

Τ.Ε.Ι. ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΠΑΡΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

**Πτυχιακή Εργασία**

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ ΔΙΑΙΡΕΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ
ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Μποζαντζής Βασίλειος

Σπουδάστρια: Οικονόμου Κωνσταντίνα

ΑΜ: 2008088

ΣΠΑΡΤΗ, ΜΑΙΟΣ 2014



(Υπογραφή)

.....

Οικονόμου Κωνσταντίνα – Πτυχιούχος Μηχανικός Πληροφορικής Τ.Ε

Copyright © 2014 – All rights reserved

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 Τ.Ε.Ι ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς, είτε παραφρασμένες. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Πελοποννήσου.

Η συγγραφέας,

Οικονόμου Κωνσταντίνα

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη των τεχνικών ορθογωνικής πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας αλλά και το πως και το γιατί είναι καλό να χρησιμοποιείται στα συστήματα κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς.

Ο κόσμος της τεχνολογίας, στον τομέα της κινητής τηλεφωνίας ξεκινάει περίπου γύρω στο 1970, όπου και έγινε η έναρξη του σχεδιασμού της πρώτης γενιάς ασυρμάτων δικτύων. Από τότε έχουν σχεδιαστεί και υλοποιηθεί η πρώτη, δεύτερη, τρίτη και τέταρτη γενιά ενώ βρίσκεται σε εξέλιξη ή πέμπτη γενιά ασυρμάτων δικτύων.

Σήμερα, βρισκόμενοι στη τέταρτη γενιά κινητών δικτύων, η καθημερινή χρήση των κινητών συσκευών και ο τεράστιος όγκος δεδομένων που διακινούνται καθημερινά μέσω των φορητών συσκευών έχουν γίνει τρόπος ζωής πλέον. Το 4G είναι το πρότυπο της κινητής τηλεφωνίας που έχει καταφέρει να αυξήσει της ταχύτητες λήψης και αποστολής, όπως επίσης και τον αριθμό επιτυχόντων παραδοτέων μηνυμάτων λόγω της ορθογωνικής πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας που χρησιμοποιεί. Η συγκεκριμένη μέθοδος πολυπλεξίας αναφέρεται με τον όρο OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) και είναι μία μέθοδος που κωδικοποιεί τα ψηφιακά δεδομένα σε πολλαπλές φέρουσες συχνότητες και χρησιμοποιείται για τη μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων ψηφιακών δεδομένων μέσω ενός ραδιοκύματος.

Η ορθογωνική πολυπλεξία διαίρεση συχνοτήτων (OFDM) αποτελεί τεχνική η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλαπλά συστήματα κεραιών, με αποτέλεσμα να προσφέρει χαμηλότερη πολυπλοκότητα εφαρμογής σε συστήματα με μεγάλο εύρος ζώνης.

Abstract

The purpose of this thesis is to study the different Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) techniques as well as how and why it is good to be used for the mobile communication systems of fourth generation (4G).

The world of technology in the field of mobile communications starts at around 1970, when the design of the first generation wireless networks has started. Since then, first (1G), second (2G), third (3G) and fourth (4G) generation have been designed and implemented, while the fifth generation of wireless networks is underway.

Nowadays, we are using 4G mobile networks; the everyday use of mobile devices and the huge volume of data that is being transferred daily through them, have become a way of life. Fourth Generation is the standard that has managed to increase the download and upload speeds, as well as the number of successful deliverables posts due to the use of orthogonal frequency division multiplexing. For the current multiplexing method, the term "OFDM" (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) is used, and it is a method that encodes digital data in multiple carrier frequencies. OFDM is used for transmitting large amounts of digital data over a radio wave.

The orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) is a technique which can be used in multiple antenna systems, thereby offering a lower complexity implementation in systems with high bandwidth.

Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με θέμα «Τεχνικές Ορθογώνιας Πολυπλεξίας Διαίρεσης Συχνοτήτων Για Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών Τέταρτης Γενιάς» του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε του ΤΕΙ Πελοποννήσου, πραγματοποιήθηκε για την ολοκλήρωση των σπουδών μου. Στο σημείο νιώθω την ανάγκη να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής προσπάθειας.

