Είναι προφανές ότι το εύρος ζώνης του σήματος λήψης θα είναι πιο απλωμένο από το μεταδιδόμενο εύρος ζώνης. Η μορφή του φάσματος λήψης εξαρτάται από τα σχετικά πλάτη και τις κατευθύνσεις καθενός από τα αφικνούμενα κύματα. Το συνολικό πλάτος του φάσματος λήψης καλείται εύρος ζώνης Doppler (Doppler bandwidth).

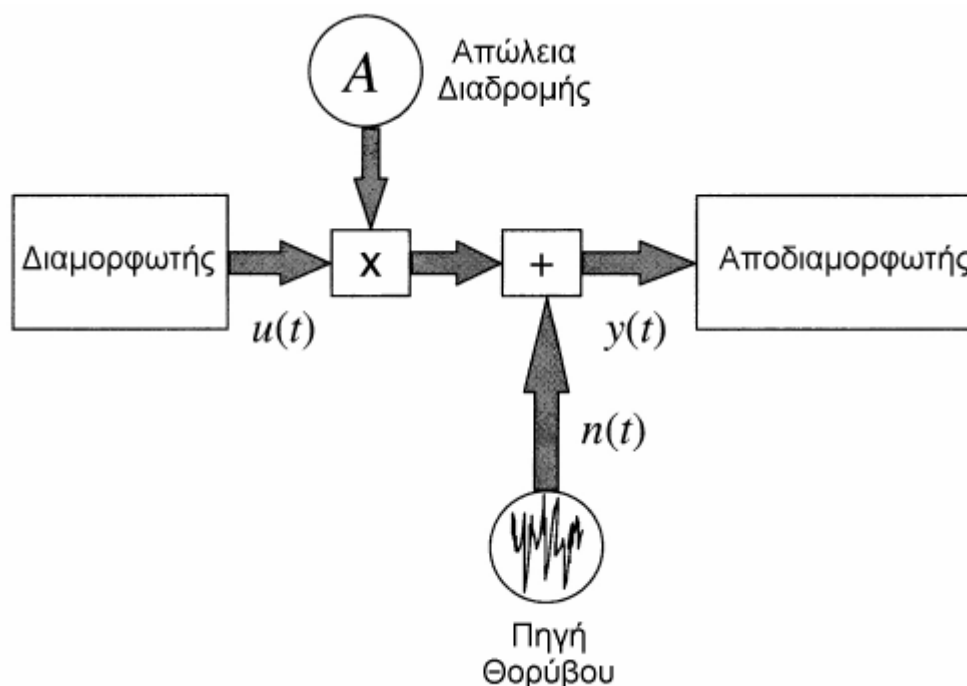


Σχήμα 1.9 Η επίπτωση της διασποράς Doppler [1].

1.5 ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ AWGN

Η απλούστερη πρακτική περίπτωση ενός ασύρματου κινητού καναλιού είναι το κανάλι προσθετικού λευκού γκαουσιανού θορύβου (AWGN, additive white Gaussian noise). Όταν ένα σήμα διαδίδεται σε ένα κανάλι, το σήμα που φθάνει στο δέκτη διαταράσσεται μόνο από την προσθήκη κάποιου θορύβου και από κάποια σταθερή, πολλαπλασιαστική απώλεια διαδρομής (συμπεριλαμβανομένης της σκίασης). Βασικά το μεγαλύτερο μέρος αυτού του θορύβου δημιουργείται μέσα στον ίδιο το δέκτη. Ο θόρυβος είναι λευκός, που σημαίνει ότι έχει μια σταθερή φασματική πυκνότητα ισχύος για όλο το εύρος του καναλιού, και η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f.) ακολουθεί την κατανομή Gauss, δηλαδή την κανονική κατανομή. Το κανάλι AWGN είναι δυνατόν να εφαρμοστεί σε ένα κινητό σύστημα όπου το κινητό και τα γύρω του αντικείμενα είναι ακίνητα. Ισχύει επίσης η υπόθεση ότι το εύρος ζώνης του σήματος

είναι αρκετά μικρό για το κανάλι, ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ως στενής ζώνης (narrowband) και έτσι να μην υπάρχει μεταβολή στην απώλεια διαδρομής μέσα στο εύρος ζώνης του σήματος. Το σύστημα που προκύπτει μπορεί να μοντελοποιηθεί με την βοήθεια του διαγράμματος βαθμίδων του Σχήματος 1.10. Στην περίπτωση των μικροκυψελίδων (microcells) είναι δυνατόν να υπάρχει μόνο μια συνιστώσα με οπτική επαφή (LOS) δίχως ουσιαστικά πολύοδη διάδοση, δίνοντας μας έτσι ένα κανάλι AWGN.



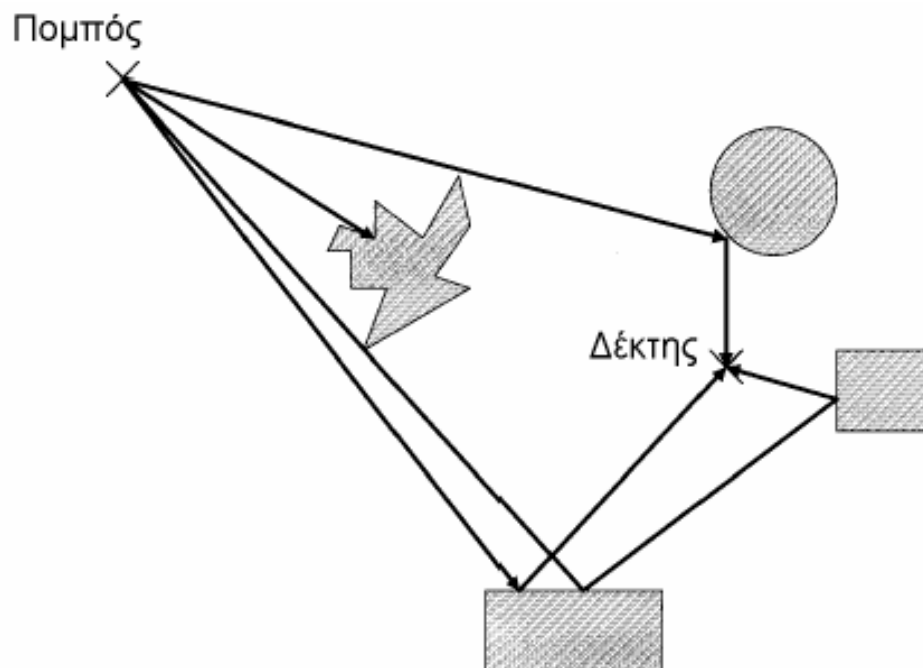
Σχήμα 1.10 Το κανάλι AWGN [1].

Το κανάλι AWGN είναι επίσης σημαντικό διότι μας παρέχει το ανώτατο όριο απόδοσης ενός συστήματος. Για συγκεκριμένη διαμόρφωση μπορούμε να υπολογίσουμε, ή να μετρήσουμε, σε ένα εργαστήριο την απόδοση BER με τη παρουσία του καναλιού AWGN. Ωστόσο όταν έχουμε διαλείψεις λόγω πολύοδης διάδοσης ο BER θα αυξηθεί για συγκεκριμένο SNR. Χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές αντιμετώπισης των διαλείψεων, όπως ισοστάθμιση, κωδικοποίηση, μείωση του ρυθμού των δεδομένων κ.τ.λ., μπορούμε να παρατηρήσουμε πόσο κοντά πλησιάζει ο BER ενός καναλιού τον BER του καναλιού AWGN [1].

1.6 ΟΙ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΤΩΝ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ

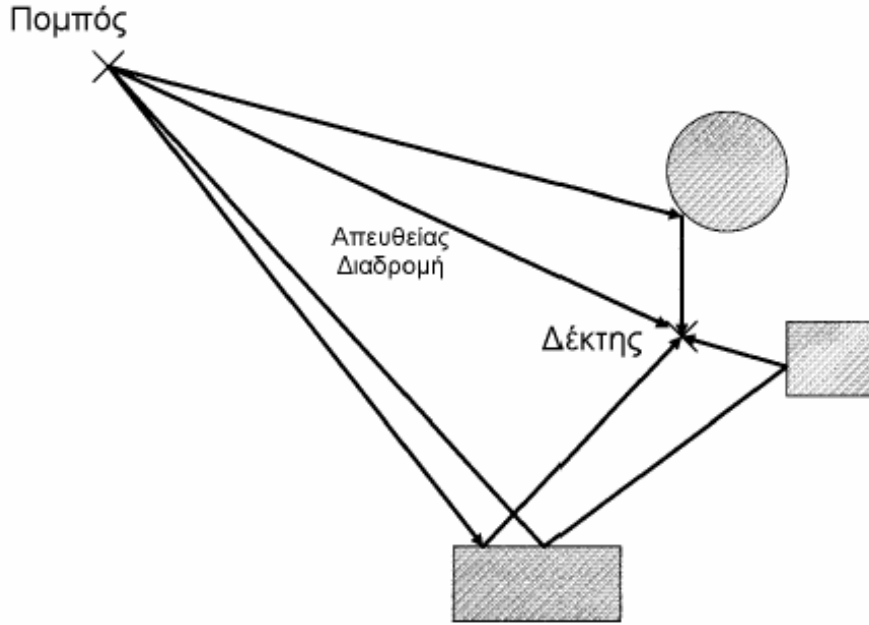
Στη συγκεκριμένη παράγραφο και με τη βοήθεια των κατάλληλων σχημάτων παρουσιάζονται τρόποι με τις οποίες προκύπτουν οι διαλείψεις στην πράξη. Ένας πομπός και ένας δέκτης περιστοιχίζονται από αντικείμενα τα οποία αντανακλούν και σκεδά-

ζουν τη μεταδιδόμενη ενέργεια, έχοντας ως αποτέλεσμα την άφιξη περισσότερων από έναν κυμάτων στο δέκτη που ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές. Το φαινόμενο χαρακτηρίζεται ως πολύοδη διάδοση (multipath). Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις πολύοδης διάδοσης: Την περίπτωση διάδοσης με μη οπτική επαφή (non-line-of-sight, NLOS), όπου δεν υπάρχει απευθείας συνιστώσα από τον πομπό στο δέκτη λόγω ύπαρξης εμποδίου (Σχήμα 1.11) και την περίπτωση διάδοσης με οπτική επαφή (line-of-sight, LOS), όπου μαζί με τις συνιστώσες της πολύοδης διάδοσης λόγω των τοπικών σκεδαστών, φθάνει στο δέκτη και μια απευθείας ισχυρή συνιστώσα (Σχήμα 1.12)



Σχήμα 1.11 Πολύοδη διάδοση χωρίς οπτική επαφή [1].

Δεν γίνεται συνήθως καμιά προσπάθεια πρόβλεψης της ακριβούς τιμής της έντασης του σήματος από διαλείψεις πολύοδης διάδοσης, καθώς αυτό θα απαιτούσε τη ακριβή γνώση των θέσεων και των ηλεκτρομαγνητικών χαρακτηριστικών όλων των σκεδαστών. Αντί αυτού χρησιμοποιείται μια στατιστική περιγραφή η οποία διαφέρει πολύ για τις δύο περιπτώσεις, την LOS και NLOS [1].



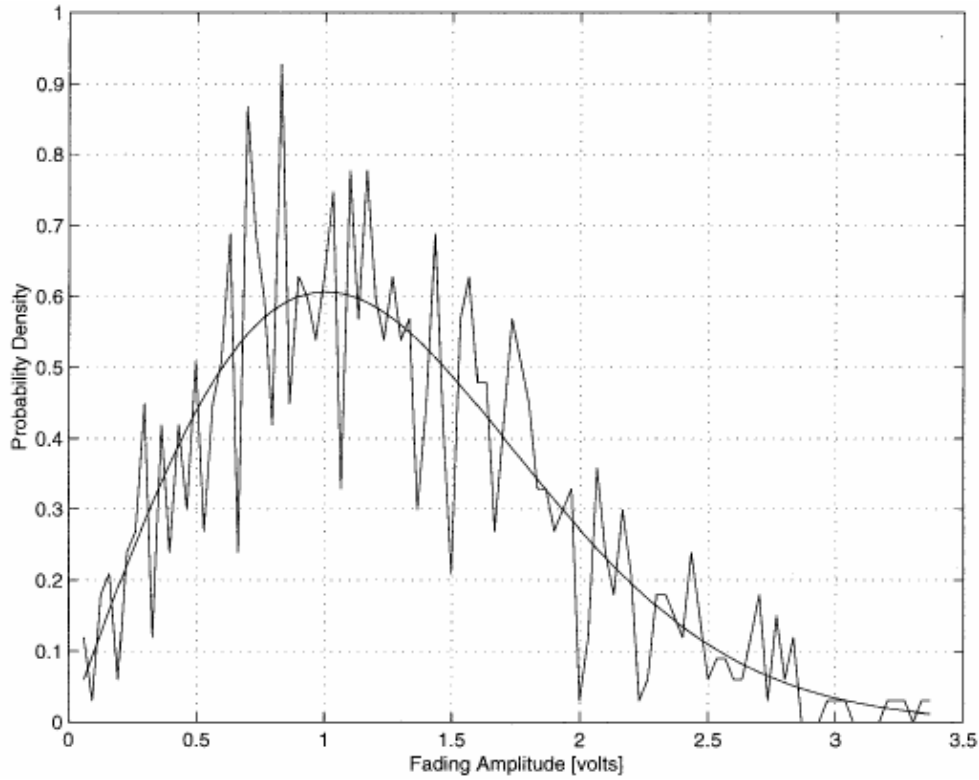
Σχήμα 1.12 Πολύοδη διάδοση με οπτική επαφή (LOS) [1]

1.7 Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ RAYLEIGH

Στην περίπτωση της διάδοσης NLOS, όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός πολύοδων συνιστωσών και δεν έχουμε την παρουσία κάποιας ισχυρής συνιστώσα με οπτική επαφή, η περιβάλλουσα του λαμβανόμενου σήματος περιγράφεται ικανοποιητικά από την κατανομή Rayleigh. Η θεωρητική κατανομή Rayleigh (Rayleigh distribution) δίνεται από την σχέση 1.3, ενώ φαίνεται και στο Σχήμα 1.13 με τη συνεχή γραμμή.

$$p_R(r) = (r / \sigma^2) e^{-r^2 / 2\sigma^2} \quad (1.3)$$

όπου σ είναι η τυπική απόκλιση του πραγματικού ή του φανταστικού μέρους των πολύοδων συνιστωσών. Η κατανομή Rayleigh αποτελεί μια εξαιρετική προσέγγιση της στατιστικής του πλάτους των διαλείψεων που μετρείται, για τις περιπτώσεις NLOS κινητών καναλιών με διαλείψεις. Τέτοια κανάλια χαρακτηρίζονται ως κανάλια με διαλείψεις Rayleigh ή απλά κανάλια Rayleigh (Rayleigh-fading channels or Rayleigh channels).



Σχήμα 1.13 Η θεωρητική και η πειραματική κατανομή Rayleigh [1].

1.8 Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ RICE

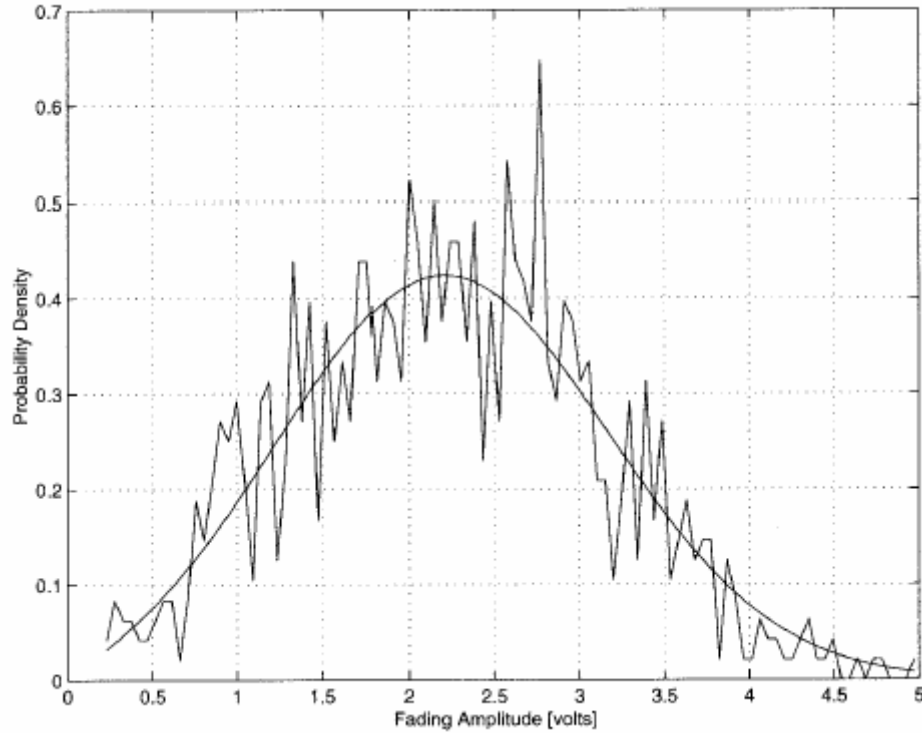
Στην περίπτωση της πολύοδης διάδοσης με οπτική επαφή (περίπτωση LOS) εκτός από τις διάφορες πολύοδες συνιστώσες που καταφθάνουν στο δέκτη μέσω σκεδάσεων και ανακλάσεων υπάρχει και μια ισχυρή συνιστώσα με οπτική επαφή. Σε αυτήν την περίπτωση η περιβάλλουσα του λαμβανόμενου σήματος περιγράφεται στατιστικά από την κατανομή Rice. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f.) της κατανομής δίνεται θεωρητικά από τη σχέση 1.4 ενώ φαίνεται στο Σχήμα 1.14 με την συνεχή καμπύλη.

$$p_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-(r^2+s^2)/2\sigma^2} I_0\left(\frac{rs}{\sigma^2}\right) \quad (1.4)$$

όπου σ^2 είναι η διακύμανση ή μεταβλητότητα του πραγματικού ή του φανταστικού μέρους των συνιστωσών του πολύοδου τμήματος μόνο και s είναι το μέτρο της συνιστώσας LOS. Η συνάρτηση I_0 είναι η τροποποιημένη συνάρτηση Bessel πρώτου είδους και μηδενικής τάξης.

Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι αν στην σχέση 1.4 θέσουμε το s ίσο με το μηδέν τότε προκύπτει η κατανομή Rayleigh. Κάτι αναμενόμενο αφού θέτοντας το s ίσο με το

μηδέν δεν υπάρχει πλέον η ισχυρή συνιστώσα με οπτική επαφή και άρα έχουμε πολύ-οδη διάδοση NLOS.



Σχήμα 1.14 Η θεωρητική και η πειραματική κατανομή Rice [1].

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Rice είναι δυνατόν να εκφραστεί με τη βοήθεια μιας άλλης παραμέτρου, k , που είναι γνωστή ως παράμετρος Rice (Rice factor) και ορίζεται ως εξής :

$$k = \frac{s^2 / 2}{\sigma^2} = \frac{s^2}{2\sigma^2} \quad (1.5)$$

όπου στον αριθμητή και τον παρανομαστή του κλάσματος είναι η ισχύς της συνιστώσας LOS και των συνιστωσών του πολύοδου τμήματος αντίστοιχα. Η p.d.f. της Rice μπορεί τότε να γραφεί με οποιαδήποτε από τις παρακάτω μορφές:

$$p_R(r) = \frac{2kr}{s^2} e^{-kr^2/s^2} e^{-k} I_0\left(\frac{2kr}{s}\right) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-r^2/2\sigma^2} e^{-k} I_0\left(\frac{r\sqrt{2k}}{\sigma}\right) \quad (1.6)$$

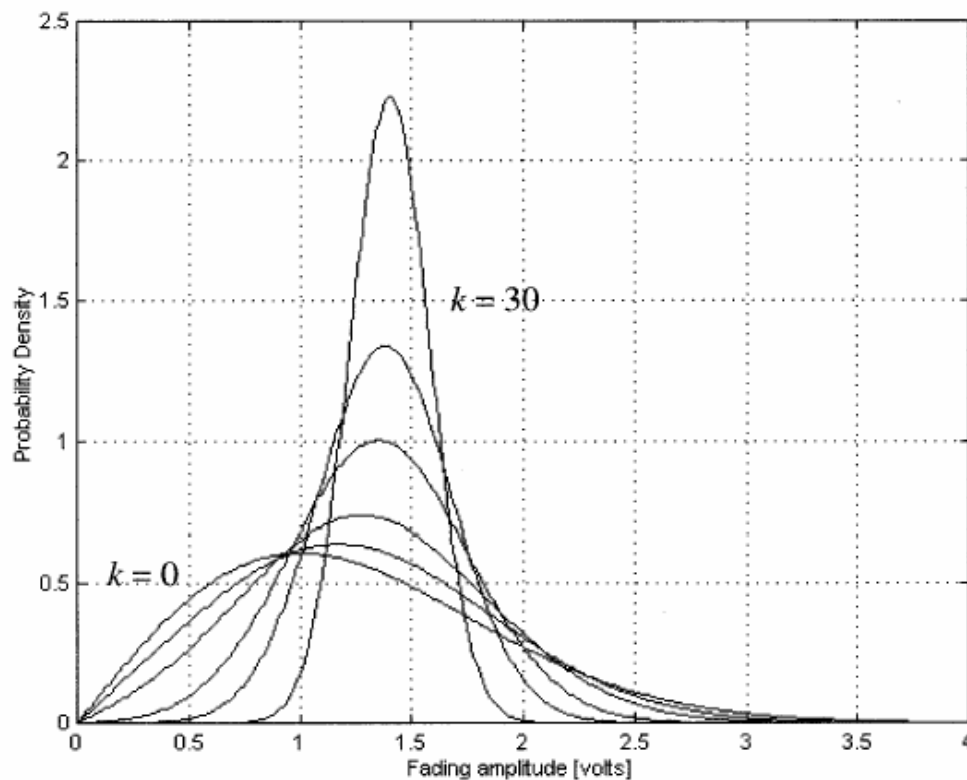
Στο Σχήμα 1.15 σχεδιάζεται η p.d.f. της κατανομής Rice για διάφορες τιμές της παραμέτρου k και διατηρώντας τη συνολική ισχύ του σήματος σταθερή. Για πολύ μεγά-

λες τιμές της k η συνιστώσα της οπτικής επαφής υπερισχύει πλήρως και η συμπεριφορά του καναλιού τείνει να ταυτιστεί με εκείνη του καναλιού AWGN. Για k ίσο με το μηδέν, όπως τονίστηκε και προηγουμένως, έχουμε την περίπτωση Rayleigh.

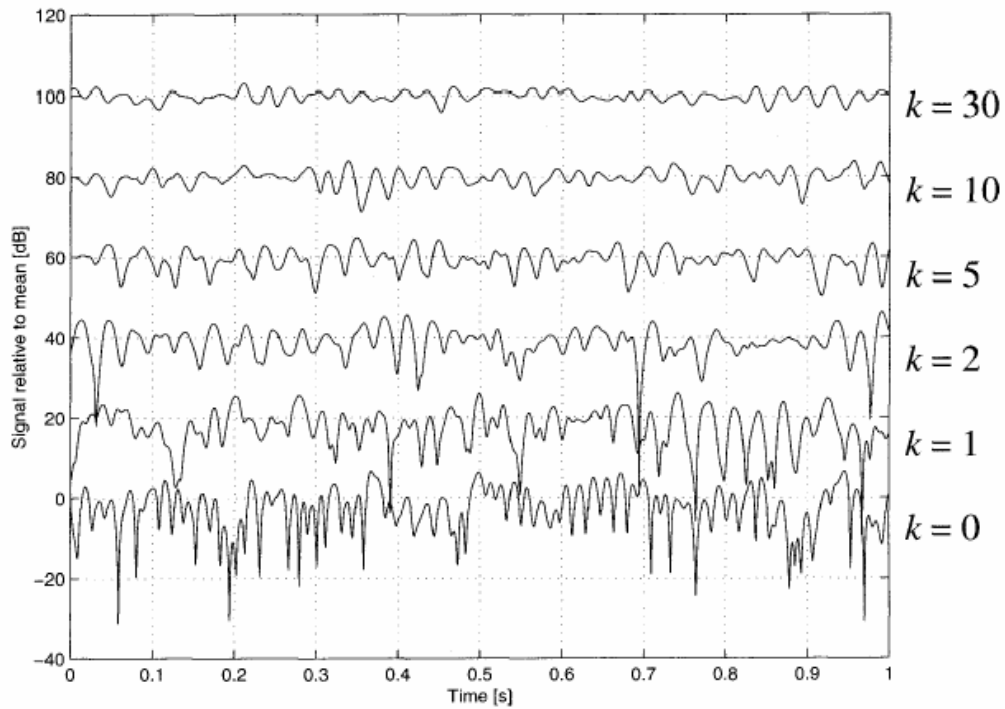
Μερικά τυπικά σήματα διαλείψεων για τις ίδιες τιμές της k σχεδιάζονται στο Σχήμα 1.16. Καθώς η τιμή της k αυξάνεται, η πιθανότητα να συμβούν μεγάλες διαλείψεις μειώνεται και συνεπώς μειώνεται ο μέσος ρυθμός σφαλμάτων. Το κανάλι Rice είναι επομένως ένα πιο «φιλικό» κανάλι από την περίπτωση Rayleigh, που αντιπροσωπεύει κατά μια έννοια τη «χειρότερη περίπτωση» κινητού καναλιού.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η κατανομή Rice εφαρμόζεται οποτεδήποτε μια διαδρομή είναι πολύ ισχυρότερη από τις διαδρομές πολύοδης διάδοσης. Αυτό μπορεί να συμβεί και στις περιπτώσεις NLOS όταν η ισχύς σκέδασης από ένα αντικείμενο είναι ιδιαίτερα ισχυρή.

Για τις περισσότερες περιπτώσεις, οι κατανομές Rayleigh και Rice είναι ικανοποιητικές για το χαρακτηρισμό της επίδοσης των συστημάτων στα κινητά κανάλια [1].

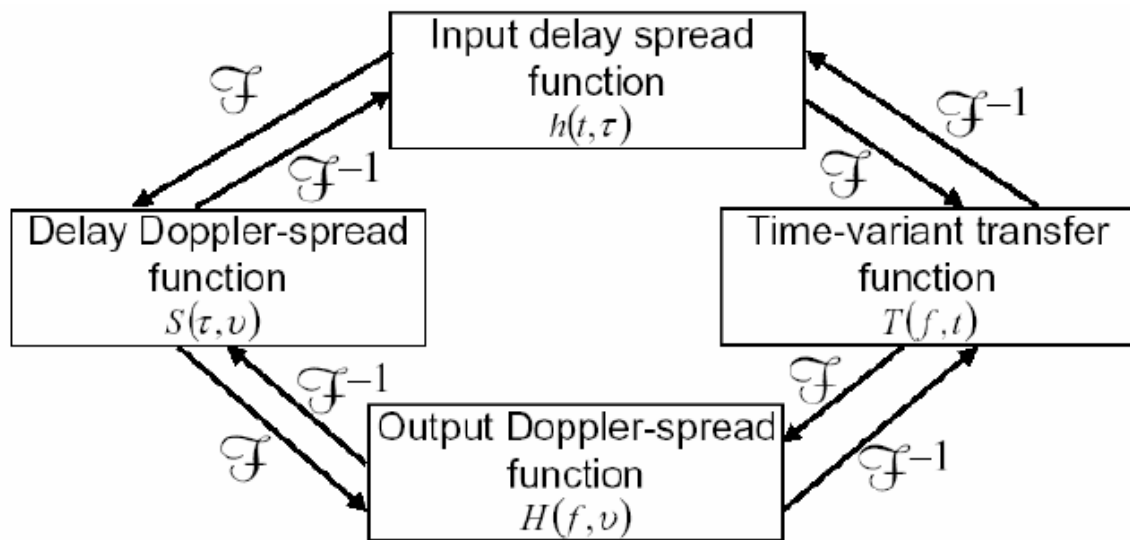


Σχήμα 1.15 Η p.d.f. της κατανομής Rice για $k=0, 1, 2, 5, 10$ και 30 και σταθερή ισχύ [1].



Σχήμα 1.16 Διαλείψεις σημάτων Rice για $k=0, 1, 2, 5, 10$ και 30 [1].

1.9 ΟΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ BELLO



Σχήμα 1.17 Οι συναρτήσεις Bello [1]

Η τελευταία λέξη όσον αφορά στο χαρακτηρισμό ενός καναλιού ευρείας ζώνης είναι το σετ των συναρτήσεων που εμφανίζεται στο Σχήμα 1.17, το οποίο είναι γνωστό ως η οικογένεια των συναρτήσεων Bello [7], από το όνομα αυτού που τις εισήγαγε. Η συνάρτηση διασποράς καθυστέρησης εισόδου $h(t, \tau)$ και η χρονικά μεταβαλλόμενη

συνάρτηση μεταφοράς $T(f, t)$ είναι ζευγάρια μετασχηματισμού Fourier με αναφορά τη μεταβλητή καθυστέρησης t . Εάν η συνάρτηση διασποράς καθυστέρησης εισόδου μετασχηματιστεί ως προς το χρόνο, τότε προκύπτει το φάσμα Doppler για κάθε μια από τις στοίβες. Το αποτέλεσμα είναι η *συνάρτηση διασποράς καθυστέρησης Doppler (delay Doppler spread function)*. Για την περίπτωση, για παράδειγμα, των μοντέλων των καναλιών GSM, αυτό θα είναι ένα σύνολο πολλαπλών εκδόσεων του κλασσικού φάσματος, εκτεινόμενου σε καθυστέρηση σύμφωνα με την απόσταση στοίβας. Είναι χρήσιμο, όταν εξετάζονται αποτελέσματα μετρήσεων, να ελέγχεται αυτή η συνάρτηση, αφού τότε παρέχεται πληροφορία σχετικά με τις γωνίες άφιξης των κυμάτων σε διάφορες χρονικές μετατοπίσεις, που μπορούν τότε να συσχετιστούν με τη γνώση του φυσικού περιβάλλοντος ώστε να αποδειχθεί ποιοι σκεδαστές συνεισφέρουν σημαντικά. Τελικά, μετασχηματίζοντας είτε την S ή την T ως προς την παραμένουσα χρονικά βασισμένη μεταβλητή προκύπτει η *συνάρτηση διασποράς Doppler εξόδου*, η οποία δείχνει το φάσμα Doppler που σχετίζεται με κάθε συνιστώσα συχνότητας [1].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν οι μηχανισμοί των καναλιών διαλείψεων μοντελοποιήθηκαν για πρώτη φορά στις δεκαετίες του 1950 και του 1960, οι ιδέες εφαρμόστηκαν βασικά σε επικοινωνιακές ζεύξεις πέρα από τον ορίζοντα (over-the-horizon) για ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Η μπάντα συχνοτήτων HF 3-30 MHz χρησιμοποιείται για επικοινωνιακές εφαρμογές μέσω της ιονόσφαιρας ενώ η μπάντα UHF 300 MHz-3GHz και SHF 3-30GHz χρησιμοποιείται για επικοινωνιακές εφαρμογές μέσω της τροπόσφαιρας. Παρόλο που οι συνέπειες των διαλείψεων σε ένα κινητό ασύρματο κανάλι είναι κάπως διαφορετικές από εκείνες που παρατηρούνται στα ιονοσφαιρικά και τροποσφαιρικά κανάλια, τα αρχικά μοντέλα είναι ακόμα χρήσιμα και βοηθούν σημαντικά στο χαρακτηρισμό των διαλείψεων στα κινητά ψηφιακά επικοινωνιακά συστήματα. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο επικεντρώνεται στις διαλείψεις Rayleigh, βασικά στη μπάντα συχνοτήτων VHF, που επηρεάζουν επικοινωνιακά συστήματα κυψελίδων. Παρουσιάζονται εκτενώς οι βασικοί μηχανισμοί διαλείψεων καθώς και οι κατηγορίες διαλείψεων στις οποίες ταξινομούμε τα διάφορα κανάλια.

2.2 ΕΝΑ ΙΔΑΝΙΚΟ ΚΑΝΑΛΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Στη μελέτη των επικοινωνιακών συστημάτων, το κλασικό (ιδανικό) κανάλι προσθετικού, γκαουσιανού, λευκού θορύβου (additive white Gaussian noise channel AWGN), με στατιστικά ανεξάρτητα γκαουσιανά δείγματα θορύβου να επηρεάζουν δείγματα δεδομένων που δεν υφίστανται ενδο-συμβολική παρεμβολή (Intersymbol Interference, ISI), είναι συνήθως το σημείο από το οποίο πρέπει να ξεκινήσει κάποιος ώστε να κατανοήσει της βασικές σχέσεις απόδοσης. Το βασικό αίτιο του υποβιβασμού της απόδοσης επομένως είναι ο θερμικός θόρυβος που παράγεται στο δέκτη.

Αυτή η εξωτερική παρεμβολή μπορεί να προσδιοριστεί ποσοτικά από μια παράμετρο που ονομάζεται θερμοκρασία κεραίας. Ο θερμικός θόρυβος έχει συνήθως επίπεδη φασματική πυκνότητα ισχύος και συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f.) που ακολουθεί την κατανομή Gauss με μέση τιμή μηδέν.

Εάν τα χαρακτηριστικά ενός καναλιού διάδοσης δεν προσδιορίζονται επακριβώς, τότε υποθέτουμε ότι η εξασθένηση του σήματος σαν συνάρτηση της απόστασης πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο σαν να έχουμε διάδοση στον ιδανικό ελεύθερο χώρο. Στο μοντέλο του ελεύθερου χώρου η περιοχή ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη είναι ελεύθερη από αντικείμενα που ανακλούν και απορροφούν την ενέργεια των ραδιοκυμάτων. Επίσης θεωρείται ότι εντός αυτής της περιοχής, η ατμόσφαιρα συμπεριφέρεται σαν ένα εντελώς ομοιόμορφο και μη απορροφητικό μέσο. Βασικά, στο ιδανικό μοντέλο του ελεύθερου χώρου, η εξασθένηση της ενέργειας ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη ακολουθεί τον νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου. Η λαμβανόμενη ισχύς δίνεται από την σχέση:

$$L_s(d) = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2.1)$$

Στην εξίσωση (2.1) ο όρος $L_s(d)$ ονομάζεται απώλεια διαδρομής ή απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου, d είναι η απόσταση ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη, και λ είναι το μήκος κύματος του σήματος διάδοσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ιδανικής διάδοσης, η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος είναι επακριβώς προβλέψιμη.

Στα περισσότερα πραγματικά κανάλια, όπου συμβαίνει διάδοση σήματος στην ατμόσφαιρα και κοντά στο έδαφος, το μοντέλο διάδοσης του ελεύθερου χώρου είναι ακατάλληλο για την περιγραφή του καναλιού και επομένως για την πρόβλεψη της απόδοσης ενός συστήματος. Στην περίπτωση ενός ασύρματου κινητού συστήματος επικοινωνιών, όπως τονίστηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, ένα σήμα είναι δυνατόν να ταξιδεύει από τον πομπό στο δέκτη δια μέσου πολλών διαδρομών. Δηλαδή έχουμε πολύοδη διάδοση με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μεταβολές στο μέτρο, στη φάση και στη γωνία άφιξης του λαμβανόμενου σήματος (διαλείψεις πολύοδης διάδοσης).

2.3 ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ: ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζονται όλοι οι μηχανισμοί διαλείψεων που εμφανίζονται σε ένα κανάλι ασύρματης διάδοσης. Αρχικά εμφανίζονται οι δύο κύριες κατηγορίες διαλείψεων που χαρακτηρίζουν τις κινητές επικοινωνίες: Οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας και οι διαλείψεις μικρής κλίμακας. Οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας αντιπροσωπεύουν την εξασθένηση της μέσης ισχύος του σήματος ή την απώλεια διαδρομής λόγω της κίνησης σε μεγάλες αποστάσεις. Στο Σχήμα 2.1, παρουσιάζονται οι μηχανισμοί των διαλείψεων μεγάλης κλίμακας στα πλαίσια 1, 2 και 3. Το παραπάνω φαινόμενο επηρεάζεται από την ύπαρξη σημαντικών εδαφικών μεταβολών (π.χ. λόφοι, δάση, κτίρια κ.τ.λ.) ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη. Ο δέκτης συχνά θεωρείται ότι βρίσκεται υπό «σκίαση» λόγω αυτών των εξάρσεων του εδάφους. Οι στατιστικές των διαλείψεων μεγάλης κλίμακας μας παρέχουν τη δυνατότητα να εκτιμήσουμε την απώλεια διαδρομής σαν συνάρτηση της απόστασης. Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας αφορούν τις δραματικές αλλαγές στο μέτρο και τη φάση του σήματος που προκαλούνται σαν αποτέλεσμα μικρών μεταβολών (της τάξης του μισού μήκους κύματος) της απόστασης ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1 και στα πλαίσια 4, 5 και 6 οι διαλείψεις μικρής κλίμακας εκδηλώνονται με δύο βασικούς μηχανισμούς: τη χρονική διασπορά του σήματος και τη χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού. Στις ασύρματες κινητές εφαρμογές, το κανάλι διάδοσης είναι χρονικά μεταβαλλόμενο αφού η σχετική κίνηση ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη έχει ως αποτέλεσμα μεταβολές στο μήκος των διαδρομών διάδοσης. Ο ρυθμός μεταβολής αυτών των συνθηκών διάδοσης ευθύνεται για το ρυθμό μεταβολής των διαλείψεων. Το σήμα ενός κινητού, το οποίο περιπλανιέται σε μια μεγάλη περιοχή, υφίστανται και τους δυο τύπους των διαλείψεων: διαλείψεις μεγάλης και μικρής κλίμακας.

