

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΗΠΕΙΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΑΡΤΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ WLAN
802.11n**

Εισηγητής : Κωνσταντίνος Αγγέλης

Υπεύθυνος : Φωτεινή Παλιάτσου (Α.Μ. 8421)

ΑΡΤΑ, Ιούνιος 2014

Copyright © Παλιάτσου Φωτεινή 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Άρτας – Τμήμα Τεχνολογίας, Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών.

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την πτυχιακή μου εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Κύριο Αγγέλη, επιβλέπων καθηγητή της εργασίας αυτής, για τη βοήθειά του, το χρόνο που μου αφιέρωσε και την άριστη συνεργασία που είχαμε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τον σύζυγό μου Ανδρέα για την ηθική και υλική υποστήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΣΤΟΝ ΠΑΠΠΟΥ ΜΟΥ, ΕΚΕΙ ΨΗΛΑ... .

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Εισαγωγή	7
1. Ασύρματα τοπικά δίκτυα.....	8
1.1 Ορισμός	8
1.2 Ιστορία των ασύρματων τοπικών δικτύων	8
1.3 Τρόπος λειτουργίας ασύρματων τοπικών δικτύων.....	9
1.4 Στοιχεία για τη διάδοση.....	10
1.5 Πλεονεκτήματα της χρήσης WLAN.....	11
1.6 Μειονεκτήματα της χρήσης WLAN.....	12
1.7 Χαρακτηριστικά μετάδοσης	12
1.8 Αρχιτεκτονική του Wi-Fi	13
1.9 Ανάλυση των επιπέδων του Wi-Fi	15
1.10 Υπόστρωμα MAC.....	16
1.11 Υπηρεσίες MAC συστήματος διανομής (DS SERVICES).....	20
1.12 Υπόστρωμα σύγκλισης του φυσικού στρώματος	20
1.13 Το πρωτόκολλο 802.11.....	22
1.14 Ποιές υπηρεσίες παρέχει	24
1.15 Ορισμός Eb/No.....	25
1.16 Μέτρηση BER.....	25
2. Διαμορφώσεις και στοιχεία στο πρωτόκολλο 802.11n.....	28
2.1 OFDM.....	28
2.2 Σημασία της ορθογωνιότητας.....	29
2.3 Πλεονεκτήματα της διαμόρφωσης OFDM.....	30
2.4 MCS.....	31
2.5 ShortGI	32
3. Συστήματα πολλαπλών εισόδων-πολλαπλών εξόδων MIMO.....	34
3.1 Η ιστορία των συστημάτων MIMO στο χώρο των τηλεπικοινωνιών	35
3.2 Η λειτουργία των συστημάτων MIMO	35
3.3 Τεχνικές υλοποίησης ενός MIMO συστήματος	36
3.4 Πλεονεκτήματα συστημάτων MIMO	37
3.5 Κέρδος διάταξης.....	37
3.6 Μείωση των παρεμβολών.....	38
2.4 Συνδυασμός MIMO και OFDM στο πρωτόκολλο 802.11n	39
3.7 Συμπέρασμα.....	41
4. Ασύρματο κανάλι επικοινωνίας	42

4.1 Fading	42
4.2 AWGN.....	42
4.3 Ασύρματο κανάλι fading	42
4.4 Διάδοση	43
4.5 Χαρακτηριστικά	46
5. Πειραματική μέτρηση του wlan 802.11n	48
A' ΚΥΚΛΩΜΑ	48
Σκοπός του πειράματος	49
Διαδικασία	50
Σύγκριση γραφικών παραστάσεων BER σε σχέση με Eb/No	53
Συμπέρασμα A' πειράματος	56
B' ΚΥΚΛΩΜΑ	58
Σκοπός του πειράματος	59
Διαδικασία	59
Σύγκριση γραφικών παραστάσεων BER σε σχέση με Eb/No	62
Συμπέρασμα B' πειράματος	67
Γ' ΚΥΚΛΩΜΑ	68
Σκοπός του πειράματος	69
Διαδικασία	69
Σύγκριση γραφικών παραστάσεων BER σε σχέση με Eb/No	72
Συμπέρασμα Γ' πειράματος.....	76
Βιβλιογραφία.....	78

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα έχουν εξυπηρετήσει αμέτρητους χρήστες και έχουν κάνει εφικτή την διασύνδεση υπολογιστών, εκτυπωτών και άλλων συσκευών, έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, να ανταλλάσσουν ηλεκτρονικά μηνύματα και να έχουν πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων. Τα ενσύρματα, όμως, δίκτυα χαρακτηρίζονται από πολλά προβλήματα. Την απάντηση σε αυτά τα προβλήματα δίνουν τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, τα οποία σηματοδότησαν μία νέα εποχή στις επικοινωνίες και χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο.

Η επιτροπή IEEE για τα ενσύρματα δίκτυα έχει ορίσει ως standard μετάδοσης το πρότυπο 802, όπου με την εξέλιξη της επιστήμης της πληροφορικής, δημιουργήθηκαν οι διάφορες εκδόσεις του. Το πρότυπο των ασύρματων δικτύων έχει βασιστεί στο 802.11. Οι παραλλαγές που δημιουργήθηκαν είναι το 802.11a, 802.11b, 802.11g και το 802.11n. Εμείς στις μετρήσεις μας βασιστήκαμε στο τελευταίο πρότυπο, το 802.11n. Το πρότυπο αυτό χρησιμοποιεί συστήματα πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων MIMO. Μας δίνεται δηλαδή επιλογή να χρησιμοποιήσουμε πάνω από δύο κεραίες εκπομπής και λήψης δεδομένων (1, 2 ή και παραπάνω κεραιοσυστήματα). Όπως θα δούμε και στις μετρήσεις που θα κάνουμε πιο κάτω, τα δύο κανάλια έχουν δύο κεραιοσυστήματα, ενώ το ένα κανάλι έχει ένα. Ένας άλλος παράγοντας που αλλάζει στο 802.11n σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα, είναι το εύρος ζώνης. Στα προηγούμενα πρότυπα του 802.11 το εύρος ζώνης ήταν μόνο 20 MHz. Το πρότυπο με το οποίο θα ασχοληθούμε εμείς, μας δίνει τη δυνατότητα να επιλέξουμε αν θα χρησιμοποιήσουμε 20 ή 40MHz bandwidth. Τέλος, μας δίνεται επίσης η δυνατότητα να επιλέξουμε ποιά θα είναι η απόσταση μεταξύ των συμβόλων (σε χρόνο) που θα μεταδώσουμε. Έχουμε δυο επιλογές: να είναι 400 ή 800ns. Αυτό καλείται ShortGI. Αυτές όλες οι αλλαγές στις παραμέτρους φαίνονται στο πέμπτο κεφάλαιο, στις πειραματικές μετρήσεις που έγιναν.

Αναλυτικά, η εργασία περιλαμβάνει πέντε κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο, αναφέρεται στην αρχή, στα ασύρματα τοπικά δίκτυα, στη συνέχεια στο πρότυπο 802.11 και τέλος σε κάποιες βασικές έννοιες. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στις διαμορφώσεις και στα στοιχεία που χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.11n. Στο τρίτο κεφάλαιο, έχω αναφερθεί στα συστήματα πολλαπλών εισόδων- εξόδων MIMO τα οποία χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.11n. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται τα κανάλια που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο πρότυπο AWGN και Fading. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνονται οι πειραματικές μετρήσεις και στα τρία κυκλώματα και οι προσομοιώσεις αυτών. Λαμβάνονται τα αποτελέσματα και εξάγονται κάποια συμπεράσματα.

1. Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα

1.1 Ορισμός

Ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN) είναι ένα μεσαίου μεγέθους δίκτυο πληροφορικής το οποίο χρησιμοποιεί Εξάπλωση Φάσματος ή Ορθογώνια Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας (OFDM), που βασίζονται σε ραδιοκύματα, για να κάνει εφικτή την επικοινωνία ανάμεσα σε συσκευές που βρίσκονται σε μία περιοχή περιορισμένου εύρους. Με άλλα λόγια είναι το δίκτυο που επιτρέπει τη σύνδεση δύο ή περισσότερων υπολογιστών χωρίς τη χρήση καλωδίων. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να κινούνται μέσα σε μία ευρεία περιοχή μένοντας συνδεδεμένοι στο δίκτυο.

1.2 Ιστορία των ασύρματων τοπικών δικτύων (W-LAN)

Οι ψηφιακές ασύρματες επικοινωνίες δεν είναι μία νέα ιδέα. Ήδη από το 1901 ο Ιταλός φυσικός Γουλιέλμος Μαρκόνι επέδειξε στο κοινό έναν ασύρματο τηλέγραφο, που χρησιμοποιούνταν για την επικοινωνία ανάμεσα στα πλοία και την ξηρά, μέσω κώδικα μορς. Αυτό υπήρξε το εφαλτήριο για μία σειρά ανακαλύψεων, εφευρέσεων και ιδεών που οδήγησαν τα ασύρματα τοπικά δίκτυα όπως είναι στη σημερινή τους μορφή. Οι πρώτες προσπάθειες για τη δημιουργία ενός ασύρματου τοπικού δικτύου έγιναν στα τέλη της δεκαετίας του 1970 χρησιμοποιώντας τη τεχνολογία των υπέρυθρων ακτινών (Infrared – IR), αλλά λόγω χαμηλού ρυθμού μετάδοσης, 1Mbps η προσπάθεια απέτυχε. Στη συνέχεια έγιναν κι άλλες προσπάθειες με χρήση ραδιοκυμάτων στα 900 MHz (HP, 1980) και λίγο αργότερα στα 1,73 GHz (Motorola), αλλά απέτυχαν λόγω της πολυπλοκότητας και της αδυναμίας εξασφάλισης μόνιμης άδειας χρήσης φάσματος. Αργότερα, το 1985 η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών (Federal Communications Commission, FCC) εξουσιοδότησε την δημόσια χρήση της Βιομηχανικής, Επιστημονικής, Ιατρικής ζώνης (ISM bands) που περιλαμβάνει τις συχνότητες 902 MHz ως και 5.85GHz. Η κίνηση αυτή της FCC έδωσε τεράστια ώθηση στην αγορά των ασυρμάτων δικτύων, γιατί στις περισσότερες χώρες του κόσμου δεν απαιτείται καμία ειδική άδεια για την εκπομπή στην περιοχή των ISM ζωνών, εκτός βέβαια από περιορισμούς στην ισχύ εκπομπής που ποικίλλουν από χώρα σε χώρα. Έτσι, πολλοί κατασκευαστές ασχολήθηκαν με την μαζική παράγωγή ασύρματων προϊόντων που οδήγησε στην αύξηση του αριθμού των WLANs.

Το πρώτο από τα συνέδρια για ασύρματα τοπικά δίκτυα του IEEE πραγματοποιήθηκε το 1991. Εκείνη ακριβώς την περίοδο τα “πρόωρα” προϊόντα για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα είχαν κάνει μόλις την εμφάνισή τους καθώς και η επιτροπή του IEEE 802.11 είχε μόλις αρχίσει τις δραστηριότητές της για την ανάπτυξη προτύπου για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Το πρώτο αυτό συνέδριο εστίασε στην αξιολόγηση των εναλλακτικών τεχνολογιών. Μέχρι το 1996, η τεχνολογία είχε σχετικά ωριμάσει, είχε καθοριστεί μία ποικιλία εφαρμογών και είχαν κατανοηθεί πλήρως οι τεχνολογίες που επέτρεπαν αυτές τις εφαρμογές. Αυτή την εποχή, στην αγορά ήταν αναδυόμενα τα σύνολα των ολοκληρωμένων, που στόχευαν στην υλοποίηση και στις εφαρμογές των ασύρματων τοπικών δικτύων. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα είχαν εδραιωθεί πλέον στη καθημερινή ζωή και χρησιμοποιούνταν στα νοσοκομεία, στις πανεπιστημιούπολεις, καθώς και στα διάφορα κτήρια με σκοπό την μαζική πρόσβαση και επικοινωνία. Ένα ακόμη γεγονός που αποδεικνύει την άνθιση των WLANs σε αυτή την περίοδο, είναι ότι το πρωτόκολλο του IEEE 802.11 και οι παραλλαγές του είχαν σημειώσει ραγδαία εξέλιξη. Στις 21 Ιουλίου του 1999, πρωτοεμφανίστηκε το AirPort στην πόλη της Νέας Υόρκης από τον Steve Jobs, ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο που βασίζεται στο πρωτόκολλο του IEEE 802.11b. Οι καταναλωτές το επιδοκίμασαν καθώς συνειδητοποίησαν την χρηστικότητα της μη ύπαρξης καλωδίων. Αυτή ήταν η πρώτη φορά που τα ασύρματα τοπικά δίκτυα έγιναν δημόσια διαθέσιμα στους ιδιώτες καταναλωτές για προσωπική χρήση. Πριν από τη δημοσίευση του AirPort, η ιδιωτική χρήση των WLANs ήταν πολύ ακριβή για τους καταναλωτές και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αποκλειστική τους χρήση σε εγκαταστάσεις μεγάλων εταιριών. Αρχικά το υλικό για την εγκατάσταση ενός ασύρματου τοπικού δικτύου ήταν τόσο ακριβό που χρησιμοποιήθηκε μόνο ως εναλλακτική λύση του ενσύρματου, σε περιοχές όπου η καλωδίωση ήταν δύσκολη ή αδύνατη. Η πρώιμη ανάπτυξη των ασύρματων τοπικών δικτύων περιελάμβανε λύσεις προσαρμοσμένες στην βιομηχανία και πρωτόκολλα ιδιοκτησίας, αλλά στα τέλη της δεκαετίας του 1990 αυτά αντικαταστάθηκαν από πρότυπα, κυρίως των διαφόρων εκδόσεων του IEEE 802.11. Στις μέρες μας, ο ρόλος των ασύρματων τοπικών δικτύων έχει εδραιωθεί στην καθημερινή μας ζωή. Έχει εξελιχθεί και εξακολουθεί να εξελίσσεται συνεχώς με ραγδαίους ρυθμούς.

1.3 Τρόπος λειτουργίας ασύρματων τοπικών δικτύων

Τα ασύρματα LAN χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά μέσα μετάδοσης κυμάτων (το ραδιοκύμα και τις υπέρυθρες ακτίνες) για να μεταδώσουν τις πληροφορίες από ένα σημείο σε ένα άλλο χωρίς να στηρίζονται σε οποιαδήποτε φυσική σύνδεση. Τα ραδιοκύματα αναφέρονται συχνά και ως ραδιοφέροντα επειδή εκτελούν απλά τη

λειτουργία της παράδοσης ενέργειας σε ένα μακρινό δέκτη. Το στοιχείο που μεταδίδεται τοποθετείται πάνω από το ραδιοφέρον έτσι ώστε να μπορεί να εξαχθεί ακριβώς στο λαμβάνων άκρο. Αυτό αναφέρεται ως διαμόρφωση του φέροντος από τις πληροφορίες που μεταδίδονται. Μόλις το στοιχείο τοποθετηθεί πάνω (διαμορφωθεί) από το ραδιοφέρον, το ραδιοσήμα καταλαμβάνει περισσότερες από την απλή συχνότητα δεδομένου ότι η συχνότητα ή ο ρυθμός δυαδικών ψηφίων της διαμορφωμένης πληροφορίας προστίθεται στο φέρον.

Τα πολλαπλά ραδιοφέροντα μπορούν να υπάρχουν στον ίδιο χώρο συγχρόνως χωρίς να παρεμβαίνει το ένα στο άλλο εάν τα ραδιοκύματα μεταδίδονται σε διαφορετικές ραδιοσυχνότητες. Για να εξάγει τα στοιχεία ένας ραδιοδέκτης συντονίζει (ή επιλέγει) μια ραδιοσυχνότητα απορρίπτοντας όλα τα άλλα ραδιοσήματα σε διαφορετικές συχνότητες.

Σε μια χαρακτηριστική διαμόρφωση WLAN, ένας πομπός κάθετος δέκτης (πομποδέκτης), αποκαλούμενος σημείο πρόσβασης (access point), συνδέεται με το ενσύρματο δίκτυο από μια σταθερή θέση χρησιμοποιώντας το τυποποιημένο καλώδιο Ethernet. Εν συντομία, το σημείο πρόσβασης λαμβάνει, αποθηκεύει και μεταδίδει στοιχεία μεταξύ του WLAN και της ενσύρματης υποδομής. Ένα απλό σημείο πρόσβασης μπορεί να υποστηρίξει μια μικρή ομάδα χρηστών και μπορεί να λειτουργήσει σε μια περιοχή λιγότερο από εκατό έως αρκετών εκατοντάδων ποδιών.

Το σημείο πρόσβασης (ή η κεραία που συνδέεται με το σημείο πρόσβασης) είναι συνήθως τοποθετημένη ψηλά αλλά τοποθετημένη ουσιαστικά οπουδήποτε είναι πρακτική εφόσον εξασφαλίζεται η επιθυμητή ραδιοκάλυψη.

Τελικά, οι χρήστες έχουν πρόσβαση στο WLAN μέσω των ασύρματων προσαρμοστών (adapters) του τοπικού LAN, οι οποίοι εφαρμόζονται ως κάρτες PC στους notebook υπολογιστές ή χρησιμοποιούν ISA ή PCI προσαρμοστές γραφείου, ή πλήρως ενσωματωμένες συσκευές μέσα στους φορητούς υπολογιστές.

1.4 Στοιχεία για τη διάδοση

Τα περισσότερα κυψελωτά συστήματα λειτουργούν σε αστικές περιοχές όπου δεν υπάρχει διαδρομή ευθείας οπτικής επαφής ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη και όπου η παρουσία ψηλών κτιρίων συντελεί σε μεγάλες απώλειες λόγω της περίθλασης.

Εξαιτίας των πολλαπλών ανακλάσεων από διάφορα αντικείμενα, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα οδεύουν ακολουθώντας διάφορες διαδρομές με ποικίλα μήκη. Οι χρόνοι άφιξης των σημάτων που προέρχονται από τις διαφορετικές διαδρομές ποικίλλουν ανάλογα με το μήκος των διαδρομών, οι οποίες με τη σειρά τους εξαρτώνται από την αρχιτεκτονική του περιβάλλοντος χώρου γύρω από τον πομπό και το δέκτη. Η αλληλεπίδραση αυτών των κυμάτων προκαλεί απώλειες πολλαπλών διαδρομών στην εξεταζόμενη τοποθεσία.

Βασική παρατήρηση για τη μελέτη είναι ότι η ισχύς των κυμάτων μειώνεται καθώς αυξάνει η απόσταση ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη.

Τα WLAN χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα για τη μεταφορά πληροφοριών από ένα σημείο σε άλλο χωρίς φυσική σύνδεση. Χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι. Αρχικά υπήρχε η δυνατότητα για IR , αλλά αυτό περιορίζεται από την απαίτηση για οπτική επαφή και τις μικρές αποστάσεις (εμβέλεια).

Εγκαταλείφθηκε και η ιδέα της χρήσης μικροκυμάτων εξαιτίας του υψηλού κόστους των πομπών/δεκτών. Καταλήχθηκε έτσι η χρήση των ραδιοκυμάτων.

Τα ραδιοκύματα μπορούν να διεισδύσουν στα αντικείμενα περισσότερο από ότι οι IR . Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για διαμόρφωση των ραδιοκυμάτων. Στα WLAN χρησιμοποιούνται οι : frequency hopping και direct sequence. Η πρώτη χρησιμοποιείται σε συστήματα μέχρι 3Mbps ενώ η δεύτερη σε συστήματα που επιτυγχάνουν ταχύτητες μέχρι και 11 Mbps.

1.5 Πλεονεκτήματα της χρήσης W-LAN

Δυνατότητα κίνησης : Τα ασύρματα δίκτυα προσφέρουν στους εργαζόμενους πρόσβαση πραγματικού χρόνου σε δεδομένα από οπουδήποτε κι αν βρίσκονται μέσα στην επιχείρησή τους ή όπου υπάρχει κάλυψη από το ασύρματο δίκτυο. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να αυξήσει δραματικά την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα των εργαζομένων.

Παραγωγικότητα: Οι χρήστες που συνδέονται με ένα ασύρματο δίκτυο μπορούν να διατηρήσουν έναν σχεδόν σταθερό «δεσμό» με το δίκτυο τους καθώς κινούνται από μέρος σε μέρος. Για μια επιχείρηση, αυτό υπονοεί ότι ένας υπάλληλος μπορεί ενδεχομένως να είναι παραγωγικότερος δεδομένου ότι η εργασία του/της μπορεί να ολοκληρωθεί από οποιαδήποτε κατάλληλη θέση.

Απλή και γρήγορη εγκατάσταση: Η εγκατάσταση ενός WLAN μπορεί να γίνει εύκολα και γρήγορα χωρίς τα προβλήματα της καλωδίωσης που συνοδεύουν τα ενσύρματα δίκτυα.

Μειωμένο κόστος χρήσης: Ενώ το αρχικό κόστος για το hardware που θα υποστηρίξει ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο είναι μεγαλύτερο από αυτό ενός ενσύρματου δικτύου, τα συνολικά έξοδα εγκατάστασης, καθώς και το κόστος χρήσης, είναι σημαντικά μικρότερα. Μακροπρόθεσμα τα οφέλη είναι ακόμη μεγαλύτερα για περιπτώσεις δυναμικών χώρων εργασίας, οι οποίες απαιτούν συχνές μετακινήσεις και αλλαγές.

Εύκολη προσαρμογή: Η ασύρματη τεχνολογία επιτρέπει τη χρήση του δικτύου σε χώρους που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν καλώδια (π.χ. διατηρητέα κτίρια).

Δυνατότητα επέκτασης: Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να υποστηρίξουν μια μεγάλη ποικιλία από τοπολογίες προκειμένου να ανταποκριθούν στις ανάγκες συγκεκριμένων εφαρμογών. Οι τοπολογίες αυτές μπορούν εύκολα να αλλάξουν και περιλαμβάνουν από απλά ισότιμα δίκτυα κατάλληλα για μικρό αριθμό χρηστών, έως πλήρως εκτεταμένα δίκτυα με δυνατότητες περιαγωγής που μπορούν να υποστηρίξουν χιλιάδες χρήστες σε μεγάλες αποστάσεις.

Συμβατότητα : Με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού είναι δυνατόν να συνδεθούν τα ασύρματα με τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα. Έτσι δίνεται η δυνατότητα του συνδυασμού των πλεονεκτημάτων και των δύο τύπων στις διάφορες εφαρμογές.

1.6 Μειονεκτήματα της χρήσης W-LAN

Απόδοση: Η πραγματική απόδοση του ασύρματου δικτύου, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως α) απόσταση από το Access Point, β) φυσικά εμπόδια και γ) η τοποθέτηση και ο προσανατολισμός ασύρματων συσκευών.

Path loss: Οι απώλειες που μπορεί να έχουμε σε μια ασύρματη επικοινωνία από το «path loss» εξαρτώνται άμεσα από την ύπαρξη ή μη οπτικής επαφής.

Προστασία της υγείας των χρηστών: Τα ασύρματα LAN που χρησιμοποιούν την τεχνική μετάδοσης με υπέρυθρες ακτίνες, θα πρέπει να περιορίζουν την ισχύ του εκπεμπόμενου σήματος στο ανώτερο όριο των 2 Watts, για να αποφευχθούν προβλήματα υγείας.

Το πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου: Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται όταν υπάρχει ένας σταθμός που δεν μπορεί να ανιχνεύσει την δραστηριότητα ενός άλλου σταθμού ώστε να αναγνωρίσει ότι το μέσο χρησιμοποιείται.

Ασφάλεια: Τα προϊόντα ασύρματης δικτύωσης υποστηρίζουν διάφορα πρωτόκολλα ασφάλειας δικτύων, αλλά απαιτούν ειδικές ενέργειες για να τεθούν σε εφαρμογή.