Πρώτα απ' όλα , θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Βασίλειο Μποζαντζή, Επιστημονικό Συνεργάτη του Τμήματος Τεχνολογίας Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Α.Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας, για τη συνεχή καθοδήγηση και τις συσιώδεις συμβουλές που μου παρείχε σε όλο αυτό το διάστημα. Η πλήρης στήριξή του καθώς και η εμπιστοσύνη του προς το πρόσωπό μου, με όπλισαν με κουράγιο δύναμη και θάρρος. Οι σημαντικές υποδείξεις με κατεύθυναν σε έναν σωστό τρόπο σκέψης και μου προσέφεραν σημαντικά εφόδια για τη μετέπειτα ζωή μου.

Τέλος , θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Θεόδωρο Οικονόμου και Άννα Οικονόμου καθώς επίσης και τον αδερφό μου Γεώργιο Οικονόμου, για την αμέριστη υποστήριξή τους, την καθημερινή τους συμπαράσταση όλα αυτά τα χρόνια των προπτυχιακών μου σπουδών. Πέραν όμως από την πολύτιμη στήριξή τους, μου έδωσαν τα εφόδια να γίνω ένας σωστός Άνθρωπος και αυτό είναι κάτι που δεν μαθαίνεται, αλλά μεταδίδεται.

Περιεχόμενα

Abstract.....	3
Ευχαριστίες.....	4
Περιεχόμενα	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών	9
1.1. Αντικείμενο της Πτυχιακής εργασίας.....	9
1.2. Εισαγωγή στα Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών	10
1.2.1. Λειτουργία κινητών τηλεφώνων	12
1.2.2. Ιστορική Αναδρομή στις τεχνολογίες ασύρματων δικτύων.....	13
1.3. Επισκόπηση του GSM συστήματος.....	17
1.3.1. Ολοκληρωμένες Υπηρεσίες Φωνής και Δεδομένων του GSM.....	22
1.3.2. Ασφάλεια του GSM	22
1.3.3. Απόδοση του GSM.....	23
1.3.4. Λειτουργικότητα του GSM συστήματος.....	23
1.4. Σχήμα διαμόρφωσης QAM.....	24
1.4.1. Ψηφιακό QAM.....	25
1.4.2. Αναλογικό QAM.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Συστήματα Πολυπλεξίας	28
2.1. Εισαγωγή.....	28
2.2. Κωδικοποίηση και Πολυπλεξία	29
2.3. Τι είναι η Πολυπλεξία.....	30
2.4. Βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων πολυπλεξίας.....	32
2.4.1. Χωρητικότητα - Capacity	32
2.4.2. Ποικιλομορφία – Diversity	33
2.4.3. Μεταβίβαση ή Μεταπομπή – Handoff ή Handover [19]	34
2.5. Συστήματα Πρόσβασης Καναλιών	35
2.5.1. FDMA	35
2.5.2. TDMA.....	37
2.5.3. CDMA.....	40
2.5.4. CDMA2000.....	45

2.6.	Γενική ανασκόπηση Συστημάτων Πρόσβασης Καναλιών	45
2.6.1.	Λειτουργικές δυνατότητες του GSM και του CDMA	45
2.6.2.	Σύγκριση Συστημάτων Πρόσβασης Καναλιών	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Συστήματα Τέταρτης Γενιάς		53
3.1.	Εισαγωγή	53
3.2.	Σύστημα 4G	54
3.3.	Καινοτομία Συστημάτων 4G	55
3.3.1.	Συγχώνευση υπηρεσιών	55
3.3.2.	Ευρυζωνικές Υπηρεσίες	55
3.3.3.	Ευελιξία και εξατομικευμένες υπηρεσίες	56
3.4.	Χαρακτηριστικά	56
3.5.	Πρότυπα του συστήματος 4G	57
3.5.1.	LTE Advanced	58
3.5.2.	IEEE 802.16	58
3.6.	Αρχιτεκτονική	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Τεχνικές OFDMA και OFDM		61
4.1.	Υπόβαθρο για το OFDMA	61
4.2.	Υπόβαθρο για το OFDM	62
4.3.	Χαρακτηριστικά OFDM και OFDMA	64
4.3.1.	Πλεονεκτήματα OFDM	64
4.3.2.	Μειονεκτήματα OFDM	65
4.3.3.	Πλεονεκτήματα OFDMA	65
4.3.4.	Μειονεκτήματα OFDMA	66
4.4.	Εφαρμογές OFDM	66
4.4.1.	Ψηφιακό ραδιόφωνο	66
4.4.2.	Ψηφιακή τηλεόραση	68
4.4.3.	Τεχνολογία ADSL	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Προσομοιώσεις και Συμπεράσματα		72
5.1	Εισαγωγή	72
5.2	Προσομοιώσεις και Συμπεράσματα	72
Βιβλιογραφία		79
Παράρτημα Χρήσιμων Ορολογιών		83