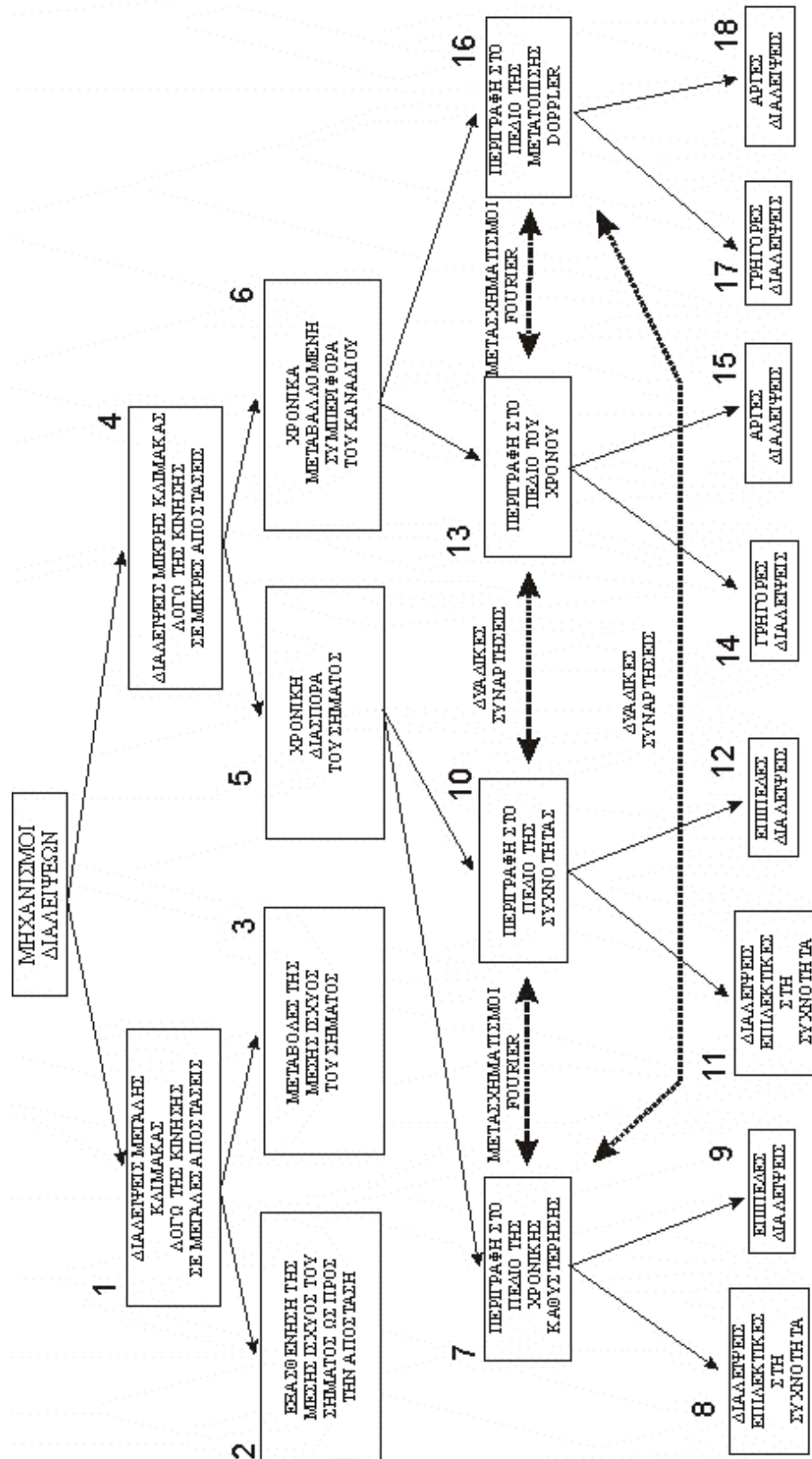
Υπάρχουν τρεις βασικοί μηχανισμοί που επιδρούν στο σήμα διάδοσης ενός ασύρματου κινητού επικοινωνιακού συστήματος. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι η ανάκλαση, η διάθλαση και η σκέδαση [6].

- Η ανάκλαση συμβαίνει όταν ένα διαδιδόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσκρούει σε μια λεία επιφάνεια με διαστάσεις πολύ μεγάλες συγκρινόμενες με το μήκος κύματος (λ) του RF σήματος.
- Η περίθλαση συμβαίνει όταν στη διαδρομή ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη παρεμβάλλεται κάποιο εμπόδιο με μεγάλες διαστάσεις συγκρινόμενες με το λ , προκαλώντας τη δημιουργία δευτερογενών κυμάτων πίσω από το σώμα του παρεμβαλλόμενου εμποδίου. Το φαινόμενο της περίθλασης είναι υπεύθυνο για την

διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας του RF σήματος από τον πομπό στο δέκτη όταν δεν υπάρχει διαδρομή με οπτική επαφή ανάμεσα τους (περίπτωση NLOS). Η περίθλαση συχνά καλείται και σκίαση μιας και το σήμα είναι δυνατόν να φθάσει στο δέκτη ακόμα και όταν βρίσκεται στη σκιά ενός αδιαπέραστου εμποδίου.

- Η σκέδαση συμβαίνει όταν ένα ραδιοκύμα προσκρούει είτε σε μια ανώμαλη επιφάνεια είτε σε κάθε επιφάνεια οι διαστάσεις της οποίας είναι της τάξης του μήκους κύματος λ ή μικρότερες, προκαλώντας την ανακλώμενη ενέργεια να διαχέεται σε όλες τις κατευθύνσεις. Σε ένα αστικό περιβάλλον, τυπικά εμπόδια που προκαλούν σκέδαση είναι οι κολώνες του ηλεκτρικού, οι πινακίδες δρόμων και το φύλλωμα των δέντρων.

Το Σχήμα 2.1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένας πίνακας περιεχομένων των παραγράφων που θα ακολουθήσουν. Θα εξεταστούν οι δυο βασικοί μηχανισμοί των διαλείψεων μικρής κλίμακας που είναι η χρονική διασπορά του σήματος και η χρονικά μεταβαλλόμενη φύση του καναλιού. Η μελέτη που θα πραγματοποιηθεί θα γίνει σε δυο πεδία. Στο πεδίο του χρόνου και στο πεδίο της συχνότητας όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1 στα πλαίσια 7, 10, 13 και 16. Εξαιτίας της χρονικής διασποράς του σήματος ταξινομούμε τις διαλείψεις σε δυο κατηγορίες: τις διαλείψεις που είναι επιλεκτικές στη συχνότητα (διαλείψεις ευρείας ζώνης) και τις διαλείψεις που δεν είναι επιλεκτικές στη συχνότητα (διαλείψεις στενής ζώνης ή επίπεδες διαλείψεις) όπως φαίνεται και στα πλαίσια 8, 9, 11 και 12 του Σχήματος 2.1. Όσον αφορά τη χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού ταξινομούμε τις διαλείψεις πάλι σε δύο κατηγορίες: τις γρήγορες διαλείψεις και τις αργές διαλείψεις όπως φαίνεται και στα πλαίσια 14, 15, 17 και 18. Οι προσδιορισμοί που υποδηλώνουν μετασχηματισμούς Fourier και δυαδικότητα (duals) θα εξηγηθούν αργότερα.



Σχήμα 2.1 Μηχανισμοί Διαλείψεων

Γενικά ένα λαμβανόμενο σήμα, παραλείποντας τη συνεισφορά του θορύβου, δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$r(t) = s(t) * h_c(t) \quad (2.2)$$

όπου $s(t)$ είναι το εκπεμπόμενο σήμα, $h_c(t)$ είναι η απόκριση του καναλιού και το σύμβολο $*$ υποδηλώνει τη συνέλιξη. Στην περίπτωση των ασύρματων κινητών επικοινωνιών, το λαμβανόμενο σήμα $r(t)$ δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$r(t) = m(t) * r_0(t) \quad (2.3)$$

όπου $m(t)$ είναι η συνιστώσα των διαλείψεων μεγάλης κλίμακας και $r_0(t)$ είναι συνιστώσα των διαλείψεων μικρής κλίμακας. Η συνιστώσα $m(t)$ συχνά αναφέρεται και σαν διαλείψεις log-normal επειδή το μέτρο της $m(t)$ περιγράφεται από μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f.) log-normal. Η συνιστώσα $r_0(t)$ είναι οι διαλείψεις Rayleigh ή διαλείψεις πολύοδης διάδοσης. Το Σχήμα 2.2 μας δείχνει τη σχέση ανάμεσα στις διαλείψεις μικρής και μεγάλης κλίμακας. Στο Σχήμα 2.2(α), η λαμβανόμενη ισχύς του σήματος ενός κινητού σχεδιάζεται σαν συνάρτηση του χρόνου. Στο Σχήμα 2.2(β) οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας $m(t)$ έχουν αφαιρεθεί με σκοπό να παρατηρήσουμε τις διαλείψεις μικρής κλίμακας για μια συγκεκριμένη σταθερή μέση ισχύ.

Στις παραγράφους που θα ακολουθήσουν θα αναφερθούν λεπτομερέστερα οι στατιστικές και οι μηχανισμοί των διαλείψεων μεγάλης και μικρής κλίμακας.

2.3.1 ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Για τις κινητές ασύρματες εφαρμογές, ο Okumura αρχικά πραγματοποίησε κάποιες από τις πληρέστερες μετρήσεις της απώλειας διαδρομής για διάφορα ύψη κεραιών και είδη περιοχών κάλυψης. Ο Hata, στην συνέχεια, μετέτρεψε τα δεδομένα των μετρήσεων του Okumura στις κατάλληλες εξισώσεις. Για την περίπτωση των κινητών ασύρματων επικοινωνιών, η μέση απώλεια διαδρομής $\overline{L_p}(d)$ ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη μπορεί να εκφραστεί ως προς τη n -οστή δύναμη της απόστασης d σε σχέση με μια απόσταση αναφοράς d_0 [3].

$$\overline{L_p}(d) \propto \left(\frac{d}{d_0} \right)^n \quad (2.4)$$

Η $\overline{L}_p(d)$ συχνά εκφράζεται σε dB όπως φαίνεται και από την παρακάτω σχέση.

$$\overline{L}_p(d)(dB) = L_s(d_0)(dB) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2.5)$$

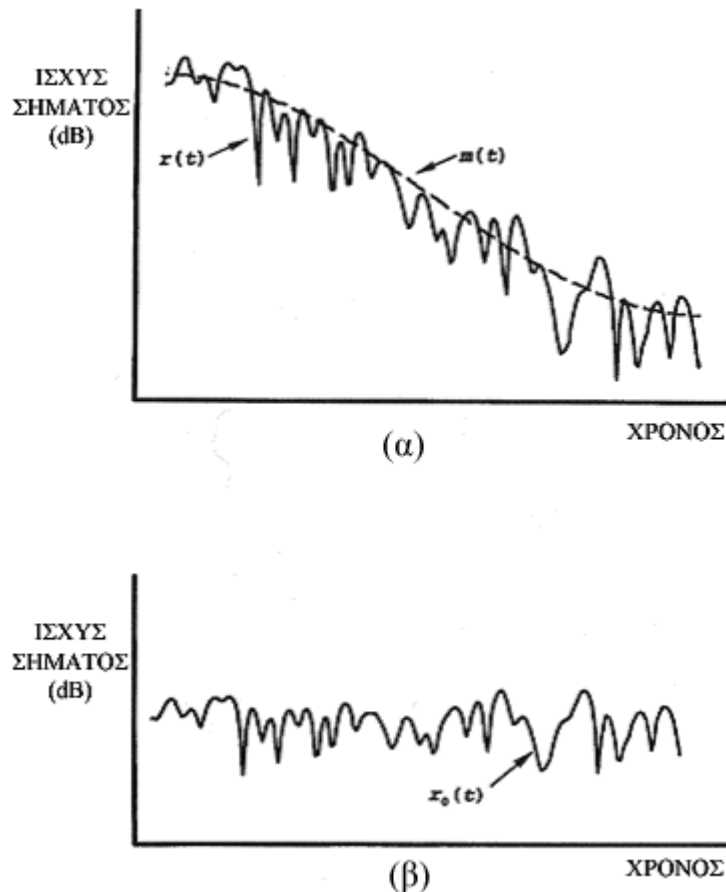
Η απόσταση αναφοράς d_0 αντιστοιχεί σε μια θέση που βρίσκεται στο μακρινό πεδίο της κεραίας. Τυπικά η d_0 λαμβάνεται ίση με 1 Km για τις μεγάλες κυψελίδες, 100 m για τις μικρο-κυψελίδες και 1 m για κανάλια εσωτερικών χώρων. Η $\overline{L}_p(d)$ είναι η μέση απώλεια διαδρομής για μια συγκεκριμένη απόσταση. Η τιμή του εκθέτη n εξαρτάται από τη συχνότητα, τα ύψη των κεραιών και το περιβάλλον διάδοσης. Στον ελεύθερο χώρο έχουμε $n = 2$, όπως φαίνεται και στην εξίσωση (2.1). Στην περίπτωση που έχουμε διάδοση με μια ισχυρή συνιστώσα όπως συμβαίνει στις αγροτικές περιοχές η τιμή του n μπορεί να είναι μικρότερη από 2. Όταν έχουμε παρουσία εμποδίων η τιμή του n είναι μεγαλύτερη. Η απώλεια διαδρομής $L_s(d_0)$, σε ένα σημείο αναφοράς που βρίσκεται σε απόσταση d_0 από τον πομπό, τυπικά βρίσκεται με τη βοήθεια μετρήσεων του πεδίου ή υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη σχέση της απώλειας διαδρομής του ελεύθερου χώρου που δίνεται από την εξίσωση (2.1).

Η εξίσωση (2.5) δίνει τη μέση απώλεια διαδρομής και επομένως δεν είναι ικανοποιητική για να περιγράψει πλήρως τη μεταβολή του σήματος μιας διαδρομής. Είναι λοιπόν απαραίτητο να δώσουμε πληροφορίες σχετικά με την απόκλιση από τη μέση τιμή αφού το περιβάλλον είναι δυνατόν να διαφέρει σημαντικά για διαφορετικές περιοχές και για ίδιες αποστάσεις ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη. Οι μεταβολές της απώλειας διαδρομής μπορεί να είναι αρκετά μεγάλες. Οπότε η απώλεια διαδρομής μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση της μέσης απώλειας διαδρομής συν μια τυχαία μεταβλητή X_σ όπως φαίνεται και στην παρακάτω σχέση [3]

$$L_p(d)(dB) = L_s(d_0)(dB) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (2.6)$$

Η X_σ εκφράζει μια τυχαία γκαουσιανή μεταβλητή (σε decibels), με μέση τιμή μηδέν και διασπορά σ . Η X_σ εξαρτάται από την περιοχή και από την απόσταση. Η τιμή της X_σ συχνά προκύπτει από μετρήσεις ενώ δεν είναι ασυνήθιστο για την X_σ να παίρνει τιμές από 6-10 dB ή και υψηλότερες. Κατά συνέπεια, οι παράμετροι που είναι αναγκαίοι για την στατιστική περιγραφή της απώλειας διαδρομής, εξαιτίας των διαλείψεων μεγάλης κλίμακας σε μια αυθαίρετη περιοχή και για μια συγκεκριμένη απόσταση ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη, είναι οι εξής:

- Η απόσταση αναφοράς d_0
- Ο εκθέτης της απώλειας διαδρομής n
- Η διασπορά σ της X_σ .

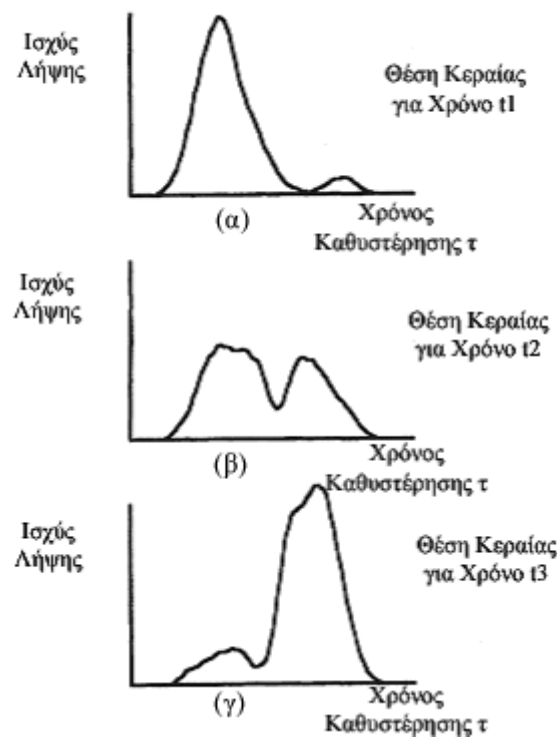


Σχήμα 2.2 Διαλείψεις Μικρής και Μεγάλης Κλίμακας.

2.3.2 ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ

Όταν το λαμβανόμενο σήμα συνίσταται από πολλές ανακλώμενες ακτίνες συν μια ισχυρή συνιστώσα με οπτική επαφή (περίπτωση LOS) τότε το μέτρο της περιβάλλουσας του σήματος, λόγω των διαλείψεων μικρής κλίμακας, έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f.) που ακολουθεί την κατανομή Rice [6]. Καθώς το πλάτος της ισχυρής συνιστώσας προσεγγίζει το μηδέν η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f.), που πριν ακολουθούσε την κατανομή Rice, προσεγγίζει την κατανομή Rayleigh.

Η p.d.f. της Rayleigh προκύπτει στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει κυρίαρχη συνιστώσα και αντιπροσωπεύει τη χειρότερη περίπτωση διαλείψεων. Για το υπόλοιπο του κεφαλαίου θα υποθέσουμε ότι η μείωση του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR) λόγω των διαλείψεων θα ακολουθεί το μοντέλο Rayleigh. Επίσης θα θεωρείται δεδομένο ότι το σήμα διάδοσης θα βρίσκεται στη ζώνη UHF.



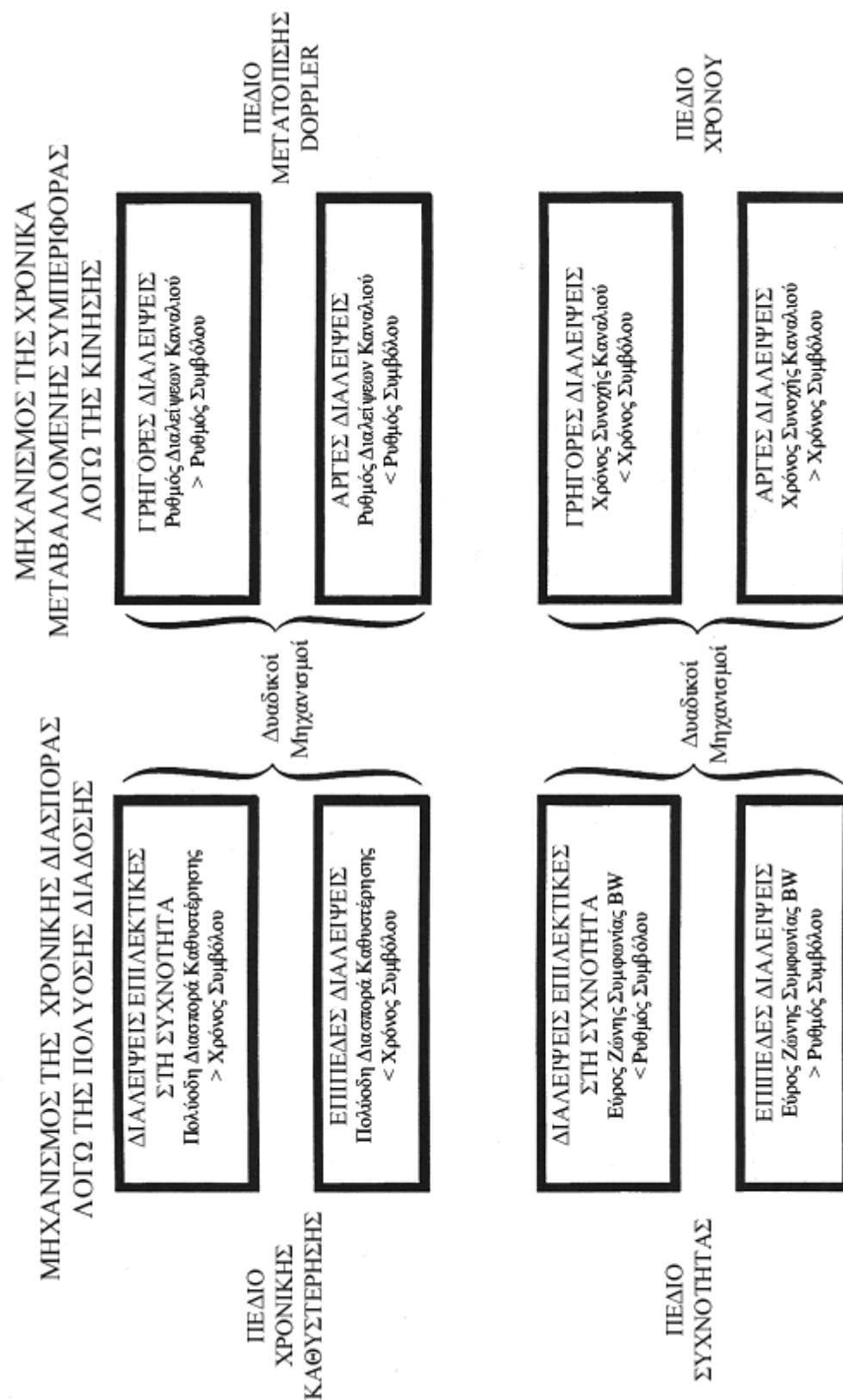
Σχήμα 2.3 Η απόκριση ενός πολύοδου καναλιού ως συνάρτηση της καθυστέρησης, για διάφορες θέσεις της κεραίας λήψης

Όπως υποδηλώνεται στο Σχήμα 2.1 και στα πλαίσια 4, 5 και 6 οι διαλείψεις μικρής κλίμακας οφείλονται σε δύο βασικούς μηχανισμούς:

- Τη χρονική διασπορά του σήματος.
- Τη χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού εξαιτίας της κίνησης (π.χ. μια κεραία λήψης σε κινούμενη πλατφόρμα).

Το Σχήμα 2.3 παρουσιάζει τις συνέπειες και των δύο μηχανισμών δείχνοντας την απόκριση ενός καναλιού πολύοδης διάδοσης σε ένα στενό παλμό ως συνάρτηση της χρονικής καθυστέρησης τ και της θέσης της κεραίας του κινητού (ή του χρόνου, αν υποθέσουμε σταθερή ταχύτητα κίνησης). Στο Σχήμα 2.3 διακρίνουμε δυο διαφορετικές αναφορές στο χρόνο: το χρόνο καθυστέρησης τ και το χρόνο διάδοσης ή παρατήρησης t . Ο χρόνος καθυστέρησης αφορά το μηχανισμό της χρονικής διασποράς

εξαιτίας της μη άριστης απόκρισης του καναλιού διαλείψεων. Ο χρόνος διάδοσης από την άλλη μεριά σχετίζεται με την κίνηση της κεραίας. Οι αλλαγές στη διαδρομή διάδοσης, λόγω της κίνησης της κεραίας, είναι υπεύθυνες για τη χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού. Σημειώνεται ότι, για σταθερή ταχύτητα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είτε τη θέση του κινητού είτε το χρόνο διάδοσης για να ερμηνεύσουμε τη χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού. Στα Σχήματα 2.3 (α) έως (γ) παρουσιάζονται τα προφίλ ισχύος των λαμβανόμενων παλμών καθώς η κεραία κινείται κατά μήκος μίας σειράς θέσεων που απέχουν ίσες αποστάσεις μεταξύ τους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η απόσταση ανάμεσα στις διαφορετικές θέσεις των κεραιών είναι 0.4λ , όπου λ το μήκος κύματος της συχνότητας του φέροντος. Για κάθε μια από τις τρεις περιπτώσεις που παρουσιάζονται, η απόκριση διαφέρει σημαντικά στο χρόνο καθυστέρησης της μεγαλύτερης συνιστώσας του σήματος, στον αριθμό των αντιγράφων του σήματος, στα πλάτη, και στη συνολική λαμβανόμενη ισχύς. Στο Σχήμα 2.4 συνοψίζονται οι δυο βασικοί μηχανισμοί των διαλείψεων μικρής κλίμακας, τα δύο πεδία (χρόνος ή χρονική καθυστέρηση και συχνότητα ή μετατόπιση Doppler) στα οποία μελετάται κάθε μηχανισμός και οι κατηγορίες διαλείψεων που εκδηλώνει κάθε μηχανισμός. Σημειώνεται ότι κάθε μηχανισμός που μελετάται στο πεδίο του χρόνου μπορεί επίσης να μελετηθεί ισοδύναμα και στο πεδίο της συχνότητας. Ως εκ τούτου, όπως υπογραμμίζεται και στο Σχήμα 2.4, ο μηχανισμός της χρονικής διασποράς θα χαρακτηρίζεται στο πεδίο του χρόνου σαν μια πολύοδη διασπορά καθυστέρησης και στο πεδίο της συχνότητας ως εύρος ζώνης συμφωνίας του καναλιού (coherence bandwidth). Ομοίως ο μηχανισμός της χρονικά μεταβαλλόμενης συμπεριφοράς του καναλιού θα χαρακτηρίζεται στο πεδίο του χρόνου ως χρόνος συνοχής (coherence time) για το κανάλι και στο πεδίο της συχνότητας (μετατόπιση Doppler) ως διασπορά Doppler. Οι παραπάνω μηχανισμοί και οι κατηγορίες των διαλείψεων που συσχετίζονται με τους μηχανισμούς αυτούς θα εξεταστούν λεπτομερέστερα στις παραγράφους που ακολουθούν.



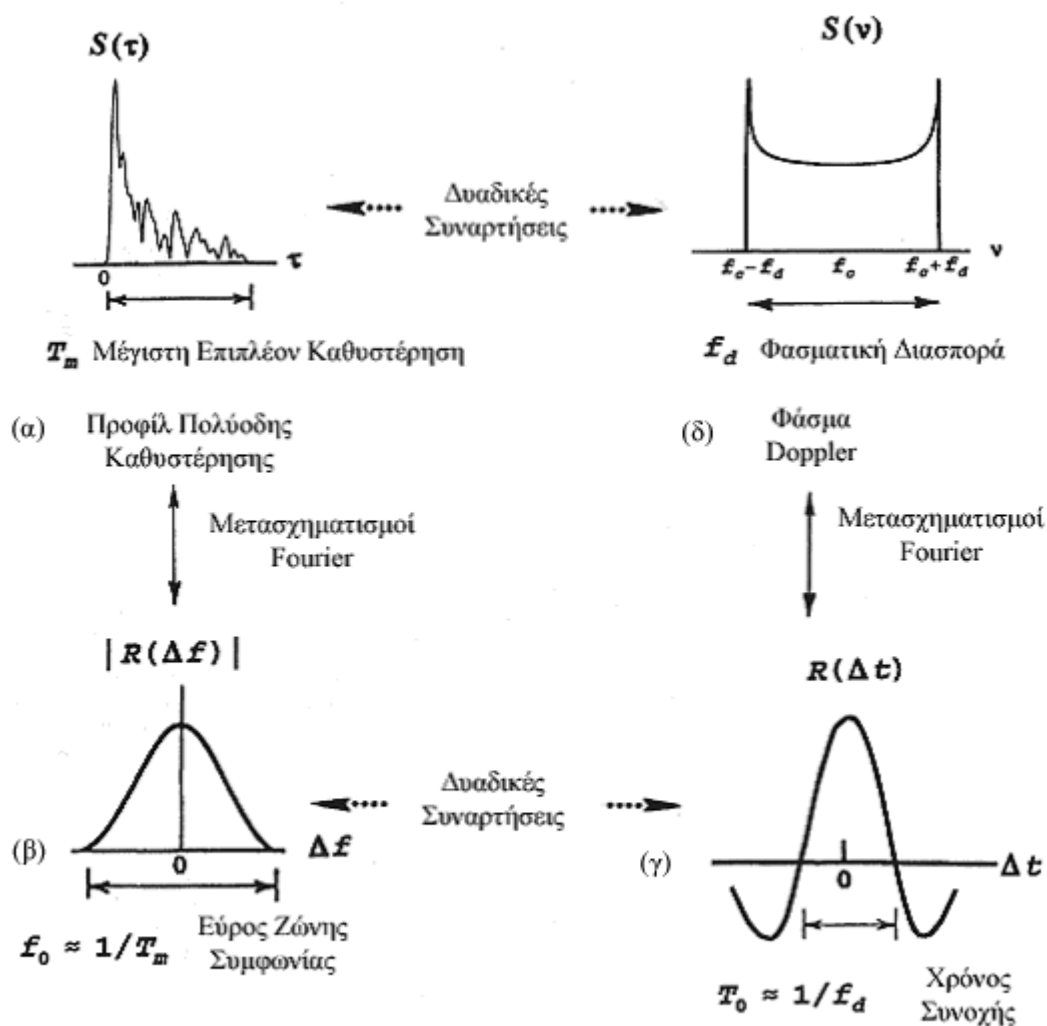
Σχήμα 2.4 Διαλείψεις Μικρής Κλίμακας: Μηχανισμοί και Κατηγορίες

2.4 ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ – ΠΡΟΦΙΛ ΠΟΛΥΟΔΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Ένας απλός τρόπος για τη μοντελοποίηση των φαινομένων των διαλείψεων προτάθηκε το 1963 από τον Bello [7], ο οποίος εισήγαγε την υπόθεση της με την ευρεία έννοια στατικής, ασυσχέτιστης σκέδασης (wide-sense stationary, uncorrelated scattering, WSSUS). Το μοντέλο δέχεται ότι τα σήματα που καταφθάνουν με διαφορετικές καθυστερήσεις είναι ασυσχέτιστα. Επίσης ένα τέτοιο κανάλι είναι ουσιαστικά με την ευρεία έννοια, στατικό, τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας. Με ένα τέτοιο μοντέλο καναλιού διαλείψεων ο Bello κατόρθωσε να καθορίσει συναρτήσεις που εφαρμόζονται για όλο το διάστημα του χρόνου και για όλες τις συχνότητες [6],[7]. Για ένα κινητό κανάλι, το Σχήμα 2.5 περιλαμβάνει τις τέσσερις συναρτήσεις που συνιστούν το συγκεκριμένο μοντέλο. Θα εξετάσουμε τις τέσσερις αυτές εξισώσεις, ξεκινώντας από το Σχήμα 2.5 (α) και κινούμενοι αντίθετα προς τη φορά των δεικτών του ωρολογίου θα καταλήξουμε στο Σχήμα 2.5 (δ).

Στο Σχήμα 2.5 (α), σχεδιάζεται ένα προφίλ πολύοδης καθυστέρησης ισχύος $S(\tau)$ συναρτήσει της χρονικής καθυστέρησης. Η γνώση του $S(\tau)$ μας βοηθάει στην απάντηση της εξής ερώτησης: «Για έναν εκπεμπόμενο παλμό, πως διαφοροποιείται η μέση λαμβανόμενη ισχύς ως συνάρτηση της χρονικής καθυστέρησης τ ;». Ο όρος «χρονική καθυστέρηση» χρησιμοποιείται για να αναφερθούμε στην επιπλέον καθυστέρηση κάθε συνιστώσας ως προς την πολύοδη συνιστώσα που καταφθάνει πρώτη στο δέκτη. Για ένα τυπικό ασύρματο κανάλι, το λαμβανόμενο σήμα συνίσταται από πολυάριθμες διακριτές πολύοδες συνιστώσες. Για τη μελέτη του προφίλ πολύοδης διάδοσης, είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση σημάτων ευρείας ζώνης (κρουστικοί παλμοί).

Για την περίπτωση ενός εκπεμπόμενου κρουστικού παλμού, ο χρόνος T_m ανάμεσα στην πρώτη και στην τελευταία λαμβανόμενη συνιστώσα αντιπροσωπεύει τη μέγιστη επιπλέον καθυστέρηση, κατά τη διάρκεια της οποίας η ισχύς του σήματος πολύοδης διάδοσης φθίνει σε ένα επίπεδο χαμηλότερο συγκριτικά με το επίπεδο της ισχυρότερης συνιστώσας. Το επίπεδο αυτό είναι περίπου 10 έως 20 dB σε σχέση με το επίπεδο της ισχυρότερης συνιστώσας. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση ενός ιδανικού συστήματος (μηδενική επιπλέον χρονική καθυστέρηση), η συνάρτηση $S(\tau)$ θα αποτελείται από έναν ιδανικό κρουστικό παλμό με πλάτος ίσο με τη συνολική μέση ισχύ του λαμβανόμενου σήματος.



Σχήμα 2.5 Οι Συναρτήσεις Bello.

2.4.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

Σε ένα κανάλι διαλείψεων, η σχέση ανάμεσα στη μέγιστη επιπλέον χρονική καθυστέρηση T_m και στη διάρκεια συμβόλου T_s καθορίζει την ύπαρξη δύο διαφορετικών κατηγοριών διαλείψεων. Οι δύο αυτές κατηγορίες διαλείψεων όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.1 στα πλαίσια 8 και 9 είναι: οι διαλείψεις που είναι επιλεκτικές στη συχνότητα (ευρείας ζώνης) και οι μη-επιλεκτικές διαλείψεις στη συχνότητα ή αλλιώς επίπεδες διαλείψεις (στενής ζώνης). Ένα κανάλι λέμε ότι υφίσταται διαλείψεις επιλε-

κτικές στη συχνότητα όταν ισχύει $T_m > T_s$. Η συγκεκριμένη σχέση ισχύει κάθε φορά που οι λαμβανόμενες πολύοδες συνιστώσες του σήματος επεκτείνονται χρονικά πέρα από τη χρονική διάρκεια του συμβόλου. Τέτοια πολύοδη διασπορά του σήματος προκαλεί την ενδο-συμβολική παρεμβολή (Intersymbol interference, ISI). Στη πραγματικότητα ένα ακόμα όνομα για αυτή την κατηγορία των διαλαίψεων είναι: κανάλι που προκαλεί ISI (channel-induced ISI). Στην περίπτωση των διαλαίψεων που είναι επιλεκτικές στη συχνότητα, η αντιμετώπιση της διαταραχής είναι εφικτή μιας και πολλές από τις πολύοδες συνιστώσες είναι δυνατόν να αναλυθούν στο δέκτη.

Ένα κανάλι λέμε ότι υφίσταται διαλαίψεις μη-επιλεκτικές στη συχνότητα ή επίπεδες διαλαίψεις όταν ισχύει η σχέση $T_m < T_s$. Σε αυτή την περίπτωση, όλες οι λαμβανόμενες πολύοδες συνιστώσες ενός συμβόλου καταφθάνουν κατά τη χρονική διάρκεια του συμβόλου. Ως εκ τούτου δεν υπάρχει ενδο-συμβολική παρεμβολή (no channel-induced ISI), αφού η χρονική διασπορά του σήματος δεν έχει ως αποτέλεσμα σημαντική επικάλυψη ανάμεσα στα γειτονικά λαμβανόμενα σήματα. Ωστόσο υπάρχει και εδώ υποβιβασμός στην απόδοση επειδή οι συνιστώσες είναι δυνατόν να προστεθούν μη-εποικοδομητικά προκαλώντας σημαντική μείωση στο λόγο σήματος προς θόρυβο SNR. Επίσης σήματα που έχουν ταξινομηθεί να βιώνουν επίπεδες διαλαίψεις είναι δυνατόν μερικές φορές να υφίστανται διαταραχές επιλεκτικές στη συχνότητα. Το συγκεκριμένο γεγονός θα εξηγηθεί αργότερα όταν θα αναφερθούν οι διαλαίψεις στο πεδίο της συχνότητας, όπου το φαινόμενο είναι δυνατόν να περιγραφεί πιο εύκολα. Στην περίπτωση της μείωσης του SNR εξαιτίας των επίπεδων διαλαίψεων, η τεχνική αντιμετώπισης που χρησιμοποιείται έχει ως στόχο την αύξηση του λαμβανόμενου SNR.

2.5 ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Μια εντελώς ανάλογη περιγραφή της διασποράς του σήματος είναι δυνατόν να γίνει στο πεδίο της συχνότητας. Στο Σχήμα 2.5(β), η συνάρτηση $|R(\Delta f)|$ είναι ο μετασχηματισμός Fourier της $S(\tau)$. Η $R(\Delta f)$ αντιπροσωπεύει τη συσχέτιση ανάμεσα στην απόκριση του καναλιού σε δύο σήματα ως συνάρτηση της διαφοράς συχνότητας μεταξύ αυτών των δύο σημάτων. Μπορεί να θεωρηθεί ως η συνάρτηση μεταφοράς του καναλιού. Συνεπώς, ο μηχανισμός της χρονικής διασποράς μπορεί να θεωρηθεί ως το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας φιλτραρίσματος. Η γνώση της $R(\Delta f)$ μας βοηθάει να απαντήσουμε στην εξής ερώτηση: «Ποια είναι η συσχέτιση μεταξύ δύο λαμβανόμενων σημάτων τα οποία διαφέρουν στη συχνότητα κατά $\Delta f = f_1 - f_2$ ». Η $R(\Delta f)$ μπορεί να μετρηθεί εκπέμποντας ένα ζεύγος ημιτόνων που διαφέρουν στη συ-

χνότητα κατά $\Delta(f)$, δια-συσχετίζοντας (cross-correlating) τα δύο ξεχωριστά λαμβανόμενα σήματα και επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία αρκετές φορές για ακόμα μεγαλύτερη διαφορά $\Delta(f)$. Συνεπώς, η μέτρηση του $R(\Delta f)$ είναι δυνατόν να γίνει με ένα ημίτονο το οποίο σαρώνει ένα εύρος συχνοτήτων (ένα σήμα ευρείας ζώνης). Το εύρος ζώνης συμφωνίας, f_o , είναι μια στατιστική εκτίμηση του εύρους των συχνοτήτων κατά μήκος του οποίου το κανάλι επιτρέπει τη διέλευση όλων των φασματικών συνιστωσών με ακριβώς ίσο κέρδος και γραμμική φάση. Ως εκ τούτου, το εύρος ζώνης συμφωνίας αντιπροσωπεύει ένα εύρος συχνοτήτων κατά μήκος του οποίου οι φασματικές συνιστώσες ενός σήματος που βρίσκονται μέσα σε αυτό το εύρος επηρεάζονται από το κανάλι με τον ίδιο τρόπο. Σημειώνεται ότι τα f_o και T_m είναι αντιστρόφως ανάλογα. Κατά προσέγγιση μπορούμε να πούμε ότι

$$f_o \approx \frac{1}{T_m} \quad (2.7)$$

Η μέγιστη επιπλέον καθυστέρηση, T_m , δεν είναι απαραίτητως ο καλύτερος δείκτης της επίδοσης ενός δεδομένου συστήματος αφού διαφορετικά κανάλια που έχουν την ίδια τιμή T_m είναι δυνατόν να έχουν πολύ διαφορετικά προφίλ καθυστέρησης ισχύος. Ένας πιο χρήσιμος δείκτης της διασποράς καθυστέρησης είναι η RMS διασπορά καθυστέρησης σ_τ , που δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_\tau = \sqrt{\frac{1}{P_T} \sum_{i=1}^n P_i \overline{\tau_i^2} - (\overline{\tau})^2} \quad (2.8)$$

όπου P_i η ισχύς της καθεμιάς πολύοδης συνιστώσας, $P_T = \sum_{i=1}^n P_i$ η συνολική ισχύς στο κανάλι, $(\overline{\tau})^2$ είναι το τετράγωνο της μέσης επιπλέον καθυστέρησης, $\overline{\tau^2}$ είναι η μέση τιμή του τετραγώνου των επιπλέον καθυστερήσεων και σ_τ είναι η ροπή δεύτερης τάξης ή διασπορά καθυστέρησης [1].