1.7 Χαρακτηριστικά μετάδοσης

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο επιτυγχάνει αμφίδρομη μετάδοση δεδομένων, με φυσικό μέσο μετάδοσης τον αέρα. Τα σήματα πληροφορίας από και προς τους κόμβους του ασύρματου δικτύου διαδίδονται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο κοινό μέσο που είναι ο αέρας. Και μόνο αυτό το γεγονός αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Όπως είπαμε, η φύση του μέσου διάδοσης (αέρας) αλλά και του φορέα

(ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συγκεκριμένου φάσματος συχνοτήτων) καθιστά την ταυτόχρονη χρήση του μέσου από δύο πομπούς απαγορευτική. Εφόσον η εκπομπή και η λήψη πραγματοποιείται στην ίδια ζώνη συχνοτήτων ο δίαυλος επικοινωνίας είναι μονόδρομος κάθε στιγμή (half-duplex). Μπορούμε να πούμε ότι αναλογεί με την τοπολογία κοινού διαύλου (common bus) στα ενσύρματα τοπικά δίκτυα όπου κάθε στιγμή ένας κόμβος επιτρέπεται να εκπέμπει.

Η μετάδοση πραγματοποιείται είτε στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (στην ISM ζώνη συχνοτήτων 2.4GHz-2.4835 GHz), είτε με υπέρυθρη ακτινοβολία μήκους κύματος 850-950 nm. Υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων της τάξεως των 1Mbps και 2Mbps. Η εγκατάσταση ενός ασύρματου τοπικού δικτύου είναι γρήγορη και εύκολη ενώ το συνολικό κόστος λειτουργίας του μπορεί να είναι σημαντικά χαμηλότερο σε σχέση με άλλες τεχνολογίες πρόσβασης. Παράλληλα τα ασύρματα τοπικά δίκτυα παρέχουν στους χρήστες την δυνατότητα πρόσβασης σε ευρυζωνικές υπηρεσίες για το διάστημα που αυτή παραμένουν σε σημεία της περιοχής κάλυψης των εν λόγω δικτύων. Υποστηρίζει δυνατότητες όπως προτεραιοποίηση της κίνησης, υποστήριξη εφαρμογών πραγματικού χρόνου και διαχείριση ισχύος συσκευής.

1.8 Αρχιτεκτονική του Wi-Fi

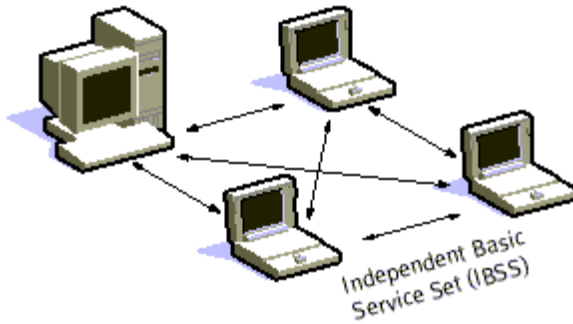
Το ασύρματο τοπικό δίκτυο αποτελείται από τις βασικές ομάδες υπηρεσιών (Basic Service Set). Κάθε μονάδα BSS περιλαμβάνει ένα σύνολο συσκευών-σταθμών (Stations) και το σημείο πρόσβασης (Access Point), το οποίο συνδέεται στο ασύρματο μέσο.

Αντίστοιχα οι εκτεταμένες ομάδες υπηρεσίας (Extended Service Set) αποτελούν ένα σύνολο από BSSs και ενσύρματα τοπικά δίκτυα πρόσβασης. Το δίκτυο μεταφοράς, διασυνδέει τα σημεία πρόσβασης μεταξύ τους καθώς και με τα υπόλοιπα ενσύρματα τοπικά δίκτυα και ονομάζεται σύστημα διανομής (Distribution System). Το πρότυπο δεν ορίζει την μορφή του, έτσι μπορεί να είναι είτε ένα ενσύρματο δίκτυο είτε κάποιο ασύρματο.

Όσον αφορά την τοπολογία τους τα δίκτυα αυτά εμφανίζονται με δύο βασικές δομές, τη δομημένη (Infrastructure), την τυχαία (Ad-hoc), ή συνδυασμό των δύο.

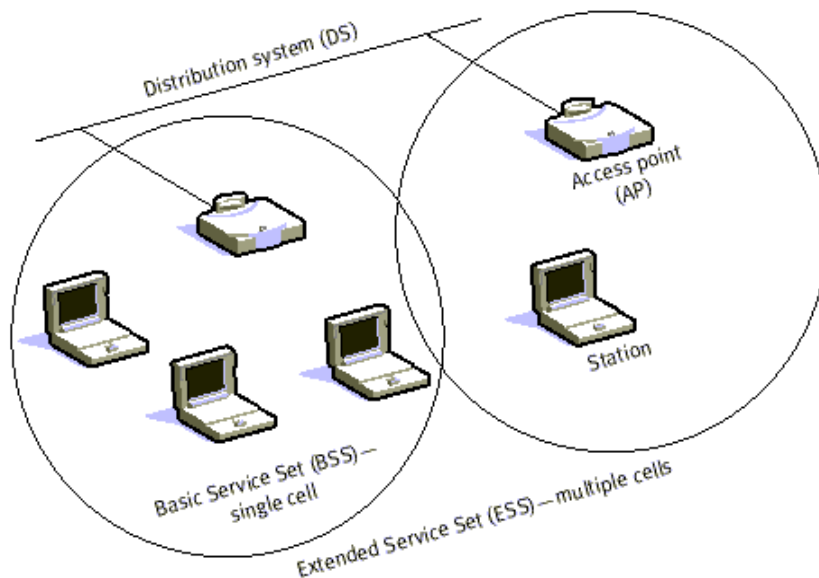
Η δομημένη τοπολογία ακολουθεί μια κυψελοειδή αρχιτεκτονική. Η κάθε κυψέλη αντιστοιχεί στην βασική δομική μονάδα BSS. Όλες οι συσκευές-σταθμοί που περιέχονται στην κυψέλη επικοινωνούν μόνο μέσω του σημείου πρόσβασης (AP). Έτσι, η επικοινωνία δύο σταθμών πραγματοποιείται μέσω της αποστολής των πακέτων από το σταθμό προς το AP και αυτός στη συνέχεια τα επανεκπέμπει προς τον τελικό προορισμό. Επομένως για να επικοινωνήσουν δύο σταθμοί δεν απαιτείται να βρίσκονται ο ένας εντός

της εμβέλειας του άλλου, αρκεί ο καθένας να είναι εντός της εμβέλειας του αντίστοιχου AP. Μέσο του AP πραγματοποιείται η μεταγωγή των πακέτων τόσο μεταξύ των διαφόρων ασύρματων σταθμών, όσο και μεταξύ των ασύρματων σταθμών και του συστήματος διανομής DS (Distribution System). Με την χρήση δομημένης τοπολογίας πολλαπλά σημεία πρόσβασης συνδέονται με ενσύρματο δίκτυο, αυξάνοντας την κάλυψη και την χωρητικότητα του δικτύου πρόσβασης.



Εικόνα 1 Αρχιτεκτονική Δομημένης Τοπολογίας

Με την χρήση τυχαίας διάταξης στο ασύρματο τοπικό δίκτυο οι χρήστες είναι ισότιμοι και επικοινωνούν μεταξύ τους απευθείας, χωρίς την μεσολάβηση σημείων πρόσβασης. Παράδειγμα εφαρμογής είναι η σύνδεση μεταξύ φορητών υπολογιστών σε μία αίθουσα συσκέψεων. Πλεονέκτημα της διάταξης αυτής αποτελεί η γρήγορη και εύκολη εγκατάσταση. Όμως απαραίτητη προϋπόθεση για την επικοινωνία δύο σταθμών είναι ο ένας να βρίσκεται εντός της εμβέλειας του άλλου.

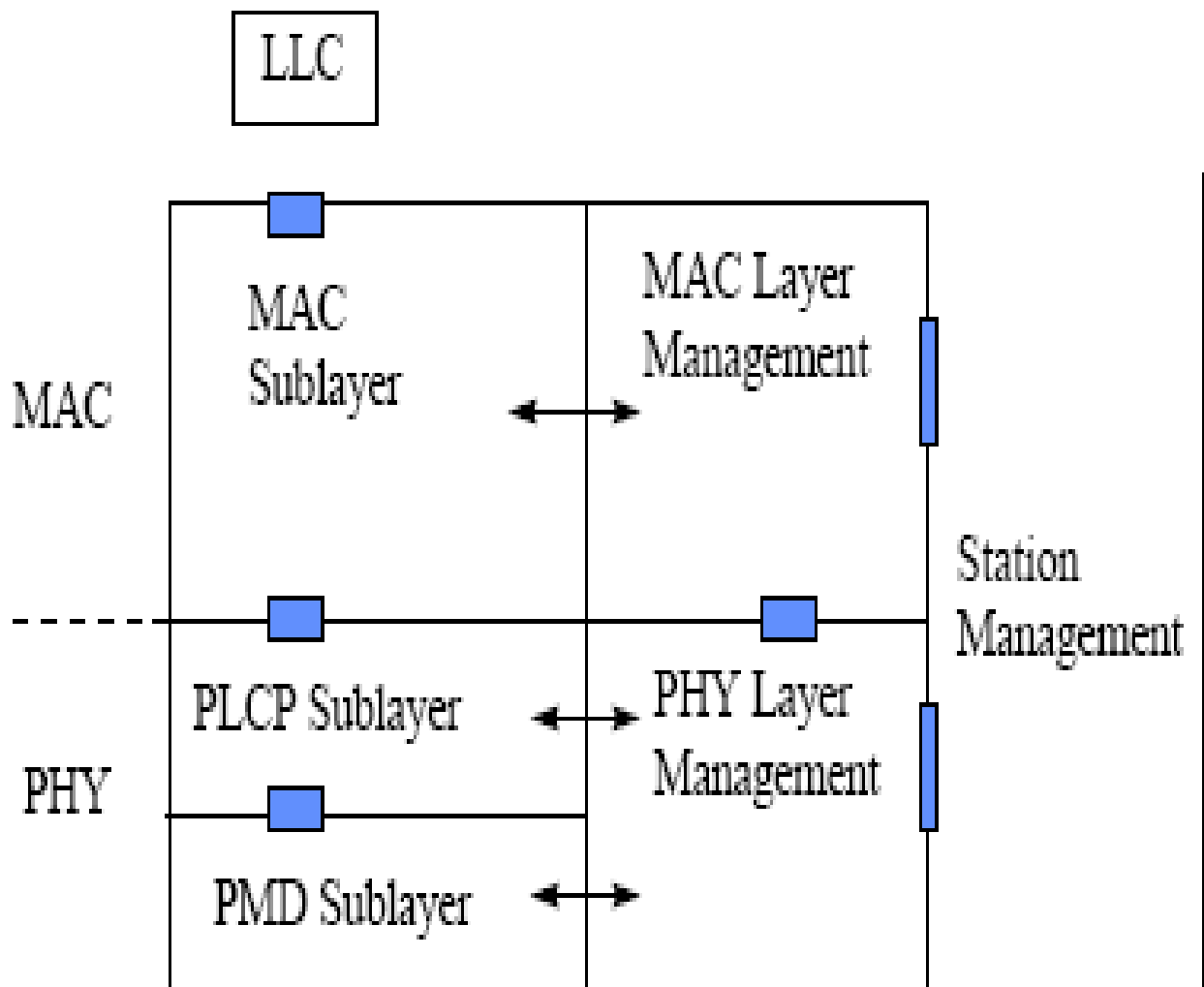


Εικόνα 2 Αρχιτεκτονική Τυχαίας Τοπολογίας

Προφανώς ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει οποιονδήποτε συνδυασμό των παραπάνω τοπολογιών.

1.9 Ανάλυση των επιπέδων του WiFi

Το 1997 οριστικοποιήθηκε το πρώτο πρότυπο για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα με την ονομασία 802.11. Στο πρότυπο 802.11 περιγράφονται τα δύο πρώτα επίπεδα του OSI μοντέλου, δηλαδή το Φυσικό στρώμα (Physical Layer ή PHY Layer) και το υπόστρωμα Ελέγχου Πρόσβασης Μέσου (Media Access Control Sublayer ή MAC Sublayer) που περιλαμβάνεται στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων (Data Link Layer). Η δομή αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και το κάθε επίπεδο αναπτύσσεται εκτενώς στη συνέχεια.



Εικόνα 3 Δύο πρώτα επίπεδα του OSI

1.10 Υπόστρωμα MAC

Η κύρια υπηρεσία του 802.11 είναι η παράδοση των πλαισίων M-SDUs (MAC Service Data Units) μεταξύ ομότιμων στρωμάτων ζεύξης δεδομένων. Παράλληλα περιλαμβάνει βασικές υπηρεσίες όπως η διασύνδεση με τα εξωτερικά δίκτυα, συσχέτιση ενός σταθμού με ένα σημείο πρόσβασης (Association), επανασυσχέτιση ενός σταθμού σε περίπτωση μετακίνησης (Reassociation), τερματισμός της συσχέτισης (Disassociation), πιστοποίηση (Authentication), ασφάλεια και διαχείριση ισχύος τερματικού σταθμού.

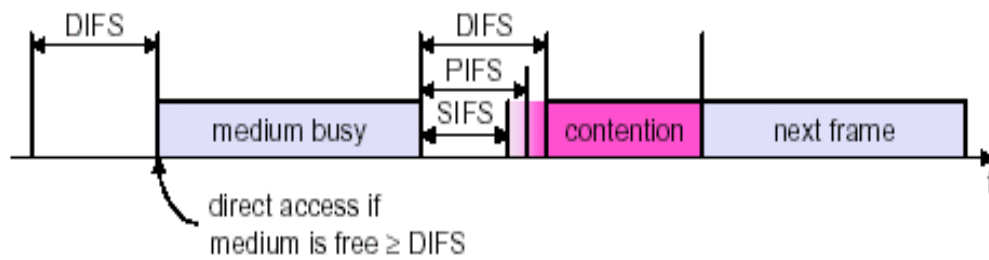
Κάτω από τον καθορισμό του ISO, το υπόστρωμα MAC επιτρέπει την αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, ενώ ταυτόχρονα συντονίζει την πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης. Ο διαμοιρασμός του μέσου ανάμεσα στους σταθμούς γίνεται χρησιμοποιώντας τις εξής δύο βασικές μεθόδους:

1. Λειτουργία Κατανεμημένου Συντονισμού (Distributed Coordination Function, DCF):

Η τεχνική αυτή έχει σχεδιασθεί για ασύγχρονη μετάδοση δεδομένων, έτσι όλοι οι σταθμοί έχουν ίδιες ευκαιρίες για πρόσβαση στο μέσο. Η κατηγορία αυτή χωρίζεται περαιτέρω σε υποκατηγορίες:

DCF CSMA/CA:

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στον ανταγωνισμό και για την πρόσβαση στο μέσο χρησιμοποιείται η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης κοινού φάσματος με ανίχνευση φέροντος για την αποφυγή συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance, CSMA/CA). Όταν ένας σταθμός έχει πακέτα προς μετάδοση, αρχικά ανιχνεύει το μέσο. Η ανίχνευση φέροντος που πραγματοποιείται στην ασύρματη διεπαφή αναφέρεται ως φυσικός μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος (physical carrier sensing). Κάθε μεταδιδόμενο πλαίσιο φέρει το πεδίο Duration που αναφέρεται στην χρονική διάρκεια κατάληψης του μέσου και τοποθετεί την πληροφορία στο NAV (Network Allocation Vector) κάθε σταθμού. Ο μηχανισμός αυτός αναφέρεται ως εικονική ανίχνευση φέροντος (virtual carrier sensing). Ο NAV είναι ένας μετρητής που ενημερώνεται από το πεδίο Duration κάθε λαμβανομένου πλαισίου και μετρά αντίστροφα τον χρόνο που χρειάζεται το τελευταίο πλαίσιο που ανιχνεύθηκε για να μεταδοθεί. Όταν ο NAV μηδενίζεται τότε ο σταθμός μπορεί να εκπέμψει.

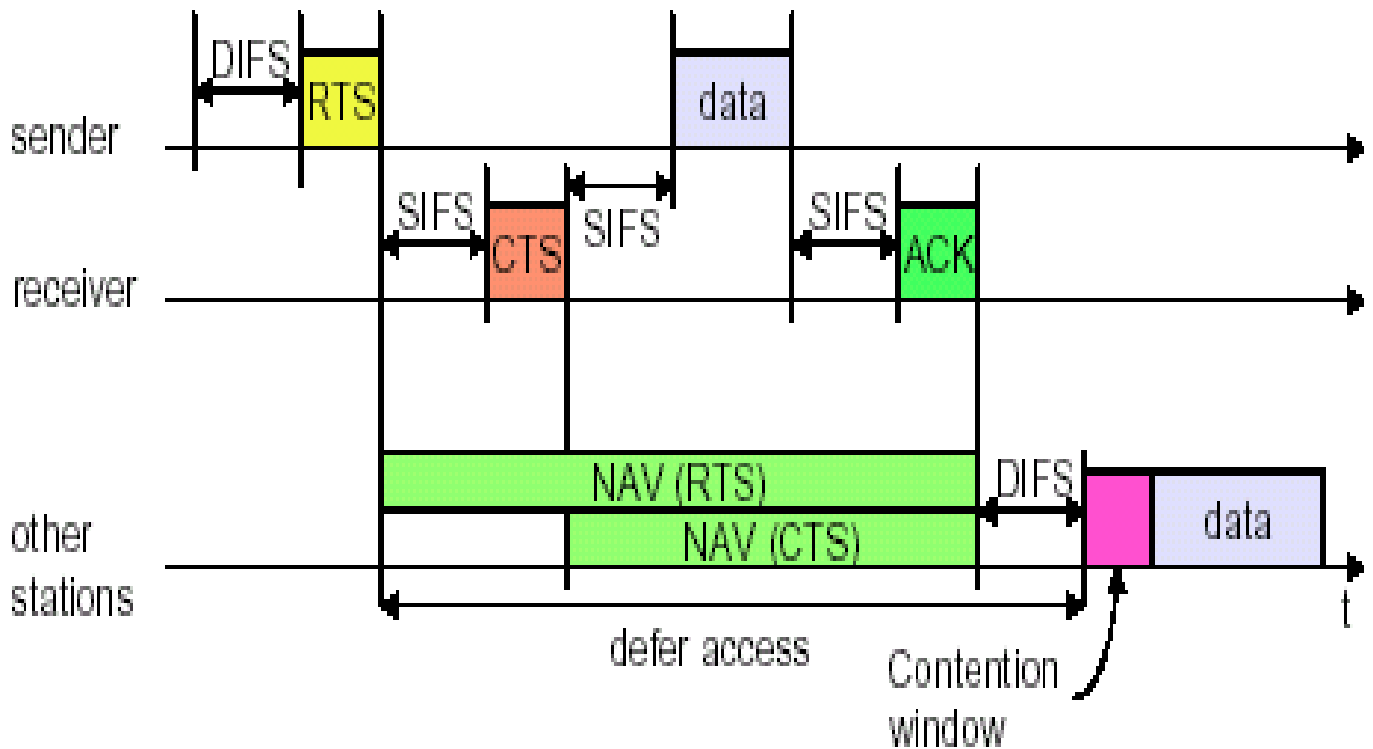


Εικόνα 4 Τεχνική πολλαπλής πρόσβασης κοινού φάσματος με ανίχνευση φέροντος για την αποφυγή συγκρούσεων

Αν κατά την ανίχνευση διαπιστωθεί ότι το μέσο είναι απασχολημένο τότε ο σταθμός περιμένει μέχρι να απελευθερωθεί το κανάλι. Αν το μέσο είναι ελεύθερο για ένα συγκεκριμένο διάστημα DIFS (Distributed Inter Frame Space), τότε ο σταθμός μπορεί να μεταδώσει. Στη συνέχεια ο σταθμός λήψης θα ελέγξει το λαμβανόμενο πακέτο και θα στείλει ένα πακέτο επαλήθευσης (ACKnowledgment, ACK). Αν ο αποστολέας δεν λάβει την επαλήθευση θα υποθέσει ότι μια σύγκρουση πακέτων έγινε και θα ξαναστείλει το πακέτο. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για ένα συγκεκριμένο αριθμό επαναμεταδόσεων. Τυχόν συγκρούσεις ανιχνεύονται από το επίπεδο MAC και η αναμετάδοση των πακέτων γίνεται από αυτό το επίπεδο για να αποφεύγονται καθυστερήσεις. Εάν το κανάλι είναι ελεύθερο, ο σταθμός πρέπει να περιμένει ένα τυχαίο χρονικό διάστημα backoff (μεταβάλλεται εκθετικά ως προς το χρόνο) πριν να επιχειρήσει και πάλι να μεταδώσει.

DCF RTS/CTS:

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην πρόσβαση στο μέσο με τη βοήθεια πακέτων “αίτησης” (RTS) και “άδειας” (CTS) χρήσης του μέσου. Τα πακέτα σηματοδότησης (RTS και CTS) περιέχουν πληροφορίες που αφορούν την διεύθυνση του αποστολέα, του παραλήπτη και το μήκος του πακέτου. Ένας σταθμός που επιθυμεί να μεταδώσει, πριν στείλει κάποιο πακέτο ζητά πρώτα την άδεια με την αποστολή ενός πακέτου σηματοδότησης RTS (Request To Send), αφού περιμένει για χρονικό διάστημα DIFS.



NAV: Network Allocation Vector

Εικόνα 5 Τεχνική με πακέτα “αίτησης” (RTS) και “άδειας” (CTS)

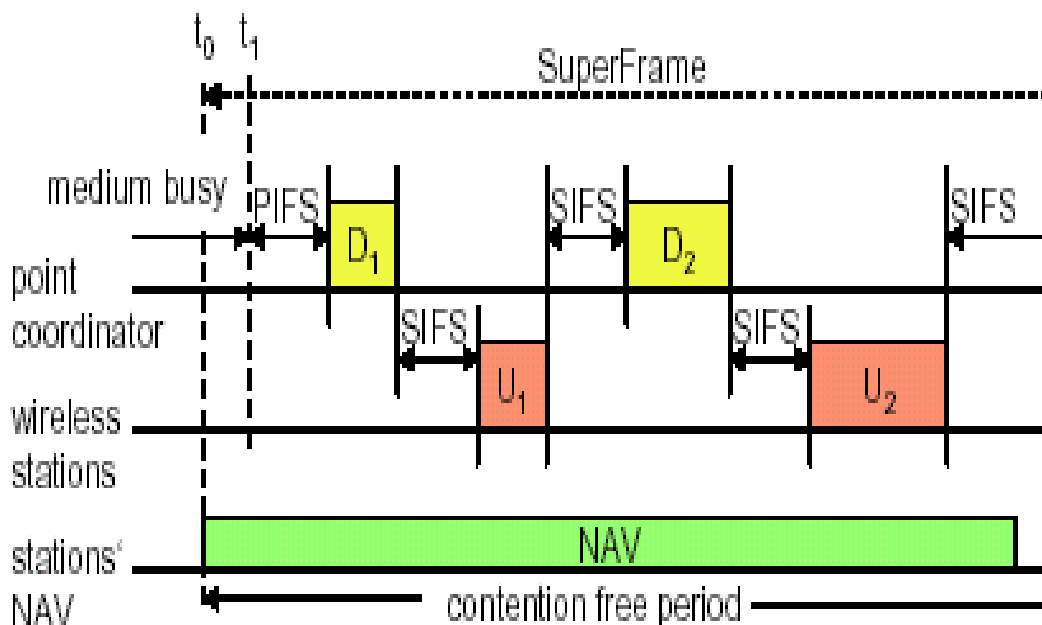
Ο σταθμός λήψης αφού πρώτα περιμένει για ένα διάστημα SIFS (Short InterFrame Space) εγκρίνει τη λήψη των δεδομένων μέσω ενός πακέτου CTS (Clear To Send). Εάν το πακέτο CTS δεν ανιχνεύεται από τον αποστολέα έπειτα ο σταθμός εισάγει το στάδιο backoff και ένα νέο πακέτο RTS στέλνεται. Ο σταθμός αποστολής μπορεί τώρα να στείλει άμεσα τα δεδομένα τα οποία θα επαληθευθούν μέσω ACK. Οι άλλοι σταθμοί αποθηκεύουν τις αλλαγές στις κρατήσεις του στρώματος που διανέμονται μέσω των RTS και CTS.