Κώδικας του MATLAB	85
--------------------------	----

Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 1 - Διεξαγωγή κλήσης μέσω κινητού τηλεφώνου	13
Εικόνα 2 - Χαρακτηριστικά των γενιών	16
Εικόνα 3 - Σύγκριση τρίτης και τέταρτης γενιάς	17
Εικόνα 4 - Διάγραμμα αρχιτεκτονική του συστήματος GSM	20
Εικόνα 5 - GSM δίκτυο με πρόσθετα στοιχεία	22
Εικόνα 6 - Διαμόρφωση σήματος Ψηφιακού QAM	25
Εικόνα 7 - Αναλογικό QAM: μετρούμενο σήμα χρώματος PAL σε οθόνη αναλυτή φορέα....	26
Εικόνα 8 - Διαμόρφωση σήματος Αναλογικού QAM	27
Εικόνα 9 - Πολυπλεξία: Τα πολλαπλά σήματα χαμηλού ρυθμού δεδομένων πολυπλέκονται σε ένα ενιαίο σύνδεσμο υψηλού ρυθμού δεδομένων, και έπειτα αποπολυπλέκονται στο άλλο άκρο.....	30
Εικόνα 10 - Πολυπλεξία και Αποπολυπλεξία	32
Εικόνα 11 - Η αρχή του FDMA.....	36
Εικόνα 12 - FDMA: Σχέση Χρόνου και Συχνότητας.....	37
Εικόνα 13 - Δομή πλαισίου TDMA	39
Εικόνα 14 - Πολλαπλή πρόσβαση από χρήστες που μοιράζονται το ίδιο κανάλι συχνότητας διαιρώντας το σήμα σε διαφορετικές χρονοθυρίδες.	40
Εικόνα 15 -Γενιά του CDMA, πώς δημιουργείται ένα σήμα φασματικής εξάπλωσης.	42
Εικόνα 16 - CDMA Διάγραμμα Ορίου Soft Capacity	45
Εικόνα 17 - Λειτουργικές δυνατότητες των συστημάτων 2G και 3G.....	47
Εικόνα 18 - Συστήματα FDMA, TDMA και CDMA: συχνότητα προς χρόνο.	48
Εικόνα 19 - Σύγκριση FDMA, TDMA και CDMA.....	52
Εικόνα 20 - Αρχιτεκτονική ενός δικτύου τέταρτης γενιάς	60
Εικόνα 21 - Υπομεταφορείς στο σύστημα OFDMA	62
Εικόνα 22 - OFDM VS FDM	63
Εικόνα 23 - Ψηφιακό Ραδιόφωνο	67
Εικόνα 24 - Σύστημα Ψηφιακού Ραδιοφώνου.....	68
Εικόνα 25 - Ψηφιακή Τηλεόραση.....	69
Εικόνα 26 - Μια πύλη που χρησιμοποιείται συνήθως για να διεξάγει μια σύνδεση ADSL [46]	70
Εικόνα 27 - Τεχνολογία ADSL	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών

- 1.1. Αντικείμενο της Πτυχιακής εργασίας
 - 1.2. Εισαγωγή στα Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών
 - 1.3. Επισκόπηση του GSM συστήματος
-