Ανάμεσα στο εύρος ζώνης συμφωνίας και στη διασπορά καθυστέρησης δεν υπάρχει μια ακριβής σχέση. Μια τέτοια μπορεί να προκύψει μόνο από ανάλυση (συνήθως χρησιμοποιώντας τεχνικές Fourier) των μετρήσεων της πραγματικής διασποράς του σήματος σε συγκεκριμένα κανάλια. Υπάρχουν ωστόσο αρκετές προσεγγιστικές σχέσεις.

Η ιονοσφαιρική κοινότητα αποδέχεται την εξής σχέση για το εύρος ζώνης συμφωνίας:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sigma_\tau} \quad (2.9)$$

Μια πιο δημοφιλής προσέγγιση του f_0 είναι [6]:

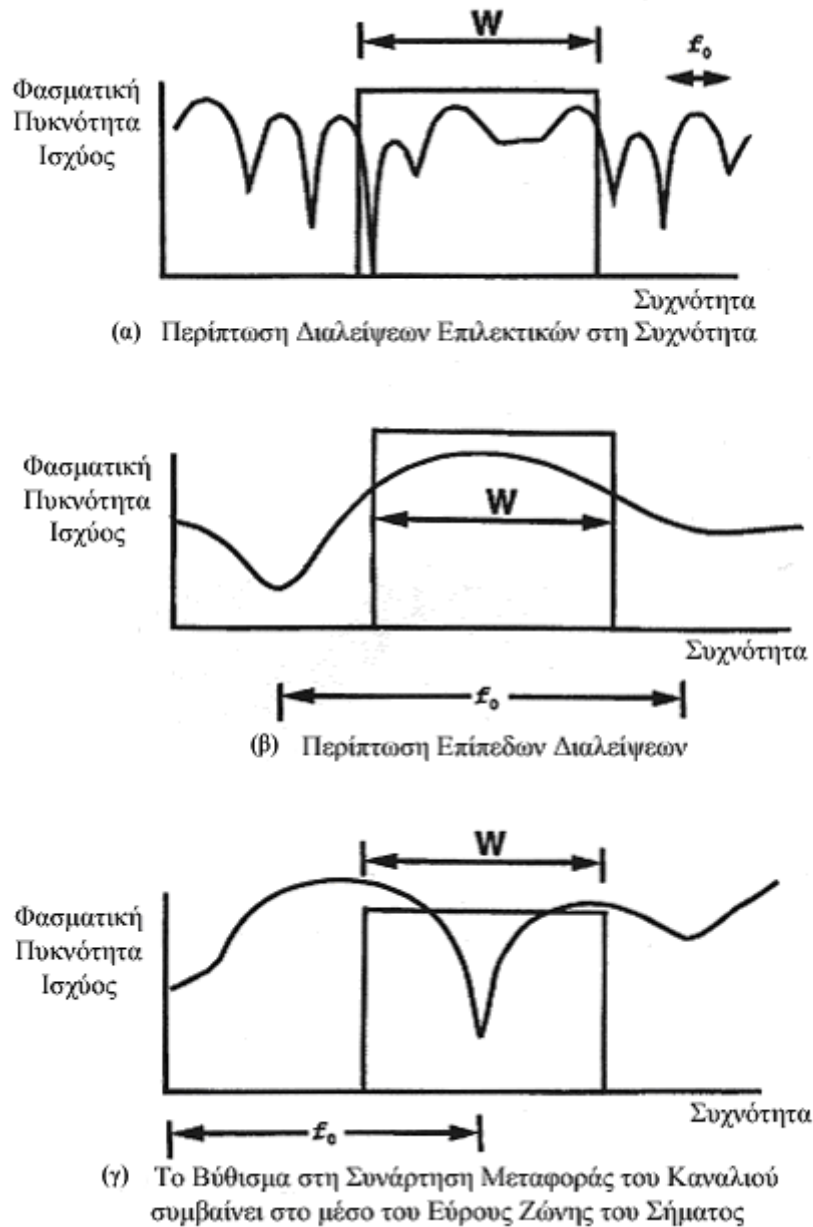
$$f_0 \approx \frac{1}{5\sigma_\tau} \quad (2.10)$$

2.5.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Ένα κανάλι θεωρείται επιλεκτικό στη συχνότητα (ευρείας ζώνης) εάν $f_0 < 1/T_s \approx W$, όπου ο ρυθμός συμβόλου $1/T_s$ θεωρείται ονομαστικά ίσος με το εύρος ζώνης του σήματος W . Στην πραγματικότητα, το W διαφέρει από το $1/T_s$ εξαιτίας του τύπου της διαμόρφωσης (QPSK, MSK, κ.λ.π.). Διαλείψεις επιλεκτικές στη συχνότητα (διαλείψεις ευρείας ζώνης) συμβαίνουν οποτεδήποτε οι φασματικές συνιστώσες ενός σήματος δεν επηρεάζονται με τον ίδιο τρόπο από το κανάλι. Μερικές από τις φασματικές συνιστώσες του σήματος, που βρίσκονται έξω από το εύρος ζώνης συμφωνίας, θα επηρεάζονται με διαφορετικό τρόπο συγκριτικά με εκείνες τις συνιστώσες που βρίσκονται μέσα στο εύρος ζώνης συμφωνίας. Αυτό συμβαίνει όταν ισχύει $f_0 < W$, Σχήμα 2.6(α).

Διαλείψεις μη επιλεκτικές στη συχνότητα ή επίπεδες διαλείψεις (διαλείψεις στενής ζώνης) συμβαίνουν οποτεδήποτε $f_0 > W$. Ως εκ τούτου, όλες οι φασματικές συνιστώσες του σήματος θα επηρεάζονται από το κανάλι με τον ίδιο τρόπο (διαλείψεις ή καθόλου διαλείψεις, Σχήμα 2.6(β)). Οι επίπεδες διαλείψεις δεν προκαλούν ενδο-συμβολική παρεμβολή, ωστόσο είναι αναμενόμενος κάποιος υποβιβασμός στην απόδοση λόγω της μείωσης του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR) κάθε φορά που το σήμα υφίσταται διαλείψεις. Για να αποφύγουμε την ενδο-συμβολική παρεμβολή ISI είναι απαραίτητο το κανάλι να υφίσταται επίπεδες διαλείψεις και αυτό διασφαλίζεται με τον περιορισμό:

$$f_0 > W \approx \frac{1}{T_s} \quad (2.11)$$



Σχήμα 2.6 Σχέσεις ανάμεσα στη συνάρτηση μεταφοράς του καναλιού και ενός σήματος με εύρος ζώνης W .

Ως εκ τούτου, το εύρος ζώνης συμφωνίας του καναλιού f_0 θέτει ένα ανώτερο όριο στο ρυθμό μετάδοσης, που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί δίχως να απαιτείται η ενσωμάτωση ισοσταθμιστή στο δέκτη.

Για την περίπτωση των επίπεδων διαλείψεων, όπου $f_0 > W$ (ή $T_m < T_s$), το Σχήμα 2.6(β) δείχνει τη συνηθισμένη αναπαράσταση των επίπεδων διαλείψεων. Ωστόσο, καθώς το κινητό αλλάζει την θέση του, θα υπάρχουν στιγμές κατά τις οποίες το λαμβανόμενο σήμα θα υφίσταται διαλείψεις επιλεκτικές στη συχνότητα ακόμα και

όταν $f_0 > W$. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 2.6(γ), όπου το βύθισμα στη συνάρτηση μεταφοράς του καναλιού συμβαίνει στο μέσον του εύρους ζώνης του σήματος.

Κατά συνέπεια, παρόλο που ένα κανάλι μπορεί να χαρακτηρίζεται ως στενής ζώνης (εμφανίζει διαλείψεις μη επιλεκτικές στη συχνότητα), είναι δυνατόν σε ορισμένες περιπτώσεις να εμφανίζει διαλείψεις επιλεκτικές στη συχνότητα. Μπορούμε δηλαδή να πούμε ότι ένα ασύρματο κινητό κανάλι χαρακτηρισμένο ως στενής ζώνης δεν γίνεται να εμφανίζει συνέχεια διαλείψεις μη επιλεκτικές στη συχνότητα (επίπεδες διαλείψεις). Καθώς το f_0 γίνεται πολύ μεγαλύτερο από το W (ή το T_m γίνεται πολύ μικρότερο από το T_s), λιγότερος χρόνος καταναλώνεται σε καταστάσεις σαν αυτές που παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.6(γ). Συγκριτικά είναι εμφανές ότι στο Σχήμα 2.6(α) οι διαλείψεις είναι ανεξάρτητες της θέσης του εύρους ζώνης του σήματος και οι διαλείψεις οι επιλεκτικές στη συχνότητα συμβαίνουν συνέχεια και όχι κάπου-κάπου.

2.6 ΧΡΟΝΙΚΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Μέχρι τώρα έχουμε αναφερθεί στη χρονική διασπορά του σήματος και στο εύρος ζώνης συμφωνίας, παράμετροι που περιγράφουν τις ιδιότητες της χρονικής διασποράς του καναλιού σε μια τοπική περιοχή. Ωστόσο, δεν μας παρέχουν πληροφορίες για τη χρονικά μεταβαλλόμενη φύση του καναλιού που προκαλείται από τη σχετική κίνηση ανάμεσα σε έναν πομπό και σε ένα δέκτη, ή από την κίνηση άλλων αντικειμένων μέσα στο κανάλι. Για τις ασύρματες κινητές εφαρμογές, το κανάλι θεωρείται χρονικά μεταβαλλόμενο αφού η κίνηση ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη προκαλεί αλλαγές στη διαδρομή διάδοσης. Οπότε, για ένα εκπεμπόμενο συνεχές κύμα σήματος (CW), και σαν αποτέλεσμα της κίνησης, ο δέκτης αντιλαμβάνεται μεταβολές στο πλάτος και τη φάση του σήματος. Θεωρώντας ότι όλοι οι σκεδαστές που συνιστούν το κανάλι είναι ακίνητοι, τότε κάθε φορά που σταματάει η κίνηση, το πλάτος και η φάση του λαμβανόμενου σήματος παραμένουν σταθερά. Δηλαδή το κανάλι εμφανίζεται χρονικά αμετάβλητο. Ωστόσο οποτεδήποτε έχουμε κίνηση το κανάλι είναι χρονικά μεταβαλλόμενο. Από την στιγμή που τα χαρακτηριστικά του καναλιού βασίζονται στις θέσεις του πομπού και του δέκτη, η χρονική μεταβλητότητα είναι ισοδύναμη με τη μεταβολή της θέσης.

Στο Σχήμα 2.5(γ) παρουσιάζεται η συνάρτηση $R(\Delta t)$, που είναι η συνάρτηση αυτό-συσχέτισης (autocorrelation function) της απόκρισης ενός καναλιού σε ένα ημίτονο. Η συγκεκριμένη συνάρτηση καθαρίζει το βαθμό της συσχέτισης ανάμεσα στην

απόκριση του καναλιού σε ένα ημίτονο που έχει σταλεί σε χρόνο t_1 και την απόκριση σε ένα παρόμοιο ημίτονο που έχει σταλεί σε χρόνο t_2 , όπου $\Delta t = t_2 - t_1$. Ο χρόνος συνοχής (coherence time), T_0 , είναι ένα μέτρο της αναμενόμενης χρονικής διάρκειας για την οποία το κανάλι μπορεί να θεωρηθεί χρονικά αμετάβλητο. Νωρίτερα κάναμε μετρήσεις που αφορούσαν την διασπορά του σήματος και το εύρος ζώνης συμφωνίας χρησιμοποιώντας σήματα με μεγάλο εύρος (κρουστικός παλμός). Τώρα για να μελετήσουμε την χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού χρησιμοποιούμε ένα σήμα στενής ζώνης. Για να μετρήσουμε την $R(\Delta t)$ εκπέμπουμε ένα ημίτονο ($\Delta f = 0$) και καθορίζουμε τη συνάρτηση αυτό-συσχέτισης του λαμβανόμενου σήματος. Η συνάρτηση $R(\Delta t)$ και η παράμετρος T_0 μας παρέχουν πληροφορίες για το ρυθμό των διαλείψεων (fading rapidity) του καναλιού. Σημειώνεται ότι για ένα ιδανικό χρονικά αμετάβλητο κανάλι (π.χ. για ένα ασύρματο κινητό κανάλι που δεν εμφανίζει κίνηση), η απόκριση του καναλιού θα είναι σε μεγάλο βαθμό συσχετισμένη για όλες τις τιμές του Δt , και η $R(\Delta t)$ θα είναι μια σταθερή συνάρτηση. Για την περίπτωση του κλασικού καναλιού, με σταθερή ταχύτητα κίνησης, και ένα συνεχές κύμα (CW) σήματος, η κανονικοποιημένη συνάρτηση $R(\Delta t)$ θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$R(\Delta t) = J_0(kV\Delta t) \quad (2.12)$$

όπου $J_0(\cdot)$ είναι η συνάρτηση Bessel πρώτου είδους και μηδενικής τάξης, V η ταχύτητα, $V \cdot \Delta t$ είναι η απόσταση που διανύεται, και $k = 2\pi/\lambda$ η σταθερά διάδοσης. Ο χρόνος συνοχής είναι δυνατόν να υπολογιστεί είτε σε μονάδες του χρόνου είτε σε μονάδες της απόστασης που διανύεται (θεωρώντας κάποια σταθερή ταχύτητα κίνησης).

2.6.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΔΥΑΔΙΚΟΤΗΤΑΣ

Δύο συναρτήσεις, στοιχεία ή συστήματα θεωρούνται δυαδικά (duals) όταν η συμπεριφορά του ενός στο πεδίο του χρόνου (χρόνος ή χρονική καθυστέρηση) είναι παρόμοια με τη συμπεριφορά του άλλου στο πεδίο της συχνότητας (συχνότητα ή μετατόπιση Doppler).

Στο Σχήμα 2.5 μπορούμε να αναγνωρίσουμε συναρτήσεις που επιδεικνύουν παρόμοια συμπεριφορά στα διάφορα πεδία. Για την κατανόηση του μοντέλου του καναλιού διαλείψεων είναι χρήσιμο να αναφέρουμε αυτές τις συναρτήσεις σαν δυαδικές. Για παράδειγμα, η $R(\Delta f)$ στο Σχήμα 2.5(β), που χαρακτηρίζει τη διασπορά του σήματος στο πεδίο της συχνότητας, μας παρέχει πληροφορίες σχετικά με το εύρος των

συχνοτήτων για το οποίο οι φασματικές συνιστώσες ενός λαμβανόμενου σήματος επηρεάζονται με τον ίδιο τρόπο από το κανάλι διάδοσης. Η $R(t)$ στο Σχήμα 2.5(γ), που χαρακτηρίζει το ρυθμό των διαλείψεων στο πεδίο του χρόνου, μας παρέχει πληροφορίες σχετικά με το χρονικό διάστημα για το οποίο το κανάλι διάδοσης μπορεί να θεωρηθεί χρονικά αμετάβλητο. Οι δυο αυτές συναρτήσεις συσχέτισης χαρακτηρίζονται σαν δυαδικές (duals). Η δυαδικότητα σημειώνεται στο Σχήμα 2.1 ανάμεσα στα πλαίσια 10 και 13 και στο Σχήμα 2.4 ανάμεσα στο μηχανισμό της χρονικής διασποράς στο πεδίο της συχνότητας και στο μηχανισμό της χρονικής μεταβλητότητας στο πεδίο του χρόνου.

2.6.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Η χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού ή ισοδύναμα ο ρυθμός των διαλείψεων μπορεί να αναλυθεί σε δύο κατηγορίες: στις αργές διαλείψεις και στις γρήγορες διαλείψεις, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.4. Ο όρος «γρήγορες διαλείψεις» χρησιμοποιείται για να περιγράψει κανάλια στα οποία ισχύει ότι $T_0 < T_s$, όπου T_0 είναι ο χρόνος συνοχής (coherence time) για το κανάλι και T_s είναι η χρονική διάρκεια ενός εκπεμπόμενου συμβόλου. Οι γρήγορες διαλείψεις περιγράφουν μια κατάσταση όπου η χρονική διάρκεια για την οποία το κανάλι συμπεριφέρεται με ένα συσχετισμένο τρόπο είναι πολύ μικρότερη συγκριτικά με τη χρονική διάρκεια ενός συμβόλου. Επομένως, είναι αναμενόμενο ότι ο χαρακτήρας των διαλείψεων του καναλιού να αλλάζει αρκετές φορές κατά τη διάρκεια του χρόνου που διαδίδεται ένα σύμβολο, οδηγώντας σε παραμόρφωση της μορφής του παλμού βασικής ζώνης. Ανάλογα με την παραμόρφωση που περιγράφηκε προηγουμένως σαν channel-induced ISI, εδώ η παραμόρφωση συμβαίνει επειδή οι συνιστώσες του λαμβανόμενου σήματος δεν είναι ισχυρά συσχετισμένες καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου. Ως εκ τούτου, οι γρήγορες διαλείψεις είναι δυνατόν να προκαλέσουν παραμόρφωση του παλμού βασικής ζώνης, με αποτέλεσμα την ελάττωση του SNR που συχνά παράγει έναν αμείωτο ρυθμό λαθών.

Γενικά ένα κανάλι θεωρούμε ότι υφίσταται αργές διαλείψεις όταν $T_0 > T_s$. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η χρονική διάρκεια που το κανάλι συμπεριφέρεται με ένα συσχετισμένο τρόπο είναι πολύ μεγαλύτερη από τη χρονική διάρκεια ενός εκπεμπόμενου συμβόλου. Κατά συνέπεια, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η κατάσταση του καναλιού ουσιαστικά παραμένει αμετάβλητη κατά τη διάρκεια του χρόνου που εκπέμπεται ένα σύμβολο. Τα διαδιδόμενα σύμβολα δεν θα υφίστανται την παραμόρφωση που περιγράφηκε προηγουμένως. Ο βασικός υποβιβασμός σε ένα κανάλι αργών διαλείψεων, όπως συμβαίνει και στις επίπεδες διαλείψεις, είναι μείωση του SNR.

2.7 ΧΡΟΝΙΚΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ DOPPLER (ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ) – ΤΟ ΦΑΣΜΑ DOPPLER

Μια εντελώς ανάλογη περιγραφή της χρονικά μεταβαλλόμενης φύσης του καναλιού μπορεί να γίνει στο πεδίο της μετατόπισης Doppler (συχνότητας). Το Σχήμα 2.5(δ) παρουσιάζει τη φασματική πυκνότητα ισχύος Doppler, $S(u)$, ως συνάρτηση της μετατόπισης Doppler u . Το φάσμα του σήματος στην κεραία λήψης θα δίνεται από την εξής σχέση [8]:

$$S(u) = \frac{1}{\pi f_d \sqrt{1 - \left(\frac{u - f_c}{f_d} \right)^2}} \quad (2.13)$$

Η ισότητα ισχύει για μετατοπίσεις συχνότητας u που είναι μέσα στο εύρος $\pm f_d$ της συχνότητας του φέροντος f_c και θα είναι μηδέν έξω από αυτό το εύρος. Η μορφή του RF φάσματος Doppler, όπως περιγράφεται στην εξίσωση (2.13), παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.5(δ). Σημειώνεται ότι η μορφή του φάσματος αντιπροσωπεύει το κλασικό κανάλι διάδοσης. Η εξίσωση (2.13) έχει επαληθευτεί και πειραματικά από μετρήσεις που έχουν γίνει για διάφορα κινητά ασύρματα κανάλια. Ωστόσο διαφορετικές εφαρμογές παράγουν διαφορετικές μορφές φάσματος. Για παράδειγμα, το μοντέλο του κλασικού καναλιού διάδοσης δεν ισχύει για ασύρματα κανάλια εσωτερικών χώρων, έτσι για το μοντέλο καναλιού εσωτερικών χώρων θεωρούμε ότι το φάσμα $S(u)$ είναι επίπεδο.

Στο Σχήμα 2.5(δ), τα ακριβή όρια του φάσματος Doppler καθορίζονται από τη μέγιστη μετατόπιση Doppler που επιδεικνύει μια οριζόντια κεραία κινούμενη ανάμεσα σε σταθερούς σκεδαστές. Το μεγαλύτερο πλάτος της $S(u)$ προκύπτει όταν ο σκεδαστής βρίσκεται ακριβώς μπροστά από την κινούμενη κεραία ή ακριβώς πίσω της. Στην περίπτωση αυτή η μετατόπιση συχνότητας δίνεται από την εξής σχέση:

$$f_d = \frac{V}{\lambda} \quad (2.14)$$

όπου V είναι η σχετική ταχύτητα και λ το μήκος κύματος. Η f_d είναι θετική όταν ο δέκτης κινείται προς το σκεδαστή και αρνητική όταν απομακρύνεται από αυτόν. Για σκεδαστές που βρίσκονται παράλληλα στη διεύθυνση κίνησης της κεραίας, το πλάτος της μετατόπισης συχνότητας είναι μηδέν.

Η $S(u)$ είναι ο μετασχηματισμός Fourier της $R(\Delta t)$. Οπότε, μπορούμε να κάνουμε μετρήσεις εκπέμποντας απλά ένα ημιτονοειδές (σήμα στενού εύρους ζώνης) και χρησιμοποιώντας την ανάλυση Fourier να πάρουμε τη φασματική πυκνότητα ισχύος του λαμβανόμενου πλάτους. Από αυτό το φάσμα Doppler του καναλιού μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες σχετικά με τη φασματική διασπορά του εκπεμπόμενου ημιτόνου στο πεδίο της μετατόπισης Doppler. Όπως υποδεικνύεται και στο Σχήμα 2.5, η $S(u)$ είναι δυαδική ως προς το προφίλ καθυστέρησης ισχύος $S(\tau)$, επειδή το τελευταίο μας πληροφορεί σχετικά με τη χρονική διασπορά ενός εκπεμπόμενου κρουστικού παλμού στο πεδίο της χρονικής καθυστέρησης. Το γεγονός αυτό σημειώνεται και στο Σχήμα 2.1, ως δυαδικότητα ανάμεσα στα πλαίσια 7 και 16, και στο Σχήμα 2.4 ως δυαδικότητα ανάμεσα στο μηχανισμό της χρονικής διασποράς στο πεδίο της συχνότητας και στο μηχανισμό της χρονικής μεταβλητότητας στο πεδίο της μετατόπισης Doppler.

Η γνώση της $S(u)$ μας παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη φασματική διασπορά που υφίσταται ένα σήμα ως συνάρτηση του ρυθμού μεταβολής της κατάστασης του καναλιού. Το εύρος του φάσματος Doppler ονομάζεται διασπορά Doppler ενώ μερικές φορές αναφέρεται και σαν εύρος ζώνης διαλείψεων του καναλιού. Η εξίσωση (2.13) περιγράφει τη μετατόπιση συχνότητας Doppler. Σε ένα τυπικό περιβάλλον πολύδοξης διάδοσης το λαμβανόμενο σήμα καταφθάνει από διαφορετικές ανακλώμενες διαδρομές με διαφορετικά μήκη διαδρομών και διαφορετικές γωνίες άφιξης. Η μετατόπιση Doppler είναι γενικά διαφορετική για κάθε μια διαδρομή. Οι συνέπειες στο λαμβανόμενο σήμα εμφανίζονται ως μια διασπορά Doppler ή ως μια φασματική διεύρυνση παρά ως μια μετατόπιση. Σημειώνεται ότι η διασπορά Doppler είναι αντιστρόφως ανάλογη από το χρόνο συνοχής T_0 . Επομένως η σχέση ανάμεσα στις δύο παραμέτρους θα είναι :

$$T_0 \approx \frac{1}{f_d} \quad (2.15)$$

Ως εκ τούτου, η διασπορά Doppler f_d ή $1/T_0$ εκτιμάται ως ο τυπικός ρυθμός διαλείψεων του καναλιού.

Μια χρήσιμη προσέγγιση του χρόνου συνοχής για την περίπτωση του κλασικού καναλιού είναι [1]:

$$T_0 \approx \frac{9}{16\pi f_d} \quad (2.16)$$

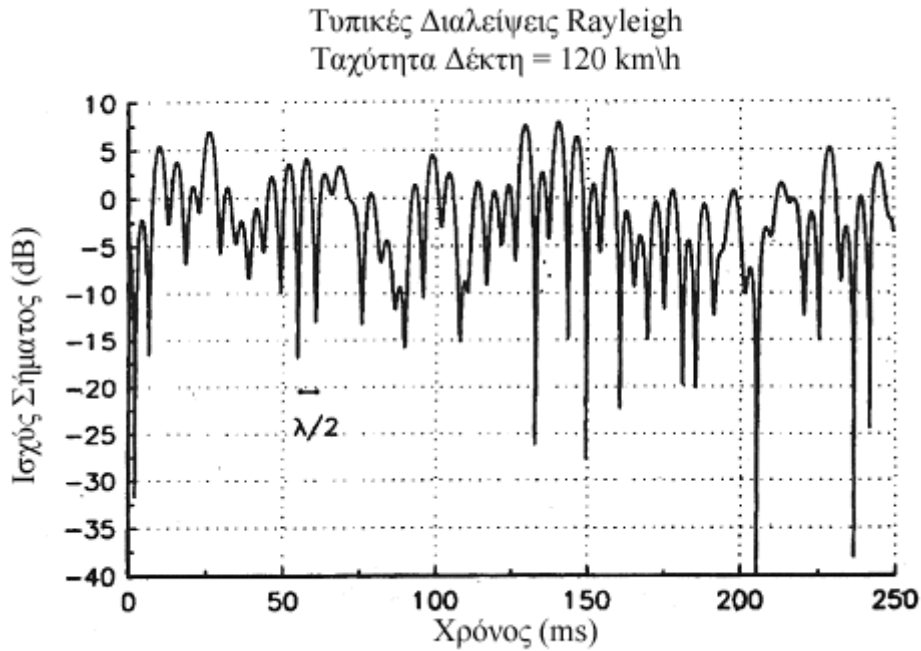
Μια πιο εμπειρική σχέση ανάμεσα στο T_0 και στη f_d δίνεται παρακάτω:

$$T_0 = \sqrt{\frac{9}{16\pi f_d^2}} = \frac{0.423}{f_d} \quad (2.17)$$

Για την περίπτωση ενός ασύρματου καναλιού στα 900 MHz, το Σχήμα 2.7 παρουσιάζει τις τυπικές συνέπειες των διαλείψεων στην περιβάλλουσα του σήματος ως συνάρτηση του χρόνου [6]. Το Σχήμα 2.7 δείχνει ότι η απόσταση, που καλύπτεται από ένα κινητό σε χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί σε δυο συνεχόμενους μηδενισμούς, είναι της τάξης του μισού μήκους κύματος ($\lambda/2$) [6]. Κατά συνέπεια, από το σχήμα 2.9 και την εξίσωση (2.14) ο χρόνος (κατά προσέγγιση ο χρόνος συνοχής) που απαιτείται για να διανυθεί μια απόσταση $\lambda/2$ όταν κινούμαστε με ταχύτητα V είναι:

$$T_0 \approx \frac{\lambda/2}{V} = \frac{0.5}{f_d} \quad (2.18)$$

Οπότε, όταν το διάστημα ανάμεσα σε δύο διαλείψεις λαμβάνεται ίσο με $\lambda/2$, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.7, η έκφραση που προκύπτει για το T_0 στην εξίσωση (2.18) είναι αρκετά κοντά στην εμπειρική σχέση (2.17). Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2.18), με τις παραμέτρους που παρουσιάζονται στο σχήμα 2.7 (ταχύτητα = 120 km/sec και συχνότητα φέροντος = 900 MHz), μπορούμε να υπολογίσουμε το χρόνο συνοχής περίπου στα 5 ms και τη διασπορά Doppler περίπου στα 100 Hz. Ως εκ τούτου, εάν αυτό το παράδειγμα αντιπροσωπεύει ένα κανάλι φωνής με ένα τυπικό ρυθμό μετάδοσης ίσο με 10^4 symbols/sec, ο ρυθμός διαλείψεων είναι σημαντικά μικρότερος από το ρυθμό συμβόλου. Με τις συνθήκες αυτές το κανάλι θα υφίστανται αργές διαλείψεις.



Σχήμα 2.7 Τυπικές Διαλείψεις Rayleigh στα 900 MHz

2.8 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Ένα κανάλι θεωρούμε ότι υφίσταται γρήγορες διαλείψεις εάν ο ρυθμός συμβόλου, $1/T_s$ (κατά προσέγγιση ίσος με το εύρος ζώνης W) είναι μικρότερος από το ρυθμό των διαλείψεων, $1/T_0$ (κατά προσέγγιση ίσος με την f_d). Οπότε οι γρήγορες διαλείψεις χαρακτηρίζονται από τις εξής σχέσεις

$$W < f_d \quad (2.19\alpha)$$

ή

$$T_s > T_0 \quad (2.19\beta)$$

Αντιστρόφως, ένα κανάλι θεωρούμε ότι υφίσταται αργές διαλείψεις εάν ο ρυθμός συμβόλου είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό των διαλείψεων. Ως εκ τούτου, για να αποφύγουμε την παραμόρφωση που προκαλείται σε ένα σήμα από τις γρήγορες διαλείψεις, πρέπει το κανάλι να επιδεικνύει αργές διαλείψεις εξασφαλίζοντας ότι ο ρυθ-

μός μετάδοσης του σήματος υπερβαίνει το ρυθμό διαλείψεων του καναλιού. Δηλαδή πρέπει να ισχύει

$$W > f_d \quad (2.20\alpha)$$

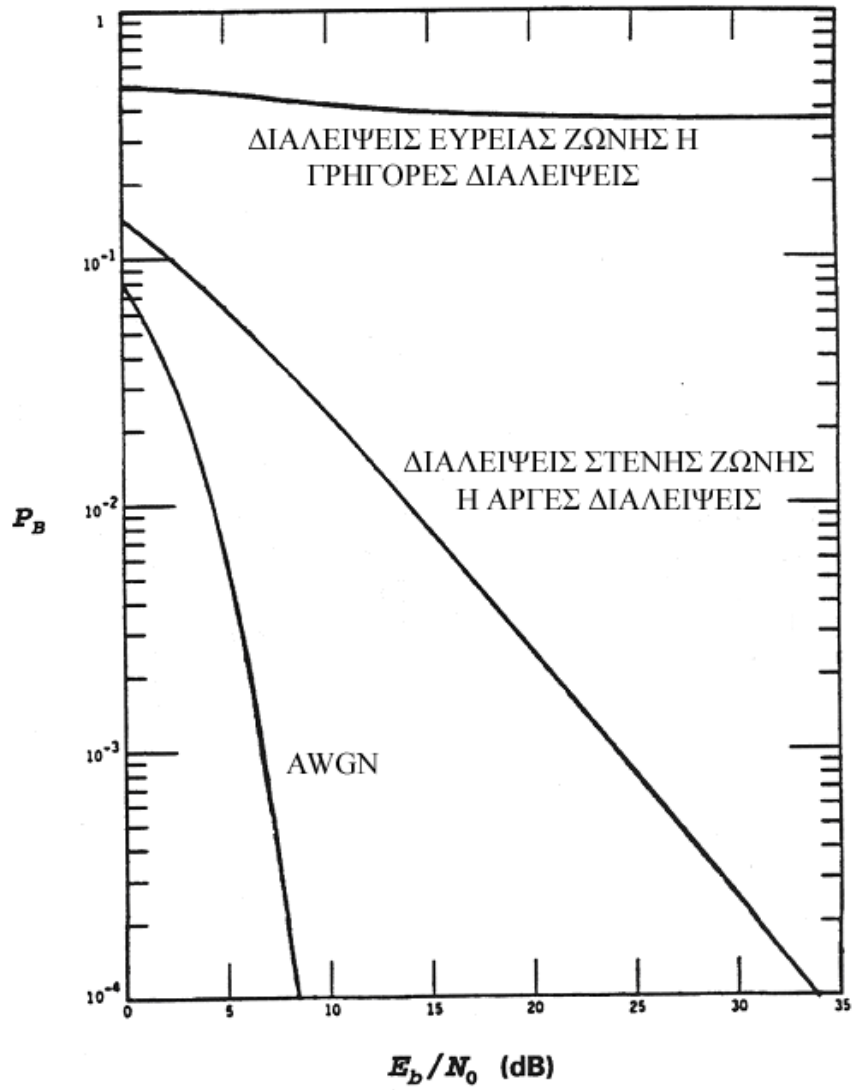
ή

$$T_s < T_0 \quad (2.20\beta)$$

Στην εξίσωση (2.11) δείξαμε ότι, εξαιτίας της χρονικής διασποράς του σήματος, το εύρος ζώνης συμφωνίας f_0 θέτει ένα ανώτατο όριο στο ρυθμό μετάδοσης του σήματος που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί δίχως το κανάλι να υφίσταται διαλείψεις ευρείας ζώνης. Ομοίως, εξαιτίας της διασποράς Doppler, όπως παρουσιάζεται στις εξισώσεις (2.20), ο ρυθμός των διαλείψεων f_d θέτει ένα κατώτερο όριο στο ρυθμό μετάδοσης του σήματος που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί δίχως το κανάλι να υφίσταται γρήγορες διαλείψεις

Η εξίσωση (2.20) δεν υποδηλώνει με ξεκάθαρο τρόπο το τι ζητάμε από ένα κανάλι. Ένας καλύτερος τρόπος για να αντιμετωπίσουμε τις επιπτώσεις των γρήγορων διαλείψεων θα ήταν η επιλογή $W \gg f_d$ (ή $T_s \ll T_0$). Το φαινόμενο Doppler προκαλεί ένα ρυθμό λαθών που δεν είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί με απλή αύξηση του E_b / N_0 . Για να μπορέσουμε να αποφύγουμε τις συνέπειες των γρήγορων διαλείψεων και των ρυθμό λαθών που προκαλεί η μετατόπιση Doppler θα πρέπει ο ρυθμό μετάδοσης του σήματος να υπερβαίνει το ρυθμό διαλείψεων κατά ένα παράγοντα που κυμαίνεται από 100 έως 200. Η ακριβής τιμή του παράγοντα εξαρτάται από τη διαμόρφωση που χρησιμοποιείται, το σχεδιασμό του δέκτη και τον απαιτούμενο ρυθμό λαθών.

Το Σχήμα 2.8 παρουσιάζει τρεις βασικές κατηγορίες απόδοσης δίνοντας τον BER, P_b , συναρτήσει του λόγου σήματος προς θόρυβο E_b / N_0 . Η αριστερή καμπύλη αντιπροσωπεύει την απόδοση ενός καναλιού AWGN. Παρατηρούμε ότι για μια λογική τιμή του E_b / N_0 , επιτυγχάνουμε ουσιαστικά μια «καλή» απόδοση. Η καμπύλη που βρίσκεται στη μέση του σχήματος αντιπροσωπεύει ένα κανάλι το οποίο χαρακτηρίζεται από επίπεδες διαλείψεις (στενής ζώνης διαλείψεις) και όταν δεν έχουμε την παρουσία μιας ισχυρή συνιστώσα (NLOS περίπτωση) ή των αργών διαλείψεων. Για λογικές τιμές του SNR, η απόδοση θα είναι γενικά «κακή». Η τρίτη καμπύλη, που φθάνει σε μη αποδεκτά όρια, αντιπροσωπεύει την «κάκιστη» περίπτωση απόδοσης, όπου ο BER είναι δυνατόν να προσεγγίσει την τιμή 0.5. Εκφράζει τις σοβαρές συνέπειες των διαλείψεων που είναι επιλεκτικές στη συχνότητα (ευρείας ζώνης διαλείψεις) ή των γρήγορων διαλείψεων.