Ο κύριος σκοπός αυτού του σχεδίου πρόσβασης είναι όχι μόνο να αντιμετωπιστεί το κρυμμένο τελικό πρόβλημα, αλλά και να μειωθεί ο χρόνος που σπαταλιέται στις συγκρούσεις. Αυτός ο μηχανισμός εφαρμόζεται σε περιβάλλον όπου υπάρχουν πολλοί σταθμοί, άρα και πολλές συγκρούσεις, και έχει το αντίτιμο ότι προσθέτει κάποιο overhead στο δίκτυο.

Λειτουργία Συντονισμένου Σημείου (Point Coordination Function, PCF):

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται σε λειτουργία με σύνδεση και παρέχει μετάδοση πλαισίων χωρίς ανταγωνισμό, για αυτό και καθίσταται κατάλληλη μόνο για δομημένα δίκτυα (infrastructure). Ένα Access Point μέσα στο BSS παίζει το ρόλο του συντονιστή σημείου (Point Coordinator, PC) και είναι αυτός που καθορίζει ποιος σταθμός έχει την δυνατότητα να μεταδώσει την τρέχουσα χρονική στιγμή. Το PCF χρησιμοποιεί τον εικονικό μηχανισμό ανίχνευσης φέροντος υποβοηθούμενο από ένα μηχανισμό ελέγχου προτεραιότητας. Ο PCF διανέμει τις απαραίτητες πληροφορίες μέσω των πλαισίων διαχείρισης “Beacon” για να κερδίσει τον έλεγχο του μέσου, θέτοντας σε λειτουργία το Network Allocation Vector (NAV). Συγκεκριμένα, ο PC ανιχνεύει το μέσο στην αρχή κάθε περιόδου CFP (Contention Free Period). Αν το μέσο είναι ελεύθερο για διάστημα ίσο με PIFS (PCF InterFrame Space), το PC στέλνει ένα πλαίσιο “Beacon”, ώστε οι σταθμοί να ενημερώσουν τα NAV για τη διάρκεια της CFP. Επιπρόσθετα, όλες οι μεταδόσεις πλαισίων κάτω από τη λειτουργία του PCF μπορούν να χρησιμοποιούν ένα IFS το οποίο έχει μικρότερη διάρκεια από το αντίστοιχο IFS που χρησιμοποιείται με τη DCF. Αυτό σημαίνει ότι η κίνηση που στηρίζεται στη χρήση της PCF έχει προτεραιότητα στον έλεγχο του μέσου για σταθμούς που βρίσκονται σε υπερκαλυπτόμενα (overlapping) BSSs και κάνουν χρήση της DCF.

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται σε συστήματα polling που ελέγχεται από ένα AP, και σχεδιάστηκε κυρίως για μεταφορά κίνησης που είναι ευαίσθητη σε καθυστερήσεις. Βοηθάει στην επίλυση του προβλήματος του κρυμμένου τερματικού (hidden terminal problem).



Εικόνα 6 Μέθοδος Συντονισμένου Σημείου

1.11 Υπηρεσίες MAC συστήματος διανομής (DS Services)

Το σύστημα (DS) προσφέρει υπηρεσίες που σχετίζονται τόσο με τη σύνδεση των σταθμών με τα APs όσο και με τη λειτουργικότητα ενός εγχειρήματος δικτύωσης με βάση το πρότυπο 802.11. Οι υπηρεσίες αυτές υλοποιούνται στο υπόστρωμα MAC των σταθμών βάσης (APs) και αναφέρονται ως υπηρεσίες συστήματος διανομής (Distribution System Services).

Μέσω των MSDUs, οι σταθμοί μπορούν να συνδεθούν σε ένα δίκτυο χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες συσχέτισης (association) και τερματισμού της συσχέτισης (disassociation) του DS. Η πρώτη από αυτές τίθεται σε λειτουργία κάθε φορά που ένας σταθμός θέλει να συνδεθεί με ένα AP. Η σύνδεση αυτή αντιστοιχίζει ένα σταθμό στο DS μέσω ενός AP. Η δεύτερη υπηρεσία τερματίζει μια υπάρχουσα σύνδεσης.

Η λειτουργία της επανασυσχέτισης (reassociation), επιτρέπει σε ένα σταθμό να αλλάξει τη τρέχουσα συσχέτιση του με ένα AP. Είναι παρόμοια υπηρεσία με τη συσχέτιση με τη διαφορά ότι περιέχει πληροφορία για το AP με το οποίο σχετιζόταν ο σταθμός.

Η υπηρεσία διασύνδεσης (intergration) με τα εξωτερικά δίκτυα, συνδέει ένα δίκτυο 802.11 WLAN σε άλλα LANs ενσύρματα ή ασύρματα. Μια πύλη (portal) είναι αυτή που υλοποιεί την υπηρεσία. Τυπικά βρίσκεται σε ένα AP, μπορεί όμως και να είναι τμήμα ενός διαφορετικού δικτύου. Η υπηρεσία αυτή μεταφράζει πλαίσιο 802.11 σε πλαίσια που μπορούν να μεταδοθούν σε άλλο δίκτυο και το ανάστροφο.

Δύο επιπλέον υπηρεσίες, αυτές της διανομής και παράδοσης πλαισίου χρησιμοποιούνται κάθε φορά που ένας σταθμός θέλει να στείλει MAC πλαίσια δια μέσου του DS. Το 802.11 δεν καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο το DS διανέμει τα δεδομένα. Η μόνη πληροφορία που δίνει η υπηρεσία στο DS είναι ο καθορισμός του BSS για το οποίο προορίζεται το πλαίσιο.

1.12 Υπόστρωμα σύγκλισης του φυσικού στρώματος (Physical Layer Convergence , PLCP)

Το υπόστρωμα MAC επικοινωνεί με το PLCP μέσω στοιχείων υπηρεσίας (service primitives) με τη βοήθεια των SAPs (Service Access Points) του φυσικού στρώματος. Μετά από αίτηση του στρώματος MAC το PLCP προετοιμάζει τα πλαίσια MPDUs (MAC Protocol Data Units) για μετάδοση. Το PLCP προσαρμόζει πεδία στο MPDU που περιέχουν πληροφορίες που χρειάζονται οι πομποί και οι δέκτες του φυσικού στρώματος. Το 802.11 αναφέρεται σε αυτό το σύνθετο πλαίσιο ως PPDU (PLCP Protocol Data Unit). Η δομή του PPDU προσφέρεται για ασύγχρονη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ σταθμών του ασύρματου δικτύου. Έτσι το

φυσικό στρώμα κάθε σταθμού έχει την δυνατότητα να συγχρονίζεται ξεχωριστά σε κάθε πλαίσιο που λαμβάνει. Στο υπόστρωμα αυτό λαμβάνουν χώρα και οι εξής λειτουργίες:

➤ **Ανίχνευση φέροντος:** Το PLCP εκτελεί τις παρακάτω λειτουργίες όταν ο σταθμός δεν βρίσκεται σε διαδικασία μετάδοσης ή λήψης ενός πλαισίου:

Ανίχνευση των εισερχόμενων σημάτων: Το PLCP μέσα στον σταθμό θα ανιχνεύει διαρκώς το μέσο. Όταν το μέσο γίνει απασχολημένο, το PLCP θα διαβάσει τα πεδία “προοιμίου” (preamble) και “επικεφαλίδας” (header) του πλαισίου PLCP και θα επιχειρήσει συγχρονισμό του δέκτη στον ρυθμό μετάδοσης του σήματος.

Καθορισμός ελεύθερου καναλιού (CCA: Clear Channel Assessment): Με τη λειτουργία αυτή καθορίζεται αν το μέσο είναι απασχολημένο ή όχι. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος λειτουργίας του CCA είναι η μέτρηση, από το PMD, της ενέργειας στο μέσο. Ο καθορισμός του μέσου προκύπτει ανάλογα με το αν η μετρούμενη τιμή ξεπερνάει ένα συγκεκριμένο όριο, το οποίο αναφέρεται ως κατώφλι ανίχνευσης ενέργειας (ED: Energy Detection).

➤ **Μετάδοση:** Το PLCP θα αλλάζει το PMD σε κατάσταση μετάδοσης μετά τη λήψη της κατάλληλης “πρωτογενούς υπηρεσίας” (service primitive, PHY-TXSTART.request) από το επίπεδο MAC. Το επίπεδο MAC στέλνει τον αριθμό των bytes (0-4095) και τις οδηγίες για τον ρυθμό μετάδοσης μαζί με την παραπάνω αίτηση (request). Το PMD ανταποκρίνεται στέλνοντας το “preamble” του πλαισίου στην κεραία μέσα σε 20 μs. Ο πομπός στέλνει τα “preambles” και “headers” με ρυθμό 1 Mbps. Αφού σταλεί το “preamble” ο πομπός αλλάζει τον ρυθμό μετάδοσης σε αυτόν που καθορίζεται από το “header”. Μετά την ολοκλήρωση της μετάδοσης, το PLCP στέλνει το κατάλληλο “primitive” στο επίπεδο MAC, κλείνει τον πομπό και αλλάζει το κυκλωματικό (circuitry) του PMD σε κατάσταση λήψης.

➤ **Λήψη:** Αν ο καθορισμός του ελεύθερου καναλιού (CCA) ανακαλύψει ότι το μέσο είναι απασχολημένο και ανιχνεύσει ένα έγκυρο “preamble” ενός εισερχόμενου πλαισίου τότε το PLCP θα ελέγξει την επικεφαλίδα (header) του πλαισίου. Το PMD θα υποδείξει ότι το μέσο είναι απασχολημένο όταν ανιχνεύσει ένα σήμα με ισχύ μεγαλύτερη από 85 dBm. Αν το PLCP καθορίσει ότι η επικεφαλίδα είναι χωρίς λάθη θα στείλει το κατάλληλο “primitive” (PHY-RXSTART.indicate) στο επίπεδο MAC για να ειδοποιήσει για την επικείμενη λήψη ενός πλαισίου. Μαζί με αυτήν την ειδοποίηση το PLCP στέλνει τις πληροφορίες που βρίσκει στην επικεφαλίδα του πλαισίου (όπως ο αριθμός των bytes και ο ρυθμός μετάδοσης). Το PLCP θέτει σε λειτουργία έναν μετρητή byte βασιζόμενο στην τιμή του πεδίου “Μήκος Λέξης” (Length Word) του PSDU (Physical Layer Service Data Unit) που βρίσκεται στην επικεφαλίδα. Με τη βοήθεια του μετρητή αυτού, το PLCP γνωρίζει πότε λαμβάνει χώρα το τέλος του πλαισίου. Καθώς το PLCP λαμβάνει τα δεδομένα, στέλνει τα bytes του PSDU στο επίπεδο MAC με τα κατάλληλα “primitives”.

1.13 Το πρωτόκολλο 802.11

Το πρότυπο IEEE802.11 είναι το πρώτο πρότυπο για WLAN και έως τώρα το μοναδικό που βρίσκεται ουσιαστικά στην αγορά. Η υλοποίηση του προτύπου ξεκίνησε το 1987 σαν μέρος του IEEE802.4 με τον αριθμό γκρουπ IEEE 802.4L. Το πρότυπο IEEE 802.4 είναι το αντίστοιχο των IEEE 802.3 και IEEE 802.5 τα οποία έχουν σχεδιαστεί με γνώμονα το βιομηχανικό περιβάλλον. Αρχικά, ένα από τα βασικά κίνητρα για την ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων ήταν για να χρησιμοποιηθούν από τη βιομηχανία στην επικοινωνία μεταξύ διαφόρων μηχανημάτων. Για τον λόγο αυτό, μεγάλες εταιρείες όπως η General Motors συμμετείχαν ιδιαίτερα ενεργά στην ανάπτυξη του 802.4L, ειδικά κατά τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης του. Το 1990 η ομάδα εργασίας του 802.4L μετονομάστηκε σε IEEE 802.11 δημιουργώντας ένα ανεξάρτητο πρότυπο ώστε να ορίσει το φυσικό στρώμα και το στρώμα MAC για WLANs.

Το πρωτόκολλο 802.11 είναι ένας ορισμός του Media Access Control (MAC) Layer καθώς και τριών διαφορετικών και ασύμβατων Physical Layers στο μοντέλο OSI. Το πρωτόκολλο εγκρίθηκε από την ομάδα 802 της IEEE στις 26 Ιουνίου 1997 και όρισε το πλαίσιο για μια τυποποιημένη ασύρματη δικτυακή επικοινωνία ευρείας ζώνης.

Η ταχύτητα σύνδεσης που επιτρέπει το δεύτερο πρωτόκολλο Wi-Fi, το IEEE802.11b, είναι τα 11 Mbps και επιβάλλεται από την κωδικοποίηση BSSS που χρησιμοποιεί. Δεδομένου ότι από την φύση τους οι ασύρματες συνδέσεις είναι εκτεθειμένες σε σφάλματα μετάδοσης, το overhead μετάδοσης πακέτων ελέγχου και διόρθωσης λαθών μεταφράζεται σε πραγματική ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων πολύ χαμηλότερη της ονομαστικής. Επίσης, λόγω του ότι όλες οι συσκευές Wi-Fi έχουν ένα και μόνο πομποδέκτη, η λειτουργία τους σαν δικτυακές συσκευές είναι σε half-duplex mode, καθώς ο πομποδέκτης μπορεί είτε να ακούει το δίκτυο ή να στέλνει σε αυτό, αλλά όχι και τα δύο ταυτόχρονα. Έτσι το πραγματικό όριο για το bandwidth μιας 802.11b σύνδεσης διαμορφώνεται στα 5 Mbps. Από την στιγμή που επιτευχθεί σύνδεση με μια άλλη συσκευή Wi-Fi, τότε ισχύουν όλοι οι κανόνες ενός κοινού Ethernet δικτύου.

Το πρωτόκολλο 802.11 υποστηρίζει διάφορους ρυθμούς ταχυτήτων ώστε να επιτρέπει στους χρήστες να επικοινωνούν με την καλύτερη δυνατή ταχύτητα. Η επιλογή ρυθμού ταχύτητας αποτελεί την χρυσή τομή μεταξύ της λήψης του υψηλότερου δυνατού ρυθμού ταχύτητας και της ελαχιστοποίησης του αριθμού λαθών επικοινωνίας. Όποτε, υπάρχει λάθος στα απεσταλθέντα δεδομένα, το σύστημα ασύρματης επικοινωνίας πρέπει να ξοδέψει χρόνο ώστε να αναμεταδοθούν τα στοιχεία μέχρι να μεταδοθούν επιτυχώς. Αμέσως μόλις συνδεθεί με το σημείο πρόσβασης, η κάρτα πρόσβασης του κάθε χρήστη 802.11 ακολουθεί μια διαδικασία για να επιλέξει το καλύτερο ποσοστό στοιχείων.

Όσο η απόσταση από το σημείο πρόσβασης αυξάνεται, τα προϊόντα βασισμένα στο 802.11 προσαρμόζουν προς τα κάτω την ταχύτητα σύνδεσης για να διατηρήσουν τη

σύνδεση. Το πρότυπο 802.11g έχει τα ίδια χαρακτηριστικά διάδοσης με το 802.11b, επειδή εκπέμπει στην ίδια ζώνη συχνότητας των 2.4-GHz. Επειδή τα προϊόντα 802.11b και 802.11g έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά διάδοσης, οι υλοποιήσεις καρτών ασύρματης πρόσβασης και σημείων πρόσβασης παρέχουν κατά προσέγγιση την ίδια μέγιστη ακτίνα κάλυψης στην ίδια ταχύτητα μεταφοράς. Η απόσταση του τερματικού από το σημείο πρόσβασης (access point) επηρεάζει σημαντικά την αναμενόμενη ρυθμαπόδοση (throughput) της σύνδεσης.

Ο συγκεκριμένος τύπος των ασύρματων δικτύων (τα Wi-Fi δίκτυα δηλαδή) ανήκει στην οικογένεια των προτύπων IEEE 802, η οποία μεταξύ άλλων περιλαμβάνει και το IEEE 802.3, γνωστό και ως Ethernet. Για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα χρησιμοποιείται ο όρος Wi-Fi που προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Wireless Fidelity (Ψηφιακή Πιστότητα) και έχει επικρατήσει ως η κοινή ονομασία για τα υψηλής συχνότητας ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN).

Οι ασύρματες τεχνολογίες πρόσβασης χρησιμοποιούνται για να αντικαταστήσουν ή να επεκτείνουν ένα κοινό ενσύρματο δίκτυο και επιτρέπουν στον κινούμενο χρήστη την ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων.

Τα ασύρματα δίκτυα που ακολουθούν το πρότυπο 802.11 αποτελούνται από τέσσερις βασικές μονάδες, τις οποίες έχουμε υλοποιήσει και σαν κλάσεις στην εφαρμογή SharpSim (βλ. Παράγραφο V.1). Πρώτα έχουμε το σημείο πρόσβασης (Access Point), το οποίο παίζει το ρόλο γέφυρας μεταξύ του ενσύρματου και του ασύρματου δικτύου, μετατρέποντας κατάλληλα τα πακέτα που ανταλλάσσονται μεταξύ αυτών. Επιτελεί και πολλές άλλες λειτουργίες που θα αναφερθούν στη συνέχεια. Στην συνέχεια έχουμε το σύστημα διανομής (Distribution System), το οποίο ενώνει τα διάφορα Access Point του ίδιου δικτύου, επιτρέποντάς τους να ανταλλάσσουν πλαίσια. Μετά έχουμε το ασύρματο μέσο μετάδοσης (Wireless Medium). Πρέπει να έχουν οριστεί διάφορα φυσικά στρώματα που χρησιμοποιούν είτε ραδιοσυχνότητες είτε υπέρυθρες ακτίνες για τη μετάδοση των πλαισίων μεταξύ των σταθμών του ασύρματου δικτύου. Αυτά αποτελούν το ασύρματο μέσο μετάδοσης. Τέλος, έχουμε τους σταθμούς των τελικών χρηστών (Stations). Οι σταθμοί που ανταλλάσσουν πληροφορία μέσω του ασυρμάτου δικτύου συνήθως είναι φορητές συσκευές, όπως φορητοί υπολογιστές (laptops) ή υπολογιστές παλάμης (PDAs) χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο, καθώς ένα ασύρματο δίκτυο μπορεί να λειτουργεί και με σταθερές συσκευές (σταθερούς υπολογιστές, sensors, κλπ). Η βασική δομική μονάδα κάθε 802.11 δικτύου αποκαλείται Basic Service Set (BSS) και αποτελείται από μία ομάδα σταθμών που επικοινωνούν μεταξύ τους. Τα όρια του BSS καθορίζονται από την περιοχή κάλυψης, που ονομάζεται Basic Service Area (BSA). Ένας σταθμός σε ένα BSS μπορεί να επικοινωνεί με οποιονδήποτε άλλο σταθμό στο ίδιο BSS.

Όσον αφορά στην αρχιτεκτονική τοπολογία τους τα δίκτυα αυτά εμφανίζονται με δύο οργανωτικές μορφές, τη δομημένη (Infrastructure mode) και την τυχαία (Ad-Hoc mode). Η πρώτη, που είναι γνωστή και με τον τεχνικό όρο Extended Service Set (ESS), απαιτεί τη χρήση Access Point(s) στα οποία συνδέονται οι χρήστες. Πολλά

συνεργαζόμενα Access Points είναι δυνατόν να προσφέρουν ευρεία κάλυψη, σύνδεση με το Διαδίκτυο, καθώς και υπηρεσίες περιαγωγής (roaming). Η δεύτερη που ονομάζεται και Independent BSS (IBSS), δεν απαιτεί τη χρήση Access Point και κάθε ασύρματος σταθμός μπορεί να εκπέμψει απευθείας σε οποιοδήποτε άλλο βρίσκεται μέσα στην εμβέλειά του. Η συγκεκριμένη μορφή εξυπηρετεί ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου το ασύρματο δίκτυο θα πρέπει να στηθεί οπουδήποτε και σε ελάχιστο χρόνο. Όπως είναι φυσικό, από την πλευρά της ασφάλειας, η δομημένη μορφή οργάνωσης προσφέρει στον διαχειριστή του δικτύου μια σχετικά σταθερή πλατφόρμα πάνω στην οποία μπορεί να αναπτύξει τις πολιτικές ασφαλείας του.

1.15 Ποιές υπηρεσίες παρέχει

Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.11, κάθε ασύρματο τοπικό δίκτυο πρέπει να παρέχει εννέα υπηρεσίες που εντάσσονται είτε στην κατηγορία των υπηρεσιών διανομής είτε σε αυτή των υπηρεσιών σταθμών. Οι πέντε συνολικά υπηρεσίες διανομής αναφέρονται στη διαχείριση των μελών κάθε κυψέλης καθώς και στην αλληλεπίδραση με άλλους σταθμούς εκτός αυτής. Οι υπηρεσίες αυτές παρέχονται από τα Access Points και σχετίζονται με την κινητικότητα των σταθμών, όπως σύνδεση (συσχέτιση), αποσύνδεση, κλπ. Από την άλλη πλευρά, οι τέσσερις υπηρεσίες σταθμών σχετίζονται με γεγονότα που συμβαίνουν μέσα σε κάθε κυψέλη και λειτουργούν αφού πραγματοποιηθεί η σύνδεση κάποιου σταθμού με ένα Access Point.

Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, η υπηρεσία συσχέτιση (association) χρησιμοποιείται από τους σταθμούς των χρηστών προκειμένου να συνδεθούν σε κάποιο Access Point. Αμέσως μόλις κάποιος σταθμός μετακινηθεί στην εμβέλεια ενός Access Point του ανακοινώνει την ταυτότητα και τις δυνατότητές του. Από τη πλευρά του το Access Point μπορεί να αποδεχθεί ή να απορρίψει τον κινητό σταθμό. Ο σταθμός θα πρέπει επίσης να αυθεντικοποιηθεί στο Access Point. Η αποσυσχέτιση (disassociation) μπορεί να ξεκινήσει είτε από το τερματικό είτε από το Access Point σε οποιαδήποτε στιγμή αυτό κριθεί σκόπιμο. Κάνοντας χρήση της υπηρεσίας επανασυσχέτιση (reassociation) ένας σταθμός μπορεί να μετακινηθεί σε ένα άλλο (νέο) Access Point.

Η υπηρεσία Διανομή (Distribution) καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα δρομολογούνται τα πλαίσια που αποστέλλονται στα Access Points. Έτσι, σε περίπτωση που ο αποδέκτης βρίσκεται εκτός κυψέλης, τα πλαίσια πρέπει να προωθηθούν μέσω του ασύρματου δικτύου ή μιας ασύρματης γέφυρας. Η υπηρεσία Ενοποίηση (Integration) σχετίζεται με το ετερογενές περιβάλλον δικτύωσης. Πιο

συγκεκριμένα, αν ένα πλαίσιο πρέπει να δρομολογηθεί μέσω ενός δικτύου που δεν ακολουθεί το πρότυπο 802.11 τότε η υπηρεσία της ενοποίησης είναι υπεύθυνη για τη μετατροπή του πλαισίου από 802.11 στη μορφή που απαιτεί το δίκτυο προορισμού. Σημαντική υπηρεσία είναι και η υπηρεσία Πιστοποίηση ταυτότητας (authentication). Ο κάθε σταθμός είναι υποχρεωμένος να πιστοποιήσει την ταυτότητά του πριν του επιτραπεί να στείλει και να λάβει δεδομένα. Αντίστοιχη λειτουργία εμφανίζει και η υπηρεσία Ακύρωση πιστοποίησης ταυτότητας (deauthentication). Σε περίπτωση εγκατάλειψης του δικτύου από ένα σταθμό, ακυρώνεται παράλληλα η πιστοποίηση που είχε λάβει, με αποτέλεσμα ο σταθμός να μην μπορεί πλέον να χρησιμοποιήσει τους πόρους του δικτύου. Επίσης σημαντική είναι και η υπηρεσία Προστασία απορρήτου ή εμπιστευτικότητα (Confidentiality). Οι πληροφορίες που αποστέλλονται μέσω του δικτύου θα πρέπει να κρυπτογραφούνται ώστε να διατηρείται το απόρρητο των επικοινωνιών. Τέλος, έχουμε την υπηρεσία Παράδοση δεδομένων (Data delivery). Λόγω του ότι το 802.11 βασίζεται στο μοντέλο του Ethernet η μετάδοση δεν είναι 100% αξιόπιστη. Είναι ευθύνη των ανώτερων επιπέδων να αντιμετωπίσουν τυχόν σφάλματα και αν είναι δυνατόν να τα επιδιορθώσουν.

1.16 Ορισμός Eb/No

Το σύμβολο που εκφράζει την ενέργεια που απαιτείται για την αναπαράσταση ενός bit πληροφορίας στο διαμορφωμένο σήμα είναι το Eb και το σύμβολο που εκφράζει την φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου (ισχύς θορύβου σε ένα εύρος ζώνης 1 Hz) είναι το No.

Η ενέργεια ανά bit (Eb) μπορεί να καθοριστεί με τη διαίρεση της ισχύς του φέροντος από το ρυθμό των δύο δυαδικών ψηφίων. Σαν μέτρο ενέργειας έχει μονάδα τα Joules. Το No σαν μέτρο ισχύος μετριέται σε Watt/ Hz έτσι το Eb/No είναι ένας αδιάστατος όρος ή απλά μια αριθμητική αναλογία.

Το Eb/No είναι μια μορφή SNR που εκφράζει την αναλογία σήματος προς θόρυβο.

1.17 Μέτρηση BER

Η απόδοση ενός δέκτη καθορίζεται από τη δυνατότητά του να λάβει και να αποδιαμορφώσει ένα επιθυμητό σήμα παρουσία θορύβου ή / και άλλων παρεμβαινόντων σημάτων. Αν και υπάρχουν διάφορες μετρήσεις που χρησιμοποιούνται για να εξετάσουν την απόδοση ενός δέκτη, όλες τους μετρούν την ίδια ποσότητα υπό διαφορετικούς όρους.

Η μέτρηση ποιότητας είναι ο ρυθμός εκπομπής εσφαλμένων bit. Το BER είναι η πιθανότητα ενός μεταδιδόμενου bit να παραληφθεί και να ανιχνευθεί εσφαλμένο.

Φυσικά, οι καλύτεροι δέκτες έχουν χαμηλότερο BER.

Τα διαφορετικά ασύρματα πρότυπα δίνουν διαφορετικά ονόματα στις διάφορες μετρήσεις BER όπως: Minimum Power Sensitivity, Minimum Input Level, Dynamic Range, Blocking, Intermod. Όπως αναφέρεται νωρίτερα όλες οι παραπάνω μετρήσεις, είναι μετρήσεις BER υπό διαφορετικούς όρους. Αυτοί οι διαφορετικοί όροι περιλαμβάνουν τον πρόσθετο λευκό γκαουσιανό θόρυβο (AWGN) τα διαμορφωμένα σήματα παρεμβολής και τα σήματα παρεμβολής CW. Τα σήματα παρεμβολής μπορούν να είναι εντός ή και εκτός ζώνης.

Χαρακτηριστικά τα πρότυπα διευκρινίζουν ότι το BER δεν πρέπει να υπερβαίνει μια ορισμένη τιμή για ορισμένα επίπεδα ισχύος των επιθυμητών και παρεμβαινόντων σημάτων και ένα ορισμένο off set συχνότητας (μεταξύ η επιθυμητής συχνότητας καναλιού του σήματος και της συχνότητας των παρεμβαινόντων σημάτων).

Η βασική έννοια της BER μέτρησης είναι απλή:

Στέλνεται ένα ρεύμα στοιχείων μέσω του συστήματος και συγκρίνεται η έξοδος με την είσοδο. Αυτό θα το δούμε πρακτικά στο πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας.

Κατά τη διάρκεια μια μακροχρόνιας περιόδου μπορούμε να υποθέσουμε ότι η διάδοση στοιχείων είναι μια τυχαία διαδικασία. Ωστόσο δεν θέλουμε να περιμένουμε για πάντα να κάνουμε μια μέτρηση BER. Έτσι μια ψευδοτυχαία ακολουθία στοιχείων χρησιμοποιείται για αυτή τη δοκιμή. Το καλούμε “ψευδό – τυχαίο” επειδή δεν μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα αληθινά τυχαίο σήμα χρησιμοποιώντας τις μαθηματικές μεθόδους.

Οφείλουμε στους μαθηματικούς τον υπολογισμό των ικανοποιητικών μετρήσεων της τυχαίας συμπεριφοράς έτσι ώστε να μπορούμε γρήγορα να κάνουμε τις ακριβείς BER μετρήσεις.

Επιστρέφοντας στο θέμα του θορύβου, ο ραδιοθόρυβος είναι γκαουσιανός στη φασματική πυκνότητα ισχύος του. Αυτό περιλαμβάνει τον θόρυβο συνδέσεων ημιαγωγών (semiconductor, junction noise) δηλαδή σε πλήρη διεξαγωγή και το θερμικό θόρυβο στους αντιστάτες. Ειδικά σχεδιασμένες “δίοδοι θορύβου” μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να

παράγουν τον θόρυβο με προβλέψιμα φασματικά χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να προστεθούν στη διαδρομή του σήματος σε ένα ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον. Είναι επίσης δυνατό να προστεθούν χαρακτηριστικά Rayleigh στο σήμα, που χρησιμοποιεί πολλαπλά κανάλια με μεταβλητές χρονικές καθυστερήσεις για να προσομοιώσει μεταβαλλόμενες συνθήκες διαδρομών. Ο συνδυασμός γκαουσιανού θορύβου και διάλειψης Rayleigh έχει γίνει εξαιρετικά σημαντικός στην ανάπτυξη νέων ψηφιακών εξοπλισμών επικοινωνίας και συστημάτων δεδομένου ότι επιτρέπουν εύκολη εξέταση.

Η μαθηματική φάση της μετάδοσης των ψηφιακών σημάτων επιτρέπει επίσης την προσομοίωση υπολογιστών αλλά με τα πρακτικά όρια που επιβάλλονται από τις παραλλαγές παραγωγής στα συστατικά του συστήματος.

2 Διαμορφώσεις και στοιχεία στο πρωτόκολλο 802.11n

2.1. OFDM

Στη διάρκεια των χρόνων έχουν δοκιμαστεί πολλά μοντέλα τα οποία συνεχώς εξελίσσονται για να προσαρμόζονται στις αυξημένες ανάγκες ως προς την ποσότητα και την ποιότητα της προς μετάδοση πληροφορίας.

Τα σχήματα διαμόρφωσης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: στα μονού φέροντος σχήματα διαμόρφωσης και στα πολλαπλού φέροντος. Στα πολλαπλού φέροντος, η εισερχόμενη ροή δεδομένων διαιρείται σε πολλές παράλληλες υποροές καθεμία εκ των οποίων διαμορφώνει ένα φέρον σε διαφορετική συχνότητα.

Οι επικοινωνίες πραγματοποιούνται όταν μήνυμα που δημιουργείται από μία πηγή, μεταδίδεται ως ηλεκτρικό σήμα. Υπάρχουν δύο ειδών σήματα: τα αναλογικά και τα ψηφιακά καθένα από τα οποία απαιτεί και τις αντίστοιχες υποδομές για τη μετάδοσή του. Συνήθως, για το όνομα του σήματος με την προς μετάδοση πληροφορία, χρησιμοποιούμε τον όρο σήμα βασικής ζώνης, το οποίο είναι ένα σήμα που βρίσκεται στις χαμηλές συχνότητες.

Όταν το σήμα βασικής ζώνης μεταδίδεται χωρίς διαμόρφωση δεν μπορεί να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς να χάσει την ενέργειά του, καθώς ως ηλεκτρικό σήμα, υπόκειται σε θερμικές απώλειες ερχόμενο σε επαφή με αγωγίμα υλικά. Για το λόγο αυτό, το σήμα διαμορφώνεται κατά κάποιο τρόπο ώστε να μπορεί να ληφθεί σε μεγάλες αποστάσεις. Διαμόρφωση συνεπώς είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα χαμηλής συχνότητας σήμα βασικής ζώνης, μετατρέπεται σε ένα υψηλής συχνότητας σήμα, έτσι ώστε είτε να ταιριάζει με τα χαρακτηριστικά του μέσου μετάδοσης είτε να μπορεί να ληφθεί σε μεγάλες αποστάσεις. Η μετατροπή επιτυγχάνεται, συνδυάζοντας το σήμα βασικής ζώνης με ένα υψηλής συχνότητας σήμα, που ονομάζεται φέρον. Με τον τρόπο αυτό, κάποιες από τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν το φέρον, μεταβάλλονται κατά τρόπο παρόμοιο με τη μεταβολή του πλάτους του σήματος βασικής ζώνης. Το φέρον είναι συνήθως σήμα που περιέχει μία μόνο συχνότητα.

Για να γίνει κατανοητό, έστω ότι έχουμε ένα φέρον που μαθηματικά ορίζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$c(t) = A \cos(2\pi ft + \phi)$$

Από την εξίσωση φαίνεται ότι το σήμα χαρακτηρίζεται από το πλάτος A , τη συχνότητα f και τη φάση ϕ του σήματος. Θεωρώντας ότι έχουμε ένα σήμα βασικής ζώνης $m(t)$, η διαμόρφωση έγκειται στη μεταβολή ενός εκ των τριών χαρακτηριστικών παραμέτρων του $c(t)$ σύμφωνα με το πλάτος του $m(t)$. Όταν μεταβάλλουμε το πλάτος A του $c(t)$ κάνουμε διαμόρφωση κατά πλάτος, όταν μεταβάλλουμε τη συχνότητα f του $c(t)$ κάνουμε διαμόρφωση

κατά συχνότητα και όταν μεταβάλλουμε τη φάση ϕ του $c(t)$ κάνουμε διαμόρφωση κατά φάση.

2.2 Η Σημασία της Ορθογωνιότητας

Το ‘ορθογώνιο’ μέρος του ονόματος OFDM υποδεικνύει ότι υπάρχει μια ακριβής μαθηματική σχέση μεταξύ των συχνοτήτων των φερόντων στο σύστημα. Σε ένα κανονικό OFDM σύστημα, τα πολλά φέροντα είναι διαχωρισμένα με τέτοιο τρόπο ώστε τα σήματα μπορούν να ληφθούν χρησιμοποιώντας συμβατικά φίλτρα και αποδιαμορφωτές. Σε τέτοιους δέκτες, οι ζώνες φύλαξης πρέπει να παρουσιάζονται μεταξύ των διαφορετικών φερόντων και η εισαγωγή αυτών των ζωνών φύλαξης στο πεδίο της συχνότητας έχει ως αποτέλεσμα σε μία μείωση της αποδοτικότητας του φάσματος συχνοτήτων. Είναι πιθανό πάντως να κανονίζουμε τα φέροντα σε ένα σήμα OFDM έτσι ώστε οι πλευρικές ζώνες των μεμονομένων φερόντων να επικαλύπτονται και τα σήματα να μπορούν ακόμα να λαμβάνονται χωρίς παρεμβολή γειτονικών φερόντων.

Για να γίνει αυτό τα φέροντα πρέπει να είναι μαθηματικά ορθογώνια. Ο δέκτης δρα ως μια σειρά αποδιαμορφωτών, μεταφράζοντας κάθε φέρον στο DC επίπεδο. Το παραγόμενο σήμα τότε ολοκληρώνεται σε μια περίοδο συμβόλου να ανακτήσει τα δεδομένα. Αν τα άλλα φέροντα έχουν όλα συχνοτήτες, οι οποίες, στο πεδίο του χρόνου, έχουν ολόκληρο αριθμό κύκλων στην περίοδο συμβόλου (τ), τότε η διαδικασία ολοκλήρωσης έχει ως αποτέλεσμα μηδενική συνεισφορά από όλα αυτά τα φέροντα. Έτσι, τα φέροντα είναι γραμμικά ανεξάρτητα (π.χ. ορθογώνια) αν ο διαχωρισμός των φερόντων είναι πολλαπλάσιο του $1/\tau$. Μαθηματικά, υποθέτουμε ότι έχουμε ένα σετ από σήματα ψ , όπου ψ_p είναι το p -ιστό στοιχείο στο σετ.

Τα σήματα είναι ορθογώνια αν

$$\int_a^b \Psi_p(t) \Psi_q^*(t) dt = \begin{cases} K & \text{for } p = q \\ 0 & \text{for } p \neq q \end{cases}$$

όπου το * υποδεικνύει το συζυγές μιγαδικό και το διάστημα $[a,b]$ είναι μία περίοδος συμβόλου. Μία αρκετά απλή μαθηματική εξήγηση υπάρχει, ότι οι σειρές $\sin(mx)$ για $m=1,2,\dots$ είναι ορθογώνιες σε ένα διάστημα από $-\pi$ έως π . Αρκετή από τη θεωρία μετατροπής κάνει χρήση των ορθογώνιων σειρών, αν και δεν είναι καταναγκαστικά το μόνο παράδειγμα.

Ένας από τους κύριους λόγους γιατί το OFDM είναι χρήσιμο είναι γιατί επηρεάζει την αντοχή απέναντι στην επιλεκτική εξασθένιση στη συχνότητα και την παρεμβολή στενής ζώνης. Σε ένα σύστημα με ένα φέρον μία μόνο διάλειψη μπορεί να προκαλέσει την ολική κατάρρευση της ζεύξης, αλλά σε ένα σύστημα με πολλά

φέροντα, μόνο ένα μικρό ποσοστό των υπο-φερόντων θα επηρεαστεί. Τότε μπορεί να εφαρμοστεί η κωδικοποίηση διόρθωσης λαθών για να διορθώσει τα λίγα λανθασμένα υπο-φέροντα.

Η διαμόρφωση πολλαπλών φερόντων διέπεται από την αρχή, κατά την οποία τα δεδομένα εκπέμπονται με το να διαιρείται το εισερχόμενο ρεύμα τους σε πολλαπλά ρεύματα συμβόλων, καθένα από τα οποία έχει αρκετά μικρότερο ρυθμό συμβόλων και χρησιμοποιώντας αυτά τα υπο-ρεύματα να διαμορφώνονται πολλαπλά υπο-φέροντα.

2.3 Πλεονεκτήματα της Διαμόρφωσης OFDM

Η μετάδοση με διαμόρφωση OFDM έχει τα ακόλουθα βασικά πλεονεκτήματα:

- Είναι, όπως αναφέρθηκε, ένας αποδοτικός τρόπος αντιμετώπισης της πολυόδευσης του σήματος.
- Αποτελεί τρόπο αντιμετώπισης της παρεμβολής αφού αυτή συχνά
- Η λογική της επιτρέπει την υλοποίηση των δικτύων απλών συχνοτήτων τα οποία είναι πρόσφορα για τις εφαρμογές ευρυεκπομπής.

Βέβαια, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα σε σχέση με τη διαμόρφωση απλού φορέα:

- Η OFDM είναι περισσότερο ευαίσθητη ως τεχνική στο θόρυβο φάσης αλλά και στις αποκλίσεις συχνότητας φορέα (carrier frequency offsets).
- Απαιτεί μεγάλο λόγο μέγιστης προς μέση ισχύ στον πομπό, γεγονός που τείνει να μειώσει, ως ένα βαθμό, την αποδοτικότητα του ενισχυτή στον πομπό.

2.4 MCS (Modulation & Coding Scheme) Ψηφιακές τεχνικές διαμόρφωσης που χρησιμοποιεί το 802.11n

Η διαμόρφωση είναι η διαδικασία κατά την οποία το σήμα που περιέχει την πληροφορία μετατρέπεται σε μια ημιτονοειδής κυματομορφή όπου για την περίπτωση της ψηφιακής διαμόρφωσης, η περίοδος T του σήματος είναι η διάρκεια του ψηφιακού συμβόλου. Η ημιτονοειδής κυματομορφή έχει τρία βασικά χαρακτηριστικά: το πλάτος, την συχνότητα και τη φάση. Η διαμόρφωση διέλευσης ζώνης ορίζεται ως η διαδικασία όπου ένα από τα παραπάνω χαρακτηριστικά ή και ο συνδυασμός αυτών μεταβάλλεται, ανάλογα με την πληροφορία που μεταφέρεται. Στην παρούσα εργασία, θα αναπτυχθούν τρεις τύποι ψηφιακής διαμόρφωσης: η BPSK, η QPSK ΚΑΙ Η QAM.

Διαμόρφωση	Ρυθμός Κωδικοποίησης
BPSK	1/2
BPSK	3/4
QPSK	1/2
QPSK	3/4
16-QAM	1/2
16-QAM	3/4
64-QAM	2/3
64-QAM	3/4

Πίνακας 2: Συνδυασμοί διαμόρφωσης και ρυθμού κωδικοποίησης σύμφωνα με το IEEE Std

Διαμόρφωση BPSK (Binary Phase Shift Keying)

Η BPSK χρησιμοποιεί δύο φάσεις οι οποίες έχουν διαφορά 180° . Έχει μια μεγάλη ανοχή στο θόρυβο δεδομένου ότι απαιτείται μεγάλη αλλαγή ώστε να παραπλανηθεί ο δέκτης για να πάρει σωστή απόφαση για το σύμβολο.

- Βασική συχνότητα BPSK σήματος

$$f_b = \frac{f_{BR}}{2} \quad \text{όπου } f_{BR}: \text{ συχνότητα άφιξης (bit rate) των δεδομένων εισόδου}$$

- Εύρος BPSK σήματος

$$BW_{BPSK} = 2 f_b = R_b$$

- Ρυθμός μετάδοσης & ρυθμός διαμόρφωσης στην BPSK

$$R_{baud}^{BPSK} = R_b$$

Διαμόρφωση QPSK

Στην QPSK διαμόρφωση κάθε σύμβολο διαφέρει κατά ένα bit από το διπλανό του. Η QPSK χρησιμοποιεί τέσσερις φάσεις και μπορεί να κωδικοποιεί 2 bit/symbol, δηλαδή για κάθε σύμβολο 2 bits και ως εκ τούτου έχει τον διπλάσιο ρυθμό μετάδοσης από την BPSK.

- Βασική συχνότητα QPSK σήματος

$$f_b = \frac{f_{BR}}{2} \quad \text{όπου } f_{BR}: \text{ συχνότητα άφιξης (bit rate) των δεδομένων εισόδου}$$

- Εύρος QPSK σήματος

$$BW_{QPSK} = \frac{R_b}{2}$$

- Ρυθμός μετάδοσης & ρυθμός διαμόρφωσης στην QPSK

$$R_{baud}^{QPSK} = \frac{R_b}{2}$$

Διαμόρφωση 16QAM

- Βασική συχνότητα QAM σήματος

$$f_b = \frac{f_{BR}}{2} \quad \text{όπου } f_{BR}: \text{ συχνότητα άφιξης (bit rate) των δεδομένων εισόδου}$$

- Εύρος QAM σήματος

$$BW_{QAM} = \frac{R_b}{4}$$

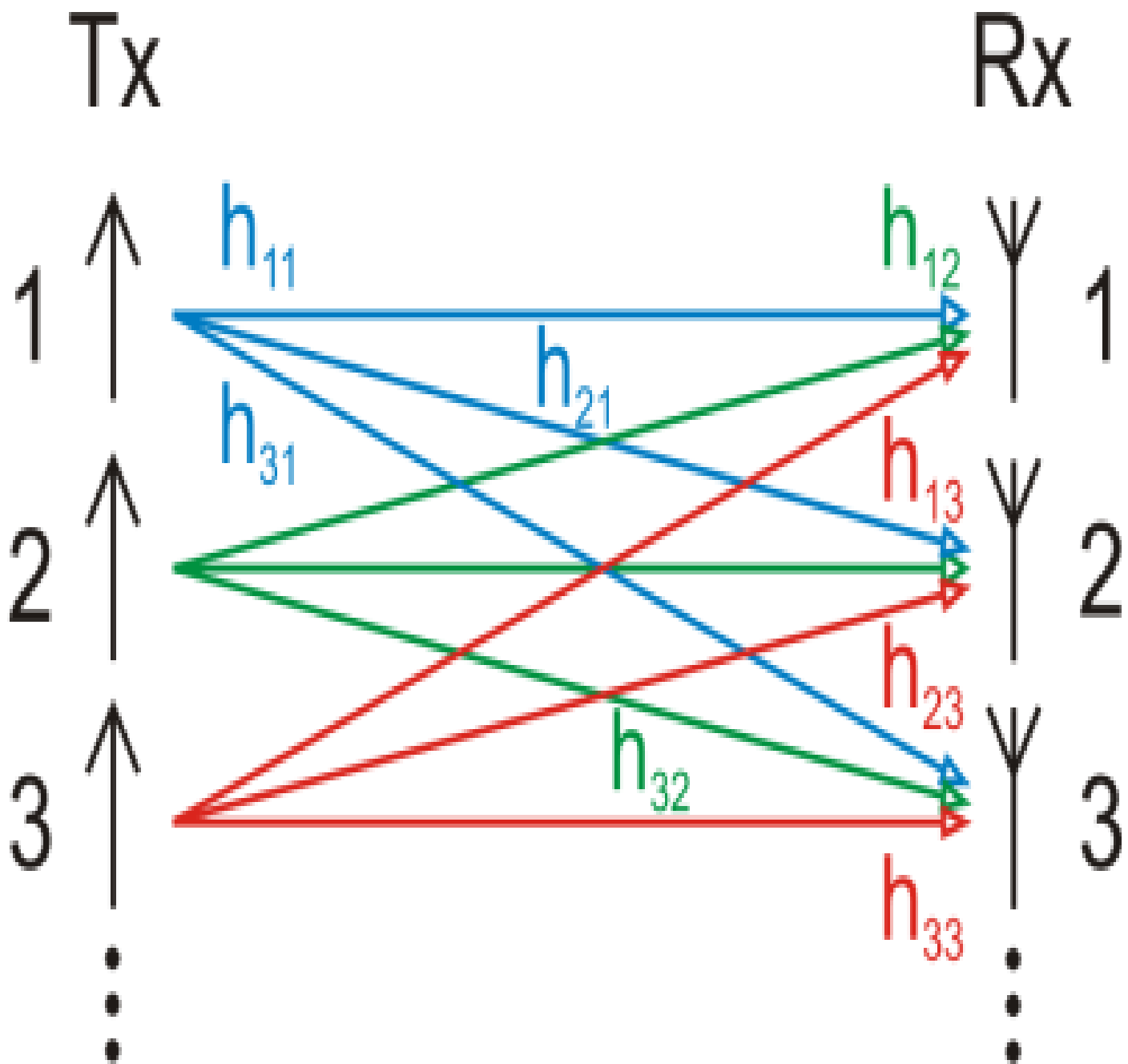
- Ρυθμός μετάδοσης & ρυθμός διαμόρφωσης στην QAM

$$R_{baud}^{QAM} = \frac{R_b}{4}$$

2.5 ShortGI

Η παράμετρος ShortGI (Short Guard Interval) έχει να κάνει με την απόσταση μεταξύ των συμβόλων. Στα προηγούμενα πρότυπα του 80211 πρωτοκόλλου όπως το 80211.a και 802.11 g το ShortGI είχε μόνο μια επιλογή κι αυτή ήταν τα 800ns. Το πρότυπο 802.11n, μας δίνει τη δυνατότητα να επιλέξουμε εμείς αν θέλουμε 800 ή 400 ns χρονική απόσταση μεταξύ των συμβόλων προς μετάδοση

3.Συστήματα πολλαπλών εισόδων-πολλαπλών εξόδων MIMO



Εικόνα 7 MIMO

3.1 Η Ιστορία Των Συστημάτων MIMO Στο Χώρο Των Τηλεπικοινωνιών

Για πρώτη φορά, διάταξη με πολλαπλές κεραιές σχεδιάστηκε το 1984 από τον Jack Winters των Bell Laboratories. Ένα χρόνο αργότερα, το 1985, ο Jack Salz από τα ίδια εργαστήρια δημοσίευσε ένα άρθρο σχετικό με τις κεραιές MIMO. Τη δεκαετία που ακολούθησε, ο Winters και πολλά άλλα μέλη της επιστημονικής κοινότητας δημοσίευσαν άρθρα με τις μελέτες τους στο σχετικό θέμα, ενώ το 1996 ο Greg Rayleigh και ο Gerard Foschini επινόησαν μία νέα προσέγγιση των συστημάτων MIMO που έμελλε να βελτιώσει την αποδοτικότητά τους.