Σχήμα 2.8 Η απόδοση του BER για τρεις βασικές κατηγορίες καναλιών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

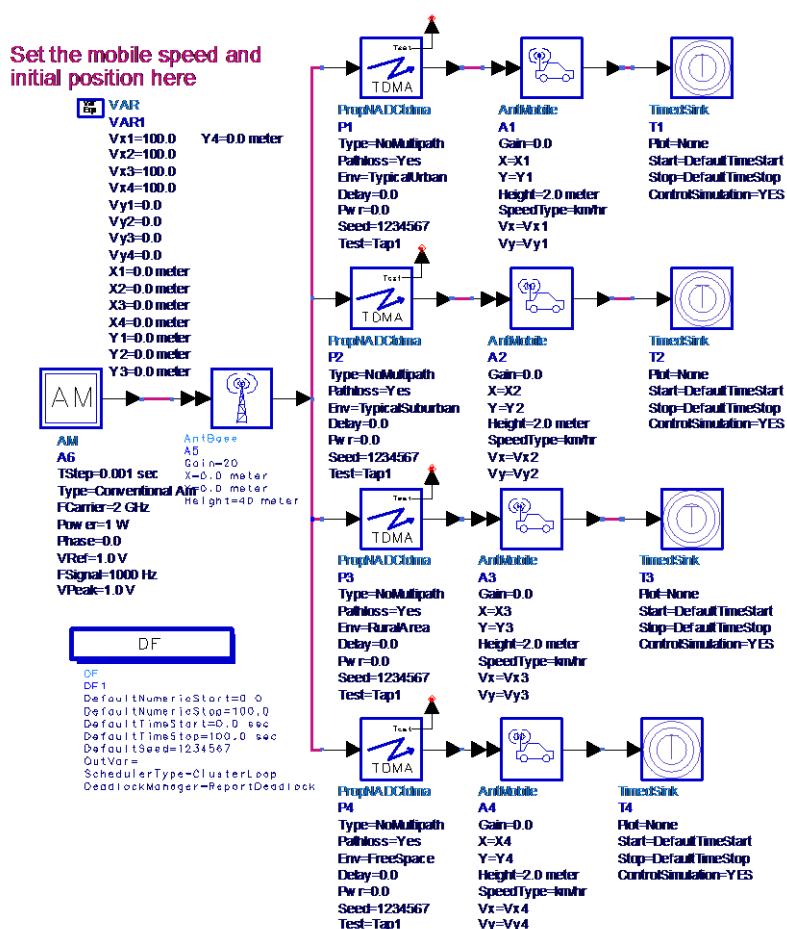
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο μελετούνται τα φαινόμενα των διαλείψεων που περιγράψαμε στα προηγούμενα κεφάλαια με τη βοήθεια κυκλωμάτων προσομοίωσης, που υλοποιήθηκαν με το πρόγραμμα σχεδιασμού και προσομοίωσης ADS της HP-Eesof. Αρχικά θα μελετήσουμε την απώλεια διαδρομής για διάφορα είδη περιβάλλοντος καθώς και το μοντέλο επίπεδης γης για αναλογική και ψηφιακή διαμόρφωση. Θα παρατηρήσουμε, μέσω κατάλληλων προσομοιώσεων, τον τρόπο με τον οποίο προκύπτουν οι κατανομές Rayleigh-Rice από ανεξάρτητα τυχαία δείγματα που ακολουθούν την κανονική κατανομή και θα εξετάσουμε τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Rice για διάφορες τιμές της παραμέτρου k . Στο κύκλωμα προσομοίωσης της παραγράφου 3.6 λευκός προσθετικός Γκαουσιανός θόρυβος (additive white Gaussian noise, AWGN) προστίθεται στον πολλαπλασιαστικό θόρυβο (Rayleigh fading). Στη συνέχεια μελετάμε τους δυο μηχανισμούς διαλείψεων μικρής κλίμακας: τη χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά (φαινόμενο Doppler) και τη χρονική διασπορά καθυστέρησης του καναλιού διάδοσης (coherence bandwidth). Στην παράγραφο 4.9 θα δοθούν τυπικά προφίλ καθυστέρησης ισχύος για τα διάφορα κανάλια διάδοσης που είναι διαθέσιμα στο ADS (βλέπε Παράρτημα) όπως είναι το κανάλι διάδοσης GSM και το γενικό κανάλι διάδοσης (User_Defined). Το τελευταίο μοντέλο καναλιού είναι ιδιαίτερα σημαντικό αφού μας επιτρέπει τη μοντελοποίηση οποιουδήποτε καναλιού με την κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων του. Πιο συγκεκριμένα μας παρέχει τη δυνατότητα να επιλέξουμε τον αριθμό των διαδρομών (PathNumber), το πλάτος κάθε διαδρομής (AmpArray) καθώς και την καθυστέρηση κάθε διαδρομής (DelayArray). Τέλος θα δούμε πως προκύπτουν οι συναρτήσεις Bello για το κανάλι διάδοσης αστικής περιοχής και για το κανάλι διάδοσης αγροτικής περιοχής με τη βοήθεια του ADS και του Matlab.

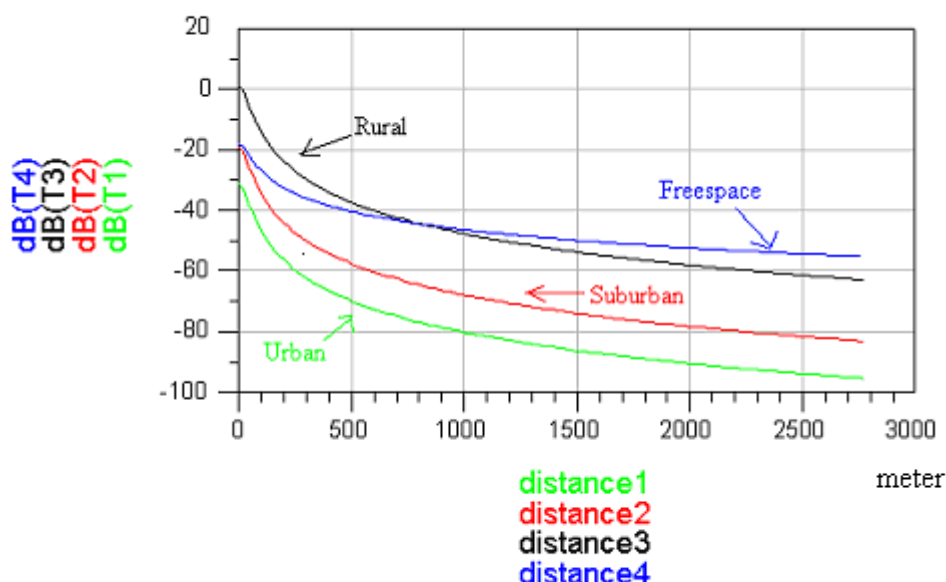
3.2 ΑΠΩΛΕΙΑ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΓΙΑ ΤΕΣΣΕΡΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΙΔΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η συγκεκριμένη προσομοίωση που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1 έχει ως στόχο τη μελέτη της απώλειας διαδρομής για τέσσερα διαφορετικά είδη περιβάλλοντος για συγκεκριμένα ύψη κεραιών πομπού και δέκτη καθώς και συγκεκριμένη ταχύτητα για κάθε έναν από τους τέσσερις κινητούς δέκτες. Ο σταθμός βάσης τοποθετείται στην αρχή των αξόνων X, Y, η κεραία του βρίσκεται σε ύψος 30 μέτρων ενώ το σήμα πριν το εκπέμψουμε μέσω του καναλιού ενισχύεται κατά 20 dB. Οι παράμετροι για τα ύψη των κεραιών και για την ταχύτητα του κινητού δέκτη καθορίζονται μέσω της μεταβλητή VAR. Χρησιμοποιώντας τέσσερα διαφορετικά μοντέλα καναλιών TDMA ένα για αστική περιοχή, ένα για προαστιακή, ένα για αγροτική και ένα για τον ελεύθερο χώρο και με επιλογή NOMULTIPATH (δηλαδή δεν έχουμε πολύοδη διάδοση), για κάθε ένα από αυτά, παρατηρούμε την διαφορετική συμπεριφορά της απώλειας διαδρομής συναρτήσει της απόστασης ανάμεσα στην κεραία του σταθμού βάσης και την κινητή κεραία λήψης.



Σχήμα 3.1 Κύκλωμα προσομοίωσης της απώλειας διαδρομής για τέσσερα διαφορετικά είδη περιβάλλοντος

Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος σε dB συναρτήσει της απόστασης ανάμεσα στον κοινό σταθμό βάσης και τους τέσσερις κινητούς σταθμούς (σε μέτρα) δίνεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 Η λαμβανόμενη ισχύς του σήματος λόγω της απώλειας διαδρομής για τα τέσσερα είδη περιβάλλοντος.

Όπως τονίστηκε και στην παράγραφο 2.3.1 η μέση απώλεια διαδρομής $\overline{L_p}(d)$ ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη είναι ανάλογη προς τη n -οστή δύναμη της απόστασης d σε σχέση με μια απόσταση αναφοράς d_0 . Η τιμή του εκθέτη n εξαρτάται από τη συχνότητα, τα ύψη των κεραιών και το περιβάλλον διάδοσης. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιούμε την ίδια συχνότητα και τα ίδια ύψη κεραιών και επομένως ο συντελεστής n και άρα η απώλεια διαδρομής είναι ανάλογα ως προς το μοντέλο του καναλιού διάδοσης που χρησιμοποιείται. Στον ελεύθερο χώρο έχουμε $n = 2$ ενώ στην περίπτωση που έχουμε φαινόμενο διάδοσης με ισχυρή συνιστώσα κύματος όπως συμβαίνει στις αγροτικές περιοχές η τιμή του n μπορεί να είναι μικρότερη από 2. Όταν έχουμε παρουσία εμποδίων, όπως συμβαίνει στις προαστιακές περιοχές η τιμή του n είναι μεγαλύτερη από 2. Ακόμα μεγαλύτερη είναι η τιμή του n όταν έχουμε διάδοση στις αστικές περιοχές. Επομένως όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.2 η απώλεια διαδρομής της αστικής περιοχής θα είναι μεγαλύτερη τόσο από το την απώλεια διαδρομής προαστιακής όσο και από την απώλεια διαδρομής του μοντέλου ελεύθερου χώρου. Η απώλεια διαδρομής του καναλιού αγροτικής περιοχής είναι η

μικρότερη από όλες τις άλλες περιπτώσεις της απώλειας διαδρομής. Ωστόσο μετά τα 1000 m η απώλεια διαδρομής του μοντέλου αγροτικής περιοχής είναι μεγαλύτερη από εκείνη του ελεύθερου χώρου αφού όσο ο δέκτης απομακρύνεται από τον δέκτη τόσο μειώνεται και η επίδραση της ισχυρής συνιστώσας από οπτική επαφή που χαρακτηρίζει το κανάλι αγροτικής περιοχής.

3.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΓΗΣ

Στη συγκεκριμένη παράγραφο θα μελετήσουμε το κανάλι επίπεδης γης (FLATEARTH) που είναι διαθέσιμο στο ADS (βλέπε Παράρτημα). Η λαμβανόμενη ισχύς παρουσιάζει διακυμάνσεις, που οφείλονται στην εκτός φάσης πρόσθεση της απευθείας και της ανακλώμενης ακτίνας, και μια γενική απόσβεση καθώς η απόσταση ανάμεσα στην κεραία εκπομπής του σταθμού βάσης και στην κεραία λήψης του κινητού σταθμού αυξάνεται. Θα εξετάσουμε δύο περιπτώσεις κυκλωμάτων προσομοίωσης επίπεδης γης. Στην πρώτη περίπτωση το σήμα εισόδου στο σταθμό βάσης θα είναι αναλογικό ενώ στη δεύτερη περίπτωση θα χρησιμοποιήσουμε ψηφιακή διαμόρφωση.

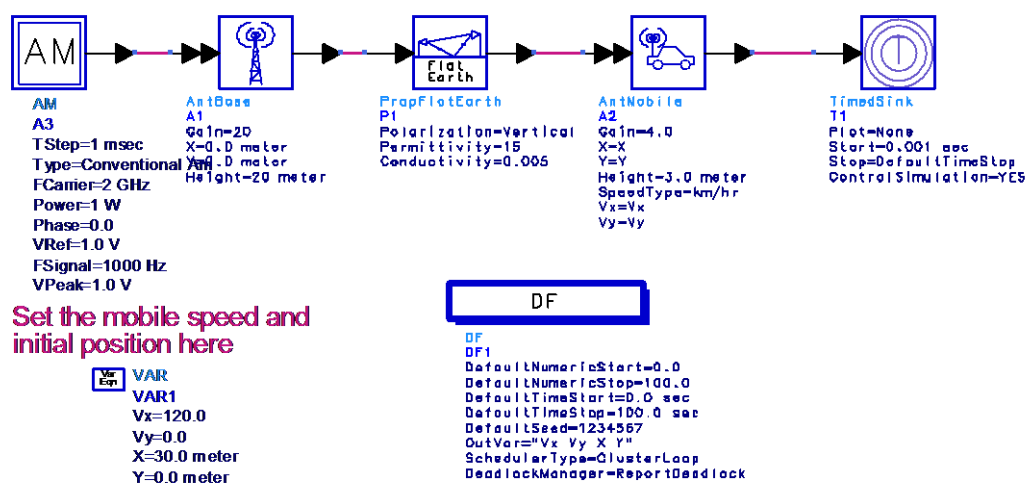
3.3.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΓΗΣ–ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Ο σταθμός βάσης δέχεται στην είσοδο του ένα σήμα AM με φέρων στα 2.0 GHz. Στη συνέχεια το σήμα εισόδου ενισχύεται, εκπέμπεται και μέσω του καναλιού επίπεδης γης φθάνει στον κινητό σταθμό. Οι παράμετροι του κινητού σταθμού καθορίζονται με τη βοήθεια της παραμέτρου Var. Στο Σχήμα 3.3 δίδεται το κύκλωμα προσομοίωσης που χρησιμοποιούμε ενώ στο Σχήμα 3.4 έχουμε την αναπαράσταση του πραγματικού και του φανταστικού μέρους του λαμβανόμενου σήματος. Η λαμβανόμενη ισχύς σε dB ως συνάρτηση της απόστασης του κινητού σταθμού από το σταθμό βάσης καταγράφεται στο Σχήμα 3.5.

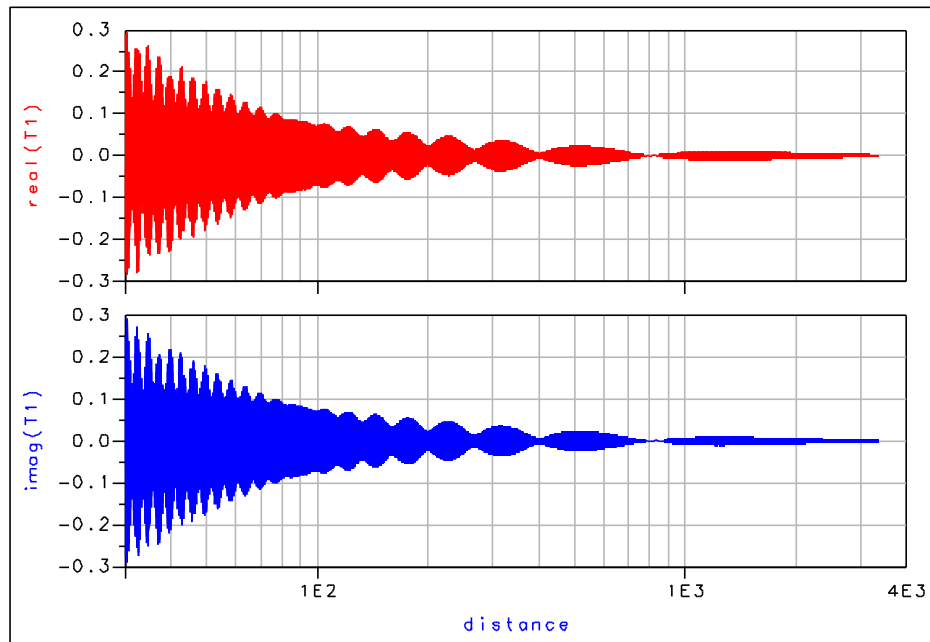
Το κανάλι επίπεδης γης μας δίνει τη δυνατότητα, μέσω των παραμέτρων της σχετικής διηλεκτρικής σταθεράς (relative permittivity) ϵ_r και της αγωγιμότητας (conductivity) σ , να πραγματοποιήσουμε προσομοιώσεις για διαφορετικούς τύπους εδαφών της επίπεδης γης. Στον Πίνακα 3-1 παρουσιάζονται οι τιμές που πρέπει να έχουν η σχετική διηλεκτρική σταθερά και η αγωγιμότητα για διαφορετικές τιμές του γήινου μέσου (Σχήμα 3.6).

Πίνακας 3-1. Τυπικές Σταθερές της Γης

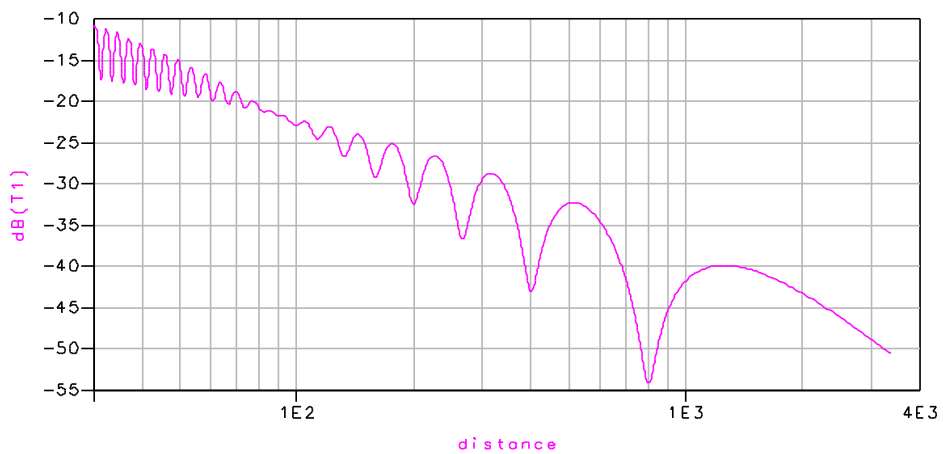
Type of Surface	Average ϵ_r	Average σ (mho/meter)
Fresh water (lakes and rivers)	81	0.001
Sea water	81	5.0
Good ground	25	0.02
Average ground	15	0.005
Poor ground	4	0.001
Mountains		0.00075



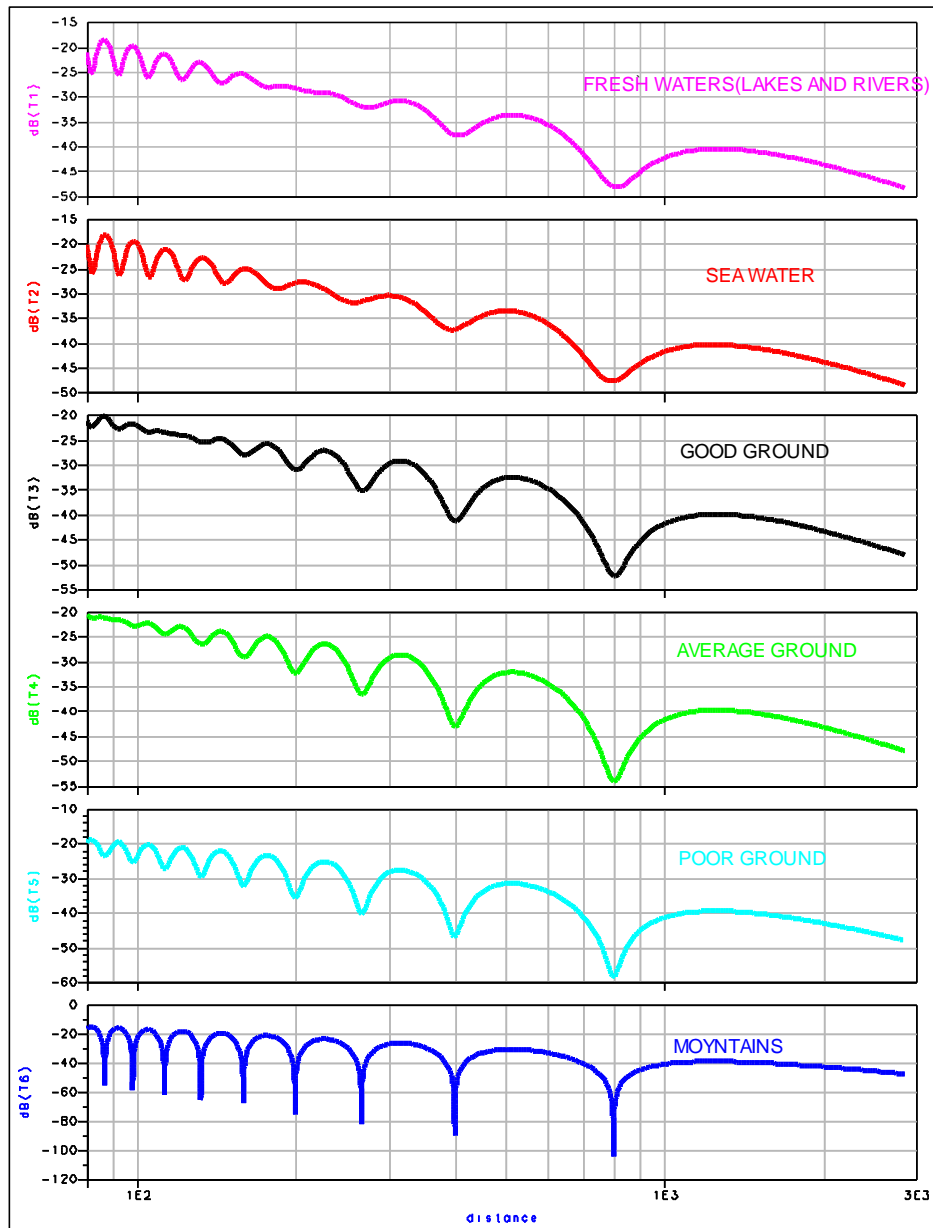
Σχήμα 3.3 Κύκλωμα προσομοίωσης του μοντέλου επίπεδης γης με σήμα εισόδου ένα σήμα AM.



Σχήμα 3.4 Πραγματικό και φανταστικό μέρος του λαμβανόμενου σήματος στον κινητό σταθμό.



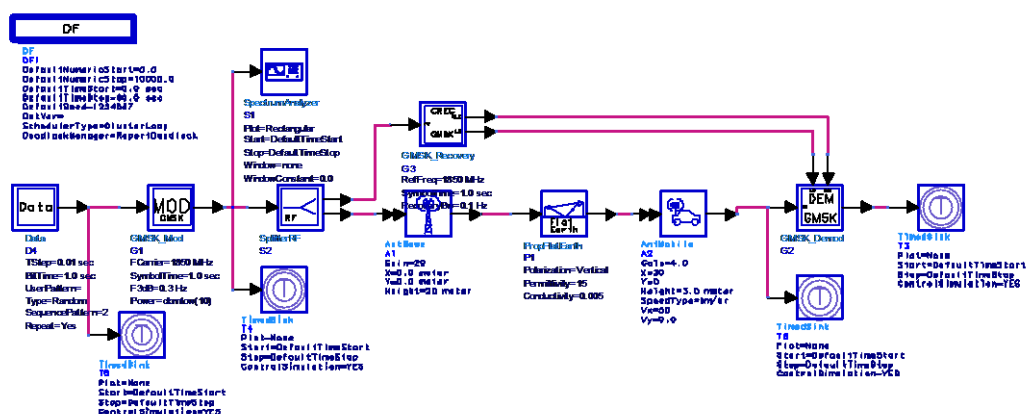
Σχήμα 3.5 Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος συναρτήσει της απόστασης.



Σχήμα 3.6 Η λαμβανόμενη ισχύς για διαφορετικές τιμές του γήινου μέσου ως συνάρτηση της απόστασης ανάμεσα στο σταθμό βάσης και τον κινητό σταθμό.

3.3.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΓΗΣ - ΨΗΦΙΑΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

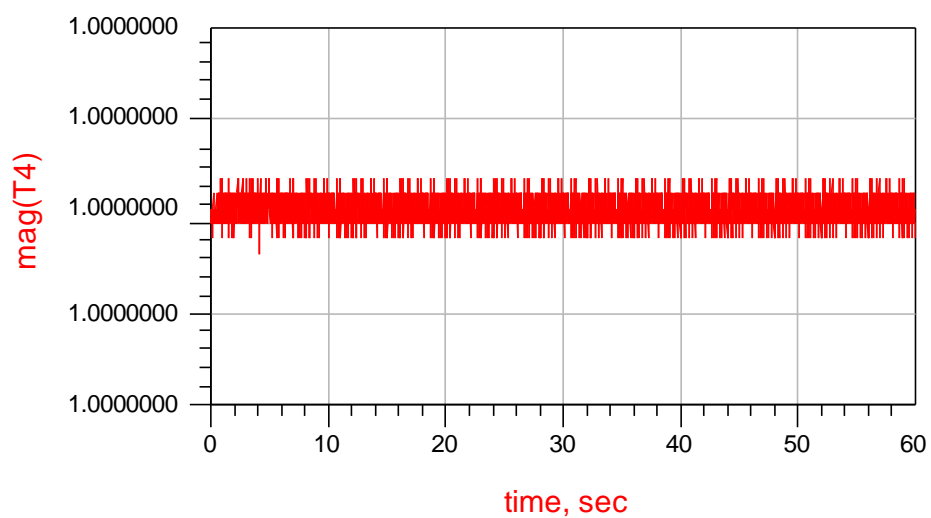
Το μοντέλο επίπεδης γης χρησιμοποιώντας ψηφιακή διαμόρφωση δίνεται στο Σχήμα 3.7. Η γεννήτρια δεδομένων (Data) παράγει μια NRZ κυματομορφή βασικής ζώνης. Η χρονική διάρκεια καθενός bit τίθεται ίση με 1 sec. Τα δεδομένα εισέρχονται στο διαμορφωτή GMSK (GMSK_MOD) και διαμορφώνονται στη φέρουσα συχνότητα των 1.850 MHz. Ο χρόνος συμβόλου τίθεται στο 1 sec, η συχνότητα εισόδου του Gaussian, χαμηλοπερατού φίλτρου (F3dB) δίνεται από τη σχέση $F3dB = 0.3 / \text{time symbol}$ και άρα στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ίση με 0.3 Hz ενώ η ισχύς εξόδου είναι 10 dBm. Το σήμα εξόδου του διαμορφωτή έχει σταθερό πλάτος, παρουσιάζει συνέχεια φάσης Σχήμα 3.8 και Σχήμα 3.9 αντίστοιχα, ενώ η φασματική πυκνότητα ισχύος, που μετρίεται από τον αναλυτή φάσματος, δίνεται στο Σχήμα 3.10.



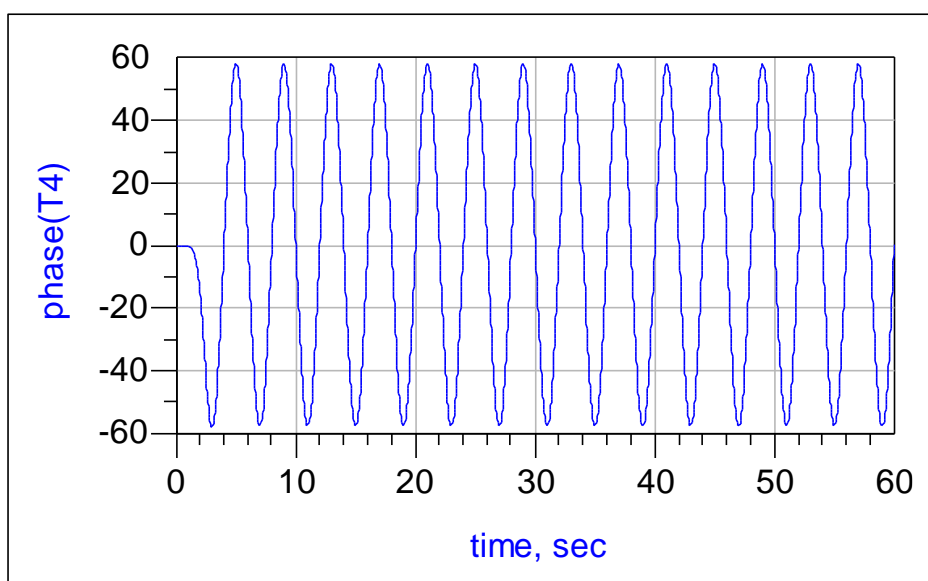
Σχήμα 3.7 Κύκλωμα προσομοίωσης μοντέλου επίπεδης γης με ψηφιακή διαμόρφωση.

Το διαμορφωμένο σήμα διέρχεται από τον RF διαχωριστή και αφού ενισχυθεί εκπέμπεται από το σταθμό βάσης. Το σήμα στη συνέχεια μέσω του καναλιού επίπεδης γης φθάνει στο κινητό σταθμό. Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος ως συνάρτηση του χρόνου παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.11.

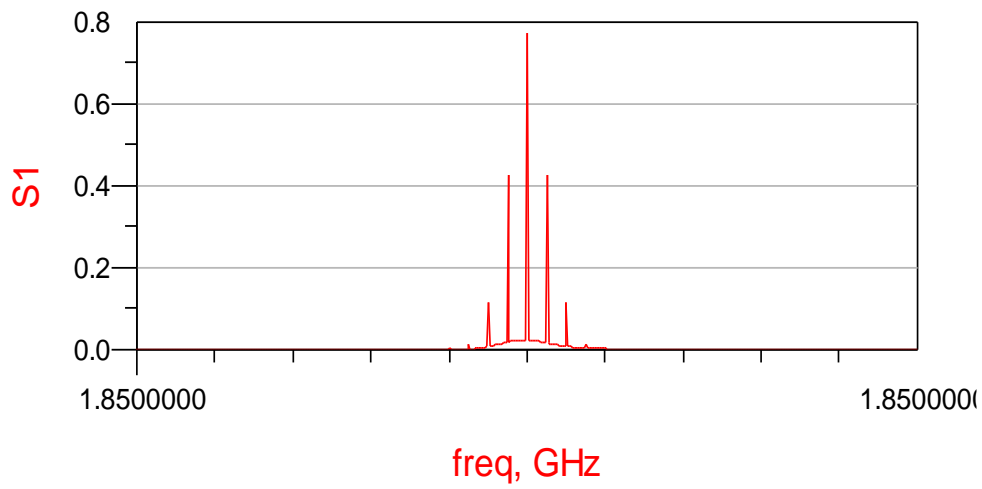
Το στοιχείο GMSK_Recovery χρησιμοποιείται για την ανάκτηση του φέροντος έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η αποδιαμόρφωση μέσω του στοιχείου GMSK_DEMOD.



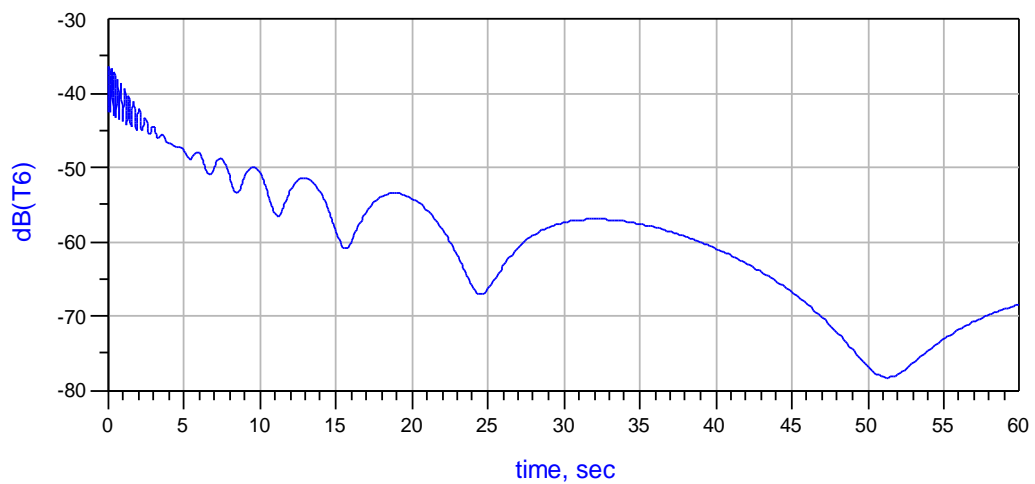
Σχήμα 3.8 Μέτρο του διαμορφωμένου σήματος που εισέρχεται στο σταθμό βάσης.



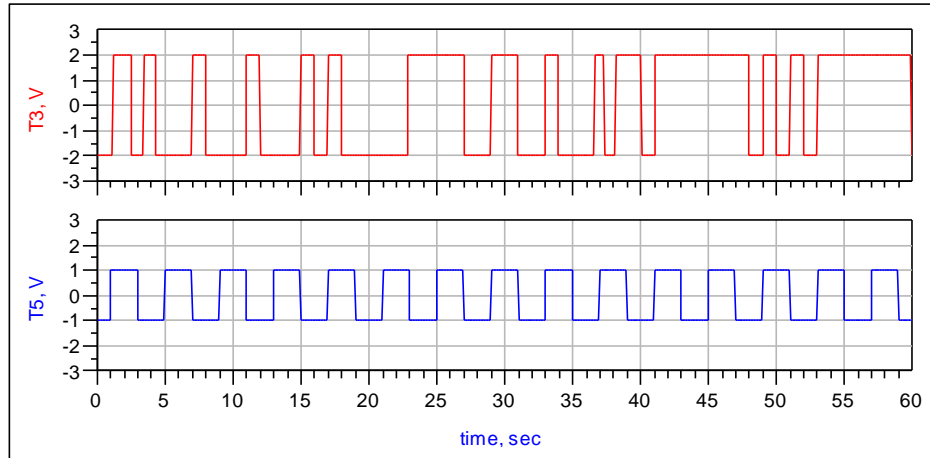
Σχήμα 3.9 Φάση του διαμορφωμένου σήματος που εισέρχεται στο σταθμό βάσης.



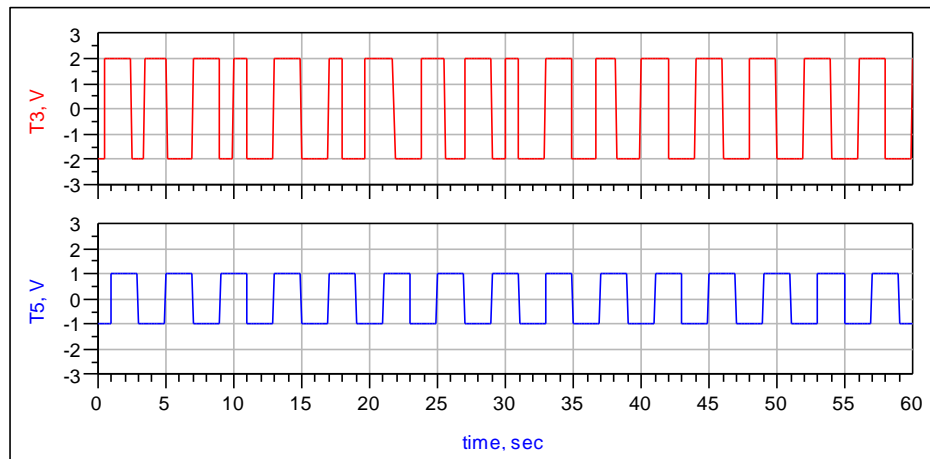
Σχήμα 3.10 Φασματική πυκνότητα ισχύος του διαμορφωμένου σήματος.



Σχήμα 3.11 Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος σε dB συναρτήσει του χρόνου προσομοίωσης.



Σχήμα 3.12 Κυματομορφές των δεδομένων λήψης (T3) και των αρχικών δεδομένων (T5) εξαιτίας του καναλιού επίπεδης γης.

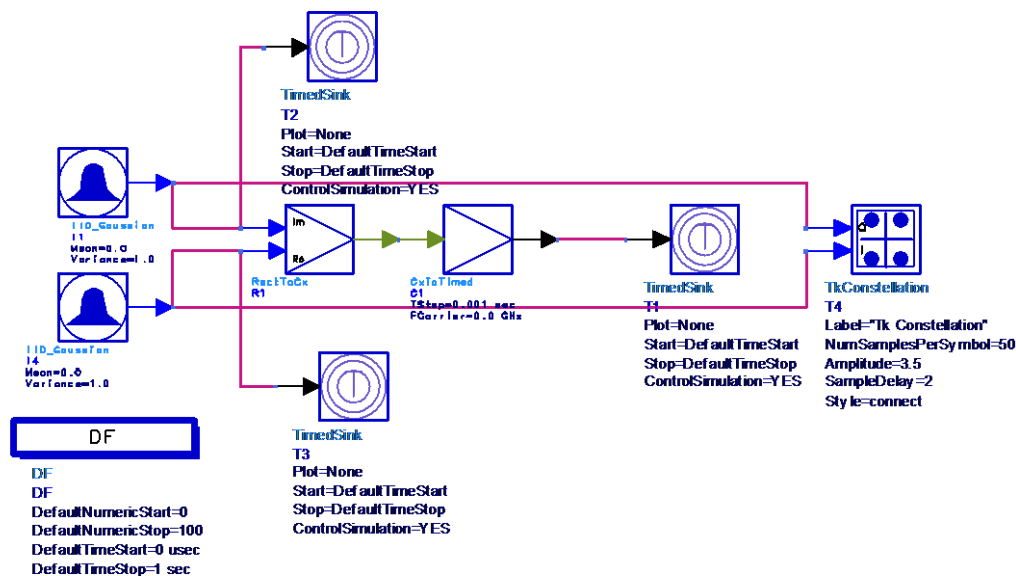


Σχήμα 3.13 Κυματομορφές των δεδομένων λήψης (T3) και των αρχικών δεδομένων (T5) δίχως την παρουσία του καναλιού επίπεδης γης.

Η κυματομορφή των δεδομένων λήψης διαφέρει σημαντικά από την κυματομορφή των αρχικών δεδομένων αφού εξαιτίας του καναλιού επίπεδης γης έχουμε μείωση του λόγου σήματος προς θόρυβο SNR και κατά επέκταση δημιουργείται αύξηση του BER (Σχήμα 3.12). Στην περίπτωση που ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη δεν παρεμβάλλεται κανάλι επίπεδης γης, δηλαδή αν συνδέσουμε απευθείας το σταθμό βάσης με τον κινητό σταθμό, η κυματομορφή των δεδομένων λήψης είναι ίδια με την κυματομορφή των αρχικών δεδομένων (Σχήμα 3.13).