Ιδιαίτερα στις μέρες μας ,τα συστήματα MIMO αποτελούν σημαντικό πεδίο της ιδιωτικής και ακαδημαϊκής έρευνας. Χαρακτηριστικότερο δείγμα αποτελεί η μελλοντική χρήση τών συστημάτων MIMO στο πρότυπο IEEE802.11n για ασύρματα τοπικά δίκτυα που θα χαρακτηρίζονται από υψηλή διέλευση(throughput). Το πρότυπο 802.11n ολοκληρώθηκε στα μέσα τού 2007 και παρέχει 8 φορές μεγαλύτερη κάλυψη και 6 φορές μεγαλύτερη ταχύτητα από το πρότυπο 802.11g

3.2 Η λειτουργία των συστημάτων MIMO

Τα συστήματα MIMO βασίζονται στις ευφείς κεραιές. Ένα σύστημα MIMO μπορούμε να πούμε ότι αποτελείται από ένα πομπό, ένα δέκτη και ένα κανάλι πολλών εισόδων - πολλών εξόδων. Οι πολλαπλές εισοδοι και έξοδοι υλοποιούνται ουσιαστικά μέσω στοιχειοκεραιών, τόσο στον πομπό, όσο και στο δέκτη. Κάθε προς εκπομπή συρμός δεδομένων κωδικοποιείται, διαμορφώνεται και διαχωρίζεται σε επιμέρους ροές δεδομένων, τα οποία εκπέμπονται απότους ακτινοβολητές του πομπού. Μετά τη λήψη του σήματος από τον δέκτη, ακολουθεί η αντίστροφη διαδικασία ώστε να προκύψει ο αρχικός συρμός δεδομένων. Οι παράμετροι μέσω των οποίων ελέγχεται η απόδοση μιας ασύρματης ζεύξης είναι η χωρητικότητα (Bit Rate), η αξιοπιστία, η οποία εκφράζεται κυρίως από το μέσο ρυθμό λαθών (BER) και η πολυπλοκότητα (complexity) του πομπού και του δέκτη. Επομένως, οι διεργασίες που προηγούνται της εκπομπής και έπονται της λήψης σχεδιάζονται έτσι ώστε να βελτιστοποιείται η απόδοση του συστήματος. Αρχικά, όσον αφορά στη χωρητικότητα, ο σκοπός είναι να επιτευχθεί ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης συμβόλων. Η μέγιστη θεωρητική τιμή του ρυθμού μετάδοσης υπολογίζεται υπό συνθήκες λευκού θορύβου ενώ δίδεται από τον

τύπο του Shannon. Η αξιοπιστία μιας ζεύξης εκφράζεται με το μέσο ρυθμό λαθών (BER) και αποτελεί ένα δείκτη για τη συμπεριφορά του συστήματος απέναντι στις διαλείψεις του χρονικά μεταβαλλόμενου καναλιού. Για την πολυπλοκότητα, επειδή μεταφράζεται κυρίως με κατανάλωση ισχύος, απαιτείται χαμηλή πολυπλοκότητα στη μεριά του κινητού και αυξημένη πολυπλοκότητα λειτουργίες στη μεριά του σταθμού βάσης. Η ταυτόχρονη ωστόσο βελτιστοποίηση των τριών παραπάνω μεγεθών είναι σχεδόν πάντα αδύνατη με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε σε ένα αναγκαστικό trade-off ανάμεσά τους κατά τη σχεδίαση του MIMO συστήματος. Η σχεδίαση ενός MIMO συστήματος εξαρτάται από τη γνώση ή μη του καναλιού από την πλευρά του πομπού. Όμως για να γνωρίζει ο πομπός το κανάλι, απαιτείται η παρουσία ενός καναλιού ανάδρασης που θα του παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες. Στην περίπτωση που ο πομπός γνωρίζει το κανάλι, τα επιμέρους bit streams που προκύπτουν από τον διαχωρισμό του αρχικού συρμού δεδομένων, πολλαπλασιάζονται με κάποιον συντελεστή βαρύτητας πριν την εκπομπή τους από τον κατάλληλο ακτινοβολητή. Αν και η γνώση του καναλιού στον πομπό έχει ως αποτέλεσμα την πιο αξιόπιστη μετάδοση, το κανάλι ανάδρασης καταναλώνει μέρος από το διαθέσιμο εύρος του συστήματος. Τα MIMO συστήματα στηρίχτηκαν αρχικά στην τεχνολογία που αναπτύχθηκε για τις έξυπνες κεραιές, έχουν όμως μια πολύ σημαντική διαφορά. Οι αλγόριθμοι επεξεργασίας για συστήματα έξυπνων κεραιών έχουν ως σκοπό την αντιμετώπιση φαινομένων, όπως οι διαλείψεις πολύοδης διάδοσης και η διασπορά καθυστέρησης. Αντίθετα, τα συστήματα MIMO βασίζονται στην επιτυχημένη λειτουργία τους σε αυτά τα φαινόμενα τα οποία είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία ανεξάρτητων μονοπατιών διάδοσης.

Με τη χρήση των τεχνικών πολλαπλής μετάδοσης-πολλαπλής λήψης, οι διαλείψεις δεν θεωρούνται πλέον απαραίτητο αίτιο για τον περιορισμό των επιδόσεων ενός ασύρματου συστήματος, αφού διάφορες τεχνικές χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των επιδόσεων του συστήματος όπως η χωρική διάσταση (διάνυσμα θέσης κεραιών εκπομπής και λήψης) σε συνδυασμό με την αντίστοιχη χρονική (διαμόρφωση και κωδικοποίηση). Κάποια από τα πλεονεκτήματα που μας προσφέρει η τεχνική αυτή είναι ο περιορισμός του φαινομένου της διασυμβολικής παρεμβολής και η αποδοτικότερη χρήση του διαθέσιμου φάσματος χρησιμοποιώντας χωρική πολυπλεξία, αφού πολλαπλές ροές μετάδοσης δεδομένων οδηγούν στην αύξηση του ρυθμού μετάδοσης. Επίσης υπάρχει αύξηση της χωρητικότητας του καναλιού και βελτίωση της ποιότητας της ζεύξης.

3.3 Τεχνικές υλοποίησης ενός MIMO συστήματος

Ανάλογα με την επεξεργασία του σήματος στον πομπό και στο δέκτη, ένα MIMO σύστημα μπορεί να υλοποιηθεί με τους ακόλουθους διαφορετικούς τρόπους:

Χωρική Πολυπλεξία : Στην τεχνική της χωρικής πολυπλεξίας η κύρια ροή δεδομένων διαιρείται σε ένα πλήθος υπο-ροών χαμηλότερου ρυθμού δεδομένων καταναλώνοντας μικρότερο εύρος ζώνης. Αυτό γίνεται διότι κάθε στοιχείο της στοιχειοκεραίας μπορεί να λειτουργεί μέχρι ένα μέγιστο ρυθμό μετάδοσης (μέγιστο εύρος ζώνης). Η κάθε μία από αυτές τις ροές αποστέλλεται από διαφορετικά στοιχεία της στοιχειοκεραίας και με κατάλληλη επεξεργασία των σημάτων που λαμβάνει η κάθε κεραία του δέκτη επιτυγχάνεται η αποκωδικοποίηση της κύριας ροής. Η τεχνική της χωρικής πολυπλεξίας οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας μετάδοσης χωρίς αύξηση της ισχύος εκπομπής.

Space-Time ή Space-Frequency Coding : Σύμφωνα με αυτές τις τεχνικές τα σήματα που μεταδίδονται από τα στοιχεία των κεραιών του πομπού και του δέκτη συσχετίζονται στο χώρο στο πεδίο του χρόνου ή στο πεδίο της συχνότητας. Διαθέτουν πολύ καλή συμπεριφορά απέναντι στα λάθη, αλλά δεν είναι τόσο αποδοτικές από άποψη χωρητικότητας.

Beamforming: Στη συγκεκριμένη τεχνική το διάνυσμα των σημάτων στον πομπό και στο δέκτη πολλαπλασιάζεται με κατάλληλα βάρη ώστε να αυξηθεί το SINR. Τα βάρη καθορίζονται από το κανάλι και για το λόγο αυτό απαιτείται η γνώση του καναλιού τόσο στο δέκτη όσο και στον πομπό. Η μέθοδος αυτή οδηγεί σε υψηλές τιμές σηματοθορυβικού λόγου στο δέκτη, αλλά σχετικά μειωμένες τιμές χωρητικότητας.

3.4 Πλεονεκτήματα Συστημάτων MIMO

- Κέρδος Διάταξης (Array Gain, AG)
- Κέρδος Διαφορισμού (Diversity Gain, DG)
- Κέρδος Χωρικής Πολυπλεξίας (Spatial Multiplexing Gain, SMG)

3.5 Κέρδος διάταξης

Στα σύγχρονα ψηφιακά συστήματα αποτελεί συνήθη τεχνική η προσάρτηση πλεονάζουσας πληροφορίας στον αρχικό συρμό δεδομένων (bitstream) με στόχο τη συσχέτιση των συμβόλων ώστε να μειωθεί η δυσχερής επίδραση του διαύλου στο συνολικό σήμα. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής αποτιμάται μέσω του κέρδους κωδικοποίησης (Coding Gain, CG), το οποίο αναφέρεται στη μείωση του σηματοθορυβικού λόγου που απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής πιθανότητας λανθασμένου ψηφίου (Bit Error Probability, BEP) στο δέκτη. Ωστόσο, τα συστήματα MIMO εκμεταλλεύονται την ανάπτυξη των σχημάτων χωροχρονικής κωδικοποίησης (Space-Time Coding, STC) για την περαιτέρω μείωση του

απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου. Το κέρδος διάταξης επιτυγχάνεται αξιοποιώντας τη διάταξη MIMO με κατάλληλη κατανομή των συμβόλων τόσο στις περισσότερες της μίας κεραιές εκπομπής όσο και σε περισσότερες χρονικές περιόδους ώστε να καταστεί η πληροφορία περισσότερο ανθεκτική σε ενδεχόμενες διαλείψεις που εισάγει ο διάυλος. Πλέον, για την επίτευξη της ίδιας πιθανότητας λάθους, ο σηματοθορυβικός λόγος που απαιτείται για ένα σύστημα MIMO είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο του συστήματος SISO, καταλήγοντας στη μαθηματική διατύπωση του κέρδους διάταξης όπου με SNRSISO (SNRMIMO) συμβολίζεται ο σηματοθορυβικός λόγος του συστήματος SISO (MIMO) θεωρώντας ότι τα δύο συστήματα επιτυγχάνουν τον ίδιο βαθμό αξιοπιστίας όσον αφορά την πιθανότητα λανθασμένου συμβόλου. Για την επίτευξη κέρδους διάταξης σε ένα σύστημα MIMO απαιτείται η γνώση των χαρακτηριστικών του διαύλου στο δέκτη ή και στον πομπό που έχουν σχέση με τις αποσβέσεις και τις διαλείψεις που ο διάυλος εισάγει στα διαδιδόμενα κύματα. Ωστόσο, η απόκτηση γνώσης του διαύλου στον πομπό προϋποθέτει την ύπαρξη ζεύξης επιστροφής (reverse link), κάτι που καθιστά το σύστημα αρκετά πολύπλοκο.

3.6 Μείωση των παρεμβολών (Interference Reduction)

Στις ασύρματες επικοινωνίες είναι έντονη η παρουσία παρεμβολών καθώς ο διάυλος είναι κοινός για όλα τα συστήματα. Συνεπώς, κάθε σύστημα χρησιμοποιεί συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων όπου είναι ενδεχόμενη η εμφάνιση ομοδιαυλικής παρεμβολής (co-channel interference). Η τελευταία αφορά την αναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων από το ίδιο σύστημα ή γειτονικά συστήματα όπως απαιτείται για αποδοτική χρήση του φάσματος. Ωστόσο, με την εισαγωγή των συστημάτων MIMO γίνεται δυνατή η επίτευξη διαφορισιμότητας ώστε να αποσυσχετισθεί το επιθυμητό σήμα από το σήμα παρεμβολής. Βέβαια, για να μειωθούν οι παρεμβολές πρέπει να είναι γνωστός ο διάυλος του επιθυμητού σήματος. Έτσι, πραγματοποιείται η ακύρωση της παρεμβολής (interference cancellation), κάτι που επιτυγχάνεται με χρήση έξυπνων κεραιών (smart antennas), οι οποίες χρησιμοποιούν ειδικά διαμορφωμένους κατευθυντικούς λοβούς. Μια άλλη τεχνική για τη μείωση των παρεμβολών είναι η εισαγωγή των συστημάτων MIMO για πολλαπλούς χρήστες (MIMO-Multi-user, MIMO-MU). Η τεχνολογία αυτή ταυτίζεται με την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χώρου (Space Division Multiple Access, SDMA), η οποία περιγράφει τη διαίρεση της περιοχής κάλυψης σε τομείς (sectors). Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται στο ελάχιστο η παρεμβολή ανάμεσα σε διαφορετικούς τομείς.

Επιπλέον, καθίσταται δυνατή η αναχρησιμοποίηση συχνοτήτων σε μικρότερες αποστάσεις. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος.

3.7 Συνδυασμός MIMO και OFDM στο πρωτόκολλο 802.11n

Το 802.11n χρησιμοποιεί το PHY MIMO-OFDM και υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων έως 300Mbps. Εκτός από το PHY, υπάρχουν βελτιώσεις αποδοτικότητας στο MAC, όπως η συνάθροιση πλαισίου (frame aggregation) και επιβεβαιώσεις block. Το PHY του 802.11n βασίζεται πολύ στην τεχνολογία MIMO για να επιτύχει τους γνωστούς υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων. Τα συστήματα MIMO αποτελούνται από πολλαπλές κεραιές και ζεύξεις στον πομπό και στο δέκτη. Το πλήθος των κεραιών/ζεύξεων στον πομπό (n_T) δεν απαιτείται να είναι το ίδιο με αυτό του δέκτη (n_R). Η τεχνολογία MIMO είναι συμβαλλόμενη στα OFDM συστήματα, τα οποία μεταδίδουν σήματα σε πολλαπλά κανάλια στενής ζώνης. Ως εκ τούτου το MIMO-OFDM είναι ένας πολλά υποσχόμενος τομέας έρευνας για παροχή υψηλών ταχυτήτων σε ασύρματες υποδομές.

Τα συστήματα MIMO προσφέρουν αυτούς τους ρυθμούς γιατί υλοποιούν χωρική διαφορετικότητα και χωρική πολυπλεξία. Η χωρική διαφορετικότητα υπάρχει τόσο από την πλευρά του πομπού όσο και του δέκτη. Κατά τη λήψη, δύο ή περισσότερες κεραιές διαχωρίζονται χωρικά, έτσι ώστε να λαμβάνουν μη-συσχετισμένα σήματα, τα οποία έχουν ακολουθήσει ανεξάρτητα μονοπάτια. Η κεραιά με το καλύτερο σήμα επιλέγεται για επεξεργασία από τη ζεύξη. Αυτό ονομάζεται switched diversity. Ο συνδυαστής μεγίστου λόγου (Maximal Ratio Combining, MRC) είναι μια πιο ανώτερη μέθοδος διαφορισμού στη λήψη. Με το MRC, χρησιμοποιούνται ανώτερες μέθοδοι ψηφιακής επεξεργασίας σήματος για να συνδυάσουν τα ξεχωριστά σήματα σε ένα ενιαίο, υψηλότερης ποιότητας σήμα για καλύτερη απολαβή. Για αυτή τη μέθοδο απαιτούνται πολλαπλές RF ζεύξεις.

Μέθοδοι διαφορισμού στη λήψη χρησιμοποιούνται εδώ και καιρό από συσκευές που λειτουργούν σε πρότυπα προγενέστερα του 802.11n (802.11a/b/g). Αντίθετα, η εφαρμογή του διαφορισμού στην εκπομπή είναι πιο πρόσφατη. Μια απλή προσέγγιση είναι να μεταδίδει η κεραιά που έχει το καλύτερο σήμα προς το δέκτη. Αυτό εμπεριέχει γνώση από το δέκτη του περιβάλλοντος του καναλιού. Μια πιο περίπλοκη μέθοδος διαφορισμού εκπομπής είναι ο περιορισμός της εξασθένισης μέσω της αποστολής πολλαπλών σημάτων. Η εκπεμπόμενη ροή bit κωδικοποιείται στο χωρικά και χρονικά. Οι κώδικες χώρου-χρόνου (Space-Time Codes, STC) χρησιμοποιούνται για την αποστολή αντιγράφων των σημάτων, τα οποία μπορούν να επανασυνδυαστούν στο δέκτη. Η πολυπλεξία χώρου

εκμεταλλεύεται συνθήκες πολλαπλών μονοπατιών για την αποστολή παράλληλων ροών δεδομένων. Ένα σήμα υψηλού ρυθμού διαιρείται σε ροές σημάτων δεδομένων χαμηλότερου ρυθμού, τα οποία μεταδίδονται ταυτόχρονα στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Ο δέκτης μπορεί να αποκωδικοποιήσει αυτές τις ροές υπό την προϋπόθεση ότι φτάνουν στην διάταξη κεραιών με επαρκή χωρικό διαχωρισμό.

Ενώ το MIMO υπόσχεται βελτιωμένη κάλυψη, εμβέλεια και απόδοση, επιφέρει και αντίστοιχη αύξηση πολυπλοκότητας και κόστους. Οι κεραιές μπορεί να είναι φθηνές και το κόστος για DSP να μειώνεται, αλλά ο νόμος του Moore δεν εφαρμόζεται σε συσκευές που σχετίζονται με ραδιοσυχνότητες. Για αυτό το λόγο, έχει γίνει σημαντική έρευνα σε σχήματα υβριδικής επιλογής. Με την υβριδική επιλογή επιλέγονται L από K κεραιές για επεξεργασία. Το 802.11n καθορίζει ένα πλήθος από βελτιώσεις στο OFDM. Ο αριθμός των υποφερόντων αυξήθηκε στα 56, εκ των οποίων τα 4 χρησιμοποιούνται για σηματοδοσία. Αυτό από μόνο του επιφέρει μια αύξηση του ρυθμού μετάδοσης κατά 20% σε σχέση με τα 802.11a/g (χρησιμοποιούν 52 υποφέροντα μείον 4 για σηματοδοσία). Όταν έχουμε συνδυασμό καναλιών (channel bonding), χρησιμοποιούνται 114 υποφέροντα (6 για σηματοδοσία). Το OFDM χρησιμοποιεί GI για να προστατευτεί από το ISI. Στα 802.11a/g, το GI είναι 800 nsec, ενώ στο 802.11n είναι 400 nsec. Αυτό επιφέρει αύξηση του ρυθμού συμβόλων κατά 10%. Το 802.11n μπορεί να μεταδίδει σε ένα κανάλι εύρους ζώνης είτε 20MHz είτε 40MHz. Αυτό το χαρακτηριστικό που επιτρέπει κανάλια των 40MHz ονομάζεται συνδυασμός καναλιών (channel bonding). Το τίμημα είναι στον αριθμό των επικαλυπτόμενων καναλιών που μπορούν να συνυπάρχουν. Στη ζώνη των 2,4GHz, υπάρχει μόνο μια χωρητικότητα για ένα μη επικαλυπτόμενο κανάλι των 40MHz (συν ένα των 20MHz). Η ζώνη των 5GHz είναι ευρύτερη μπορεί να υποστηρίξει πολλαπλά κανάλια των 40MHz. Έτσι το channel bonding χρησιμοποιείται σε αυτή τη ζώνη συνήθως.

Όπως και με τις προηγούμενες τροποποιήσεις, έτσι και το 802.11n θα πρέπει να υποστηρίξει επικοινωνία με συσκευές παλαιότερων πρωτοκόλλων. Δεδομένου ότι λειτουργεί και στα 2,4GHz και στα 5GHz, μπορεί να επικοινωνεί με συσκευές 802.11b/g και 802.11a. χρησιμοποιούνται τα preambles/headers που ορίζονται από τα παλαιότερα πρότυπα ώστε οι συσκευές 802.11a/b/g να μπορούν να ανιχνεύσουν τα πλαίσια του 802.11n. Κάτω από ορισμένες συνθήκες αυτό μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα. Όταν μεταδίδεται ένα 802.11n payload, η αλλαγή της ισχύος λόγω του MIMO και του beamforming ενδέχεται να προκαλέσει επαναφορά της τιμής του NAV στις παλαιότερες συσκευές. Για αυτό το λόγο τα τεμαχικά 802.11n συνήθως χρησιμοποιούν το μηχανισμό RTS/CTS.

3.8 Συμπέρασμα

Αναμφισβήτητα, τα συστήματα MIMO αποτελούν σημαντική ενότητα των σύγχρονων επικοινωνιών και τα πλεονεκτήματα που παρέχουν είναι εξαιρετικά ωφέλιμα. Ωστόσο, η αυξημένη πολυπλοκότητά τους και συνεπώς το μεγάλο κόστος κατασκευής τους αποτελούν μειονεκτήματα που είναι δύσκολο να παρακαμφθούν κατά τη εκπόνηση μίας τηλεπικοινωνιακής μελέτης. Όπως αναφέρθηκε στην αρχή αυτού του κεφαλαίου και όπως αποδείχτηκε τελικά από όλη τη μελέτη που ακολούθησε, η υβριδική επιλογή κεραιών είναι η απάντηση στο μοναδικό σημαντικό μειονέκτημα των συστημάτων MIMO. Για το λόγο αυτό, η σπουδαιότητα της προσέγγισης αυτής είναι μεγάλη.

Το σημαντικότερο όμως συμπέρασμα της ανάλυσης που προηγήθηκε, είναι πως με σωστό σχεδιασμό διατάξεων επεξεργασίας σήματος, με λεπτομερή μελέτη του καναλιού και κατάλληλη επιλογή αλγορίθμων, η επιλογή κεραιών μπορεί να μειώσει το κόστος χωρίς να προκαλέσει σημαντικές απώλειες στην επίδοση των συστημάτων. Δηλαδή παρέχει τη δυνατότητα να περιοριστεί σημαντικά ένα βασικό μειονέκτημα των συστημάτων MIMO, χωρίς όμως να επηρεαστούν ιδιαίτερα οι ωφέλιμες λειτουργίες τους, όπως η υψηλή χωρητικότητα ή η αυξημένη αξιοπιστία.

4. Ασύρματο κανάλι επικοινωνίας

4.1 FADING

Ο όρος fading χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις γρήγορες μεταβολές στο πλάτος του λαμβανόμενου σήματος για μια μικρή χρονική διάρκεια. Το fading προκαλείται από την άθροιση των πολλαπλών αντιγράφων του σήματος εκπομπής που φτάνουν σχεδόν ταυτόχρονα στη κεραία του δέκτη από διαφορετικές κατευθύνσεις. Το συνιστάμενο σήμα μεταβάλλεται κατά το πλάτος και κατά τη φάση. Τα χαρακτηριστικά της μεταβολής αυτής εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως το περιβάλλον διάδοσης και το εύρος φάσματος. Γενικά στη διαδικασία του fading, θεωρούμε ότι όλα τα συνιστώσα κύματα φτάνουν ταυτόχρονα, οπότε λαμβάνονται ως ένα path του οποίου το πλάτος αυξομειώνεται.