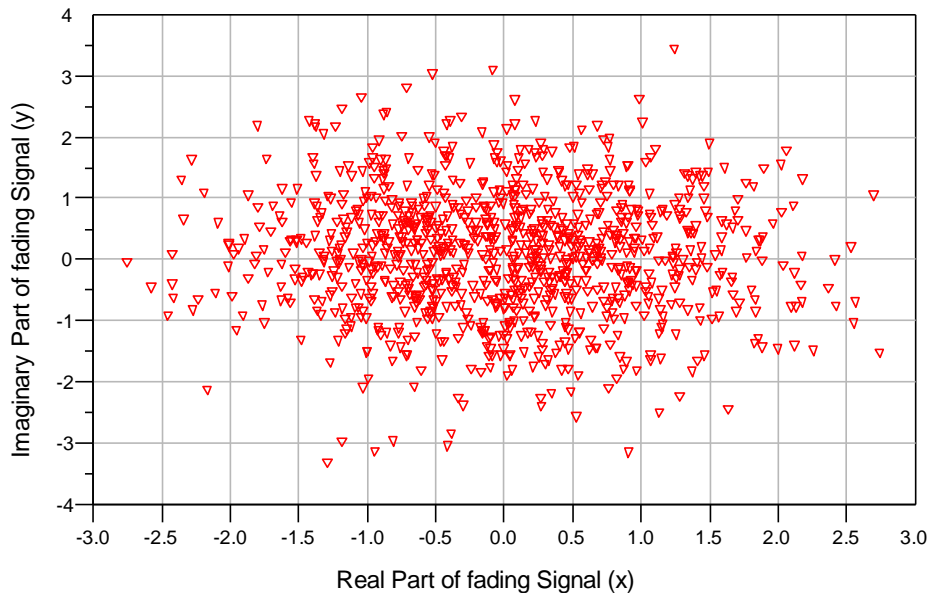
3.4 ΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ GAUSSIAN, RAYLEIGH ΚΑΙ RICE

Με το κύκλωμα του Σχήματος 3.14 θα προσομοιώσουμε τις κατανομές Gauss, Rayleigh και Rice. Τα στοιχεία IID_Gaussian παράγουν ανεξάρτητα δείγματα που ακολουθούν την κανονική κατανομή με μηδενική μέση τιμή και μοναδιαία τυπική διακύμανση. Αυτές οι δύο ομάδες δειγμάτων μπορούν να θεωρηθούν ότι αντιπροσωπεύουν το πραγματικό και το φανταστικό ή τις συνιστώσες I και Q ενός μιγαδικού σήματος βασικής ζώνης : $\alpha = x + jy$.

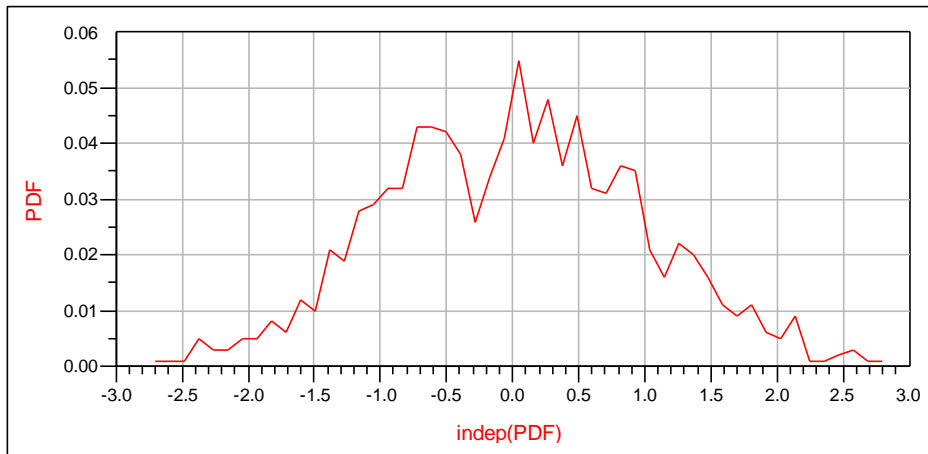


Σχήμα 3.14 Κύκλωμα προσομοίωσης των κατανομών Gaussian, Rayleigh και Rice.

Τα σημεία σχεδιάζονται σε ένα διάγραμμα το οποίο είναι γνωστό ως διάγραμμα Argand, όπου ο οριζόντιος άξονας είναι το πραγματικό μέρος και ο κατακόρυφος είναι το φανταστικό (Σχήμα 3.15). Η μεταβλητή α είναι μια μιγαδική τυχαία Γκαουσιανή μεταβλητή, όπως είναι ο προσθετικός θόρυβος στο κανάλι AWGN, με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f.) που δίνεται στο Σχήμα 3.16. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της απόστασης κάθε σημείου από την αρχή των αξόνων. Αυτή θα είναι η κατανομή του $r = |\alpha| = \sqrt{x^2 + y^2}$, Σχήμα 3.17. Η ασύμμετρη καμπύλη που προκύπτει από την p.d.f. της r προσεγγίζει την κατανομή Rayleigh. Το γεγονός αυτό μας επαληθεύει το εξής αποτέλεσμα: Το μέτρο μιας μιγαδικής Γκαουσιανής τυχαίας μεταβλητής είναι μια τυχαία μεταβλητή με κατανομή Rayleigh. Η κατανομή Rayleigh αποτελεί μια εξαιρετική προσέγγιση της στατιστικής του πλάτους των NLOS διαλείψεων κινητών καναλιών.



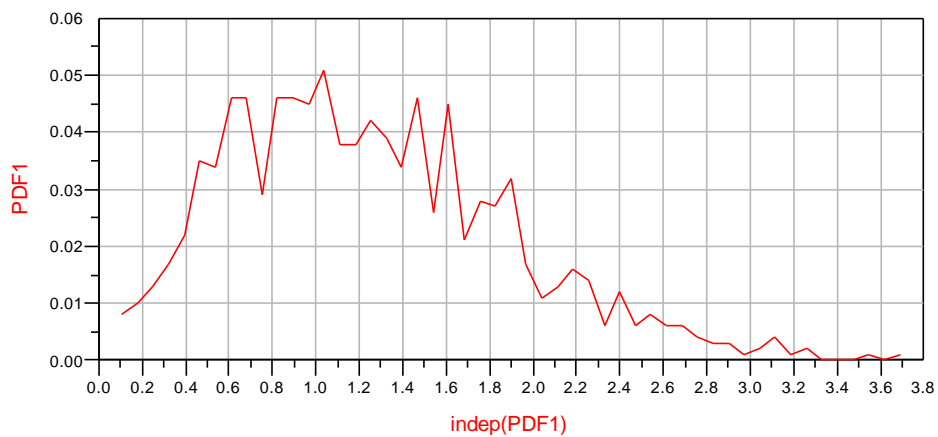
Σχήμα 3.15 Διάγραμμα Argand όπου παρουσιάζονται τα μιγαδικά δείγματα ενός σήματος με διαλείψεις NLOS.



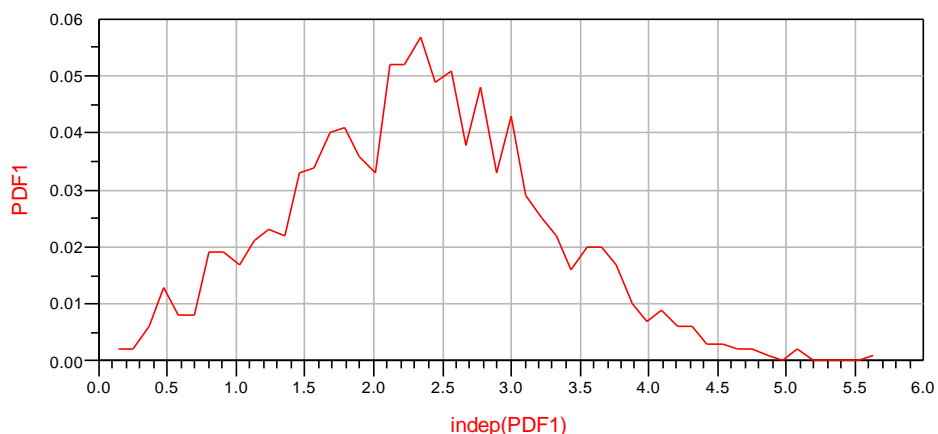
Σχήμα 3.16 Προσέγγιση της κατανομής Gauss με τη βοήθεια του κυκλώματος προσομοίωσης

Στην περίπτωση που θέλουμε να απεικονίσουμε την κατανομή των διαλείψεων LOS χρησιμοποιούμε πάλι το κύκλωμα προσομοίωσης του Σχήματος 3.14. Αυτή την φορά όμως προστίθεται μια πραγματική σταθερά, 2 για την συγκεκριμένη περίπτωση,

στη μιγαδική Γκαουσιανή μεταβλητή $\alpha = x + jy$ (Η μέση τιμή του ενός IID_Gaussian από 0 γίνεται ίση με 2). Η νέα p.d.f. της $r = |\alpha| = \sqrt{x^2 + y^2}$ σχεδιάζεται στο Σχήμα 3.18. Η καμπύλη που προκύπτει είναι πιο κοντά στο να είναι συμμετρική και προσεγγίζει την κατανομή Rice. Η κατανομή Rice αποτελεί μια εξαιρετική προσέγγιση των διαλείψεων LOS, στην περίπτωση δηλαδή που έχουμε μια ισχυρή συνιστώσα σε σχέση με τις άλλες συνιστώσες.



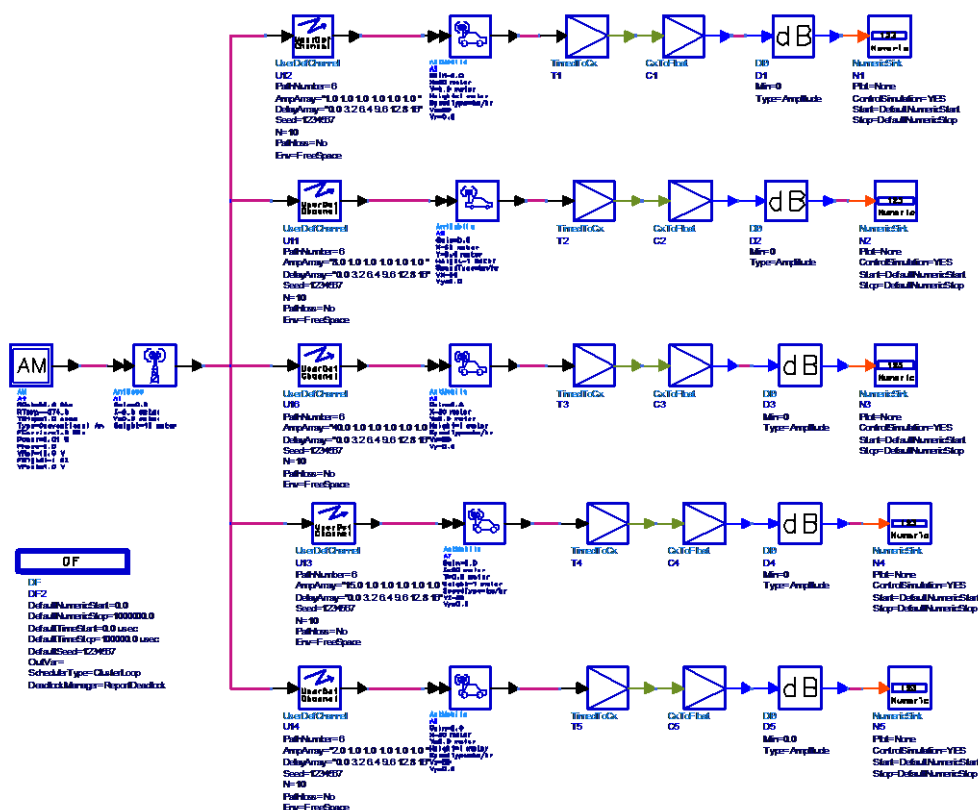
Σχήμα 3.17 Προσέγγιση της κατανομής Rayleigh με τη βοήθεια του κυκλώματος προσομοίωσης



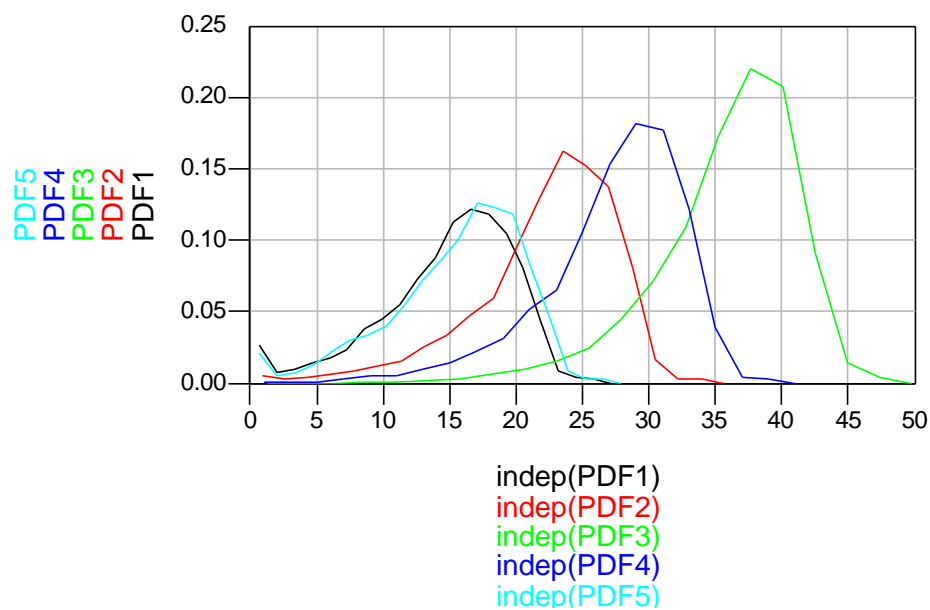
Σχήμα 3.18 Προσέγγιση της κατανομής Rice με τη βοήθεια του κυκλώματος προσομοίωσης

3.5 Η Ρ.Δ.Φ. ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ RICE ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ K

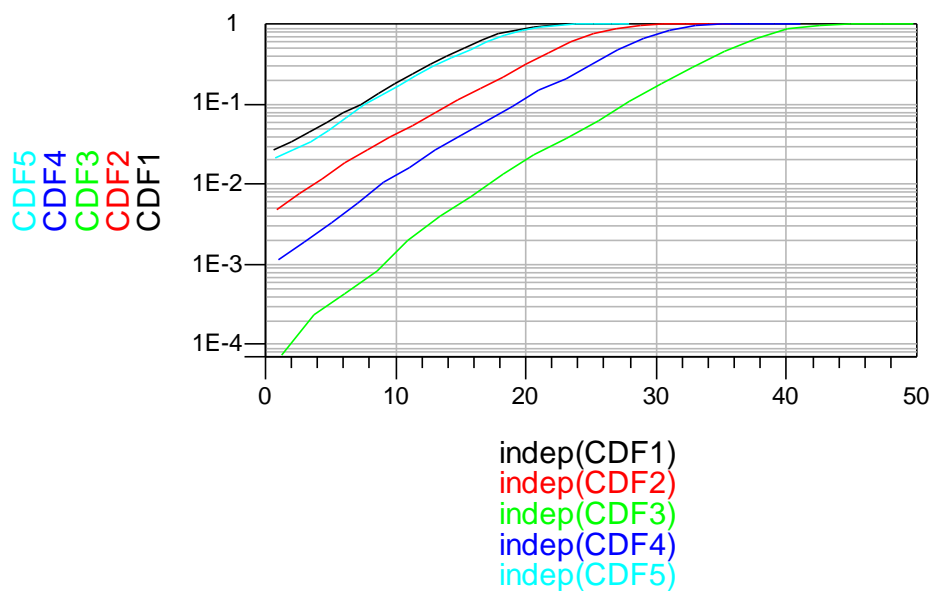
Με τη βοήθεια του κυκλώματος που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.18 θα μελετήσουμε τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f.) της κατανομής Rice που ακολουθούν 5 διαφορετικά κανάλια διάδοσης User_Defined για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου k . Κάθε ένα από τα 5 κανάλια διάδοσης αποτελείται από 6 διαδρομές με ίσες σχετικές καθυστερήσεις. Η διαφορά ανάμεσα στα 5 κανάλια διάδοσης βρίσκεται στο πλάτος της πρώτης διαδρομής (AmpArray) που καταφθάνει σε χρόνο μηδέν και τίθεται αντίστοιχα ίσο με 1, 2, 8, 15 και 40. Το πλάτος των υπολοίπων διαδρομών (2 έως 6) τίθεται ίσο με 1 και για τα 5 κανάλια διάδοσης. Με τον τρόπο αυτό μοντελοποιούμε κανάλια διάδοσης που ακολουθούν την κατανομή Rice για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου k και σταθερή συνολική ισχύ. Η παράμετρος k της κατανομής Rice εκφράζει το λόγο της ισχύς των συνιστωσών από απευθείας διάδοση (LOS) προς την ισχύ των συνιστωσών που διαδίδονται με μη οπτική επαφή (NLOS). Μεταβάλλοντας λοιπόν το πλάτος της πρώτης διαδρομής (LOS συνιστώσα) των 5 καναλιών διάδοσης User_Defined μεταβάλλουμε και την παράμετρο k της κατανομής Rice.



Σχήμα 3.19 Κύκλωμα προσομοίωσης για την μελέτη της κατανομής που ακολουθούν 5 κανάλια διάδοσης User_Defined.



Σχήμα 3.20 Η p.d.f. της κατανομής Rice για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου k .

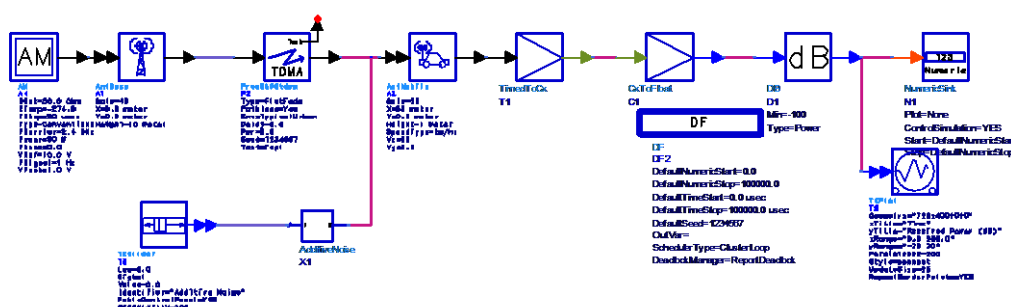


Σχήμα 3.21 Η c.d.f. της κατανομής Rice για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου k .

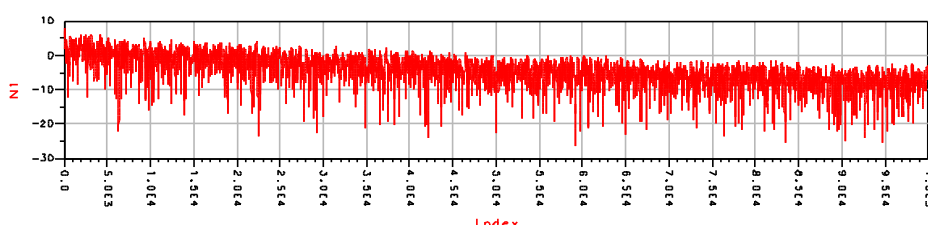
Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f.) της κατανομής Rice για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου k δίνεται στο Σχήμα 3.20. Στο Σχήμα 3.21 παρουσιάζεται η αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας (c.d.f.) της κατανομής Rice.

3.6 ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ RAYLEIGH ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΛΕΥΚΟΥ ΓΚΑΟΥΣΙΑΝΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Στην παρούσα προσομοίωση λευκός προσθετικός Γκαουσιανός θόρυβος (additive white Gaoussian noise, AWGN) προστίθεται στον πολλαπλασιαστικό θόρυβο (Rayleigh fading). Η πηγή AM παράγει ένα συνεχές κύμα (CW) το οποίο μεταδίδεται μέσω του καναλιού διάδοσης TDMA. Οι συνέπειες της απώλειας διαδρομής (pathloss) για αστικό περιβάλλον, του προσθετικού θορύβου και του πολλαπλασιαστικού θορύβου λαμβάνονται υπόψη στο συγκεκριμένο σχέδιο. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι η απώλεια διαδρομής αυξάνεται καθώς ο κινητός σταθμός απομακρύνεται από το σταθμό βάσης. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την συνεχή μείωση της στάθμης του λαμβανόμενου σήματος καθώς εξελίσσεται η προσομοίωση .



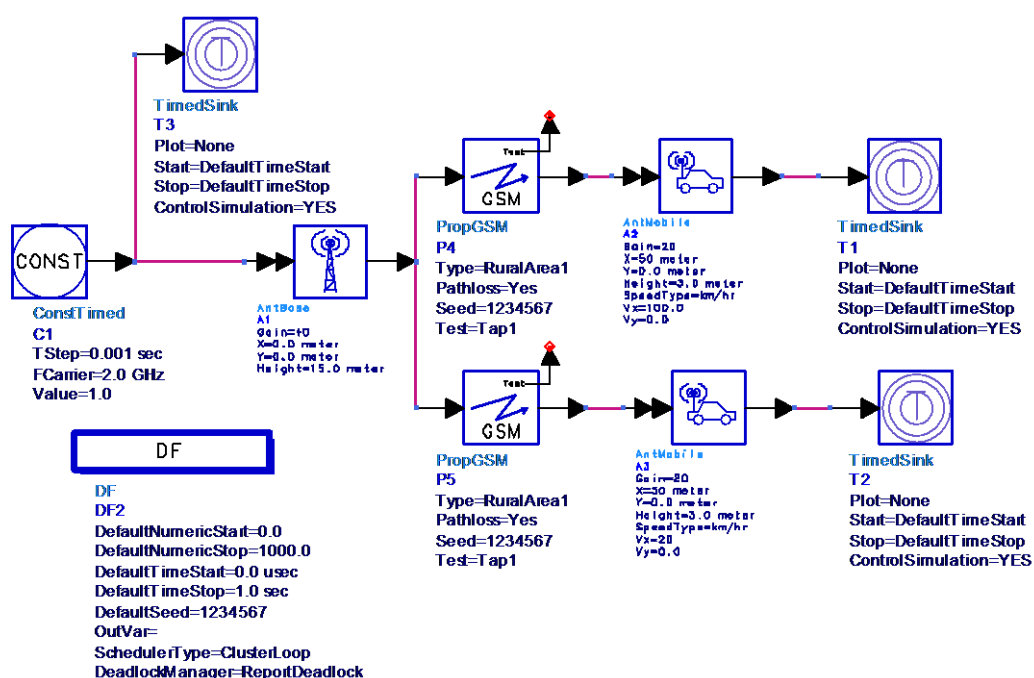
Σχήμα 3.22 Κύκλωμα προσομοίωσης των διαλείψεων Rayleigh με την προσθήκη λευκού γκαουσιανού θορύβου.



Σχήμα 3.23 Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος σε dB ως αποτέλεσμα της απώλειας διαδρομής, του προσθετικού θορύβου και των διαλείψεων Rayleigh.

3.7 ΔΙΑΣΠΟΡΑ DOPPLER ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΝΟΧΗΣ

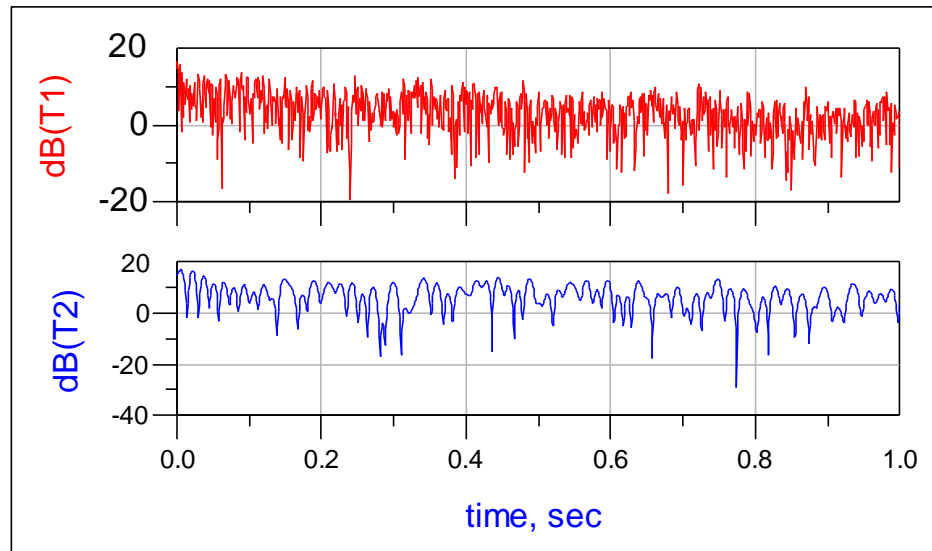
Στο Σχήμα 3.24 μελετάται η χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού διάδοσης καθώς και η διασπορά Doppler. Η πηγή συνημιτόνου παράγει ένα σήμα διαμορφωμένο στα 2.0 GHz που μεταδίδεται από το κοινό σταθμό βάσης προς τους κινητούς σταθμούς μέσω δύο όμοιων πολύδων καναλιών GSM. Δηλαδή χρησιμοποιούμε ένα σήμα στενής ζώνης. Οι δύο κινητοί σταθμοί βρίσκονται σε ίση απόσταση από τον κεντρικό σταθμό βάσης ωστόσο κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες (100 και 20 Km/h αντίστοιχα). Ο χρόνος προσομοίωσης λαμβάνεται ίσος με 1 sec ενώ το βήμα προσομοίωσης (TStep) είναι ίσο με 0.001 sec. Έτσι προκύπτουν 1001 σημεία προσομοίωσης. Η χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά των δύο καναλιών διάδοσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.25. Είναι προφανές ότι στην περίπτωση του δέκτη που κινείται με 100 km/h ο ρυθμός μεταβολής του καναλιού είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό μεταβολής του καναλιού ο δέκτη του οποίου κινείται με 20 km/h. Επίσης, μέσω του Σχήματος 3.25 παρατηρούμε τους χρόνους συνοχής των δύο καναλιών διάδοσης. Η χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά είναι δυνατόν να μελετηθεί και στο πεδίο της συχνότητας (μετατόπιση Doppler). Μέσω του μετασχηματισμού Fourier μεταφερόμαστε από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας.



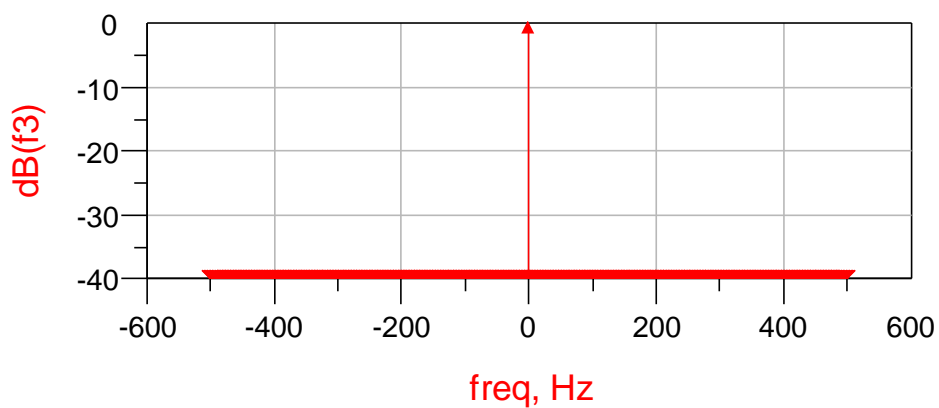
Σχήμα 3.24 Κύκλωμα προσομοίωσης φαινομένου Doppler.

Το φάσμα του εκπεμπόμενου σήματος αποτελείται από μια φασματική συνιστώσα όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.26. Από την άλλη μεριά το φάσμα του λαμβανόμενου σήματος, εξαιτίας του φαινομένου Doppler, θα αποτελείται από περισσότε-

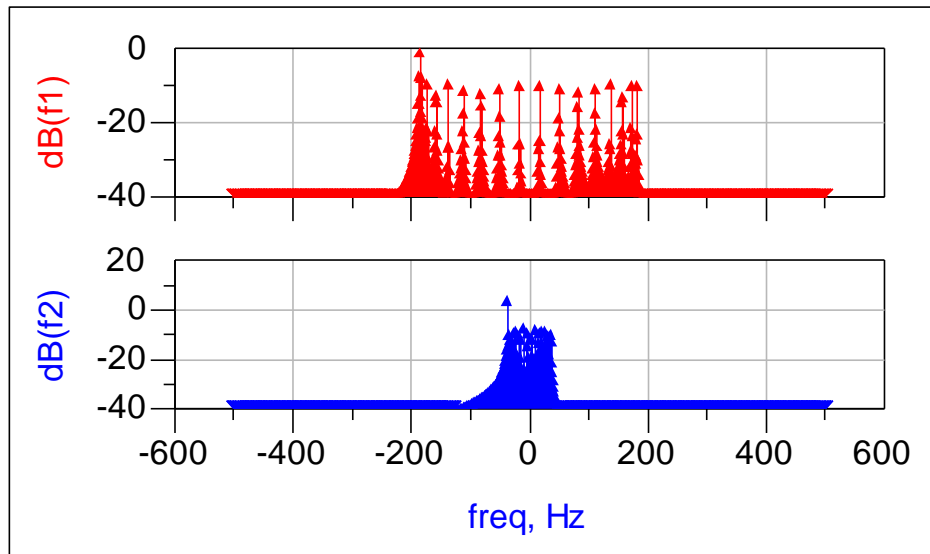
ρες φασματικές συνιστώσες (θα είναι περισσότερο απλωμένο) Σχήμα 3.27. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως διασπορά Doppler.



Σχήμα 3.25 Χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά των δύο καναλιών διάδοσης για κινητούς δέκτες με ταχύτητες 100 και 20 km/h.



Σχήμα 3.26 Φάσμα του εκπεμπόμενου σήματος.



Σχήμα 3.27 Φάσμα λήψης για δέκτες που κινούνται με ταχύτητες 100 και 20 km/h.

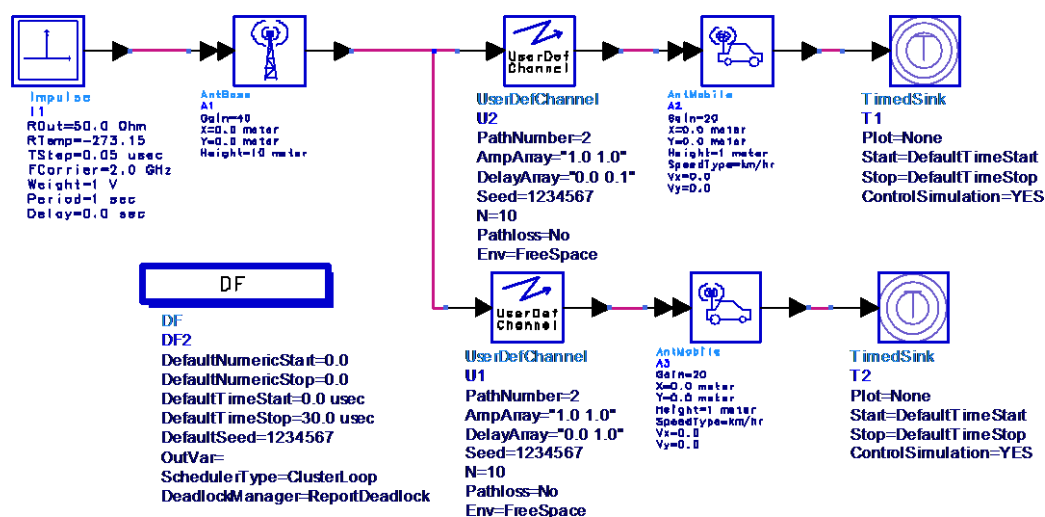
Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από το Σχήμα 3.27, όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του κινητού σταθμού τόσο πιο απλωμένο είναι το λαμβανόμενο φάσμα σε σχέση με το μεταδιδόμενο. Το ακριβές σχήμα του προκύπτοντος φάσματος εξαρτάται από τα σχετικά πλάτη και τις σχετικές κατευθύνσεις καθενός από τα αφικνούμενα κύματα, αλλά το συνολικό εύρος του φάσματος καλείται εύρος ζώνης Doppler (Doppler bandwidth).

3.8 ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ

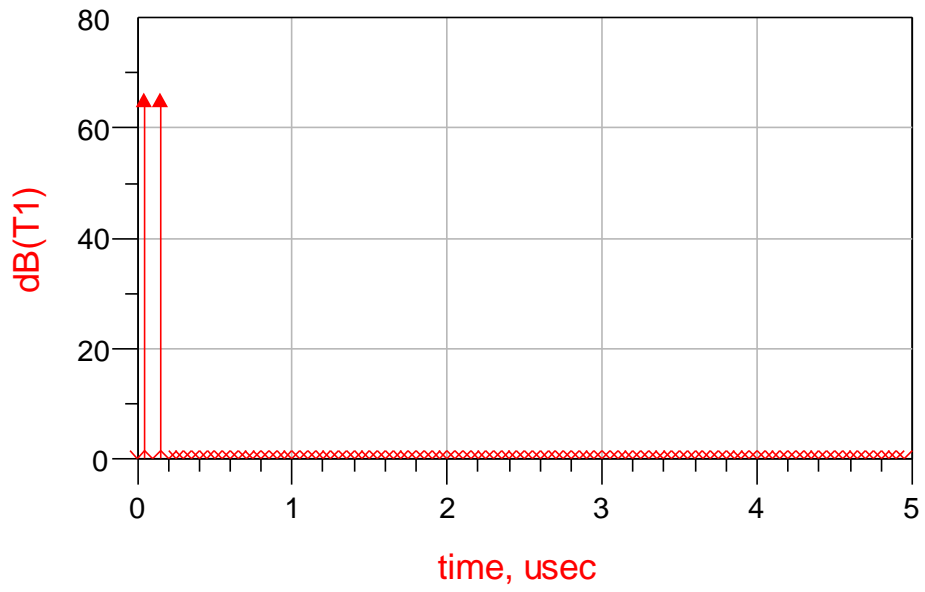
Στην προσομοίωση που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.28 μελετάται η χρονική διασπορά καθυστέρησης και κατά επέκταση το εύρος ζώνης συμφωνίας δυο διαφορετικών γενικών καναλιών διάδοσης (User_Defined). Ως σήμα εισόδου στο σταθμό βάσης (AntBase) χρησιμοποιείται ένας κρουστικός παλμός (impulse) με φέρουσα στα 2.0 GHz. Δηλαδή χρησιμοποιείται ένα σήμα ευρείας ζώνης. Ο σταθμός βάσης, που είναι κοινός για τα δύο κανάλια, τοποθετείται στην αρχή των αξόνων X, Y, και ενισχύει το σήμα εισόδου κατά 40 dB ενώ η κεραία του βρίσκεται σε ύψος 10 μέτρων. Οι κινητοί σταθμοί (AntMobile), από την άλλη μεριά, ενισχύουν το λαμβανόμενο σήμα κατά 20 dB, το ύψος των κεραιών τους είναι ίσο με 3 μέτρα ενώ η ταχύτητα τους τίθεται ίση με μηδέν αφού στη συγκεκριμένη προσομοίωση δεν μας ενδιαφέρει η χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού λόγω κίνησης (φαινόμενο

Doppler) αλλά η διασπορά καθυστέρηση του καναλιού (συνάρτηση μεταφοράς του καναλιού-εύρος ζώνης συμφωνίας).

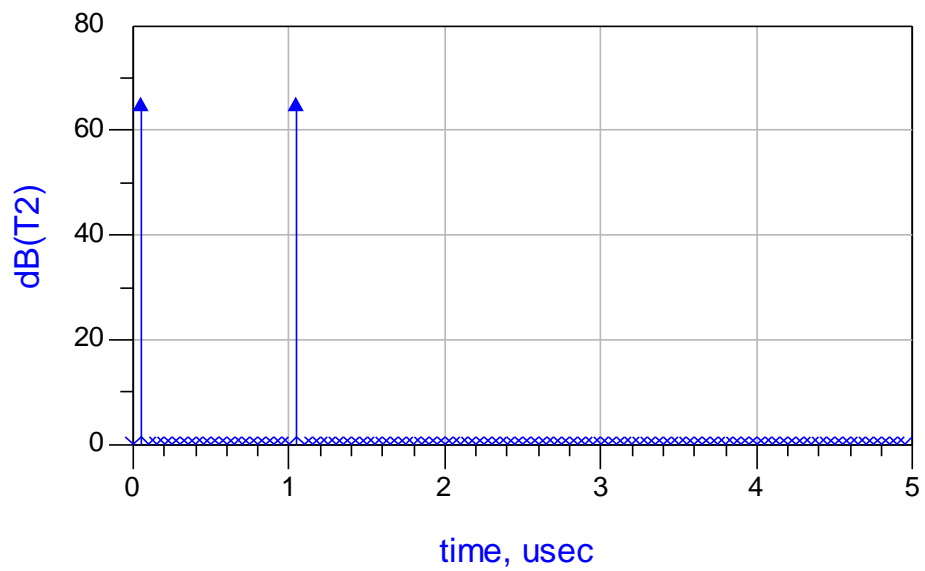
Το πρώτο γενικό κανάλι διάδοσης περιλαμβάνει δυο διαδρομές (Paths) με ίσα πλάτη. Η σχετική καθυστέρηση (relative delay) ανάμεσα στις δυο διαδρομές είναι ίση με 0.1 μ s. Το προφίλ καθυστέρησης ισχύος του πρώτου καναλιού δίνεται στο Σχήμα 3.29. Το δεύτερο γενικό κανάλι διάδοσης αποτελείται επίσης από δυο διαδρομές με ίσα πλάτη ωστόσο η σχετική καθυστέρηση ανάμεσα στην πρώτη και στη δεύτερη διαδρομή είναι ίση με 1 μ s. Το προφίλ καθυστέρησης ισχύος του δεύτερου καναλιού δίνεται στο Σχήμα 3.30.