4.2 AWGN

Ο θόρυβος είναι μια μεταβλητή που επηρεάζει σημαντικά την απόδοση των συστημάτων μετάδοσης. Το AWGN κανάλι χρησιμοποιείται για μια απλοποιημένη περιγραφή μιας ασύρματης ζεύξης, καθώς δε λαμβάνει υπόψη του οποιοσδήποτε μορφής διαλήψεις, παρεμβολές, μη γραμμικά φαινόμενα στο κανάλι καθώς και χαρακτηρισμούς του καναλιού, ως επίπεδο ή επιλεκτικό ως προς τη συχνότητα. Αντίθετα στο Γκαουσιανό κανάλι λαμβάνουμε υπόψη μας το θόρυβο που προέρχεται από φυσικές πηγές, όπως για παράδειγμα τις θερμικές ταλαντώσεις των ατόμων στους ημιαγωγούς ή την ακτινοβολία που προέρχεται σε αυτό από μέλανα σώματα ή από άλλες αστρικές πηγές, όπως ο ήλιος. Ο προσθετικός λευκός θόρυβος, AWGN είναι σχετικά πιο εύκολο να αντιμετωπιστεί.. Υπάρχει όμως ένας παράγοντας πολύ σημαντικός του οποίου η επίδραση μειώνει δραστικά την απόδοση των συστημάτων και αυτός είναι η εξασθένιση fading.

4.3 Το Ασύρματο Κανάλι

Οι κινητές επικοινωνίες χρησιμοποιούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κυρίως στις ζώνες συχνοτήτων VHF (30MHz – 300MHz) , UHF (300MHz – 3GHz), SHF (3GHz – 30GHz) . Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αυτά διαδίδονται στην ατμόσφαιρα, κοντά στην επιφάνεια της γης. Τα σημαντικότερα προβλήματα στην ασύρματη διάδοση είναι οι

παρεμβολές, τα φυσικά εμπόδια και οι ανθρώπινες κατασκευές, και η διάδοση πολλαπλών διαδρομών. Η κίνηση του τερματικού θέτει επιπρόσθετες δυσκολίες καθώς καθιστά τα παραπάνω φαινόμενα χρονικά και χωρικά μεταβαλλόμενα. Σκοπός είναι η επίτευξη μίας αξιόπιστης επικοινωνίας, η οποία εξαρτάται κυρίως από την κατανομή της μέσης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος στη συγκεκριμένη περιοχή. Η ισχύς αυτή θα πρέπει να επαρκεί για να καλύψει τις απαιτήσεις της ασύρματης ζεύξης, αλλά δεν θα πρέπει συγχρόνως να είναι τόσο μεγάλη ώστε να προκαλεί παρεμβολές σε άλλη ζεύξη. Όμως ακόμη και αν η διαθέσιμη ισχύς βρίσκεται στα επιθυμητά επίπεδα, μπορούν να εμφανιστούν σφάλματα για διάφορους λόγους, όπως οι απότομες τυχαίες κινήσεις ή η διασυμβολική παρεμβολή. Γι' αυτό μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα και η ποιότητα του σήματος.

4.4 Διάδοση ραδιοκυμάτων και παράγοντες που την καθορίζουν

Οι παράμετροι που καθορίζουν το τρόπο με τον οποίο η διάδοση λαμβάνει χώρα είναι οι παρακάτω:

- Διαδρομή άμεσης οπτικής επαφής (LoS path)
- Απορρόφηση
- Διάθλαση
- Περίθλαση
- Αντανάκλαση
- Σκέδαση
- Εξασθένιση Πολλαπλής Διόδευσης ΔΙΑΔΡΟΜΗ LoS
- Σκίαση

Όταν υπάρχει LoS μεταξύ πομπού και δέκτη τότε τα σήματα ακολουθούν

αυτή την άμεση διαδρομή προς το δέκτη. Κατά την εκπομπή του σήματος, η ενέργειά του διαχέεται στην γύρω περιοχή καθώς αυτό διαδίδεται στον αέρα. Ο τρόπος και το μέγεθος αυτής της διάχυσης εξαρτάται από τον τύπο της κεραίας (ισοτροπική, κατευθυντική, κλπ.). Ένα μικρό ποσοστό του σήματος φτάνει στην κεραία του δέκτη. Η περιοχή λήψης ή αλλιώς το ενεργό άνοιγμα (effective aperture) της κεραίας καθορίζει το ποσό της ενέργειας του σήματος που φτάνει στο δέκτη.

ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

Όταν τα μικροκύματα συναντούν κάποιο φυσικό εμπόδιο, ένα τμήμα από την ενέργεια που μεταφέρουν απορροφάται. Ως εκ τούτου το σήμα που θα ληφθεί στο δέκτη είναι εξασθενημένο. Ο βαθμός της εξασθένησης του σήματος εξαρτάται από το υλικό του φυσικού εμποδίου.

ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Όταν το κύμα διαπερνά ένα εμπόδιο με διαφορετική ταχύτητα διάδοσης τότε το κύμα κάμπτεται. Η ανακατεύθυνση του κύματος ονομάζεται διάθλαση.

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Η περίθλαση λαμβάνει χώρα όταν τα μικροκύματα συναντούν την ακμή ενός αντικειμένου αρκετά μεγάλου συγκριτικά με το μήκος κύματος. Ένα τμήμα της ενέργειας του κύματος κάμπτεται, προκαλώντας αλλαγή διεύθυνσης. Τερματικά που είναι σχεδόν LoS και βρίσκονται στη σκιά ενός αντικειμένου λαμβάνουν εξασθενημένα σήματα.

ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΗ

Τα μικροκύματα αντανακλώνονται στις επιφάνειες αντικειμένων το υλικό των οποίων σχετίζεται με το μήκος κύματος. Τα εμπόδια που βρίσκονται σχεδόν LoS (near Line of Sight) αντανακλούν τα κύματα προκαλώντας τη διπλή λήψη τους στο δέκτη. Αυτές οι αντανακλάσεις μπορεί να αποβούν καταστρεπτικές ή ενισχυτικές αναφορικά με τη λήψη του σήματος στο δέκτη. Αυτό εξαρτάται από το αν η φάση

τους συμβαδίζει με τη φάση του σήματος που λαμβάνεται από τη LoS. Οι ζώνες Fresnel παρέχουν έναν τρόπο ανάλυσης της παρεμβολής λόγω φυσικών εμποδίων σχεδόν LoS . Αν το αντανακλώμενο κύμα φτάσει στο δέκτη με ολίσθηση φάσης κατά π , τότε το εμπόδιο βρίσκεται εντός της ακτίνας της πρώτης ζώνης Fresnel. Η ακτίνα της δεύτερης ζώνης Fresnel σχηματίζεται από τα σημεία εκείνα όπου τα αντανακλώμενα κύματα φτάνουν με συμφωνία φάσης στο δέκτη.

ΣΚΕΔΑΣΗ

Ένα κύμα υφίσταται σκέδαση όταν συναντά ένα αντικείμενο και τότε η κατανομή ενέργειάς του υπόκειται σε αλλαγές στη διεύθυνση, τη φάση και την πόλωση.

ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΔΙΕΔΕΥΣΗΣ

Η εξασθένιση πολλαπλής διόδευσης μπορεί να μοντελοποιηθεί με χρήση στατιστικών μοντέλων. Τα πιο γνωστά μοντέλα είναι η κατανομή Rayleigh και η κατανομή Rice. Η διάδοση του σήματος μέσω της τροπόσφαιρας και της ιονόσφαιρας εμπίπτει στην εξασθένιση Rayleigh. Η ίδια κατανομή είναι επίσης κατάλληλη για αστικές περιοχές όπου τα σήματα σπάνια είναι LoS. Στην αντίθετη περίπτωση, θα προτιμήσουμε την κατανομή Rice.

Σκίαση (Shadowing)

Η σκίαση περιγράφει τις απώλειες στην ισχύ του σήματος εξαιτίας της ανομοιομορφίας στο περιβάλλον διάδοσης. Στο απλό μοντέλο των απωλειών διαδρομής της εξίσωσης (5) δεν λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι το περιβάλλον μπορεί να είναι εντελώς διαφορετικό σε δύο θέσεις όπου η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη είναι η ίδια. Εξαιτίας της διαφορετικότητας της μορφολογίας στο περιβάλλον διάδοσης (π.χ. διαφορετικά εμπόδια), η μέση ισχύς που λαμβάνεται σε διάφορες θέσεις του δέκτη που ισαπέχουν από τον πομπό μπορεί να αρκετά διαφορετική από αυτή που προβλέπει η εξίσωση (5). Μετρήσεις που έχουν γίνει σε ραδιοδιαύλους έχουν δείξει ότι η τιμή των απωλειών διαδρομής σε μία συγκεκριμένη θέση είναι τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή, με μέση τιμή τη μέση τιμή των απωλειών, που υπολογίζεται βάση της απόστασης, και τυπική απόκλιση που εξαρτάται από το περιβάλλον. Δηλαδή

$$L(d) \text{ [dB]} = L(d) + X\sigma = L(d_0) + 10n\log_{10}(d/d_0) + X\sigma \quad (6)$$

όπου $X\sigma$ είναι τυχαία μεταβλητή Gauss σε dB με μηδενική μέση τιμή και τυπική απόκλιση σ (επίσης σε dB), με τη βοήθεια της οποίας συμπεριλαμβάνονται οι απώλειες λόγω σκίασης. Η τιμή του σ εξαρτάται από το περιβάλλον. Τυπικές τιμές είναι από 4dB ως 12dB με πιο συνήθως τα 8dB.

Η λαμβανόμενη ισχύς είναι :

$$Pr = Pt - L(d) \quad (\text{dB}) \quad (7)$$

Η λογαριθμική-κανονική κατανομή περιγράφει τις τυχαίες επιδράσεις της σκίασης στο λαμβανόμενο σήμα σε θέσεις που απέχουν ίση απόσταση από το πομπό αλλά έχουν διαφορετικό βαθμό αταξίας στο μεταξύ τους περιβάλλον διάδοσης. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται και ως λογαριθμική-κανονική σκίαση.

4.5 Χαρακτηριστικά Ραδιοκαναλιού

Εκτός από τα ήδη αναφερθέντα και σημαντικότερα χαρακτηριστικά του ραδιοκαναλιού θα επισημάνουμε στο σημείο αυτό και κάποια επιπλέον χαρακτηριστικά τα οποία συμμετέχουν στον καθορισμό της συμπεριφοράς και της απόδοσης του ασύρματου καναλιού.

Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό είναι οι παρεμβολές, οι οποίες θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν και στα παραπάνω φαινόμενα της ραδιοδιάδοσης ως ένα από αυτά. Οι παρεμβολές προκύπτουν από την επικάλυψη (μερική ή πλήρης) της φασματικής πυκνότητας ισχύος του επιθυμητού σήματος με ανεπιθύμητα. Η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων στα μέχρι τώρα υπάρχοντα κυψελωτά συστήματα αποτελεί πηγή ομοδιαυλικών παρεμβολών. Άλλες πηγές παρεμβολών στα ασύρματα συστήματα είναι οι γειτονικοί ραδιοδίαυλοι οι οποίοι προκαλούν παρεμβολές γειτονικών διαύλων, και οι χρήστες άλλων συστημάτων που λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων, οι οποίοι προκαλούν παρεμβολές στενής ζώνης. Μία σοβαρή επίπτωση των παρεμβολών στο δίαυλο είναι ο περιορισμός της χωρητικότητάς του.

Η χωρητικότητα αποτελεί μία παράμετρο της επίδοσης του ασύρματου καναλιού. Αντιστοιχεί στο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης με τον οποίο η πληροφορία μπορεί να μεταδοθεί στο δίαυλο με μεγάλη αξιοπιστία. Θεωρώντας ότι η εκπεμπόμενη ισχύς είναι S watt, B_T Hz το εύρος ζώνης του σήματος και ότι ο δίαυλος υποφέρει μόνο από θερμικό θόρυβο, τύπου προσθετικού λευκού θορύβου, χωρίς διαλείψεις σκιάσεις ή παρεμβολές, ο Shannon καθόρισε τη μέγιστη χωρητικότητα C χωρίς σφάλματα. Έτσι, αν ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας R (bits/sec) είναι μεγαλύτερος από τη χωρητικότητα C δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί

αξιόπιστη μετάδοση της πληροφορίας στο δίαυλο. Σύμφωνα με τον Shannon χωρητικότητα αυτή δίνεται σε bits/sec από τη σχέση :

$$C = B_T \log_2 \left(1 + \frac{S}{B_T N_o} \right) = \log_2 \left[1 + \frac{E_b}{N_o} \left(\frac{R}{B_T} \right) \right]$$

όπου N_o η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου σε W/Hz , E_b η ενέργεια ανά bit του λαμβανόμενου σήματος σε Joule και $S = E_b R$ η ισχύς του σήματος.

5.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ WLAN 802.11N

A ΚΥΚΛΩΜΑ

Η πειραματική μέτρηση έγινε με τη χρήση του προγράμματος Advanced Design System 2009.

Το αρχείο που χρησιμοποιήθηκε είναι:

Wlan11_n_Rx.prj

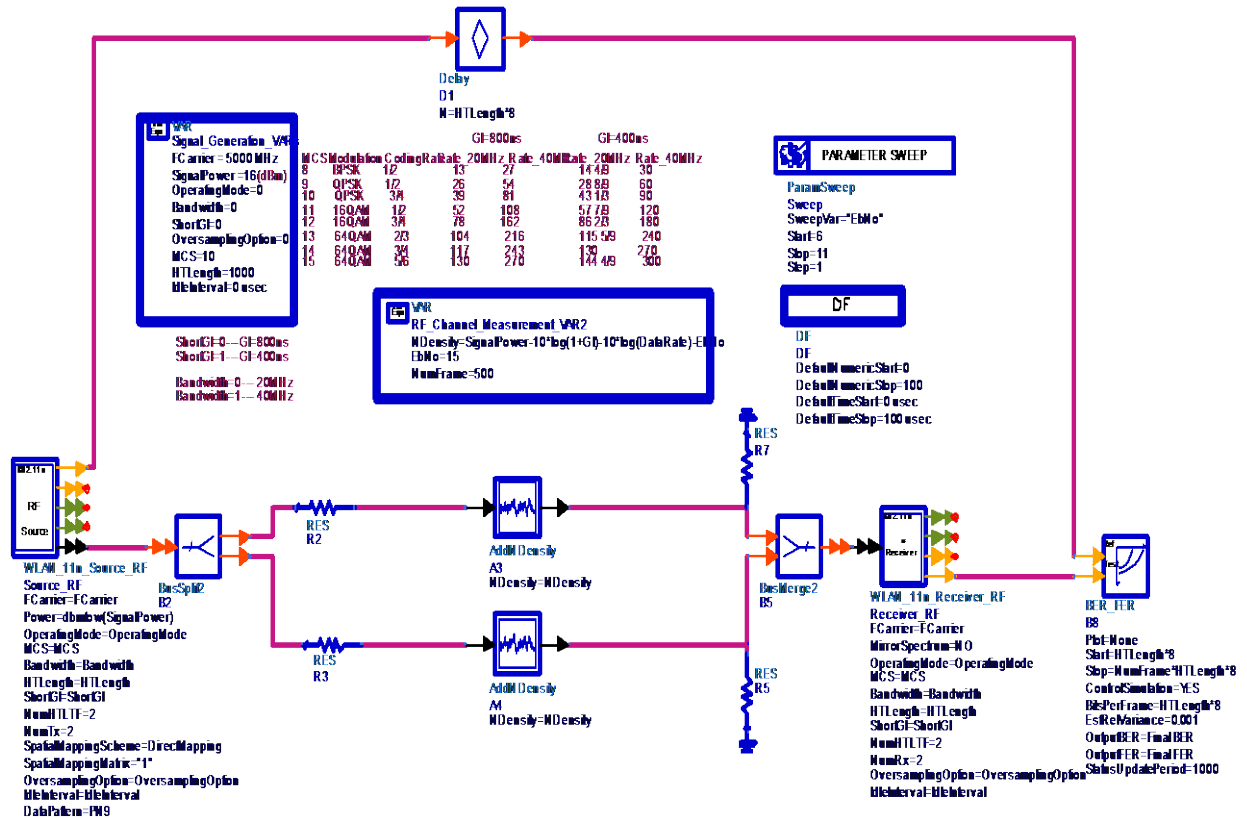
Wlan11n: BER and PER of wlan 11n under AWGN channel.

WLAN_11n_AWGN_System_2SS.dsn



WLAN 11n AWGN System 2SS Info
Push to read local information

WLAN 11n: BER and PER of WLAN 11n under AWGN Channel



Σχήμα 1

Σε αυτό το κύκλωμα έχω έναν πομπό, ένα δέκτη και 2 κανάλια θορύβου (awgn). Χρησιμοποιείται κεραιοσύστημα με δυο κεραίες και παίρνουμε τα αποτελέσματα ber_fer.

Σκοπός του πειράματος:

Ο σκοπός του πειράματος είναι να βρούμε με ποιο τρόπο μεταδίδεται καλύτερα το σήμα σε σχέση με το Ρυθμό Εμφάνισης Εσφαλμένων bit (BER) ως προς την ισχύ των bit προς τον θόρυβο.

Διαδικασία:

Στο πρώτο κύκλωμα εισήγαγα FCarrier 2,4 MHz.

Κάθε φορά άλλαξα το bandwidth και το shortGI. Κάποιες φορές δηλαδή είχα Bandwith 20 MHz ενώ κάποιες άλλες είχα 40 MHz. Αντίστοιχα άλλαξα και το ShortGI. Δηλαδή κάποιες φορές είχα 400 ns και κάποιες είχα 800 ns. Επίσης η διαμόρφωση κάθε φορά ήταν διαφορετική. Το κύκλωμα χρησιμοποιεί BPSK με coding rate $\frac{1}{2}$, QPSK με coding rate $\frac{1}{2}$ και $\frac{3}{4}$, 16 QAM με coding rate $\frac{1}{2}$ και $\frac{3}{4}$ και τέλος 64 QAM με coding rate $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ και $\frac{5}{6}$. Αναλυτικά αυτά φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Οι πίνακες σχετίζονται άμεσα με τις λεζάντες των γραφημάτων (1,2,3 και 4).

Πίνακας 1

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	BW	ShortGI	MCS	Modulation
-1	20 MHz	400 ns	8	BPSK $\frac{1}{2}$
-2	20 MHz	400 ns	9	QPSK $\frac{1}{2}$
-3	20 MHz	400 ns	10	QPSK $\frac{3}{4}$
-4	20 MHz	400 ns	11	16 QAM $\frac{1}{2}$
-5	20 MHz	400 ns	12	16 QAM $\frac{3}{4}$
-6	20 MHz	400 ns	13	64 QAM $\frac{2}{3}$
-7	20 MHz	400 ns	14	64QAM $\frac{3}{4}$
-8	20 MHz	400 ns	15	64 QAM $\frac{5}{6}$

Πίνακας 2

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	BW	ShortGI	MCS	Modulation
-9	20 MHz	800 ns	8	BPSK $\frac{1}{2}$
-10	20 MHz	800 ns	9	QPSK $\frac{1}{2}$
-11	20 MHz	800 ns	10	QPSK $\frac{3}{4}$
-12	20 MHz	800 ns	11	16 QAM $\frac{1}{2}$
-13	20MHz	800 ns	12	16 QAM $\frac{3}{4}$
-14	20 MHz	800 ns	13	64 QAM $\frac{2}{3}$
-15	20 MHz	800 ns	14	64QAM $\frac{3}{4}$
-16	20 MHz	800 ns	15	64 QAM $\frac{5}{6}$

Πίνακας 3

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	BW	ShortGI	MCS	Modulation
-17	40 MHz	400 ns	8	BPSK $\frac{1}{2}$
-18	40 MHz	400 ns	9	QPSK $\frac{1}{2}$
-19	40 MHz	400 ns	10	QPSK $\frac{3}{4}$
-20	40 MHz	400 ns	11	16 QAM $\frac{1}{2}$
-21	40MHz	400 ns	12	16 QAM $\frac{3}{4}$

-22	40 MHz	400 ns	13	64 QAM 2/3
-23	40 MHz	400 ns	14	64QAM 3/4
-24	40 MHz	400 ns	15	64 QAM 5/6

Πίνακας 4

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	BW	ShortGI	MCS	Modulation
-25	40 MHz	800 ns	8	BPSK 1/2
-26	40 MHz	800 ns	9	QPSK 1/2
-27	40 MHz	800 ns	10	QPSK 3/4
-28	40 MHz	800 ns	11	16 QAM 1/2
-29	40MHz	800 ns	12	16 QAM 3/4
-30	40 MHz	800 ns	13	64 QAM 2/3
-31	40 MHz	800 ns	14	64QAM 3/4
-32	40 MHz	800 ns	15	64 QAM 5/6

Παράμετροι προσομοίωσης:

- Έναρξη Eb/No 0.
- Λήξη Eb/No 20.
- Βήμα 1.

Αποτελέσματα:

Γίνεται η μέτρηση του Ρυθμού Εμφάνισης Εσφαλμένων bit σε σχέση με την ισχύ των bit προς τον θόρυβο (BER/PER σε σχέση με E_b/N_0) για 32 γραφικές παραστάσεις – 32 προσομοιώσεις (8,8,8 και 8).

Στις γραφικές παραστάσεις βλέπουμε:

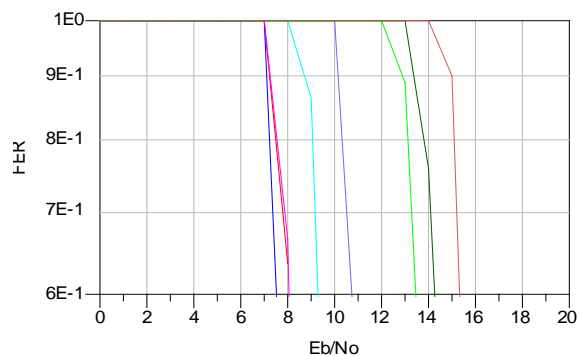
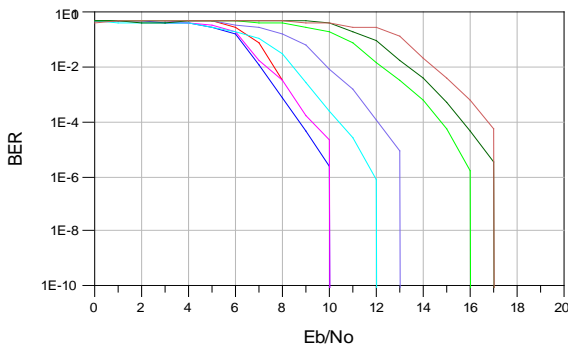
- Στον κάθετο άξονα είναι οι BER/PER σε λογαριθμική κλίμακα.
- Στον οριζόντιο άξονα είναι η μονάδα μέτρησης dB (E_b/N_0), σε γραμμική κλίμακα.

Σύγκριση γραφικών παραστάσεων (BER σε σχέση με E_b/N_0):

Το αποτέλεσμα κάθε μίας από της 32 γραφικές παραστάσεις που τρέξαμε σύμφωνα με τα δεδομένα των προσομοιώσεων αποτυπώνονται συγκεντρωτικά στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.

Στην πρώτη συγκεντρωτική γραφική παράσταση (Γράφημα 1) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των 8 πρώτων προσομοιώσεων, στην δεύτερη συγκεντρωτική γραφική παράσταση (Γράφημα 2) οι 8 επόμενες, στην Τρίτη (Γράφημα) οι 8 επόμενες και τέλος στην τέταρτη (Γράφημα 4) οι τελευταίες 8 γραφικές παραστάσεις.

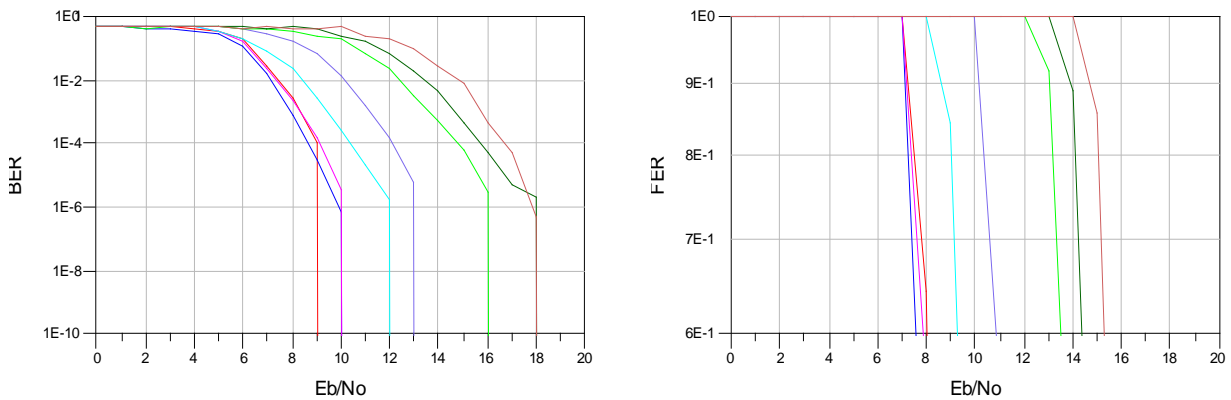
Γράφημα 1



Index=0

plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_1..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_1..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_2..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_2..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_3..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_3..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_4..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_4..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_5..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_5..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_6..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_6..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_7..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_7..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_8..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_8..BER.DF.EbNo) ————

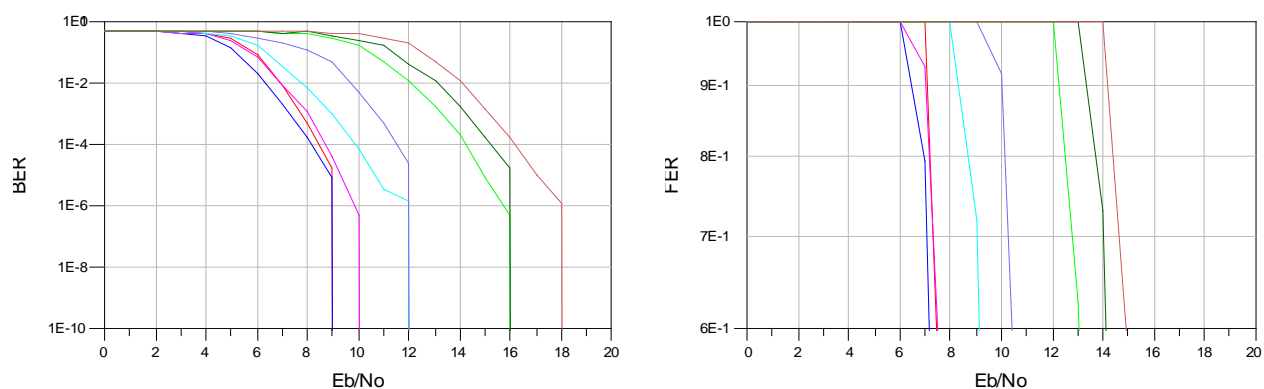
Γράφημα 2



Index=0

plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_9..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_9..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_10..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_10..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_11..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_11..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_12..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_12..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_13..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_13..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_14..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_14..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_15..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_15..BER.DF.EbNo) ————
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_16..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_16..BER.DF.EbNo) ————

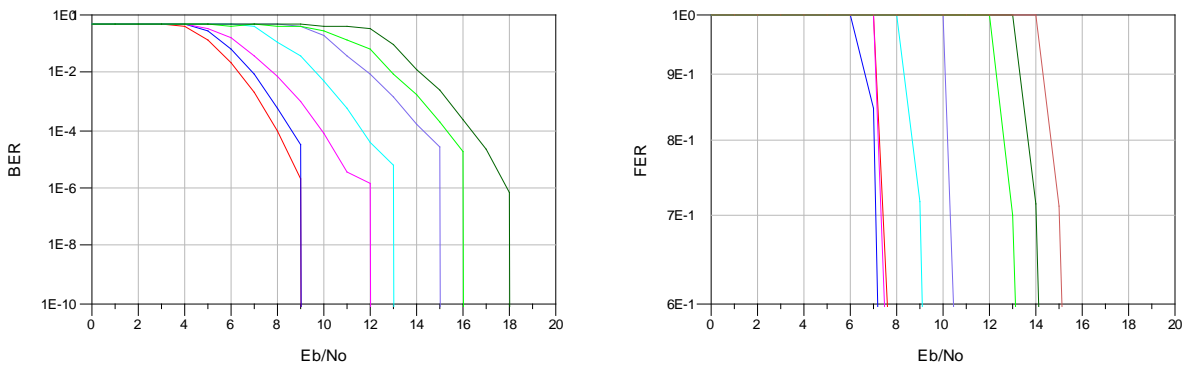
Γράφημα 3



Index>0

plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_17.BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_17..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_18.BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_18..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_19.BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_19..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_20.BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_20..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_21.BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_21..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_22.BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_22..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_23.BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_23..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_24.BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_24..BER.DF.EbNo)	—

Γράφημα 4



Index=0

plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_26..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_26..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_27..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_27..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_28..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_28..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_29..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_29..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_30..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_30..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_31..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_31..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_AWGN_System_2SS_32..BER, WLAN_11n_AWGN_System_2SS_32..BER.DF.EbNo)	—

Συμπέρασμα Α' ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τη θεωρία, όσο μικρότερος είναι ο ρυθμός λανθασμένων bit (BER), τόσο καλύτερη είναι η απόδοση του συστήματος.

Σε όλες τις συγκεντρωτικές γραφικές παραστάσεις, καλύτερη γραφική παράσταση είναι η BPSK. Το MCS (Modulation & Coding Scheme) επηρεάζει ως εξής: Καθώς προχωράμε από το BPSK προς 64 QAM (δηλαδή από την πρώτη σειρά των πινάκων στην τελευταία), το BER αυξάνει για το ίδιο Eb/No και η καμπύλη μετατοπίζεται προς τα δεξιά. Επίσης η παράμετρος ShortGI (Short Guard Interval) έχει να κάνει με την απόσταση μεταξύ των συμβόλων, οπότε όσο μικρότερο είναι το ShortGI τόσο μεγαλύτερο το BER οπότε και πάλι η καμπύλη μετακινείται προς τα δεξιά. «Καλύτερο» προς το BER και μόνο, είναι προφανώς το BPSK $\frac{1}{2}$ και η μεγαλύτερη τιμή του ShortGI δηλαδή το 800 nsec.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ WLAN 802.11N

B ΚΥΚΛΩΜΑ

Το αρχείο που χρησιμοποιήθηκε είναι:

Wlan11_n_Rx.prj

WLAN 11n: BER and PER of wlan 11n under fading channel.

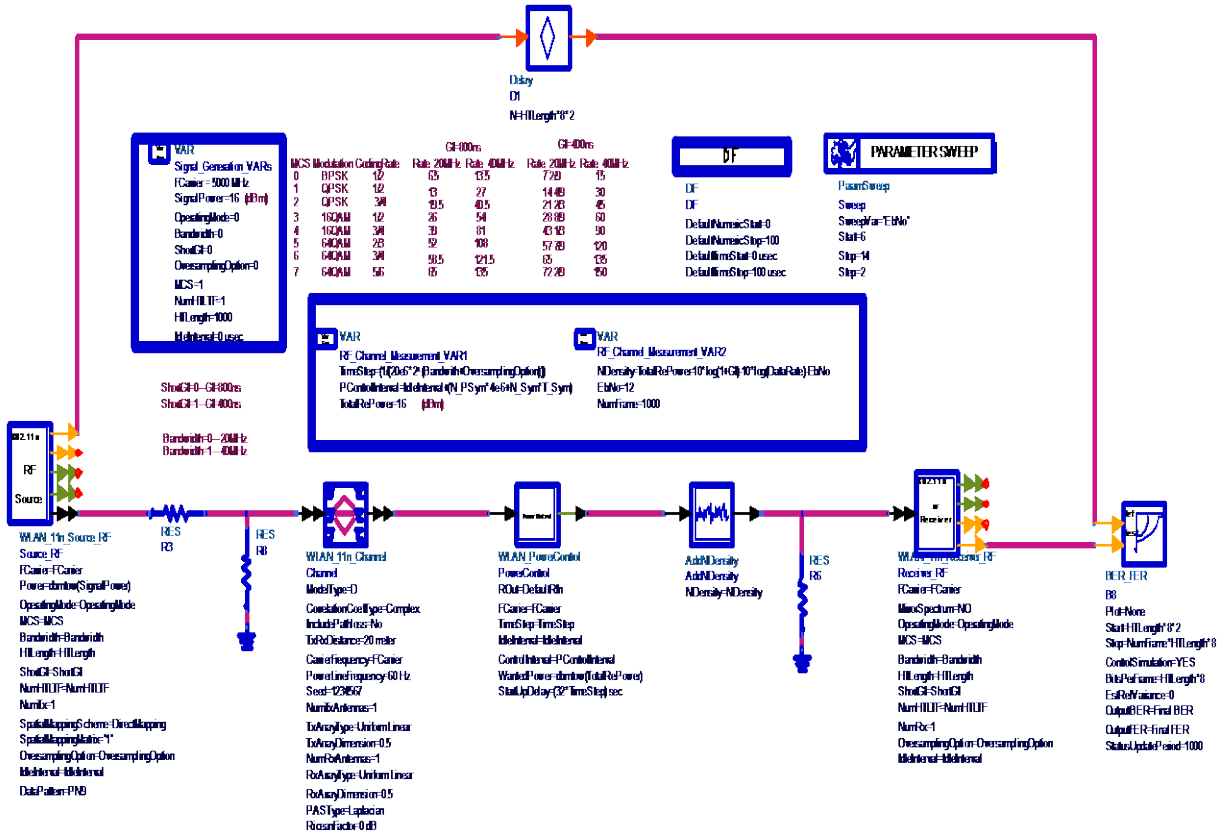
Wlan11n fading system 1ss.dsn

WLAN_11n_Fading_System_1SS.dsn



WLAN 11n Fading System 1SS Info
Push in to read local information

WLAN 11n: BER and PER of WLAN 11n under Fading Channel



Σε αυτό το κύκλωμα έχω έναν πομπό, ένα δέκτη και ένα κανάλι θορύβου (fading). Χρησιμοποιείται κεραιοσύστημα με μια κεραία και παίρνουμε τα αποτελέσματα ber_fer.

Σκοπός του πειράματος:

Ο σκοπός του πειράματος είναι να βρούμε με ποιο τρόπο μεταδίδεται καλύτερα το σήμα σε σχέση με το Ρυθμό Εμφάνισης Εσφαλμένων bit (BER) ως προς την ισχύ των bit προς τον θόρυβο.

Διαδικασία:

Στο πρώτο κύκλωμα εισήγαγα FCarrier 2,4 MHz.

Κάθε φορά άλλαζα το bandwidth και το shortGI. Κάποιες φορές δηλαδή είχα Bandwith 20 MHz ενώ κάποιες άλλες είχα 40 MHz. Αντίστοιχα άλλαζα και το ShortGI. Δηλαδή κάποιες φορές είχα 400 ns και κάποιες είχα 800 ns. Επίσης η διαμόρφωση κάθε φορά ήταν διαφορετική. Το κύκλωμα χρησιμοποιεί BPSK με coding rate $\frac{1}{2}$, QPSK με coding rate $\frac{1}{2}$ και $\frac{3}{4}$, 16 QAM με coding rate $\frac{1}{2}$ και $\frac{3}{4}$ και τέλος 64 QAM με coding rate $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ και $\frac{5}{6}$. Αναλυτικά αυτά φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Οι πίνακες σχετίζονται άμεσα με τις λεζάντες των γραφημάτων (5,6,7 και 8).

Πίνακας 1.1

ΑΠΟΘΗΚΕ ΥΣΗ	B W	Shor tGI	M C S	Modula tion
--1	20 M H z	400 ns	0	BPSK $\frac{1}{2}$
--2	20 M H z	400 ns	1	QPSK $\frac{1}{2}$
--3	20 M H z	400 ns	2	QPSK $\frac{3}{4}$
--4	20 M H z	400 ns	3	16 QAM $\frac{1}{2}$
--5	20 M	400 ns	4	16 QAM

	H z			$\frac{3}{4}$
--6	20 M H z	400 ns	5	64 QAM $\frac{2}{3}$
--7	20 M H z	400 ns	6	64QA M $\frac{3}{4}$
--8	20 M H z	400 ns	7	64 QAM $\frac{5}{6}$

Πίνακας 2.1

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	BW	ShortGI	MCS	Modulation
--9	20 MHz	800 ns	0	BPSK $\frac{1}{2}$
--10	20 MHz	800 ns	1	QPSK $\frac{1}{2}$
--11	20 MHz	800 ns	2	QPSK $\frac{3}{4}$
--12	20 MHz	800 ns	3	16 QAM $\frac{1}{2}$
--13	20MHz	800 ns	4	16 QAM $\frac{3}{4}$
--14	20 MHz	800 ns	5	64 QAM $\frac{2}{3}$
--15	20 MHz	800 ns	6	64QAM $\frac{3}{4}$
--16	20 MHz	800 ns	7	64 QAM $\frac{5}{6}$

Πίνακας 3.1

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	BW	ShortGI	M C S	Modulation
--17	40 MHz	400 ns	0	BPSK $\frac{1}{2}$
--18	40 MHz	400 ns	1	QPSK $\frac{1}{2}$
--19	40 MHz	400 ns	2	QPSK $\frac{3}{4}$
--20	40 MHz	400 ns	3	16 QAM $\frac{1}{2}$
--21	40MHz	400 ns	4	16 QAM $\frac{3}{4}$

--22	40 MHz	400 ns	5	64 QAM 2/3
--23	40 MHz	400 ns	6	64QAM 3/4
--24	40 MHz	400 ns	7	64 QAM 5/6

Πίνακας 4.1

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	BW	ShortGI	MCS	Modulation
--25	40 MHz	800 ns	0	BPSK 1/2
--26	40 MHz	800 ns	1	QPSK 1/2
--27	40 MHz	800 ns	2	QPSK 3/4
--28	40 MHz	800 ns	3	16 QAM 1/2
--29	40MHz	800 ns	4	16 QAM 3/4
--30	40 MHz	800 ns	5	64 QAM 2/3
--31	40 MHz	800 ns	6	64QAM 3/4
--32	40 MHz	800 ns	7	64 QAM 5/6

Παράμετροι προσομοίωσης:

- Έναρξη Eb/No 0.
- Λήξη Eb/No 20.
- Βήμα 1.

Αποτελέσματα:

Γίνεται η μέτρηση του Ρυθμού Εμφάνισης Εσφαλμένων bit σε σχέση με την ισχύ των bit προς τον θόρυβο (BER/PER σε σχέση με Eb/No) για 32 γραφικές παραστάσεις – 32 προσομοιώσεις (8,8,8 και 8).

Στις γραφικές παραστάσεις βλέπουμε:

- Στον κάθετο άξονα είναι οι BER/PER σε λογαριθμική κλίμακα.

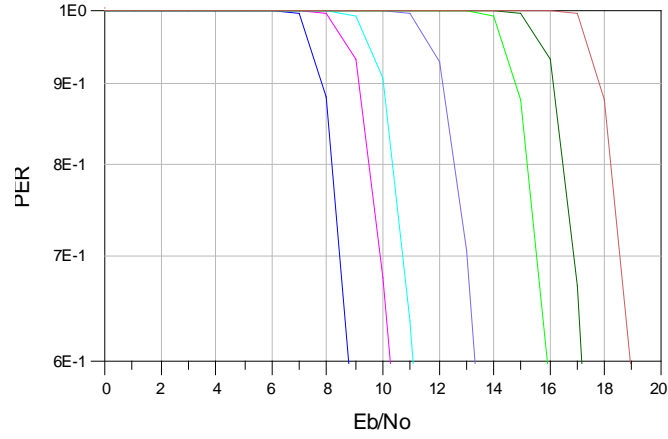
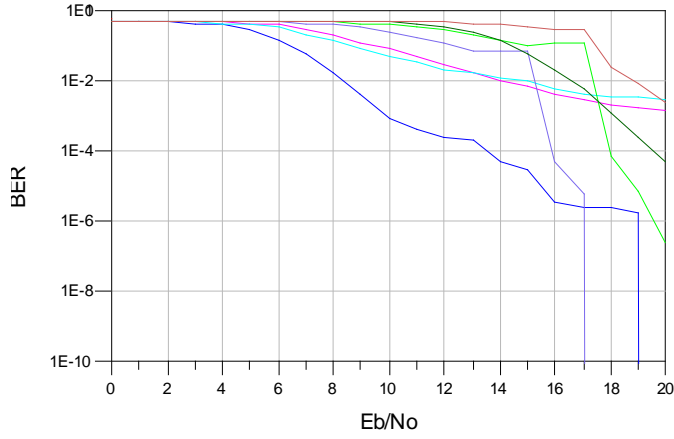
- Στον οριζόντιο άξονα είναι η μονάδα μέτρησης d B (Eb/No), σε γραμμική κλίμακα.

Σύγκριση γραφικών παραστάσεων (BER σε σχέση με Eb/No):

Το αποτέλεσμα κάθε μίας από της 32 γραφικές παραστάσεις που τρέξαμε σύμφωνα με τα δεδομένα των προσομοιώσεων αποτυπώνονται συγκεντρωτικά στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.

Στην πρώτη συγκεντρωτική γραφική παράσταση (Γράφημα 5) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των 8 πρώτων προσομοιώσεων, στην δεύτερη συγκεντρωτική γραφική παράσταση (Γράφημα 6) οι 8 επόμενες, στην Τρίτη (Γράφημα 7) οι 8 επόμενες και τέλος στην τέταρτη οι τελευταίες 8 γραφικές παραστάσεις (Γράφημα 8).

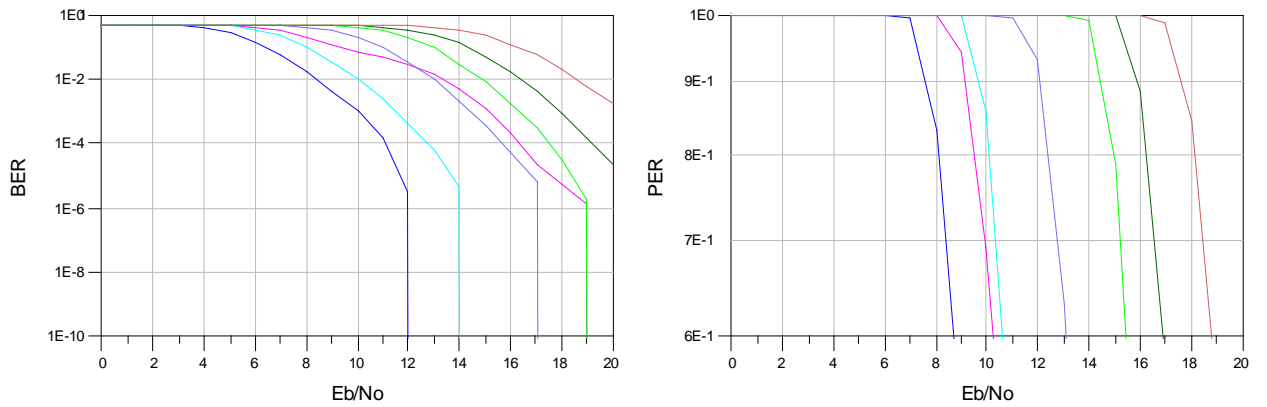
Γράφημα 5



Index=0

plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS_1..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS_1..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS_2..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS_2..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS_3..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS_3..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS_4..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS_4..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS_5..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS_5..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS_6..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS_6..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS_7..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS_7..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS_8..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS_8..BER.DF.EbNo)	—

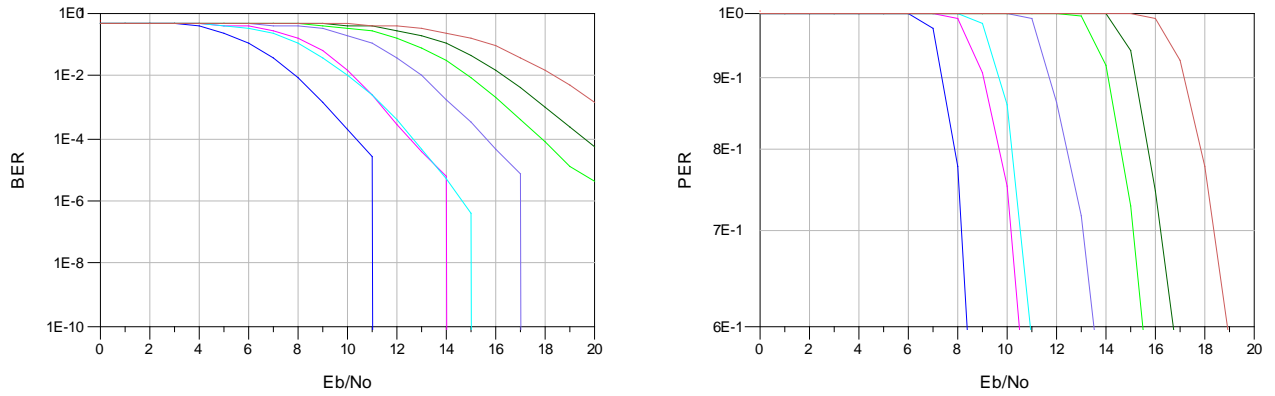
Γράφημα 6



Index=0

- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__9..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__9..BER.DF.EbNo) —
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__10..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__10..BER.DF.EbNo) —
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__11..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__11..BER.DF.EbNo) —
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__12..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__12..BER.DF.EbNo) —
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__13..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__13..BER.DF.EbNo) —
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__14..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__14..BER.DF.EbNo) —
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__15..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__15..BER.DF.EbNo) —
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__16..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__16..BER.DF.EbNo) —

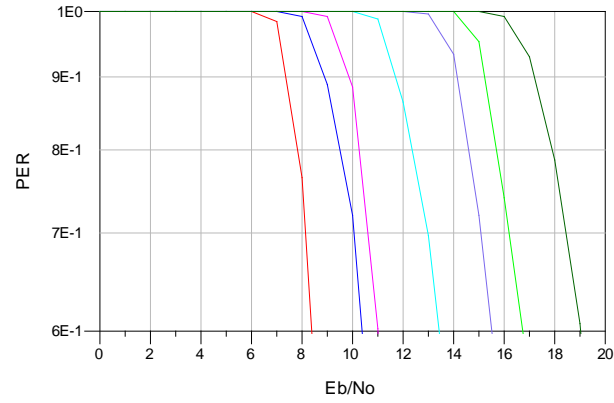
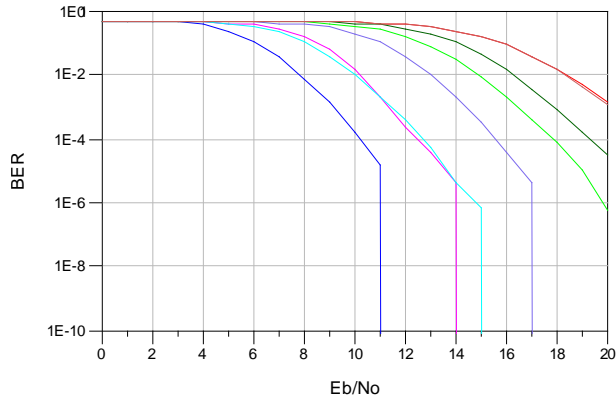
Γράφημα 7



Index=0

- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__17..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__17..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__18..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__18..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__19..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__19..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__20..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__20..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__21..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__21..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__22..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__22..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__23..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__23..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__24..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__24..BER.DF.EbNo) ————

Γράφημα 8



Index=0

- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__24..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__24..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__26..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__26..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__27..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__27..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__28..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__28..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__29..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__29..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__30..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__30..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__31..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__31..BER.DF.EbNo) ————
- plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_1SS__32..BER, WLAN_11n_Fading_System_1SS__32..BER.DF.EbNo) ————

Συμπέρασμα Β' ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τη θεωρία, όσο μικρότερος είναι ο ρυθμός λανθασμένων bit (BER), τόσο καλύτερη είναι η απόδοση του συστήματος.