Σχήμα 3.28 Κύκλωμα προσομοίωσης των δυο διαφορετικών καναλιών.

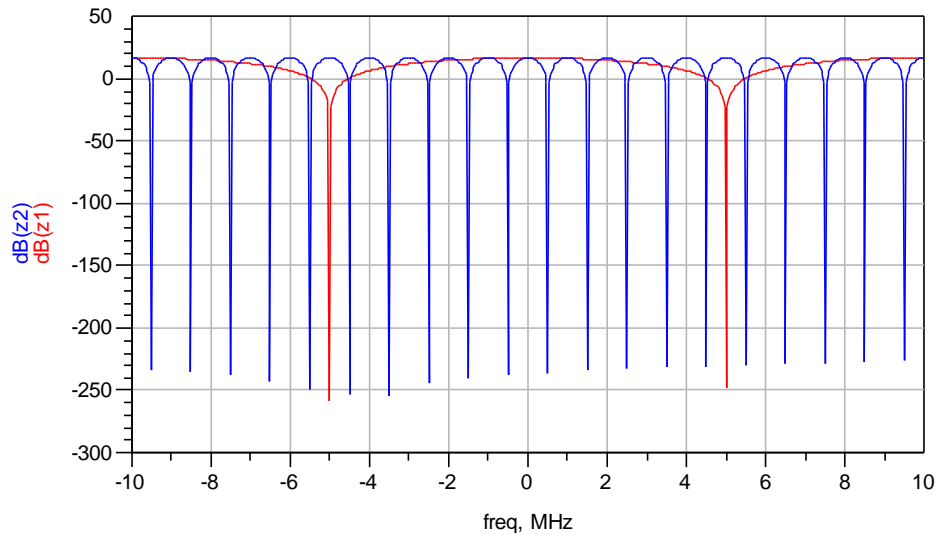


Σχήμα 3.29 Προφίλ καθυστέρησης ισχύος του πρώτου καναλιού με $\tau_2 - \tau_1 = 0.1 \mu\text{s}$.



Σχήμα 3.30 Προφίλ καθυστέρησης ισχύος του δεύτερου καναλιού με $\tau_2 - \tau_1 = 1 \mu\text{s}$.

Χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό Fourier προκύπτουν οι συναρτήσεις μεταφοράς των δύο καναλιών Σχήμα 3.31.



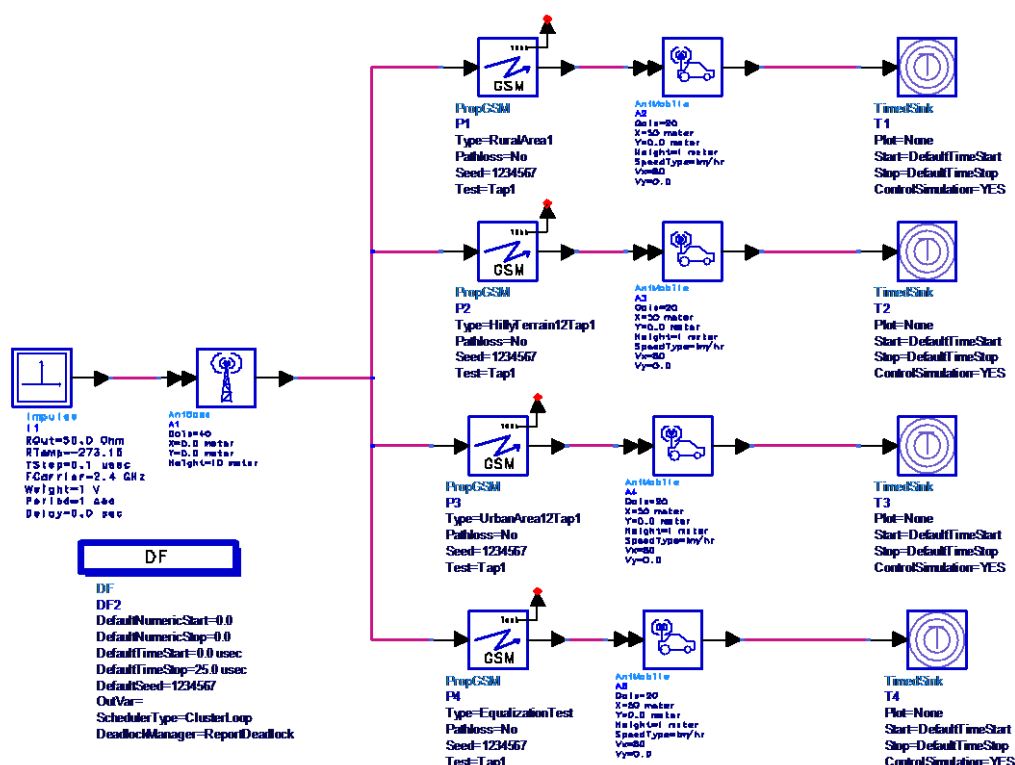
Σχήμα 3.31 Οι συναρτήσεις μεταφοράς των καναλιών δύο διαδρομών με σχετική καθυστέρηση 0.1 μs και 1.0 μs αντίστοιχα.

Όπως γίνεται αντιληπτό, όταν η διαφορά καθυστέρησης διαδρομής είναι $\tau_2 - \tau_1 = 0.1 \mu s$, οι δύο διαδρομές αλληλοεξουδετερώνονται για τις συχνότητες που αντιστοιχούν σε πολλαπλάσια των 10 MHz. Ένα σήμα εκπομπής με ένα εύρος ζώνης, έστω, 1 MHz θα υφίσταται βασικά μια σταθερή εξασθένηση, δηλαδή όλες οι συχνότητες στο σήμα λήψης θα επηρεάζονται με τον ίδιο τρόπο από το κανάλι, και το κανάλι μπορεί να θεωρηθεί ως στενής ζώνης. Ωστόσο όταν η διαφορά καθυστέρησης διαδρομής είναι $\tau_2 - \tau_1 = 1 \mu s$, το πλάτος του καναλιού μεταβάλλεται σημαντικά κατά μήκος του εύρους ζώνης του σήματος και το κανάλι μπορεί να θεωρηθεί ως ευρείας ζώνης.

3.9 ΤΥΠΙΚΑ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Στην συγκεκριμένη παράγραφο μελετούνται τα τυπικά προφίλ καθυστέρησης ισχύος δύο διαφορετικών μοντέλων καναλιών. Τα δύο αυτά μοντέλα καναλιών που είναι διαθέσιμα στο ADS (Παράρτημα) είναι το κανάλι διάδοσης GSM και το γενικό κανάλι διάδοσης (User_Defined).

3.9.1 ΤΥΠΙΚΑ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΔΙΑΔΟΣΗΣ GSM



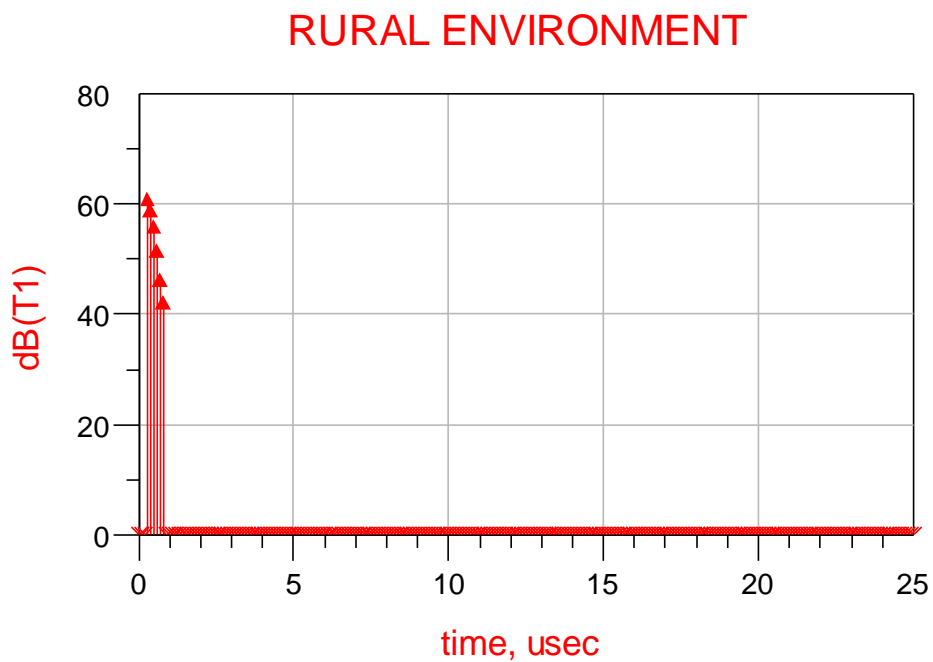
Σχήμα 3.32 Κύκλωμα προσομοίωσης των προφίλ καθυστέρησης ισχύος τεσσάρων καναλιών διάδοσης GSM.

Στο κύκλωμα προσομοίωσης του Σχήματος 3.32 εξετάζονται τα προφίλ καθυστέρησης ισχύος τεσσάρων διαφορετικών τυποποιημένων καναλιών GSM χρησιμοποιώντας έναν κρουστικό παλμό στα 2.4 GHz (σήμα ευρείας ζώνης). Τα τέσσερα διαφορετικά κανάλια που θα χρησιμοποιήσουμε, από τα 12 που είναι διαθέσιμα στο GSM, είναι: ένα κανάλι αγροτικού περιβάλλοντος 6 διαδρομών, ένα κανάλι αστικού περιβάλλοντος 12 διαδρομών, ένα κανάλι ορεινού περιβάλλοντος 12 διαδρομών και τέλος ένα κανάλι 6 διαδρομών με την ονομασία EqualizerTest. Τα τρία πρώτα κανάλια αντιπροσωπεύουν πραγματικά περιβάλλοντα διάδοσης ενώ το τελευταίο κανάλι είναι ειδικά σχεδιασμένο για τον έλεγχο ενός ισοσταθμιστή (Equalizer) για τη μείωση των συνεπειών της ISI. Η επιλογή του κατάλληλου καναλιού για συγκεκριμένο περιβάλλον γίνεται μέσω της παραμέτρου Type του καναλιού διάδοσης PropGSM. Η κεραία εκπομπής είναι κοινή ενώ οι τέσσερις σταθμοί λήψης που βρίσκονται σε ίση απόσταση από τον σταθμό βάσης, παρέχουν την ίδια ενίσχυση και κινούνται με την ίδια ταχύτητα. Ο χρόνος προσομοίωσης τίθεται στα 25 μs έτσι ώστε να είμαστε σίγουροι ότι θα συμπεριληφθούν όλες οι πολύοδες συνιστώσες ακόμα και εκείνες που παρουσιάζουν μεγάλη καθυστέρηση. Επίσης το βήμα της προσομοίωσης (TimeStep) επιλέγεται ίσο με 0.1 μs έτσι ώστε να διακρίνουμε όλες τις συνιστώσες ακόμα και

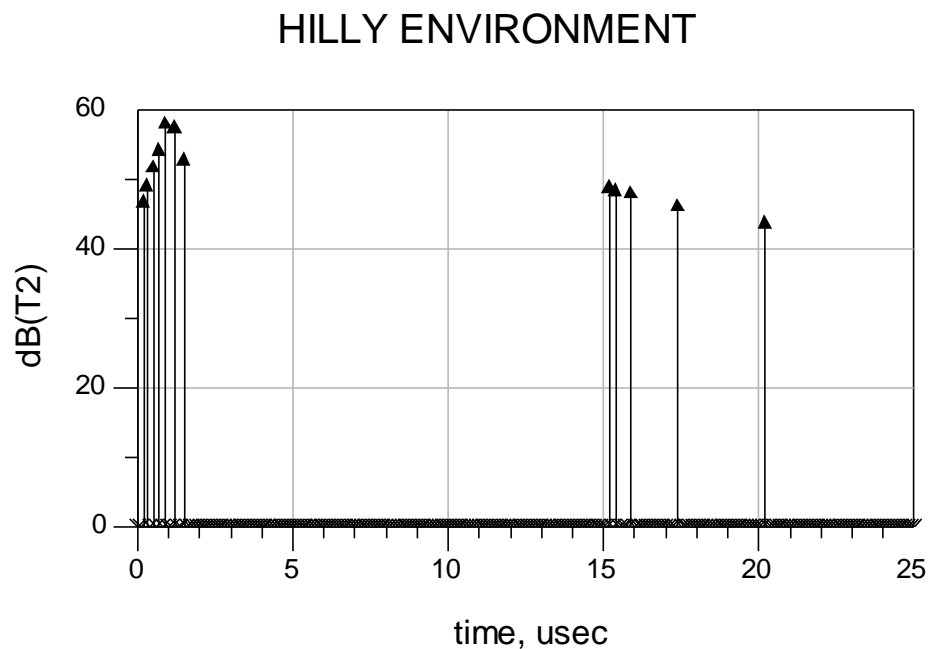
εκείνες που καταφθάνουν στο δέκτη με πολύ μικρή χρονική διαφορά. Η απώλεια διαδρομής δεν λαμβάνεται υπόψη στην παρούσα προσομοίωση (Pathloss=No). Εάν επιλέξουμε κάποια απώλεια διαδρομής τότε κάθε πολύοδη συνιστώσα θα υποστεί την ίδια εξασθένηση.

Η κρουστική απόκριση των τεσσάρων πολύοδων καναλιών διάδοσης παρουσιάζεται στα Σχήματα 3.33 έως 3.36. Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό μελετώντας τα συγκεκριμένα σχήματα το αγροτικό περιβάλλον είναι το λιγότερο εχθρικό σε αντίθεση με το ορεινό και το αστικό περιβάλλον που είναι παραδείγματα καναλιών διάδοσης με μεγαλύτερη διασπορά. Η απόκριση του καναλιού που δοκιμάζει των ισοσταθμιστή (EqualizerTest) είναι η χειρότερη από οποιοδήποτε άλλο πρακτικό κανάλι.

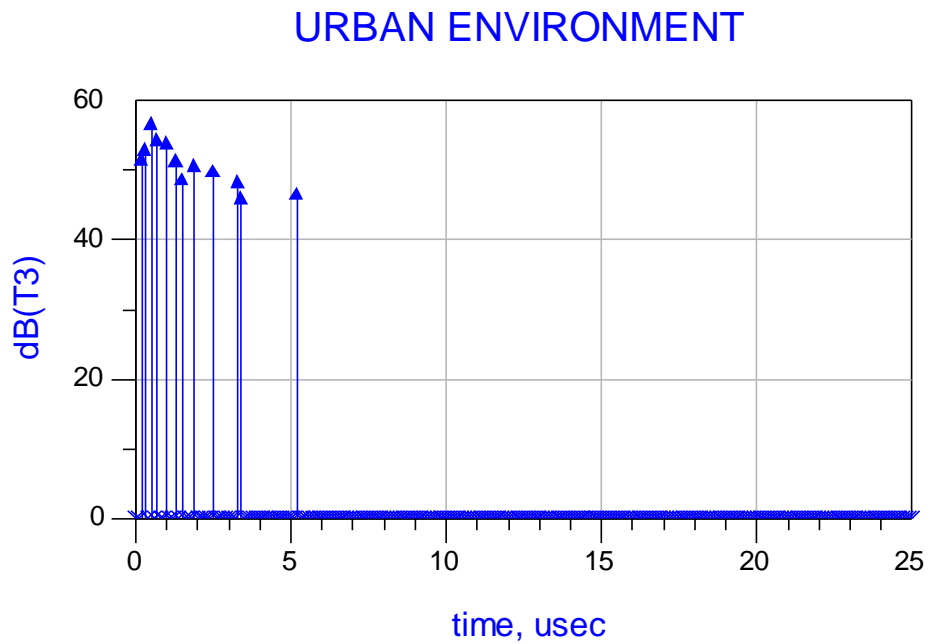
Στην περίπτωση του καναλιού αστικής περιοχής η πρώτη συνιστώσα που φθάνει στο δέκτη με μηδενική καθυστέρηση θεωρούμε ότι ακολουθεί την κατανομή Rice, αφού η πρώτη συνιστώσα προέρχεται συνήθως από μια διαδρομή οπτικής επαφής LOS. Η διασπορά καθυστέρησης είναι μικρή σε σύγκριση με τη διάρκεια συμβόλου του GSM που είναι ίση 3.7 μ s και συνεπώς το μοντέλου καναλιού της αγροτικής περιοχής μπορεί να θεωρηθεί ως κανάλι στενής ζώνης. Στον αντίποδα τα κανάλια αστικής περιοχής και ορεινής περιοχής παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά καθυστέρησης, που τα κατατάσσει σε κανάλια ευρείας ζώνης, με αποτέλεσμα να παρατηρείται σημαντική ISI. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η χρήση κάποιας μορφής ισοστάθμισης.



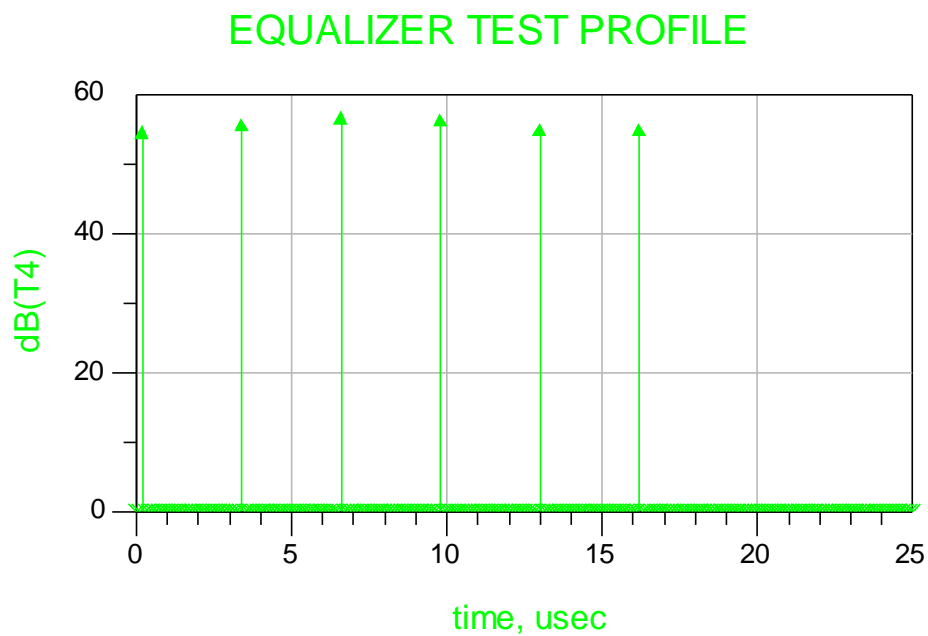
Σχήμα 3.33 Τυπικό προφίλ καθυστέρησης ισχύος καναλιού αγροτικής περιοχής με 6 πολύοδες συνιστώσες για το σύστημα GSM.



Σχήμα 3.34 Τυπικό προφίλ καθυστέρησης ισχύος καναλιού ορεινής περιοχής με 12 πολύοδες συνιστώσες για το σύστημα GSM.



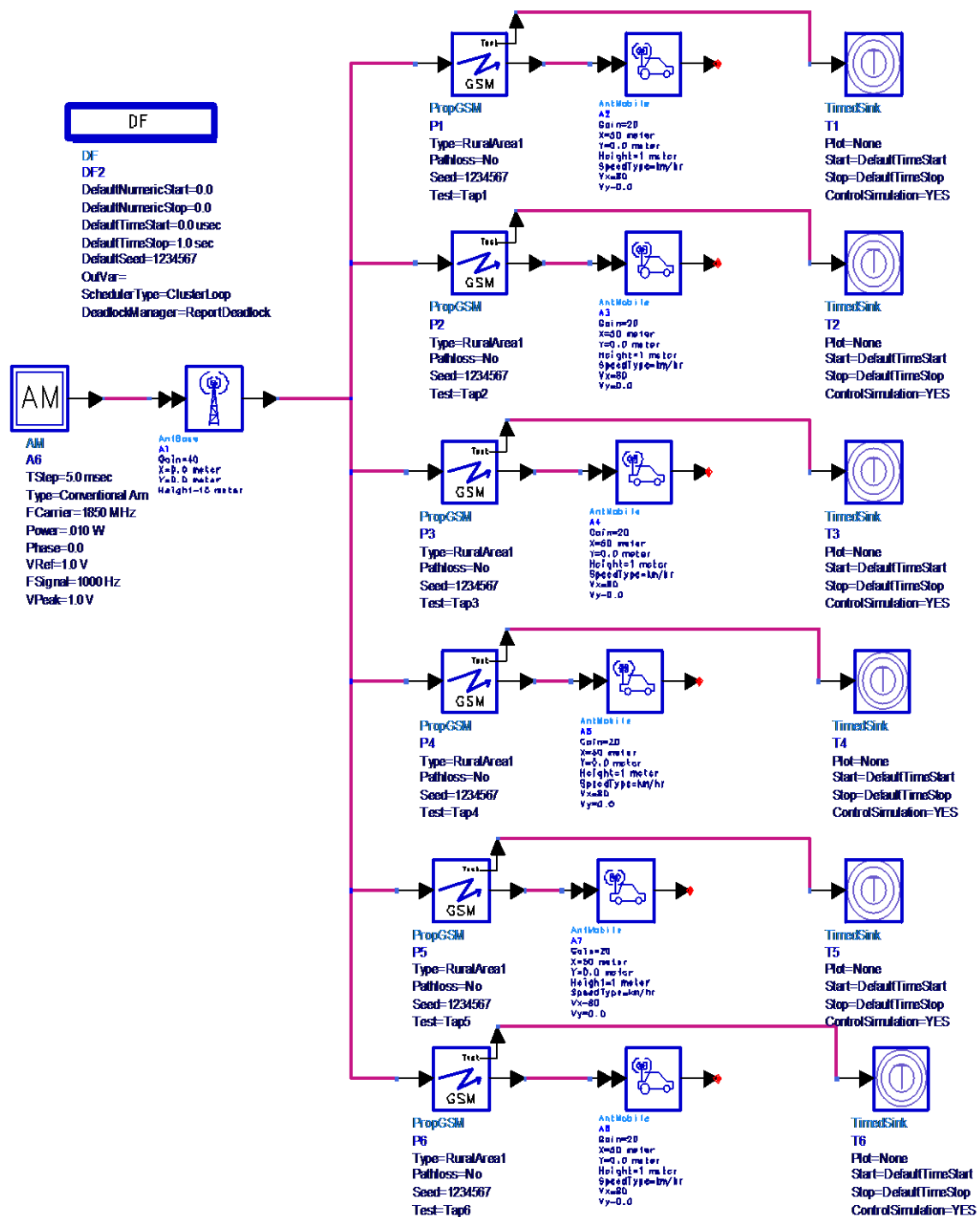
Σχήμα 3.35 Τυπικό προφίλ καθυστέρησης ισχύος καναλιού αστικής περιοχής με 12 πολύοδες συνιστώσες για το σύστημα GSM.



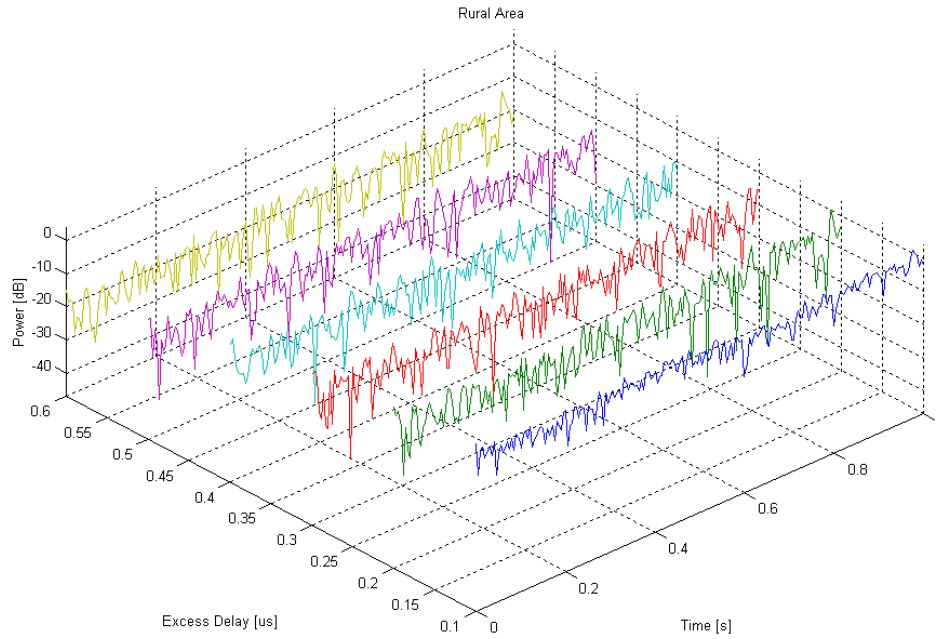
Σχήμα 3.36 Τυπικό προφίλ καθυστέρησης ισχύος του καναλιού διάδοσης που δοκιμάζει τον ισοσταθμιστή για το σύστημα GSM.

Παράλληλα με το προφίλ καθυστέρησης ισχύος που παρουσιάζει κάποιο κανάλι (κρουστική απόκριση καναλιού) υπάρχει η δυνατότητα να μελετήσουμε ταυτόχρονα και τη χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά κάθε μιας πολύοδης συνιστώσας του καναλιού διάδοσης.

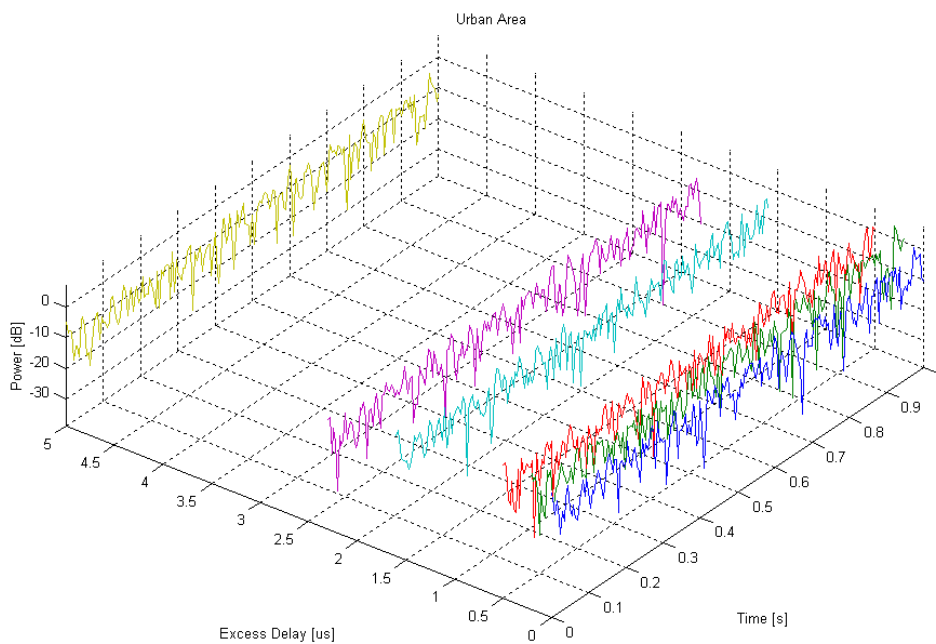
Αυτό είναι δυνατόν να γίνει με τη βοήθεια του κυκλώματος προσομοίωσης του Σχήματος 3.37 και μπορούμε να μελετήσουμε ξεχωριστά τη χρονική συμπεριφορά κάθε μιας συνιστώσας (tap) από τις 6 που συνιστούν το συγκεκριμένο κανάλι αγροτικής περιοχής. Σε αντίθεση με την κανονική έξοδο του καναλιού διάδοσης GSM, όπου το σήμα εξόδου είναι υπέρθεση και των 6 συνιστωσών, η έξοδος Test μας δίνει τη δυνατότητα να μελετήσουμε ξεχωριστά τη χρονική συμπεριφορά κάθε μιας πολύοδης συνιστώσας. Η επιλογή της κάθε μιας συνιστώσας γίνεται μέσω της παραμέτρου Test του καναλιού διάδοσης GSM. Αν για παράδειγμα επιλέξουμε Test=Tap1 τότε στην έξοδο Test θα πάρουμε τη χρονική συμπεριφορά της πρώτης συνιστώσας του καναλιού διάδοσης. Στην προκειμένη περίπτωση καναλιού αγροτικής περιοχής έχουμε 6 συνιστώσες οπότε θα έχουμε και 6 διαφορετικές επιλογές για την παράμετρο Test. Γνωρίζοντας τη χρονική συμπεριφορά κάθε μιας συνιστώσα για 1 sec, που είναι ο χρόνος προσομοίωσης του κυκλώματος, και θέτοντας τις κατάλληλες σχετικές χρονικές καθυστερήσεις (relative delay) των 6 συνιστωσών του καναλιού διάδοσης αγροτικής περιοχής προκύπτει η χρονικά μεταβαλλόμενη απόκριση του Σχήματος 3.38. Όπως ήταν αναμενόμενο η συνιστώσα που καταφθάνει πρώτη στο δέκτη ακολουθεί την κατανομή Rice (περίπτωση LOS) σε αντίθεση με τις υπόλοιπες 5 συνιστώσες που καταφθάνουν με καθυστέρηση και ακολουθούν την κατανομή Rayleigh (περιπτώσεις NLOS). Με τον ίδιο τρόπο που προκύπτει η χρονικά μεταβαλλόμενη κρουστική απόκριση του καναλιού αγροτικού περιβάλλοντος μπορεί να προκύψει και η χρονικά μεταβαλλόμενη κρουστική απόκριση του καναλιού αστικής περιοχής 6 συνιστωσών, Σχήμα 3.39. Η διασπορά είναι μεγαλύτερη από το κανάλι αγροτικής περιοχής και κάθε συνιστώσα ακολουθεί την κατανομή Rayleigh (περιπτώσεις NLOS). Γενικότερα, οποιοδήποτε κανάλι πολύοδης διάδοσης είναι δυνατόν να αναπαρασταθεί με τον τρόπο που περιγράφεται παραπάνω αρκεί να γνωρίζουμε τη χρονική μεταβαλλόμενη συμπεριφορά των πολύοδων συνιστωσών του καθώς και τη σχετική τους καθυστέρηση (relative delay).



Σχήμα 3.37 Κύκλωμα προσομοίωσης της χρονικής συμπεριφοράς των 6 συνιστωσών ενός καναλιού αγροτικής περιοχής του συστήματος GSM.



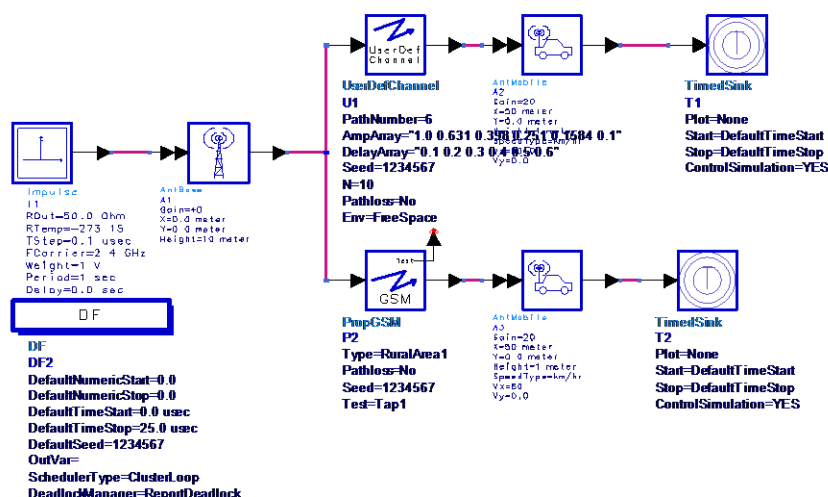
Σχήμα 3.38 Η χρονικά μεταβαλλόμενη κρουστική απόκριση ενός καναλιού αγροτικής περιοχής 6 συνιστωσών για το σύστημα GSM.



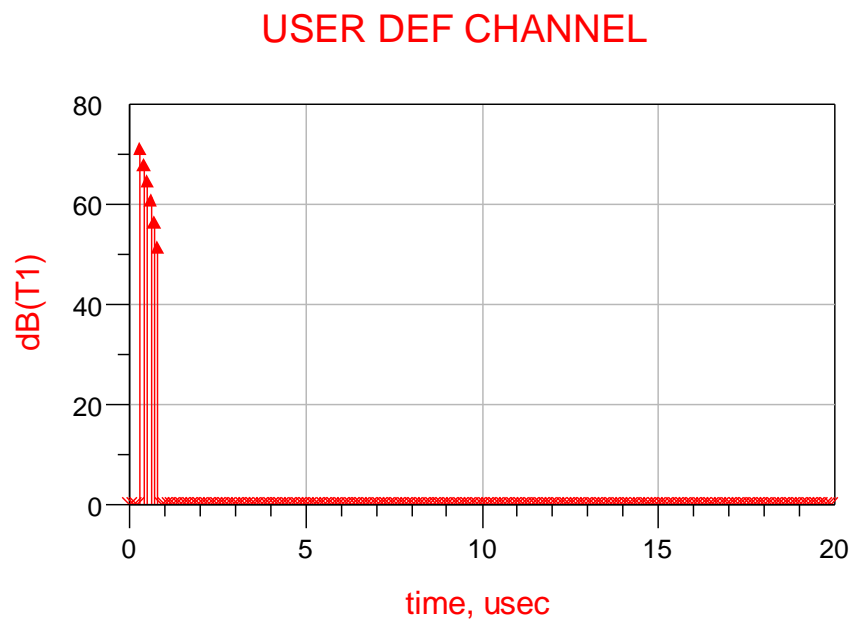
Σχήμα 3.39 Η χρονικά μεταβαλλόμενη κρουστική απόκριση ενός καναλιού αστικής περιοχής 6 συνιστωσών για το σύστημα GSM.

3.9.2 ΤΥΠΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

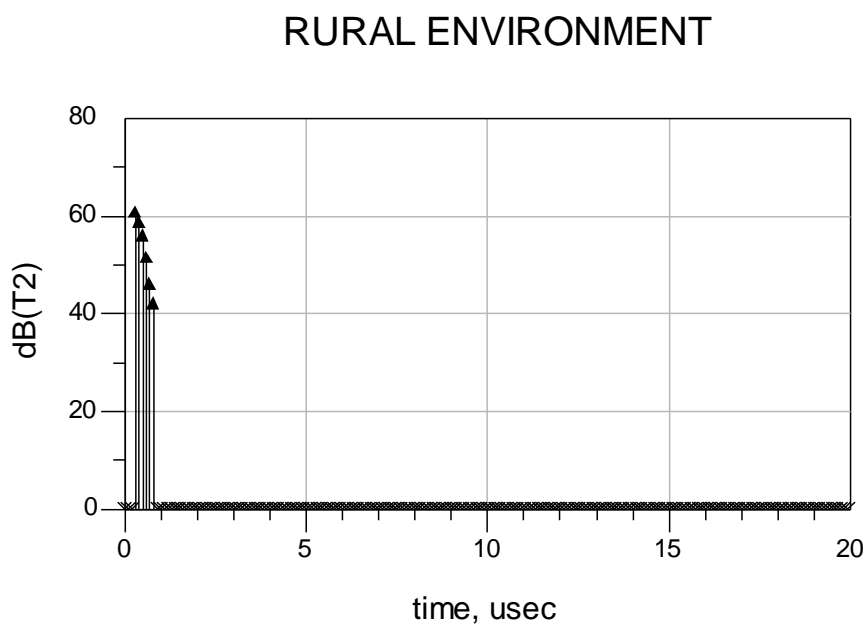
Όπως έχει ήδη τονιστεί το γενικό κανάλι διάδοσης (User_Defined) αποτελεί μια ιδιαίτερα σημαντική περίπτωση καναλιού αφού μας επιτρέπει, μέσω κατάλληλης επιλογής των παραμέτρων του, να μοντελοποιήσουμε οποιοδήποτε κανάλι διάδοσης. Μέσω των παραμέτρων του καναλιού διάδοσης User_Defined μπορούμε να επιλέξουμε τον αριθμό των διαδρομών (PathNumber), το πλάτος κάθε διαδρομής (AmpArray) καθώς και τη σχετική καθυστέρηση κάθε διαδρομής (DelayArray). Επίσης έχουμε τη δυνατότητα να συνυπολογίσουμε και την μεγάλης κλίμακας απώλεια διαδρομής μέσω των παραμέτρων Pathloss και Env. Στο κύκλωμα προσομοίωσης του Σχήματος 3.40 συγκρίνουμε τα προφίλ καθυστέρηση ισχύος ενός γενικού καναλιού διάδοσης (User_Defined) και ενός καναλιού διάδοσης αγροτικής περιοχής του συστήματος GSM. Το σήμα που εκπέμπεται από τον κοινό σταθμό βάσης είναι ένας κρουστικός παλμός στα 2.4 GHz ενώ οι δύο κινητοί σταθμοί λήψης βρίσκονται σε ίση απόσταση από τον σταθμό εκπομπής, παρέχουν την ίδια ενίσχυση και κινούνται με ίσες ταχύτητες. Όπως φαίνεται καθαρά στα Σχήματα 3.41 και 3.42 προκύπτει η ίδια κρουστική απόκριση και για τα δύο κανάλια της παραπάνω προσομοίωσης. Δηλαδή επιλέγοντας κατάλληλα τις παραμέτρους του γενικού καναλιού διάδοσης κατορθώσαμε να έχουμε το ίδιο προφίλ καθυστέρησης ισχύος και για τα δύο κανάλια διάδοσης. Το γενικό κανάλι διάδοσης (User_Defined) μπορούμε να θεωρήσουμε ότι είναι ισοδύναμο με το κανάλι αγροτικής περιοχής του συστήματος GSM. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι το γενικό κανάλι διάδοσης (User_Defined) μπορεί εύκολα να προσομοιώσει οποιοδήποτε κανάλι διάδοσης με κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων του.