Σε όλες τις συγκεντρωτικές γραφικές παραστάσεις, καλύτερη γραφική παράσταση είναι η QPSK. Το MCS (Modulation & Coding Scheme) επηρεάζει ως εξής: Καθώς προχωράμε από το QPSK προς 64 QAM (δηλαδή από την πρώτη σειρά των πινάκων στην τελευταία), το BER αυξάνει για το ίδιο E_b/N_0 και η καμπύλη μετατοπίζεται προς τα δεξιά. Επίσης η παράμετρος ShortGI (Short Guard Interval) έχει να κάνει με την απόσταση μεταξύ των συμβόλων, οπότε όσο μικρότερο είναι το ShortGI τόσο μεγαλύτερο το BER οπότε και πάλι η καμπύλη μετακινείται προς τα δεξιά. «Καλύτερο» προς το BER και μόνο, είναι προφανώς το QPSK $\frac{1}{2}$ και η μεγαλύτερη τιμή του ShortGI δηλαδή το 800 nsec. Η BPSK διαμόρφωση δε μας έδωσε κανένα αποτέλεσμα κι αυτό γιατί το MCS στην BPSK είναι 0.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ WLAN 802.11N

Γ ΚΥΚΛΩΜΑ

Το αρχείο που χρησιμοποιήθηκε είναι:

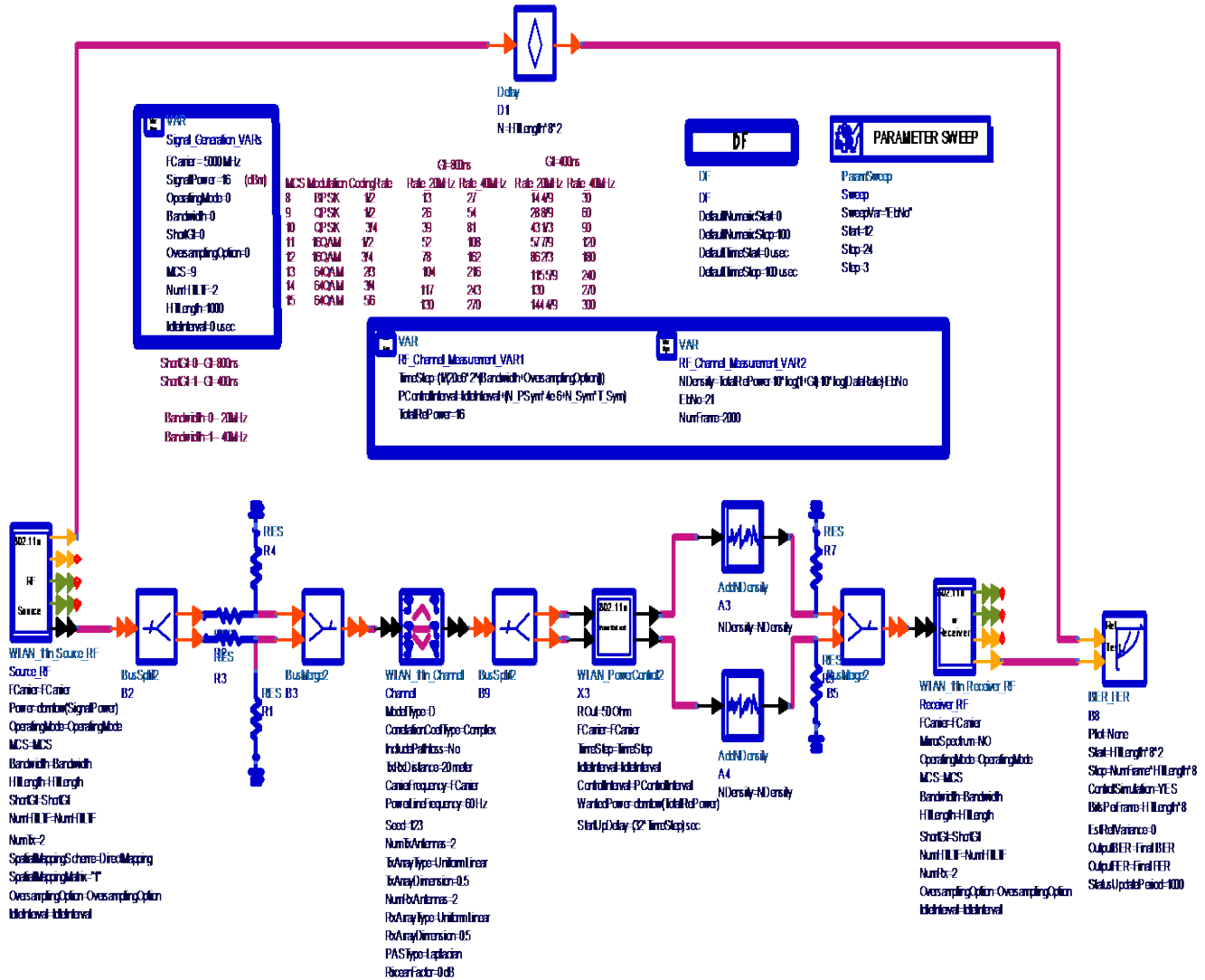
Wlan11_n_Rx.prj

WLAN 11n: BER and PER of wlan 11n under Fading Channel

Wlan11n fading system 2ss.dsn

WLAN_11n_Fading_System_2SS.dsn

WLAN 11n: BER and PER of WLAN 11n under Fading Channel



Σε αυτό το κύκλωμα έχω έναν πομπό, ένα δέκτη και δύο κανάλια θορύβου (fading). Χρησιμοποιείται κεραιοσύστημα με δύο κεραιές και παίρνουμε τα αποτελέσματα ber_fer.

Σκοπός του πειράματος:

Ο σκοπός του πειράματος είναι να βρούμε με ποιο τρόπο μεταδίδεται καλύτερα το σήμα σε σχέση με το Ρυθμό Εμφάνισης Εσφαλμένων bit (BER) ως προς την ισχύ των bit προς τον θόρυβο.

Διαδικασία:

Στο πρώτο κύκλωμα εισήγαγα FCarrier 2,4 MHz.

Κάθε φορά άλλαζα το bandwidth και το shortGI. Κάποιες φορές δηλαδή είχα Bandwith 20 MHz ενώ κάποιες άλλες είχα 40 MHz. Αντίστοιχα άλλαζα και το ShortGI. Δηλαδή κάποιες φορές είχα 400 ns και κάποιες είχα 800 ns. Επίσης η διαμόρφωση κάθε φορά ήταν διαφορετική. Το κύκλωμα χρησιμοποιεί BPSK με coding rate $\frac{1}{2}$, QPSK με coding rate $\frac{1}{2}$ και $\frac{3}{4}$, 16 QAM με coding rate $\frac{1}{2}$ και $\frac{3}{4}$ και τέλος 64 QAM με coding rate $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ και $\frac{5}{6}$. Αναλυτικά αυτά φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Οι πίνακες σχετίζονται άμεσα με τις λεζάντες των γραφικών αποτελεσμάτων στα σχήματα (9,10,11 και 12).

Πίνακας 1.2

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	BW	ShortGI	MCS	Modulation
---1	20 MHz	400 ns	8	BPSK $\frac{1}{2}$
---2	20 MHz	400 ns	9	QPSK $\frac{1}{2}$
---3	20 MHz	400 ns	10	QPSK $\frac{3}{4}$
---4	20 MHz	400 ns	11	16 QAM $\frac{1}{2}$
---5	20 MHz	400 ns	12	16 QAM $\frac{3}{4}$
---6	20 MHz	400 ns	13	64 QAM $\frac{2}{3}$
---7	20 MHz	400 ns	14	64QAM $\frac{3}{4}$
---8	20 MHz	400 ns	15	64 QAM $\frac{5}{6}$

Πίνακας 2.2

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	BW	ShortGI	MCS	Modulation
---9	20 MHz	800 ns	8	BPSK $\frac{1}{2}$
---10	20 MHz	800 ns	9	QPSK $\frac{1}{2}$
---11	20 MHz	800 ns	10	QPSK $\frac{3}{4}$
---12	20 MHz	800 ns	11	16 QAM $\frac{1}{2}$
---13	20MHz	800 ns	12	16 QAM $\frac{3}{4}$
---14	20 MHz	800 ns	13	64 QAM $\frac{2}{3}$
---15	20 MHz	800 ns	14	64QAM $\frac{3}{4}$
---16	20 MHz	800 ns	15	64 QAM $\frac{5}{6}$

Πίνακας 3.2

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	BW	ShortGI	MCS	Modulation
---17	40 MHz	400 ns	8	BPSK $\frac{1}{2}$
---18	40 MHz	400 ns	9	QPSK $\frac{1}{2}$
---19	40 MHz	400 ns	10	QPSK $\frac{3}{4}$
---20	40 MHz	400 ns	11	16 QAM $\frac{1}{2}$
---21	40MHz	400 ns	12	16 QAM $\frac{3}{4}$
---22	40 MHz	400 ns	13	64 QAM $\frac{2}{3}$
---23	40 MHz	400 ns	14	64QAM $\frac{3}{4}$
---24	40 MHz	400 ns	15	64 QAM $\frac{5}{6}$

Πίνακας 4.2

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	BW	ShortGI	MCS	Modulation
---25	40 MHz	800 ns	8	BPSK $\frac{1}{2}$
---26	40 MHz	800 ns	9	QPSK $\frac{1}{2}$
---27	40 MHz	800 ns	10	QPSK $\frac{3}{4}$
---28	40 MHz	800 ns	11	16 QAM $\frac{1}{2}$

---29	40MHz	800 ns	12	16 QAM $\frac{3}{4}$
---30	40 MHz	800 ns	13	64 QAM $\frac{2}{3}$
---31	40 MHz	800 ns	14	64QAM $\frac{3}{4}$
---32	40 MHz	800 ns	15	64 QAM $\frac{5}{6}$

Παράμετροι προσομοίωσης:

- Έναρξη Eb/No 0.
- Λήξη Eb/No 20.
- Βήμα 1.

Αποτελέσματα:

Γίνεται η μέτρηση του Ρυθμού Εμφάνισης Εσφαλμένων bit σε σχέση με την ισχύ των bit προς τον θόρυβο (BER/PER σε σχέση με Eb/No) για 32 γραφικές παραστάσεις – 32 προσομοιώσεις (8,8,8 και 8).

Στις γραφικές παραστάσεις βλέπουμε:

- Στον κάθετο άξονα είναι οι BER/PER σε λογαριθμική κλίμακα.
- Στον οριζόντιο άξονα είναι η μονάδα μέτρησης d B (Eb/No), σε γραμμική κλίμακα.

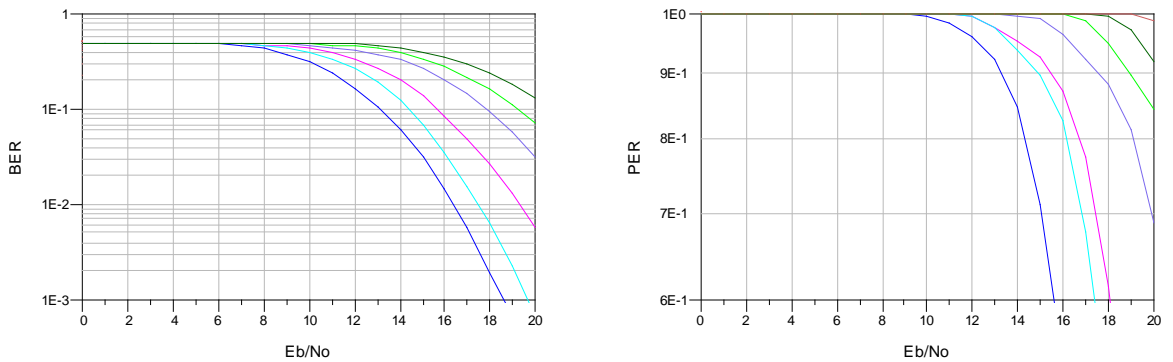
Σύγκριση γραφικών παραστάσεων (BER σε σχέση με Eb/No):

Το αποτέλεσμα κάθε μίας από της 32 γραφικές παραστάσεις που τρέξαμε σύμφωνα με τα δεδομένα των προσομοιώσεων αποτυπώνονται συγκεντρωτικά στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.

Στην πρώτη συγκεντρωτική γραφική παράσταση (Γράφημα 9) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των 8 πρώτων προσομοιώσεων, στην δεύτερη συγκεντρωτική γραφική παράσταση (Γράφημα 10) οι 8 επόμενες, στην Τρίτη (Γράφημα 11) οι 8

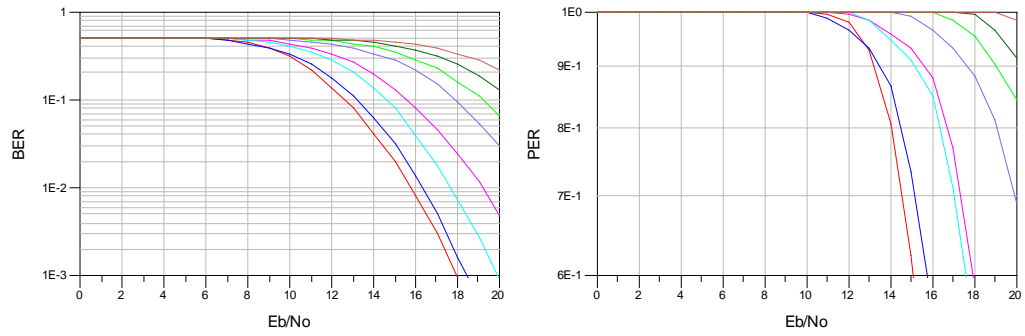
επόμενες και τέλος στην τέταρτη οι τελευταίες 8 γραφικές παραστάσεις (Γράφημα 12).

Γράφημα 9



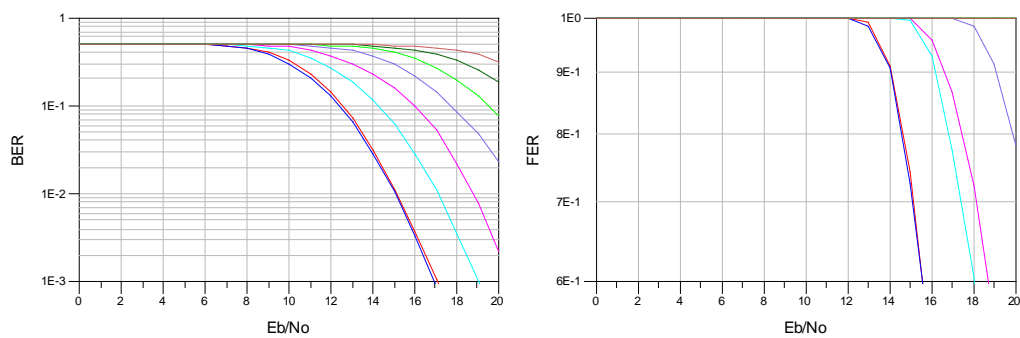
Index=0	
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__1..FER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__1..FER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__2..FER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__2..FER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__3..FER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__3..FER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__4..FER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__4..FER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__5..FER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__5..FER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__6..FER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__6..FER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__7..FER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__7..FER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__8..FER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__8..FER.DF.EbNo)	—

Γράφημα 10



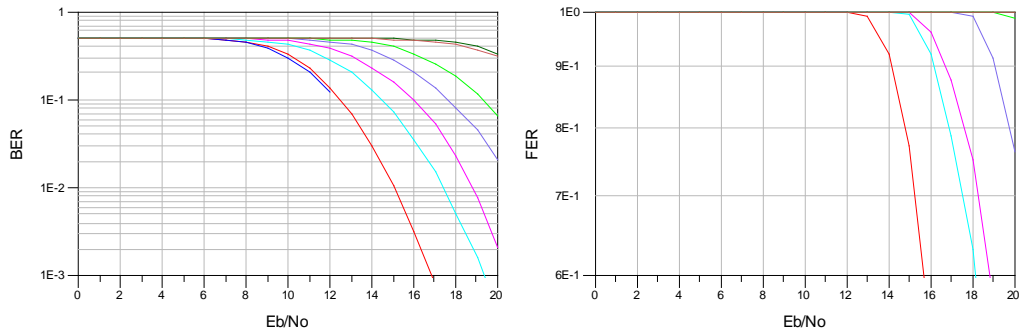
Index=0	
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__9..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__9..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__10..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__10..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__11..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__11..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__12..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__12..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__13..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__13..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__14..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__14..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__15..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__15..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__16..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__16..BER.DF.EbNo)	—

Γράφημα 11



Index=0	
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__17..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__17..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__18..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__18..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__19..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__19..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__20..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__20..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__21..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__21..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__22..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__22..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__23..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__23..BER.DF.EbNo)	—
plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__24..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__24..BER.DF.EbNo)	—

Γράφημα 12



Index=0

plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__25..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__25..BER.DF.EbNo) ————
 plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__26..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__26..BER.DF.EbNo) ————
 plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__27..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__27..BER.DF.EbNo) ————
 plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__28..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__28..BER.DF.EbNo) ————
 plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__29..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__29..BER.DF.EbNo) ————
 plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__30..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__30..BER.DF.EbNo) ————
 plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__31..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__31..BER.DF.EbNo) ————
 plot_vs(WLAN_11n_Fading_System_2SS__32..BER, WLAN_11n_Fading_System_2SS__32..BER.DF.EbNo) ————

Συμπέρασμα Γ' ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τη θεωρία, όσο μικρότερος είναι ο ρυθμός λανθασμένων bit (BER), τόσο καλύτερη είναι η απόδοση του συστήματος.

Σε όλες τις συγκεντρωτικές γραφικές παραστάσεις, καλύτερη γραφική παράσταση είναι η BPSK. Το MCS (Modulation & Coding Scheme) επηρεάζει ως εξής: Καθώς προχωράμε από το BPSK προς 64 QAM (δηλαδή από την πρώτη σειρά των πινάκων στην τελευταία), το BER αυξάνει για το ίδιο E_b/N_0 και η καμπύλη μετατοπίζεται προς τα δεξιά. Επίσης η παράμετρος ShortGI (Short Guard Interval) έχει να κάνει με την απόσταση μεταξύ των συμβόλων, οπότε όσο μικρότερο είναι το ShortGI τόσο μεγαλύτερο το BER οπότε και πάλι η καμπύλη μετακινείται προς τα δεξιά. «Καλύτερο» προς το BER και μόνο, είναι προφανώς το QPSK $\frac{1}{2}$ και η μεγαλύτερη τιμή του ShortGI δηλαδή το 800 nsec.

Σχολιασμός και σύγκριση των τριών κυκλωμάτων

Ένας δέκτης χαρακτηρίζεται από την ικανότητά του να λαμβάνει και να αποδιαμορφώνει σήματα, παρουσία θορύβου και άλλων παρεμβαλλομένων σημάτων. Αν και υπάρχουν πολλά μεγέθη που καθορίζουν την ικανότητα ενός δέκτη, στην ουσία όλα αυτά μετρούν την ίδια ποσότητα κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Η μετρούμενη ποσότητα είναι ο ρυθμός εσφαλμένων bit (BER).

Το BER ορίζεται ως η πιθανότητα ένα εκπεμπόμενο bit να ληφθεί και να ανιχνευθεί λάθος. Όσο χαμηλότερη τιμή παίρνει το BER τόσο καλύτερη είναι η απόδοση του συστήματος.

Ο λόγος E_b/N_0 χρησιμοποιείται για την απόδοση ισχύος του συστήματος και αντιπροσωπεύει τη μέση λαμβανόμενη ενέργεια ανά bit στο δέκτη προς την πυκνότητα ισχύος θορύβου. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του, τόσο λιγότερη ενέργεια απαιτείται να μεταφερθεί από το κάθε bit (αντίστοιχα και από κάθε σύμβολο) ώστε αυτό να ανιχνευθεί με δεδομένη πιθανότητα σφάλματος παρουσία μιας δεδομένης ποσότητας θορύβου.

Με βάση τα αποτελέσματα, βλέπουμε ότι και τα τρία κυκλώματα συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο στα γραφήματά τους στις τέσσερις οχτάδες, με το πρώτο κύκλωμα να μας δίνει την καλύτερη απόδοση στα 9dB με διαμόρφωση BPSK $\frac{1}{2}$ και MCS 8, το δεύτερο κύκλωμα στα 11Db με διαμόρφωση QPSK $\frac{1}{2}$ και MCS 1 και το τρίτο κύκλωμα στα 17Db με διαμόρφωση BPSK και MCS 8. Παρατηρούμε και στα τρία κυκλώματα ότι η όσο κατεβαίνουμε από την BPSK στην 64 QAM, η απόδοση είναι χειρότερη. Επίσης, όσο μεγαλύτερο είναι το ShortGI, τόσο χειρότερη απόδοση έχω.

Αν και έχω τη μικρότερη πιθανότητα λάθους με την BPSK διαμόρφωση, υπάρχει ένα μειονέκτημα. Το μειονέκτημα, είναι το throughput (σε Mbps). Θα είναι πολύ μικρό όταν έχουμε τέτοιου είδους modulation, coding & ShortGI τιμές. Είναι λογικό και αναμενόμενο από τη θεωρία το πρώτο κανάλι να μας δώσει τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με το BER, αφού και δύο κεραιές διαθέτει αλλά τα δεδομένα περνούν από κανάλι AWGN το οποίο έχει μεγαλύτερη αντοχή στο θόρυβο.

Βιβλιογραφία

- i. Ι.Δ.Κανελλόπουλος, «Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων σε Γήινο Περιβάλλον», Εκδόσεις Τζιόλα, 2003
- ii. Χ.Καυάλης και Π.Κωττής, «Κεραιές-Ασύρματες Ζεύξεις», Εκδόσεις Τζιόλα, 2003
- iii. Π.Γ.Κωττής, «Διαμόρφωση και Μετάδοση Σημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, 2003
- iv. http://en.wikipedia.org/wiki/Multiple-input_multiple-output
- v. <http://www.airgonetworks.com/mimo>
- vi. Andrew S.Tanenbaum, «Δίκτυα Υπολογιστών», 4η Έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2004
- vii. William Stallings, «Επικοινωνίες Υπολογιστών & Δεδομένων», 6η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2003
- viii. «OFDM for Mobile Data Communications», Flarion white paper
- ix. «Bit Error Rate: Fundamental Concepts and Measurement Issues»
- x. Ανδρέας Πορμπότσης, «Εισαγωγή στις νέες Τεχνολογίες Επικοινωνιών», Εκδόσεις Τζιόλα, 1997
- xi. Γεώργιος Μουστακίδης, «Βασικές Τεχνικές Επεξεργασίας Σήματος», Εκδόσεις Τζιόλα
- xii. William Stallings, «Ασύρματες Επικοινωνίες Και Δίκτυα», Εκδόσεις Τζιόλα

- xiii. Σπυριδούλα Μαργαρίτη – Ελευθέριος Στεργίου, «Τοπικά Και Αστικά Δίκτυα (LAN-MAN), Εκδόσεις νέων τεχνολογιών
- xiv. Peter Rechenberg, “Εισαγωγή στη Πληροφορική”, Εκδόσεις Κλειδάριθμος 2001
- xv. “Εισαγωγή στα δίκτυα επικοινωνίας ηλεκτρονικών υπολογιστών”, Δημήτρης Μητράκος, ΑΠΘ, 1993
- xvi. <http://www.home-wlan.com/>
- xvii. WLAN 11n Design Library, Agilent Technologies 2011