Σχήμα 3.40 Κύκλωμα προσομοίωση του προφίλ καθυστέρησης ενός γενικού καναλιού διάδοσης (User_Defined) και ενός καναλιού διάδοσης αγροτικής περιοχής του συστήματος GSM



Σχήμα 3.41 Προφίλ καθυστέρησης ισχύος του γενικού καναλιού διάδοσης (User_Defined)



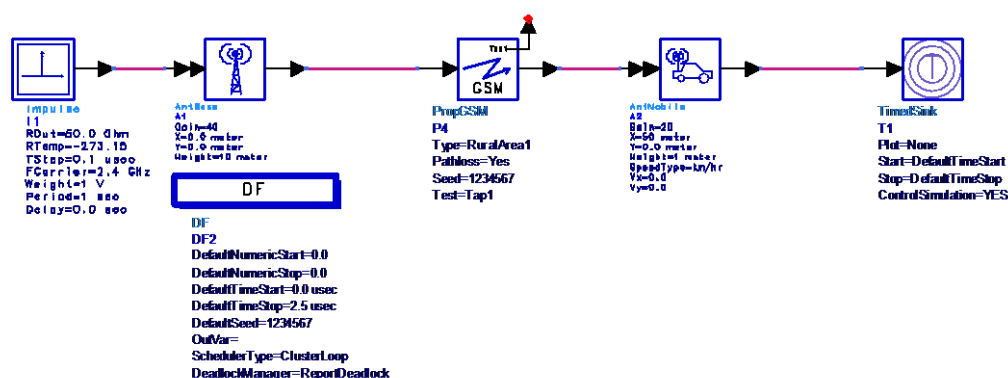
Σχήμα 3.42 Προφίλ καθυστέρησης ισχύος του καναλιού διάδοσης αγροτικής περιοχής του συστήματος GSM.

3.10 ΟΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ BELLO

Όπως έχει ήδη τονιστεί με τη βοήθεια των τεσσάρων συναρτήσεων Bello μπορούμε να περιγράψουμε όλα τα μεγέθη ενός καναλιού διάδοσης. Μέσω των συναρτήσεων Bello μπορούμε να μελετήσουμε και τους δυο μηχανισμούς των διαλείψεων μικρής κλίμακας (χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού και διασπορά καθυστέρησης του καναλιού) τόσο στο πεδίο του χρόνου αλλά όσο και στο πεδίο της συχνότητας. Η χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά όπως είναι γνωστό μπορεί να μελετηθεί τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας, Ομοίως και η χρονική διασπορά του καναλιού. Συνδυάζοντας κατάλληλα τα αποτελέσματα ανά δύο που παίρνουμε από τις παραπάνω μελέτες προκύπτουν οι τέσσερις συναρτήσεις Bello που είναι: η συνάρτηση διασποράς καθυστέρησης εισόδου $h(t, \tau)$, η χρονικά μεταβαλλόμενη συνάρτηση μεταφοράς $T(f, t)$, η συνάρτηση διασποράς καθυστέρησης Doppler $S(\tau, \nu)$ και η συνάρτηση διασποράς Doppler εξόδου $H(f, \nu)$. Στη συνέχεια θα μελετηθούν με τη βοήθεια των συναρτήσεων Bello ένα κανάλι διάδοσης GSM αγροτικής περιοχής και ένα κανάλι διάδοσης GSM αστικής περιοχής. Με παρόμοιο τρόπο είναι δυνατόν να μελετηθεί οποιοδήποτε κανάλι διάδοσης.

3.10.1 ΚΑΝΑΛΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ GSM ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

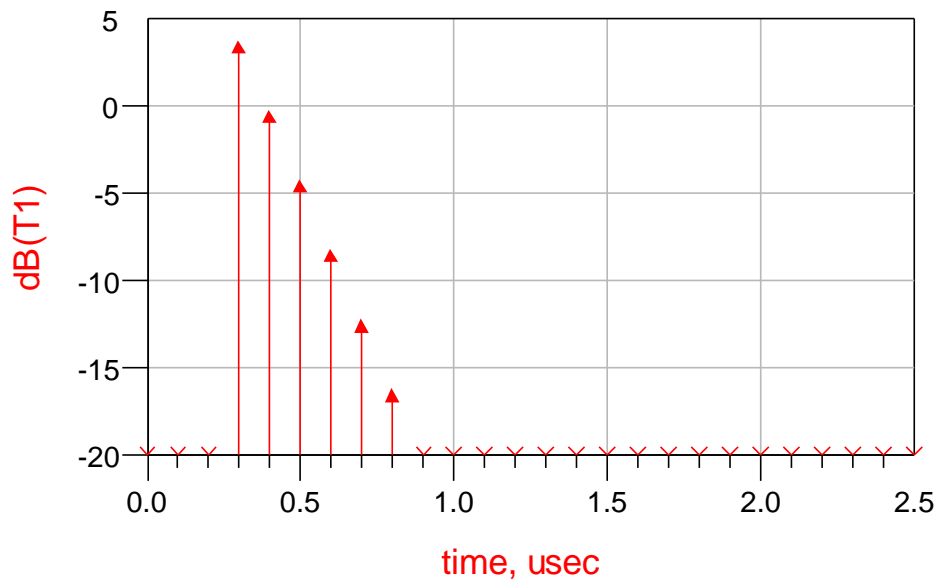
Για να μπορέσουμε να μελετήσουμε το κανάλι διάδοσης GSM αγροτικής περιοχής 6 πολύοδων συνιστωσών με τη βοήθεια των συναρτήσεων Bello είναι απαραίτητο να πραγματοποιήσουμε μέσω του ADS δυο προσομοιώσεις για το συγκεκριμένο κανάλι διάδοσης.



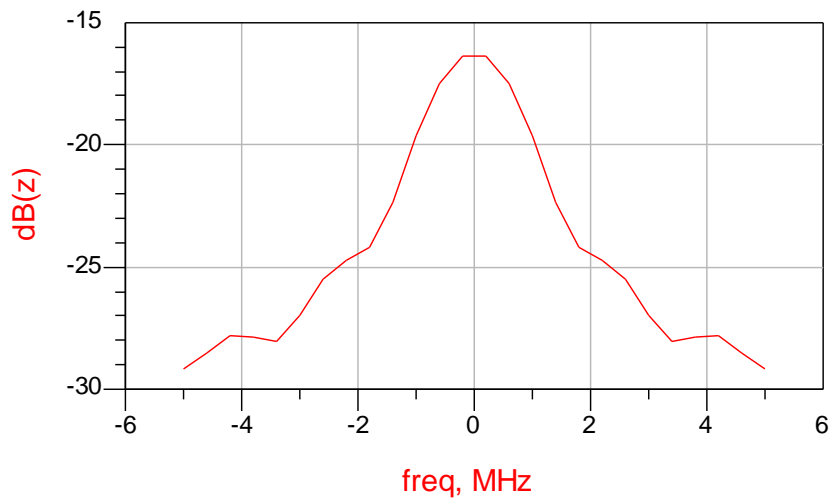
Σχήμα 3.43 Κύκλωμα προσομοίωσης για τη διασπορά καθυστέρησης του καναλιού αγροτικής περιοχής 6 συνιστωσών.

Με την πρώτη προσομοίωση που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.43 μελετάται η διασπορά καθυστέρησης του καναλιού διάδοσης. Σαν είσοδος χρησιμοποιείται ένα σήμα ευρείας ζώνης, δηλαδή ένας κρουστικός παλμός. Ο χρόνος προσομοίωσης λαμ-

βάνεται ίσος με 2.5 μs έτσι ώστε να συμπεριληφθούν όλες οι πολύοδες συνιστώσες ακόμα και εκείνες με τη μεγαλύτερη καθυστέρηση ενώ το βήμα προσομοίωσης λαμβάνεται ίσο με 0.1 μs έτσι ώστε να είναι δυνατός ο διαχωρισμός όλων των πολύοδων συνιστωσών αφού η ελάχιστη απόσταση, για το συγκεκριμένο κανάλι διάδοσης αγροτικής περιοχής, δυο γειτονικών συνιστωσών είναι της τάξης του 0.1 μs . Πραγματοποιώντας την προσομοίωση προκύπτει το προφίλ καθυστέρησης ισχύος του καναλιού διάδοσης GSM αγροτικής περιοχής 6 συνιστωσών που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.44. Χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό Fourier μεταφερόμαστε από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας. Έτσι προκύπτει η συνάρτηση μεταφοράς του καναλιού του συγκεκριμένου καναλιού που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.45 και κατά συνέπεια το εύρος ζώνης συμφωνίας του καναλιού.

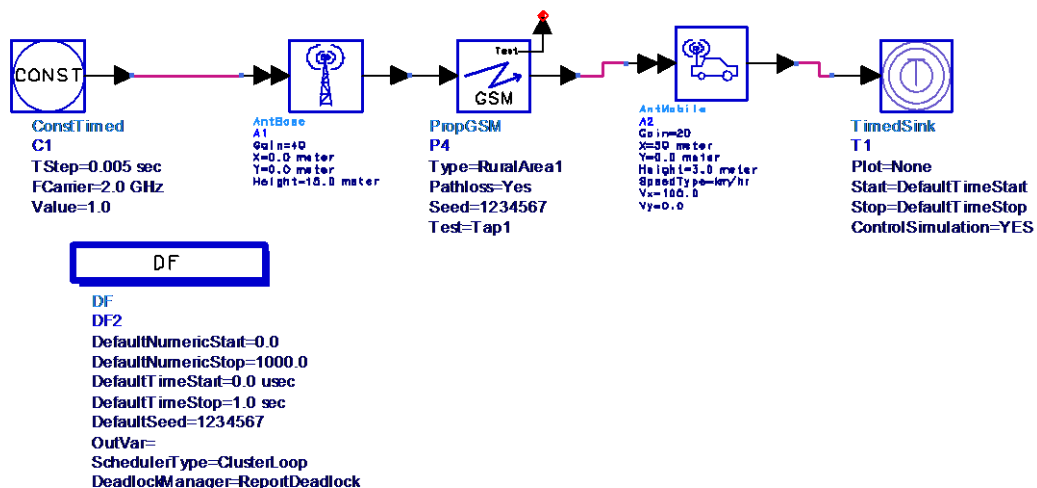


Σχήμα 3.44 Το προφίλ καθυστέρησης ισχύος του καναλιού διάδοσης GSM αγροτικής περιοχής 6 συνιστωσών.

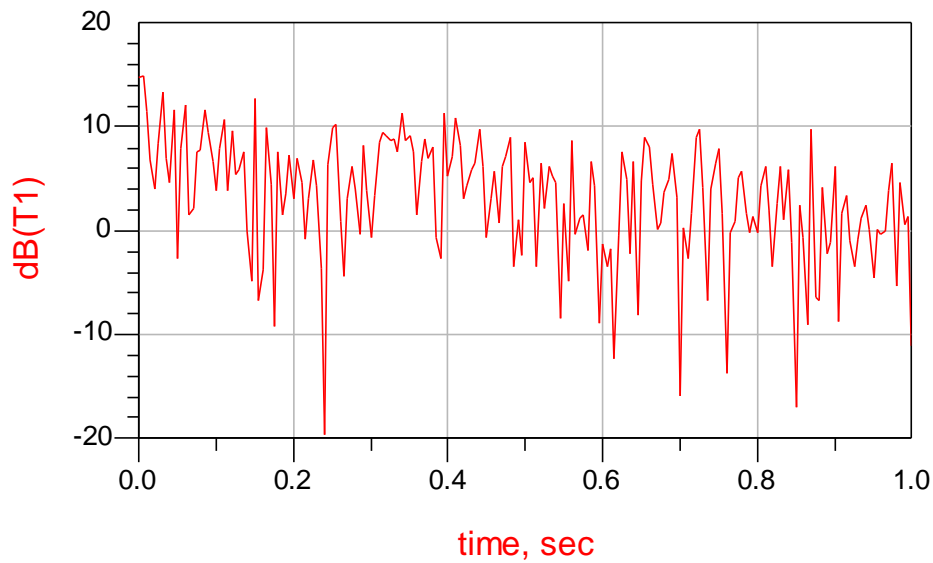


Σχήμα 3.45 Η συνάρτηση μεταφοράς του καναλιού διάδοσης GSM αγροτικής περιοχής 6 συνιστωσών.

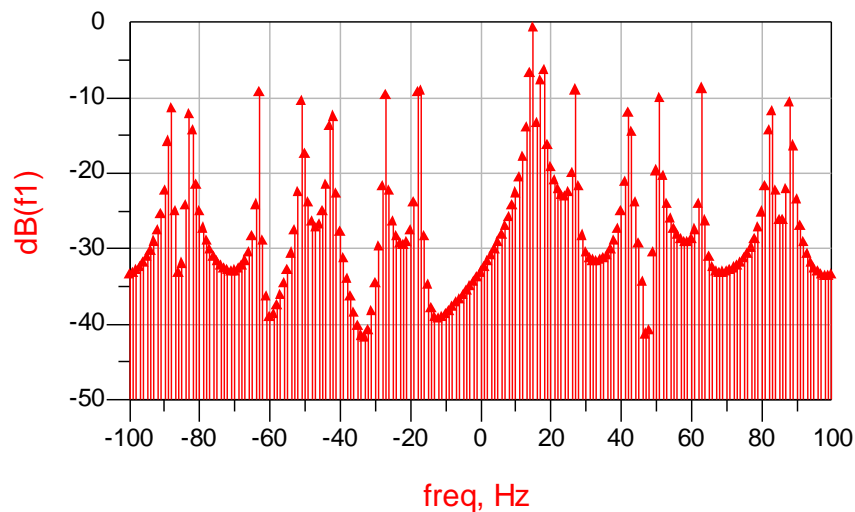
Με τη δεύτερη προσομοίωση που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.46 μελετάται η χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού και κατ' επέκταση η μετατόπιση Doppler. Ως σήμα εισόδου στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται ένα σήμα στενού εύρους ζώνης, δηλαδή μια πηγή συνημίτονου. Ο χρόνος προσομοίωσης τίθεται ίσος με 1 sec ενώ το βήμα προσομοίωσης είναι ίσο με 5 ms. Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν 201 σημεία για την περιγραφή του σήματος μετά την πραγματοποίησης της προσομοίωσης. Η ταχύτητα του κινητού δέκτη είναι ίση με 100 km/h.



Σχήμα 3.46 Κύκλωμα προσομοίωσης για τη μελέτη της χρονικά μεταβαλλόμενης συμπεριφοράς του καναλιού διάδοσης GSM αγροτικής περιοχής 6 συνιστωσών με ταχύτητα ίση με 100 km/h για τον κινητό δέκτη.



Σχήμα 3.47 Η χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού διάδοσης GSM αγροτικής περιοχής 6 συνιστωσών με ταχύτητα ίση με 100 km/h για τον κινητό δέκτη

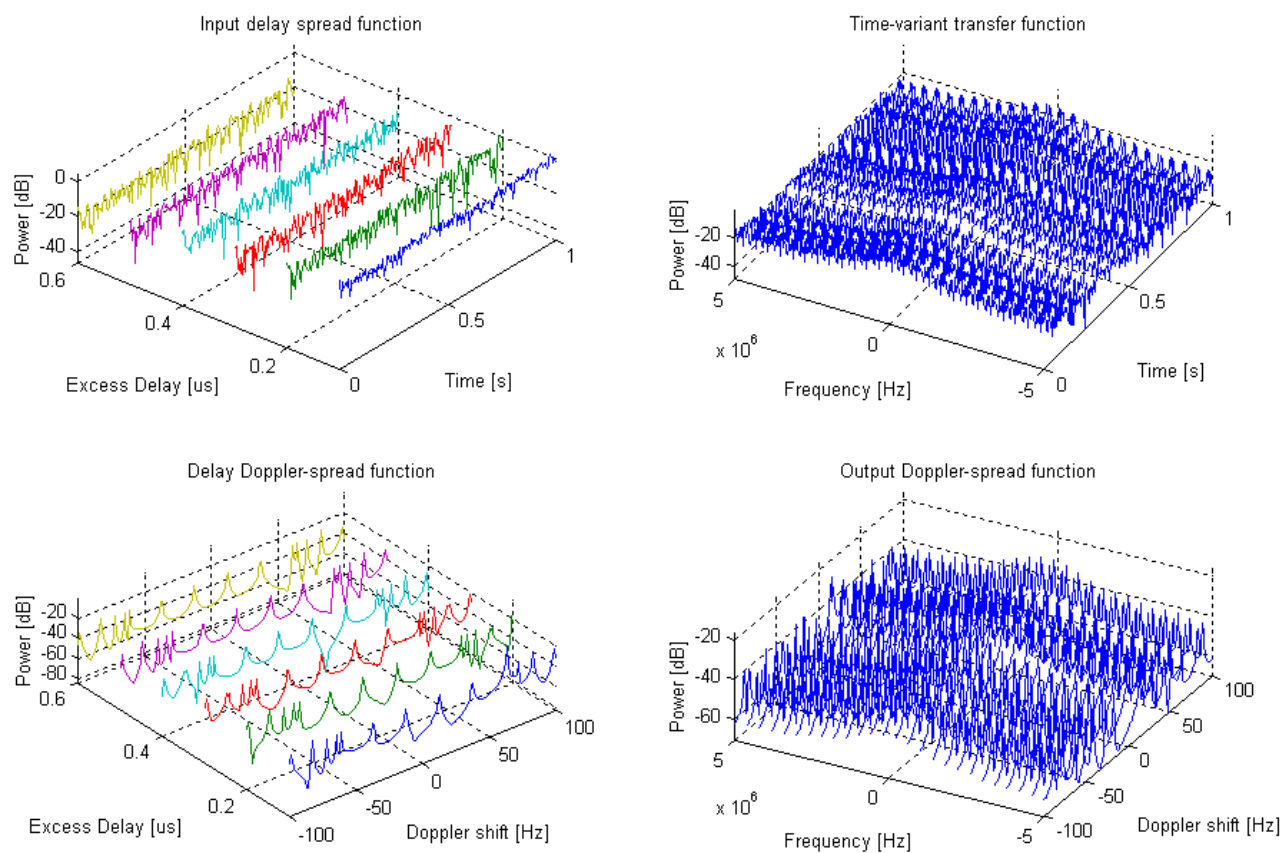


Σχήμα 3.48 Το φάσμα Doppler του καναλιού διάδοσης GSM αγροτικής περιοχής 6 συνιστωσών με ταχύτητα ίση με 100 km/h για τον κινητό δέκτη

Στο Σχήμα 3.47 παρουσιάζεται η χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού διάδοσης αγροτικής περιοχής 6 συνιστωσών. Με τη βοήθεια του Σχήματος 3.47 μπορούμε να υπολογίσουμε το χρόνο συνοχής του καναλιού. Όπως είναι γνωστό ο χρόνος συνοχής αποτελεί το χρονικό διάστημα για το οποίο το κανάλι διάδοσης

μπορεί να θεωρηθεί σταθερό, δηλαδή είναι ο χρόνος ανάμεσα σε δύο διαδοχικές δειγματοληψίες του σήμα διάδοσης. Χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό Fourier μεταφερόμαστε από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας. Έτσι προκύπτει το φάσμα Doppler του καναλιού διάδοσης, Σχήμα 3.48.

Έχοντας μελετήσει, με τη βοήθεια προσομοιώσεων στο ADS, τη διασπορά καθυστέρησης και τη χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού διάδοσης τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας μπορούμε πλέον να δημιουργήσουμε τις συναρτήσεις Bello για το συγκεκριμένο κανάλι. Χρησιμοποιώντας το MATLAB για την απεικόνιση και συνδυάζοντας κατάλληλα τα δεδομένα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήσαμε νωρίτερα προκύπτουν οι τέσσερις συναρτήσεις Bello που παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.49. Η διαδικασία της τρισδιάστατης απεικόνισης επιγραμματικά έχει ως εξής: Αφού πραγματοποιήσουμε τις κατάλληλες προσομοιώσεις στο ADS χρησιμοποιούμε την εντολή Export για να εξάγουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε μορφή ASCII. Τα αρχεία που προκύπτουν (με επέκταση .txt), αφού τα επεξεργαστούμε κατάλληλα στο Word, φορτώνονται στο Matlab και εκεί χρησιμοποιώντας έναν απλό κώδικα και συνδυάζοντας κατάλληλα τα δεδομένα προκύπτει η τρισδιάστατη απεικόνιση.

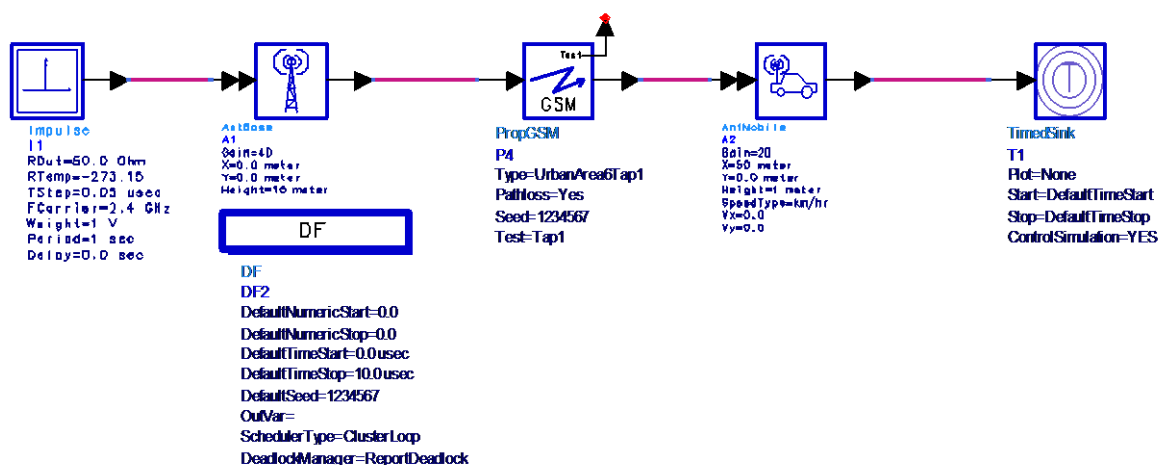


Σχήμα 3.49 Οι συναρτήσεις Bello για ένα κανάλι διάδοσης GSM αγροτικής περιοχής 6 συνιστωσών και δέκτη που κινείται με ταχύτητα ίση με 100 km/h.

3.10.2 ΚΑΝΑΛΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ GSM ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

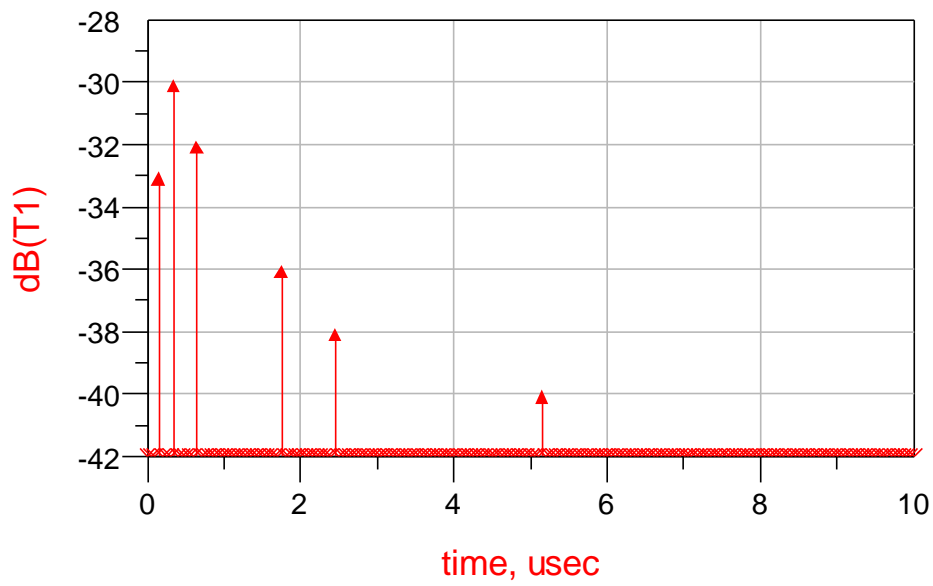
Όπως και στην περίπτωση του καναλιού διάδοσης GSM αγροτικής περιοχής 6 συνιστωσών έτσι και για το κανάλι διάδοσης GSM αστικής περιοχής 6 συνιστωσών είναι απαραίτητο να μελετήσουμε τη διασπορά καθυστέρησης και τη χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού διάδοσης τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας.

Για να μελετήσουμε τη διασπορά καθυστέρησης του καναλιού διάδοσης αστικής περιοχής χρησιμοποιούμε το κύκλωμα προσομοίωσης του Σχήματος 3.50 που είναι παρόμοιο με το κύκλωμα προσομοίωσης που χρησιμοποιήσαμε στην προηγούμενη περίπτωση όπου μελετήσαμε τη διασπορά καθυστέρησης του καναλιού διάδοσης αγροτικής περιοχής,

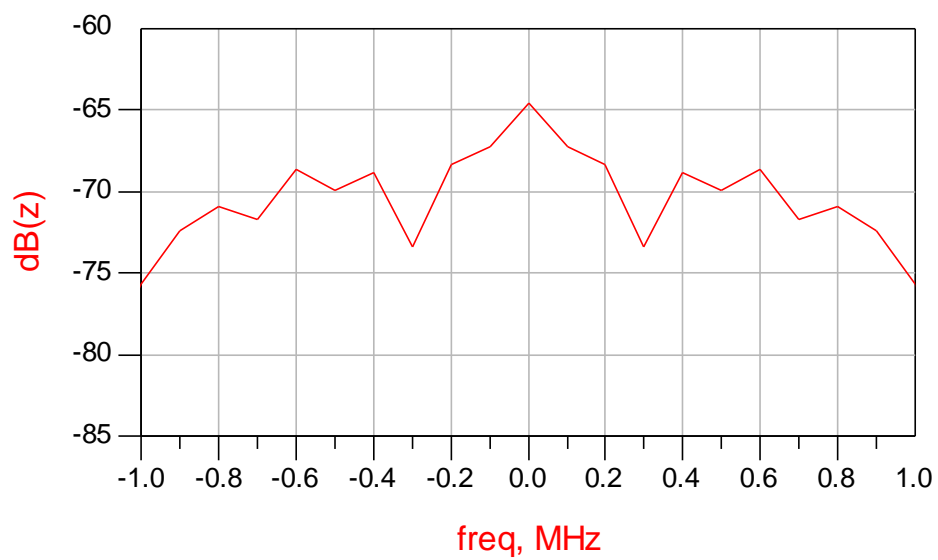


Σχήμα 3.50 Κύκλωμα προσομοίωσης για τη διασπορά καθυστέρησης του καναλιού αστικής περιοχής 6 συνιστωσών.

Πραγματοποιώντας την προσομοίωση του σχήματος προκύπτει το προφίλ καθυστέρησης ισχύος του καναλιού διάδοσης αστικής περιοχής 6 συνιστωσών, Σχήμα 3.51, καθώς και η συνάρτηση μεταφοράς του συγκεκριμένου καναλιού διάδοσης, Σχήμα 3.52, χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό Fourier.

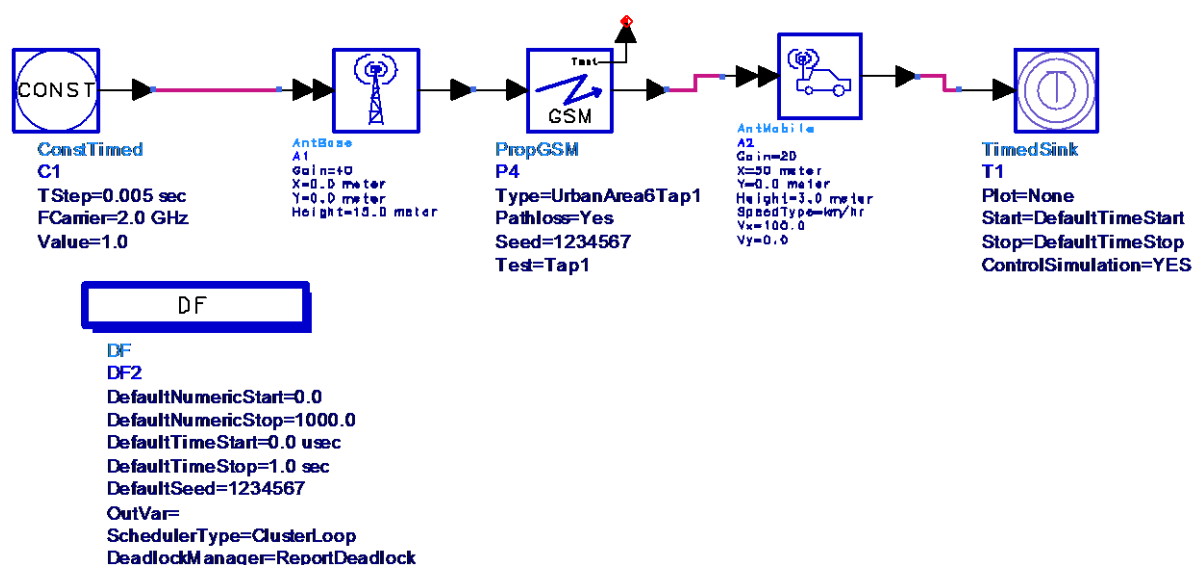


Σχήμα 3.51 Το προφίλ καθυστέρησης ισχύος του καναλιού διάδοσης GSM αστικής περιοχής 6 συνιστωσών.



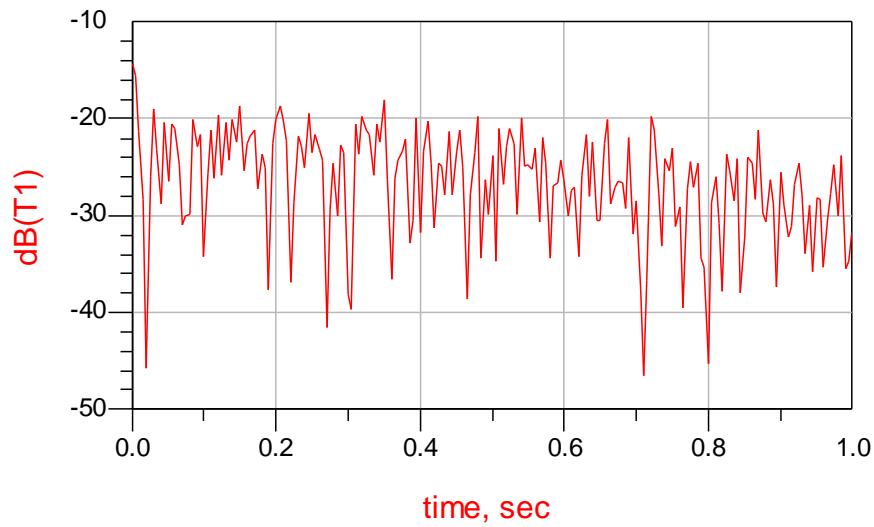
Σχήμα 3.52 Η συνάρτηση μεταφοράς του καναλιού διάδοσης GSM αστικής περιοχής 6 συνιστωσών.

Για τη μελέτη της χρονικά μεταβαλλόμενης συμπεριφοράς του καναλιού χρησιμοποιούμε το κύκλωμα προσομοίωσης του Σχήματος 3.53. Η χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού διάδοσης αστικής περιοχής 6 συνιστωσών με κινητό δέκτη κινούμενο με ταχύτητα ίση με 100 km/h παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.54. Χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό Fourier προκύπτει το φάσμα Doppler για το συγκεκριμένο κανάλι διάδοσης, Σχήμα 3.55.

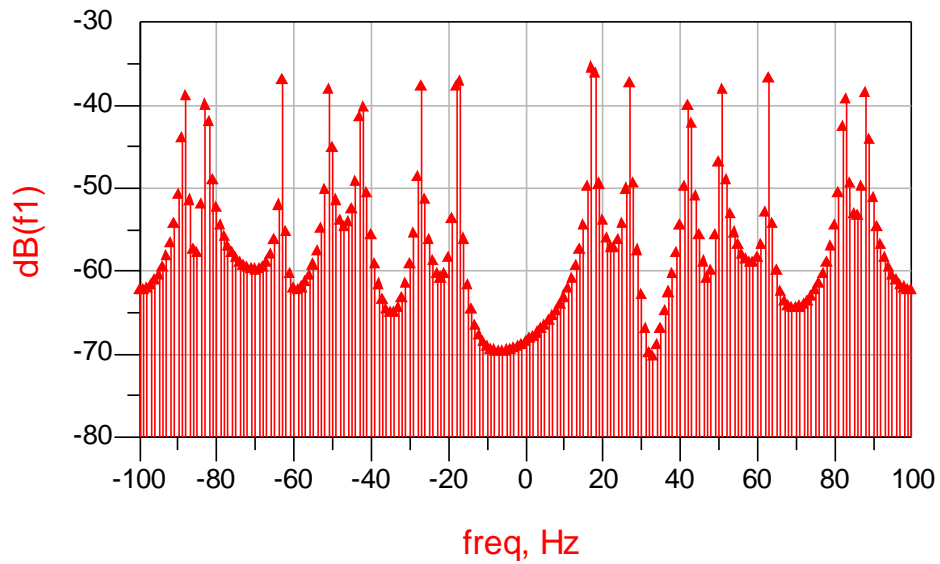


Σχήμα 3.53 Κύκλωμα προσομοίωσης για την μελέτη της χρονικά μεταβαλλόμενης συμπεριφοράς του καναλιού διάδοσης GSM αστικής περιοχής 6 συνιστωσών με ταχύτητα ίση με 100 km/h για τον κινητό δέκτη.

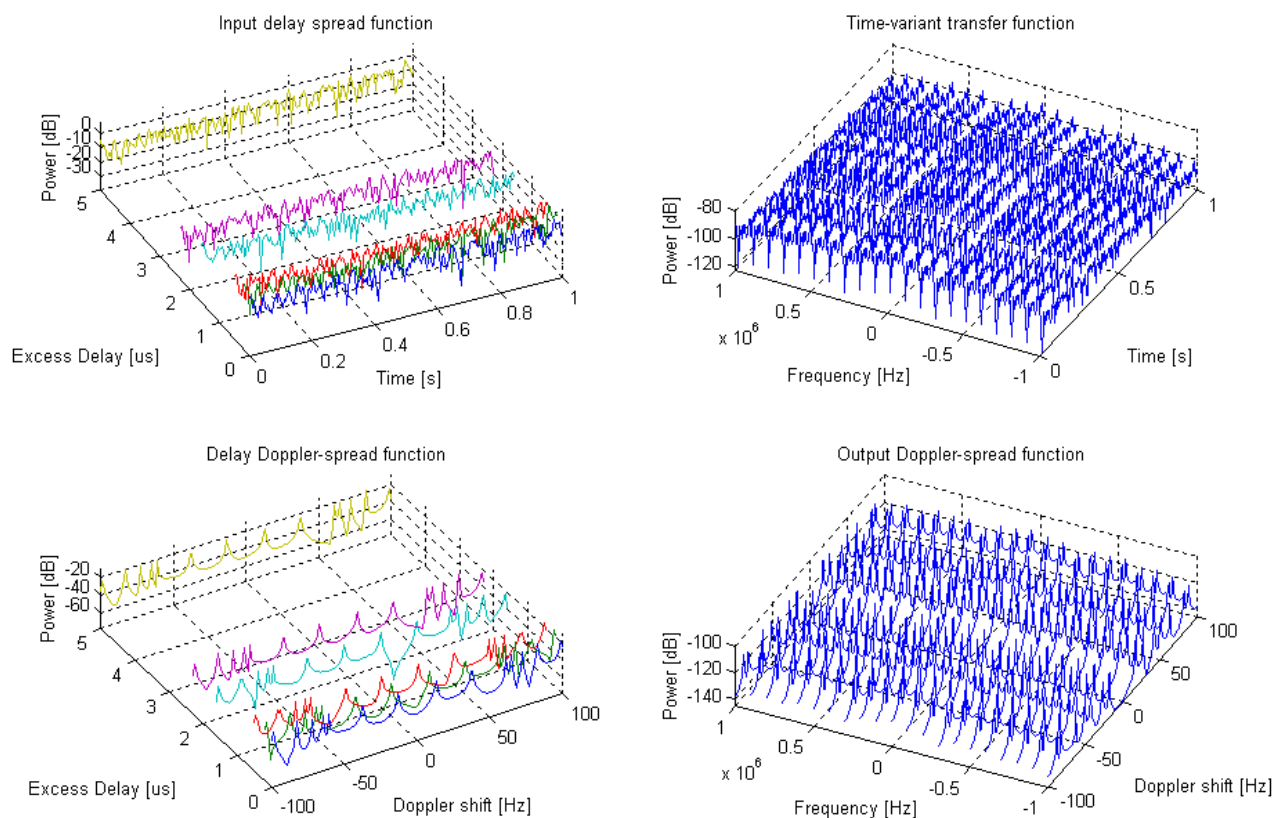
Έχοντας μελετήσει τη διασπορά καθυστέρησης και τη χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας μπορούμε με τη βοήθεια του MATLAB να πάρουμε τις τέσσερις συναρτήσεις Bello για το κανάλι διάδοσης GSM αστικής περιοχής 6 συνιστωσών και κινούμενο δέκτη με ταχύτητα 100 km/h, Σχήμα 3.56.



Σχήμα 3.54 Η χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού διάδοσης GSM αστικής περιοχής 6 συνιστωσών με ταχύτητα ίση με 100 km/h για τον κινητό δέκτη



Σχήμα 3.55 Το φάσμα Doppler του καναλιού διάδοσης GSM αστικής περιοχής 6 συνιστωσών με ταχύτητα ίση με 100 km/h για τον κινητό δέκτη



Σχήμα 3.56 Οι συναρτήσεις Bello για ένα κανάλι διάδοσης GSM αστικής περιοχής 6 συνιστωσών και δέκτη που κινείται με ταχύτητα ίση με 100 km/h.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά των διαλείψεων που εκδηλώνονται σε ένα επικοινωνιακό κανάλι. Το Σχήμα 2.1 χρησιμοποιήθηκε ως οδηγός για τη μελέτη του φαινομένου των διαλείψεων. Περιγράψαμε τους δύο τύπους των διαλείψεων, μεγάλης και μικρής κλίμακας, και επικεντρωθήκαμε στις διαλείψεις μικρής κλίμακας. Οι δύο μηχανισμοί των διαλείψεων μικρής κλίμακας (χρονική διασπορά του σήματος και χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του καναλιού) μελετήθηκαν σε δύο πεδία του χρόνου και της συχνότητας. Καθορίστηκαν δύο κατηγορίες διαλείψεων λόγω της διασποράς του σήματος: οι επιλεκτικές με τη συχνότητα και οι επίπεδες. Επίσης καθορίστηκαν και δύο κατηγορίες διαλείψεων λόγω της χρονικά μεταβαλλόμενης συμπεριφοράς: οι αργές και οι γρήγορες. Οι κατηγορίες των διαλείψεων μικρής κλίμακας συνοψίζονται στο Σχήμα 2.4. Για να εξασφαλίσουμε ότι το κανάλι διάδοσης δεν προκαλεί παραμόρφωση λόγω των διαλείψεων επιλεκτικών με τη συχνότητα ή των γρήγορων διαλείψεων πρέπει να ισχύει: $f_0 > W > f_d$ ή $T_m < W < T_0$. Με άλλα λόγια θέλουμε το εύρος ζώνης του καναλιού να υπερβαίνει το εύρος ζώνης του σήματος το οποίο με την σειρά του πρέπει να υπερβαίνει το ρυθμό διαλείψεων του καναλιού διάδοσης.

Τα παραπάνω φαινόμενα μελετήθηκαν μέσω προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πρόγραμμα σχεδιασμού και προσομοίωσης ADS. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα περιέχει στις βιβλιοθήκες του διάφορα μοντέλα καναλιών διάδοσης όπως είναι το κανάλι διάδοσης GSM και το γενικό κανάλι διάδοσης (User_Defined) που όπως είδαμε είναι ιδιαίτερα σημαντικό αφού μέσω κατάλληλης επιλογής των παραμέτρων του μας δίνει τη δυνατότητα να μοντελοποιήσουμε οποιοδήποτε κανάλι διάδοσης. Χρησιμοποιώντας τα κανάλια διάδοσης που είναι διαθέσιμα στο ADS και πραγματοποιώντας τις κατάλληλες προσομοιώσεις μελετήσαμε τις τέσσερις συναρτήσεις Bello μέσω των οποίων μπορούμε να περιγράψουμε όλα τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν ένα κανάλι διάδοσης. Για την τρισδιάστατη απεικόνιση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το Matlab (Σχήματα 3.49 και 3.56).

Επικεντρωθήκαμε στη μελέτη του φαινομένου της πολύοδης διάδοσης για την περίπτωση των κυψελίδων μεγάλης έκτασης ή μακρο-κυψελίδες (Macrocells). Ωστόσο ολοένα και περισσότερο χρησιμοποιούνται, στα ασύρματα κυψελωτά συστήματα, κυψελίδες μικρής έκτασης όπως είναι οι μικρο-κυψελίδες (Microcells) ή ακόμα και κυψελίδες πολύ μικρής έκτασης όπως είναι οι πικο-κυψελίδες (Picocells). Περαιτέρω λοιπόν εργασία θα μπορούσε να γίνει για τη μελέτη της πολύοδης διάδοσης στην πε-

ρίπτωση κυψελίδων μικρής έκτασης αφού δεν είναι απλά μικρότερες αλλά έχουν και διαφορετικά χαρακτηριστικά διάδοσης.

Επίσης θα μπορούσαμε μέσω του ADS να πραγματοποιήσουμε προσομοιώσεις για την μέτρηση του BER ως συνάρτηση του λόγου σήματος προς θόρυβο SNR για διάφορες διαμορφώσεις και για διάφορα κανάλια διάδοσης.

Τέλος ένα ενδιαφέρον θέμα για περαιτέρω εργασία είναι η πραγματοποίηση μετρήσεων σε πραγματικά ασύρματα κινητά συστήματα για την απεικόνιση των πραγματικών συναρτήσεων Bello μέσω των οποίων θα είμαστε σε θέση να περιγράψουμε ικανοποιητικά ένα οποιοδήποτε ασύρματο κινητό κανάλι διάδοσης.

ADS: ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μοντέλα κεραιών και διάδοσης προσομοιώνουν τις συνέπειες που προκαλεί το κανάλι διάδοσης σε ένα μεταδιδόμενο σήμα. Οι συνέπειες αυτές συμπεριλαμβάνουν την απώλεια διαδρομής καθώς και τις διαλείψεις του σήματος. Τόσο τα μοντέλα των κεραιών όσο και τα μοντέλα καναλιών διάδοσης είναι στοιχεία με εισόδους και εξόδους χρονικά σήματα.

Οι κεραιών χαρακτηρίζονται από τις συντεταγμένες τους και το κέρδος τους. Για κινητές κεραίες συμπεριλαμβάνεται επίσης ο παράγοντας ταχύτητα στις παραμέτρους. Οι κεραίες έχουν πολλαπλές εισόδους έτσι ώστε να παρέχεται η δυνατότητα πρόσθεσης των συνεισφορών διαφόρων καναλιών διαλείψεων και θορύβου. Τα μοντέλα των καναλιών διάδοσης τυπικά χαρακτηρίζονται από τον τύπο των διαλείψεων, τον καθορισμό του προφίλ καθυστέρησης ισχύος και τέλος από την ύπαρξη ή όχι της απώλειας διαδρομής. Η αντίσταση εισόδου και εξόδου των κεραιών και των μοντέλων διάδοσης είναι άπειρη και ίση με το μηδέν αντίστοιχα.

Ο διαχωρισμός μεταξύ των κεραιών και του καναλιού διάδοσης μας δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε ένα ελαστικότερο και πιο διαισθητικό μοντέλο. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης οι επιδράσεις τόσο των κεραιών όσο και των μοντέλων του καναλιού διάδοσης συνδυάζονται και το συνδυασμένο αυτό αποτέλεσμα των κεραιών και των μοντέλων διάδοσης αντικαθίσταται από ισοδύναμα μοντέλα στην προκαταρκτική φάση της προσομοίωσης. Ωστόσο εξαιτίας της ανεξαρτησίας μεταξύ των κεραιών και των καναλιών διάδοσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τον χρήστη συγκεκριμένοι περιορισμοί στην τοπολογία. Βασικά πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένα κανάλι διάδοσης μεταξύ μίας κεραίας εκπομπής και μιας κεραίας λήψης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δυο μοντέλα κεραιών (εκπομπής και λήψης) καθώς και τα διάφορα μοντέλα διάδοσης που είναι διαθέσιμα στο πρόγραμμα προσομοίωσης ADS.

AntBase (Base Station Stationary Antenna Model)

Library Antennas & Propagation

Class TSDFAntBase

Derived From antenna

Symbol



Parameters

Name	Description	Default	Unit	Type
Gain	Gain of antenna, in dB	0.0		floating-point
X	X-position coordinate	0.0	distance	floating-point
Y	Y-position coordinate	0.0	distance	floating-point
Height	antenna height above X-Y plane	10	distance	floating-point

Range of Usage

Height > 0

Pin Inputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
1	input	Antenna input signal	multiple timed

Pin Outputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
2	output	Antenna output signal	timed

Notes/Equations/References

1. Οι κεραίες των σταθμών βάσης είναι γραμμικά πολωμένες κεραίες που χρησιμοποιούνται στις υπηρεσίες κινητών επικοινωνιών σε σταθμούς βάσεις ραδιο-ζεύξεων. Οι προδιαγραφές "EIA/TIA-329-B, Minimum Standards for Communication Antennas, Part I-Base Station Antennas" περιγράφουν τα στάνταρ για αυτή την κατηγορία των κεραιών.
 2. Η ακτινοβολία του στοιχείου έχει μια κυρίαρχη κατακόρυφη συνιστώσα του ηλεκτρικού πεδίου (E_z).
 3. Η μονάδα κέρδους είναι σε dB.
 4. Για συμφωνία των προδιαγραφών της αντίστασης εισόδου ως προς τη συχνότητα, κυκλώματα υποδικτύων είναι δυνατόν να δημιουργηθούν και να προσομοιώνονται συγχρόνως με τα κατάλληλα κυκλώματα προσομοίωσης.
 5. Η κεραία έχει ένα pin πολλών εισόδων για να δέχεται πολλαπλά κανάλια όταν βρίσκεται σε κατάσταση mode. Όλα τα σήματα εισόδου του στοιχείου Ant-Base πρέπει να έχουν την ίδια συχνότητα φέροντος.
-

AntMobile (Cellular Mobile Antenna)

Library Antennas & Propagation

Class TSDFAntMobile

Derived From antenna

Symbol



Parameters

Name	Description	Default	Unit	Type
Gain	Gain of antenna, in dB	0.0		floating-point
X	X-position coordinate, in distance units	100.0	distance	floating-point
Y	Y-position coordinate, in distance units	0.0	distance	floating-point
Height	antenna height above X-Y plane, in length units	2.0	distance	floating-point
SpeedType	velocity unit: km/hr, miles/hr	km/hr		enumerated
Vx	X component of velocity vector	0.0		floating-point
Vy	Y component of velocity vector	0.0		floating-point

Range of Usage

Height > 0

Pin Inputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
1	input	Antenna input signal	multiple timed

Pin Outputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
2	output	Antenna output signal	timed

Notes/Equations/References

1. Οι κινητές κεραίες είναι τοποθετημένες σε οχήματα και χρησιμοποιούνται στις κινητές επίγειες υπηρεσίες επικοινωνιών. Οι προδιαγραφές "EIA/TIA-329-B-1, Minimum Standards for Communication Antennas, Part II-Vehicular Antennas" περιγράφουν τα στάνταρ για αυτή την κατηγορία των κεραιών.
2. Η ακτινοβολία του στοιχείου έχει μια κυρίαρχη κατακόρυφη συνιστώσα του ηλεκτρικού πεδίου (E_z).
3. Η μονάδα κέρδους είναι σε dB.
4. Για συμφωνία των προδιαγραφών της αντίστασης εισόδου ως προς τη συχνότητα, κυκλώματα υποδικτύων είναι δυνατόν να δημιουργηθούν και να προσομοιώνονται συγχρόνως με τα κατάλληλα κυκλώματα προσομοίωσης.
5. Η κεραία έχει ένα pin πολλών εισόδων για να δέχεται πολλαπλά κανάλια όταν βρίσκεται σε κατάσταση mode. Όλα τα σήματα εισόδου του AntMobile πρέπει να έχουν την ίδια συχνότητα φέροντος.
6. Η θέση της κεραίας του κινητού αλλάζει από την αρχική του θέση κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Οι νέες συντεταγμένες είναι:

$$X'(t) = X(t) + V_x t$$

$$Y'(t) = Y(t) + V_y t$$

7. Η απώλεια διαδρομής καθορίζεται από την απόσταση ανάμεσα στην κεραία εκπομπής και την κεραία λήψης.

PropFlatEarth (Direct and Reflected Ray Propagation Model)

Library Antennas & Propagation

Class TSDFPropFlatEarth

Derived From channel

Symbol



Parameters

Name	Description	Default	Type
Polarization	polarization type: Vertical, Horizontal	Vertical	enumerated
Permittivity	earth's average relative permittivity	15	floating-point
Conductivity	earth's average conductivity	0.005	floating-point

Pin Inputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
1	input	channel input signal	timed

Pin Outputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
2	output	channel output signal	timed

Notes/Equations

1. Το PropFlatEarth μοντελοποιεί το άθροισμα μιας απευθείας και μιας ανακλώμενης ακτίνας και βασίζεται στις ιδιότητες της επίπεδης γης.
2. Το συγκεκριμένο στοιχείο βασίζεται σε ένα μοντέλο δύο ακτινών LOS όπου το λαμβανόμενο σήμα είναι το άθροισμα της συνεισφοράς μιας απευθείας και μιας ανακλώμενης ακτίνας. Αθροίζοντας τις συνεισφορές από κάθε ακτίνα, το λαμβανόμενο σήμα στο Rx για ένα ζεύγος κεραιών μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \frac{1}{r_1} e^{-j\eta_1} + \Gamma(a) \frac{1}{r_2} e^{-j\eta_2} \right|^2$$

όπου P_t είναι η εκπεμπόμενη ισχύς, r_1 είναι η απευθείας απόσταση μεταξύ του πομπού και του λήπτη, r_2 η απόσταση μέσω της ανάκλασης στο έδαφος, και $\Gamma(a)$ είναι ο μιγαδικός συντελεστής ανάκλασης ως συνάρτηση της τυχαίας γωνίας και της μιγαδικής διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους:

$$\Gamma(a) = \frac{\cos \theta - \alpha \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \alpha \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}}$$

όπου $\theta = 90^\circ - \alpha$ και $\alpha = 1$ ή $(\epsilon_r)^{-1}$ για κατακόρυφη ή οριζόντια πόλωση αντίστοιχα.

3. Η μιγαδική σχετική διηλεκτρική σταθερά συνδέεται με την μέση διηλεκτρική σταθερά του μέσου και την αγωγιμότητα με την εξής σχέση:

$$\epsilon_r = \epsilon_r(\text{average}) - j60\lambda\sigma$$

Τυπικές τιμές της διηλεκτρικής σταθεράς και της αγωγιμότητας για διάφορες τιμές του γήινου μέσου δίνονται στον Πίνακα 1

Table 1. Typical Earth's Constants

Type of Surface	Average ϵ_r	Average σ (mho/meter)
Fresh water (lakes and rivers)	81	0.001
Sea water	81	5.0
Good ground	25	0.02
Average ground	15	0.005
Poor ground	4	0.001
Mountains		0.00075

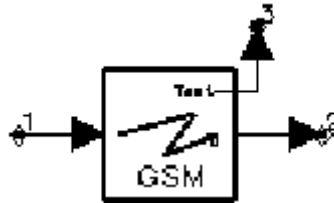
PropGSM (GSM Propagation Model)

Library Antennas & Propagation

Class TSDFPropGSM

Derived From channel

Symbol



Parameters

Name	Description	Default	Type
Type	GSM type: NoMultipath, RuralArea1, RuralArea2, HillyTerrain6Tap1, HillyTerrain6Tap2, HillyTerrain12Tap1, HillyTerrain12Tap2, UrbanArea6Tap1, UrbanArea6Tap2, UrbanArea12Tap1, UrbanArea12Tap2, EqualizationTest	NoMultipath	enumerated
Pathloss	inclusion of large-scale pathloss: No, Yes	No	enumerated
Seed	number to randomize channel output	1234567	integer
Test	test port accessing single path random gain functions: Tap1, Tap2, Tap3, Tap4, Tap5, Tap6, Tap7, Tap8, Tap9, Tap10, Tap11, Tap12	Tap1	enumerated

Pin Inputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
1	input	channel input signal	timed

Pin Outputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
2	output	channel output signal	timed
3	test	Test port	timed

Notes/Equations/References

-
1. Το PropGSM μοντελοποιεί ένα κατευθυντικό πολύοδο κανάλι που στηρίζεται σε προδιαγραφές του GSM [9]. Το μοντέλο είναι ένα φίλτρο πολλών συνιστωσών, με κάθε συνιστώσα να έχει μια συγκεκριμένη καθυστέρηση και ισχύ. Κάθε συνιστώσα μοντελοποιείται από μια πηγή θορύβου (συνάρτηση κέρδους).

Συμπεριλαμβάνοντας τις συνέπειες της απώλειας διαδρομής και των διαλείψεων πολύοδης διάδοσης, η έξοδος του καναλιού μπορεί να περιγραφεί από την παρακάτω σχέση:

$$r(t) = \left(\alpha \sum_{i=1}^M \beta_i s(t - \tau_i) e^{-j\tau_i \omega_c} g_i(t) \right)$$

όπου

α = η εξασθένηση λόγω της απώλειας διαδρομής $\alpha \leq 1$

β_i = η σχετική ισχύς κάθε συνιστώσας

τ_i = η σχετική καθυστέρηση κάθε συνιστώσας, συν την καθυστέρηση τ_0 της απευθείας διαδρομής.

$s(t)$ = η μιγαδική αναπαράσταση του σήματος εισόδου

g_i = η τυχαία συνάρτηση κέρδους που σχετίζεται με κάθε συνιστώσα

Για επιλογή NoMultipath, $M=1$, $\tau_1=\tau_0$

Η συνάρτηση κέρδους μπορεί να περιγραφεί ως ένα άθροισμα μη επικαλυπτόμενων ημίτονων ίσους πλάτους και διαφορετικής συχνότητας και φάσης

Ο συντελεστής εξασθένησης της απώλειας διαδρομής είναι $\alpha = 1$ όταν έχουμε επιλέξει Pathloss=No. Σημειώνεται ότι όταν Pathloss=No το άθροισμα $r(t)$ μπορεί να προκύψει μεγαλύτερο από το την είσοδο $s(t)$, υπονοώντας ότι το κανάλι έχει κάποιο κέρδος. Για αυτό το λόγο όταν έχουμε επιλέξει Pathloss=No η έξοδος κανονικοποιείται με το γραμμικό άθροισμα των συνιστωσών ισχύος για κάθε επιλογή.

2. Οι προδιαγραφές του GSM 05.05, European Digital Cellular Telecommunications System (Phase 1) Radio Transmission and Reception, Annex 4 αποτελούν τη βάση του μοντέλου PropGSM. Με την εξαίρεση της επιλογής Type=NoMultipath, η οποία είναι επιπρόσθετη, το σύστημα GSM καθορίζει έντεκα διαφορετικά προφίλ διάδοσης μέσω της παραμέτρου Type: δυο για αγροτικό περιβάλλον, τέσσερα για ορεινό, τέσσερα για αστικό και ένα για να δοκιμάσουμε τον αντισταθμιστή. Στους Πίνακες 2 έως 7 παρουσιάζονται τα προφίλ καθυστέρησης ισχύος του καναλιού διάδοσης GSM που σχετίζονται με κάθε επιλογή Type.

-
3. Όταν επιλέξουμε Type = NoMultipath έχουμε προσομοίωση μίας μόνο διαδρομής με οπτική επαφή (LOS) με την απώλεια διαδρομής του ελεύθερου χώρου.
 4. Κάθε επιλογή Type περιέχει μια μοναδική σειρά παραμέτρων: το περιβάλλον (αγροτικό, ορεινό, αστικό), αριθμός συνιστωσών (taps) και δυο επιλογές για 6- και 12- συνιστώσες (6- and 12-tap). Καθώς και ένα μοντέλο (Type = EqualizationTest) που είναι ειδικά κατασκευασμένο για να δοκιμάζει τον αντισταθμιστή.
 5. Το αγροτικό περιβάλλον είναι το λιγότερο εχθρικό σε αντίθεση με το ορεινό και το αστικό περιβάλλον που είναι παραδείγματα καναλιών με μεγαλύτερη διασπορά.
 6. Οι επιλογές Type περιέχουν και μια καθυστέρηση αναφοράς που δίνεται από την σχέση:

$$\tau_0 = \frac{R}{c}$$

όπου R είναι η αρχική απόσταση μεταξύ δύο κεραιών και c η ταχύτητα του φωτός στον ελεύθερο χώρο. Εάν υπάρχουν περισσότερες από μια διαδρομές σε ένα μοντέλο διάδοσης τότε η σχετική καθυστέρηση κάθε διαδρομής αναφέρεται ως προς την τ_0 .

7. Για κάθε επιλογή Type (εκτός από Type= NoMultipath και Type=RuralArea) οι διαδρομές θεωρείται ότι ακολουθούν την κατανομή Rayleigh με κλασικό φάσμα Doppler. Στην περίπτωση Type=NoMultipath θεωρείται ότι έχουμε μια απλή μετατόπιση Doppler. Στην περίπτωση Type=RuralArea, η πρώτη διαδρομή ακολουθεί την κατανομή Rician υπονοώντας μια απευθείας LOS συνιστώσα σε αντίθεση με την περίπτωση Rayleigh.
8. Ο υπολογισμός της απώλειας διαδρομής είναι δυναμικός που σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και εξαιτίας της κίνησης του κινητού η απόσταση ανάμεσα στις κεραίες εκπομπής και λήψης μεταβάλλεται με αποτέλεσμα και η απώλεια διαδρομής να προσαρμόζεται ανάλογα.
9. Η παράμετρος Seed μεταβάλλει την τυχαία έξοδο του μοντέλου διάδοσης. Μια συγκεκριμένη Seed έχει ως αποτέλεσμα την ίδια έξοδο από προσομοίωση σε προσομοίωση ανάμεσα στα μοντέλα σε ένα σχέδιο πολλών καναλιών.

10. Το test port είναι η έξοδος που προκύπτει από μια και μοναδική διαδρομή χωρίς απώλεια διαδρομής και καθυστέρηση. Η έξοδος είναι η συνάρτηση κέρδους.

Πίνακας 2. Rural Types

Tap Number	Relative Time (μsec)		Average Relative Power (dB)		Doppler Spectrum
	Option 1	Option 2	Option 1	Option 2	
1	0.1	0.0	0.0	0.0	Rician
2	0.2	0.2	-4.0	-2.0	Classical
3	0.3	0.4	-8.0	-10.0	Classical
4	0.4	0.6	-12.0	-20.0	Classical
5	0.5		-16.0		Classical
6	0.6		-20.0		Classical

Πίνακας 3. Hilly Terrain 6-Tap Types

Tap Number	Relative Time (μsec)		Average Relative Power (dB)		Doppler Spectrum
	Option 1	Option 2	Option 1	Option 2	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	Classical
2	0.1	0.2	-1.5	-2.0	Classical
3	0.3	0.4	-4.5	-4.0	Classical
4	0.5	0.6	-7.5	-7.0	Classical
5	15.0	15.0	-8.0	-6.0	Classical
6	17.2	17.2	-17.7	-12.0	Classical

Πίνακας 4. Hilly Terrain 12-Tap Types

Tap Number	Relative Time (μsec)		Average Relative Power (dB)		Doppler Spectrum
	Option 1	Option 2	Option 1	Option 2	
1	0.0	0.0	-10.0	-10.0	Classical
2	0.1	0.2	-8.0	-8.0	Classical
3	0.3	0.4	-6.0	-6.0	Classical
4	0.5	0.6	-4.0	-4.0	Classical
5	0.7	0.8	0.0	0.0	Classical
6	1.0	2.0	0.0	0.0	Classical
7	1.3	2.4	-4.0	-4.0	Classical
8	15.0	15.0	-8.0	-8.0	Classical
9	15.2	15.2	-9.0	-9.0	Classical
10	15.7	15.8	-10.0	-10.0	Classical
11	17.2	17.2	-12.0	-12.0	Classical
12	20.0	20.0	-14.0	-14.0	Classical

Πίνακας 5. Urban Area 6-Tap Types

Tap Number	Relative Time (μsec)		Average Relative Power (dB)		Doppler Spectrum
	Option 1	Option 2	Option 1	Option 2	
1	0.0	0.0	-3.0	-3.0	Classical
2	0.2	0.2	0.0	0.0	Classical
3	0.5	0.6	-2.0	-2.0	Classical
4	1.6	1.6	-6.0	-6.0	Classical
5	2.3	2.4	-8.0	-8.0	Classical

6	5.0	5.0	-10.0	-10.0	Classical
---	-----	-----	-------	-------	-----------

Πίνακας 6. Urban Area 12-Tap Types

Tap Number	Relative Time (μsec)		Average Relative Power (dB)		Doppler Spectrum
	Option 1	Option 2	Option 1	Option 2	
1	0.0	0.0	-4.0	-4.0	Classical
2	0.1	0.2	-3.0	-3.0	Classical
3	0.3	0.4	0.0	0.0	Classical
4	0.5	0.6	-2.6	-2.0	Classical
5	0.8	0.8	-3.0	-3.0	Classical
6	1.1	1.2	-5.0	-5.0	Classical
7	1.3	1.4	-7.0	-7.0	Classical
8	1.7	1.8	-5.0	-5.0	Classical
9	2.3	2.4	-6.5	-6.0	Classical
10	3.1	3.0	-8.6	-9.0	Classical
11	3.2	3.2	-11.0	-11.0	Classical
12	5.0	5.0	-10.0	-10.0	Classical

Πίνακας 7. EqualizationTest Types

Tap Number	Relative Time (μsec)	Average Relative Power (dB)	Doppler Spectrum
1	0.0	0.0	Classical
2	3.2	0.0	Classical
3	6.4	0.0	Classical
4	9.6	0.0	Classical
5	12.8	0.0	Classical
6	16.0	0.0	Classical

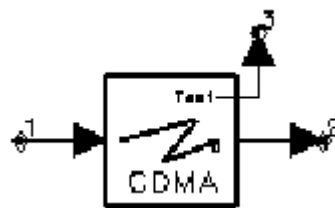
PropNADCdma (Propagation Channel (CDMA) Model)

Library Antennas & Propagation

Class TSDFPropNADCdma

Derived From channel

Symbol



Parameters

Name	Description	Default	Type
Type	propagation type: NoMultipath, OnePath, Two-Path, ThreePath	NoMultipath	enumerated
Pathloss	inclusion of large scale pathloss: No, Yes	No	enumerated
Env	Environment Type Options: TypicalUrban, TypicalSuburban, RuralArea, FreeSpace	TypicalUrban	enumerated
Seed	number to randomize channel output	1234567	integer
Test	test port for single path random function: Tap1, Tap2, Tap3	Tap1	enumerated

Pin Inputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
1	input	channel input signal	timed

Pin Outputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
2	output	channel output signal	timed
3	test	Test port	timed

Notes/Equations/References

1. Το PropNADCdma μοντελοποιεί ένα πολύοδο κανάλι που στηρίζεται σε προδιαγραφές του IS-97. Το μοντέλο είναι ένα φίλτρο πολλών συνιστωσών,

με κάθε συνιστώσα να έχει μια συγκεκριμένη καθυστέρηση και ισχύ. Κάθε συνιστώσα μοντελοποιείται από μια πηγή θορύβου(συνάρτηση κέρδους).

Συμπεριλαμβάνοντας τις συνέπειες της απώλειας διαδρομής και των διαλείψεων πολύοδης διάδοσης, η έξοδος του καναλιού μπορεί να περιγραφεί από την παρακάτω σχέση:

$$r(t) = \left(\alpha \sum_{i=1}^M \beta_i s(t - \tau_i) e^{-j\tau_i \omega_c} g_i(t) \right)$$

όπου

α = η εξασθένηση της απώλειας διαδρομής $\alpha \leq 1$

β_i = η σχετική ισχύς κάθε συνιστώσας

τ_i = η σχετική καθυστέρηση κάθε συνιστώσας, συν την καθυστέρηση τ_0 της απευθείας διαδρομής.

$s(t)$ = η μιγαδική αναπαράσταση του σήματος εισόδου

g_i = η τυχαία συνάρτηση κέρδους που σχετίζεται με κάθε συνιστώσα

Για επιλογή NoMultipath , $M=1$, $\tau_1=\tau_0$

Η συνάρτηση κέρδους μπορεί να περιγραφεί ως ένα άθροισμα μη επικαλυπτόμενων ημίτονων ίσους πλάτους και διαφορετικής συχνότητας και φάσης

Ο συντελεστής εξασθένησης της απώλειας διαδρομής είναι $\alpha = 1$ όταν έχουμε επιλέξει Pathloss=No. Σημειώνεται ότι όταν Pathloss=No το άθροισμα $r(t)$ μπορεί να προκύψει μεγαλύτερο από το την είσοδο $s(t)$, υπονοώντας ότι το κανάλι έχει κάποιο κέρδος. Για αυτό το λόγο όταν έχουμε επιλέξει Pathloss=No η έξοδος κανονικοποιείται με το γραμμικό άθροισμα των συνιστωσών ισχύος για κάθε επιλογή.

2. Το συγκεκριμένο στοιχείο βασίζεται στις προδιαγραφές North American Dual Model Cellular (NADC) IS-97.
3. Εκτός από την περίπτωση Type=NoMultipath, όπου θεωρείται ότι έχουμε απώλεια διαδρομής στον ελεύθερο χώρο και μια απλή μετατόπιση Doppler , σε όλες τις άλλες περιπτώσεις Type έχουμε κατανομή Rayleigh με κλασικό φάσμα Doppler και απώλεια διαδρομής που καθορίζεται από την παράμετρο Env.
4. Οι επιλογές Type περιέχουν και μια καθυστέρηση αναφοράς που δίνεται από την σχέση:

$$\tau_0 = \frac{R}{c}$$

όπου R είναι η αρχική απόσταση μεταξύ δύο κεραιών και c είναι η ταχύτητα του φωτός στον ελεύθερο χώρο. Εάν υπάρχουν περισσότερες από μια διαδρομές σε ένα μοντέλο διάδοσης τότε η σχετική καθυστέρηση κάθε μιας διαδρομής αναφέρεται ως προς την τ_0 .

5. Τα μοντέλα δύο και τριών διαδρομών ακολουθούν μια κατανομή Rayleigh με κλασικό φάσμα Doppler.
 6. Η παράμετρος Seed μεταβάλλει την τυχαία έξοδο του μοντέλου διάδοσης. Μια συγκεκριμένη Seed έχει ως αποτέλεσμα την ίδια έξοδο από προσομοίωση σε προσομοίωση ανάμεσα στα μοντέλα σε ένα σχέδιο πολλών καναλιών.
 7. Το test port είναι η έξοδος που προκύπτει από μια και μοναδική διαδρομή χωρίς απώλεια διαδρομής και καθυστέρηση. Η έξοδος είναι η συνάρτηση κέρδους.
-

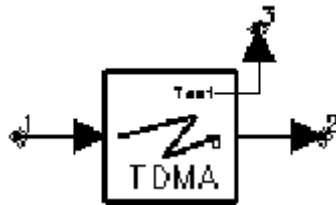
PropNADCtdma (NADC Propagation (TDMA) Model, Directional)

Library Antennas & Propagation

Class TSDFPropNADCtdma

Derived From channel

Symbol



Parameters

Name	Description	Default	Type
Type	propagation type: NoMultipath, FlatFade, Two-Path	NoMultipath	enumerated
Pathloss	inclusion of large scale pathloss: No, Yes	No	enumerated
Env	Environment Type Options: TypicalUrban, TypicalSuburban, RuralArea, FreeSpace	TypicalUrban	enumerated
Delay	relative delay (Type=TwoPath) with respect to first path, in microseconds	0.0	floating-point
Pwr	relative power (Type=TwoPath) with respect to first path, in dB	0.0	floating-point
Seed	integer number to randomize channel output	1234567	integer
Test	test port for single path: Tap1, Tap2	Tap1	enumerated

Pin Inputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
1	input	channel input signal	timed

Pin Outputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
2	output	channel output signal	timed
3	test	Test port	timed

Notes/Equations/References

1. Το PropNADCDma μοντελοποιεί ένα πολύοδο κανάλι που στηρίζεται σε προδιαγραφές του IS-55 και IS-56. Το μοντέλο είναι ένα φίλτρο πολλών συνιστωσών, με κάθε συνιστώσα να έχει μια συγκεκριμένη καθυστέρηση και ισχύ. Κάθε συνιστώσα μοντελοποιείται από μια πηγή θορύβου (συνάρτηση κέρδους).

Συμπεριλαμβάνοντας τις συνέπειες της απώλειας διαδρομής και των διαλείψεων πολύοδης διάδοσης, η έξοδος του καναλιού μπορεί να περιγραφεί από την παρακάτω σχέση:

$$r(t) = \left(\alpha \sum_{i=1}^M \beta_i s(t - \tau_i) e^{-j\tau_i \omega_c} g_i(t) \right)$$

όπου

α = η εξασθένηση της απώλειας διαδρομής $\alpha \leq 1$

β_i = η σχετική ισχύς κάθε συνιστώσας

τ_i = η σχετική καθυστέρηση κάθε συνιστώσας, συν την καθυστέρηση τ_0 της απευθείας διαδρομής.

$s(t)$ = η μιγαδική αναπαράσταση του σήματος εισόδου

g_i = η τυχαία συνάρτηση κέρδους που σχετίζεται με κάθε συνιστώσα

Για επιλογή NoMultipath, $M=1$, $\tau_1=\tau_0$

Η συνάρτηση κέρδους μπορεί να περιγραφεί ως ένα άθροισμα μη επικαλυπτόμενων ημίτονων ίσους πλάτους και διαφορετικής συχνότητας και φάσης

Ο συντελεστής εξασθένησης της απώλειας διαδρομής είναι $\alpha = 1$ όταν έχουμε επιλέξει Pathloss=No. Σημειώνεται ότι όταν Pathloss=No το άθροισμα $r(t)$ μπορεί να προκύψει μεγαλύτερο από το την είσοδο $s(t)$, υπονοώντας ότι το κανάλι έχει κάποιο κέρδος. Για αυτό το λόγο όταν έχουμε επιλέξει Pathloss=No η έξοδος κανονικοποιείται με το γραμμικό άθροισμα των συνιστωσών ισχύος για κάθε επιλογή.

2. Το συγκεκριμένο στοιχείο βασίζεται στις προδιαγραφές North American Dual Model Cellular (NADC)
3. Με την επιλογή Flat fade θεωρείται ότι έχουμε διαλείψεις που δεν είναι επιλεκτικές στη συχνότητα.
4. Εκτός από την περίπτωση Type=NoMultipath, όπου θεωρείται ότι έχουμε απώλεια διαδρομής στον ελεύθερο χώρο και μια απλή μετατόπιση Doppler, σε

όλες τις άλλες περιπτώσεις Type ακολουθείται η κατανομή Rayleigh με κλασικό φάσμα Doppler και απώλεια διαδρομής που καθορίζεται από την παράμετρο E_{nv} .

5. Οι επιλογές Type περιέχουν και μια καθυστέρηση αναφοράς που δίνεται από την σχέση:

$$\tau_0 = \frac{R}{c}$$

όπου R είναι η αρχική απόσταση μεταξύ δύο κεραιών και c είναι η ταχύτητα του φωτός στον ελεύθερο χώρο. Εάν υπάρχουν περισσότερες από μια διαδρομές σε ένα μοντέλο διάδοσης τότε η σχετική καθυστέρηση κάθε διαδρομής αναφέρεται ως προς την τ_0 .

6. Η παράμετρος Seed μεταβάλλει την τυχαία έξοδο του μοντέλου διάδοσης. Μια συγκεκριμένη Seed έχει ως αποτέλεσμα την ίδια έξοδο από προσομοίωση σε προσομοίωση ανάμεσα στα μοντέλα σε ένα σχέδιο πολλών καναλιών.
7. Το test port είναι η έξοδος που προκύπτει από μια και μοναδική διαδρομή χωρίς απώλεια διαδρομής και καθυστέρηση. Η έξοδος είναι η συνάρτηση κέρδους.
-

UserDefChannel (User-Defined Channel)

Library Antennas & Propagation

Class TSDFUserDefChannel

Derived From channel

Symbol



Parameters

Name	Description	Default	Symbol	Type	Value Range
PathNumber	number of multipath echos	2	L	integer	$(0, \infty)$
AmpArray	amplitude weight of path array	1.0 0.5		floating-point array	$(-\infty, +\infty)$
DelayArray	delays associated with path array, in microseconds	0.1 0.2		floating-point array	$(-\infty, +\infty)$
Seed	integer number to randomize channel output (Jakes model)	1234567		integer	$(0, \infty)$
N	$2N+1$ is number of sine waves used in Jakes model	10	N	integer	$(0, \infty)$
Pathloss	option for inclusion of large-scale pathloss: No, Yes	No		enumerated	
Env	environment for pathloss computation: TypicalUrban, TypicalSuburban, RuralArea, FreeSpace	TypicalUrban		enumerated	

Pin Inputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
1	input	channel input signal	timed

Pin Outputs

Pin No.	Name	Description	Signal Type
2	output	channel output signal	timed

Notes/Equations

1. Το συγκεκριμένο στοιχείο μοντελοποιεί ένα κανάλι διαλείψεων του οποίου το προφίλ πολύοδης καθυστέρησης καθορίζεται από τις επιλογές του χρήστη, μέσω των παραμέτρων DelayArray και AmpArray.
2. Για την διασπορά Doppler χρησιμοποιείται το μοντέλο του Jakes [10], και το οποίο μας παρέχει το φάσμα Doppler καθώς και τα στατιστικά του καναλιού διαλείψεων.
3. Η διασπορά καθυστέρησης μοντελοποιείται μέσω μιας γραμμής με στοίβες καθυστέρησης όπου ο αριθμός των στοιβών καθυστέρησης εξαρτάται από τις παραμέτρους DelayArray και AmpArray. Σε κάθε περίπτωση το σήμα εισόδου υφίσταται καθυστέρηση.
4. Το προφίλ πολύοδης καθυστέρησης που επιλέγεται από τον χρήστη καθορίζει την επιλεκτική ή όχι φύση του καναλιού στη συχνότητα.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Μ. Θ. Χρυσομάλλης, *Κινητές Επικοινωνίες*, Ξάνθη, 2002.
- [2] Raymond Steele, *Mobile Radio Communications*, Wiley, 1992.
- [3] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, Halsted Press, 1992.
- [4] J. D. Gibson, *The Mobile Communications Handbook.*, CRC Press in Cooperation with IEEE Press, 1999.
- [5] Agilent Technologies, *Antennas and Propagation Components*, December 2000.
- [6] Rappaport, T.S., *Wireless Communications*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, Chs.3 and 4, 1996.
- [7] Bello, P.A *Characterization of randomly time-variant linear channels*, *IEEE Trans. Commun. Syst.*, 360-393, Dec. 1963.
- [8] Clarke, R.H., *A statistical theory of mobile radio reception*, Bell Syst. Tech. J., 47 (6), 957-1000, Jul. Aug. 1968.
- [9] GSM 05.05 Recommendation, *Radio Transmission and Reception*.
- [10] Jakes, W.C., Ed., *Microwave Mobile Communications*, John Wiley & Sons, New York, 1974.