Στην ενότητα αυτή θα εξηγήσουμε το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας και θα μιλήσουμε γενικότερα για τα συστήματα κινητών επικοινωνιών, κάνοντας έναρξη με μία εισαγωγή για το πώς ξεκίνησε το κοινό Ευρωπαϊκό σύστημα επικοινωνίας GSM στην κινητή τηλεφωνία. Έπειτα, θα εξηγήσουμε με ποιο τρόπο αλληλεπιδρούν οι κινητές συσκευές με το υπόλοιπο δίκτυο, όταν κάποιος χρήστης επιχειρήσει να εκτελέσει μία κλήση ή να στείλει ένα γραπτό μήνυμα. Θα ακολουθήσει μια ιστορική αναδρομή για τις γενιές ασύρματης τηλεφωνικής τεχνολογίας (1G, 2G, 2.5G, 3G 4G και 5G) με χρονολογικές αναφορές αλλά και αναφορές των διαφόρων χαρακτηριστικών της κάθε γενιάς. Στη συνέχεια, θα αναφερθούμε περεταίρω στο GSM σύστημα και θα μιλήσουμε για ότι αφορά τις υπηρεσίες φωνής και δεδομένων που προσφέρει, όπως επίσης και για την ασφάλεια, την απόδοση και τη λειτουργικότητα του. Σκοπός της πρώτης ενότητας είναι να μελετήσουμε τις βασικές έννοιες πίσω από τα διάφορα συστήματα κινητών επικοινωνιών, ούτως ώστε να μπορούμε να κατανοήσουμε τη δομή, το λόγο ύπαρξης και τη λειτουργία των συστημάτων πολυπλεξίας, τα οποία και θα μελετήσουμε αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

1.1. Αντικείμενο της Πτυχιακής εργασίας

Είναι γεγονός ότι τα κινητά τηλέφωνα και γενικότερα κάθε σύγχρονος τρόπος επικοινωνίας, κυρίως ασύρματης επικοινωνίας, έχουν εισχωρήσει στη ζωή μας σε εξαιρετικά μεγάλο βαθμό. Η καθημερινή χρήση των κινητών συσκευών και ο τεράστιος όγκος δεδομένων που διακινούνται καθημερινά μέσω αυτών των συσκευών έχουν γίνει τρόπος ζωής πλέον. Για το λόγο αυτό, δεν θα ήταν υπερβολή να πούμε ότι ο άνθρωπος του 21^{ου} αιώνα είναι εξαρτημένος από τις φορητές συσκευές και τις λειτουργίες τους.

Καθώς λοιπόν αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών που χρησιμοποιούν καθημερινά τις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες τόσο αυξάνεται και η ανάγκη για νέες υπηρεσίες άλλα και για βελτίωση των ήδη υπαρχόντων υπηρεσιών. Έτσι, η ζήτηση και ο ανταγωνισμός κίνησαν τα

νήματα ώστε να αναπτυχθεί η τεχνολογία και να δημιουργηθούν τα διάφορα πρότυπα της κινητής τηλεφωνίας.

Ξεκινώντας από το 1970 έχουν σχεδιαστεί και έχουν υλοποιηθεί οι διάφορες γενιές της κινητής τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών που υπάρχουν σήμερα, 1G, 2G, 2.5G, 3G 4G ενώ ήδη γίνεται ο σχεδιασμός για την πέμπτη γενιά. Στο παρόν στάδιο γίνεται κυρίως χρήση της τρίτης και τέταρτης γενιάς ενώ η κύρια διαφορά μεταξύ τους είναι η ταχύτητα και το ποσοστό επιτυχόντων παραδοτέων μηνυμάτων.

Η τέταρτη γενιά είναι το πρότυπο της κινητής τηλεφωνίας που έχει καταφέρει να αυξήσει της ταχύτητες λήψης και αποστολής, όπως επίσης και τον αριθμό επιτυχόντων παραδοτέων μηνυμάτων λόγω της ορθογωνικής πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας που χρησιμοποιεί. Η συγκεκριμένη μέθοδος πολυπλεξίας αναφέρεται με τον όρο OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) και είναι μία μέθοδος που κωδικοποιεί τα ψηφιακά δεδομένα σε πολλαπλές φέρουσες συχνότητες και χρησιμοποιείται για τη μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων ψηφιακών δεδομένων μέσω ενός ραδιοκύματος.

Στην ιδέα των τεχνικών ορθογωνικής πολυπλεξίας διαίρεσης συχνοτήτων για συστήματα κινητών επικοινωνιών της τέταρτης γενιάς, είναι βασισμένη η παρούσα πτυχιακή εργασία. Προτού αναλυθούν οι συγκεκριμένες τεχνικές, θα γίνει μία ανασκόπηση των κινητών επικοινωνιών, των συστημάτων πολυπλεξίας και των συστημάτων της τέταρτης γενιάς.

1.2. Εισαγωγή στα Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών

Κοιτάζοντας πίσω στο χρόνο, η ανάγκη επικοινωνίας των ανθρώπων τους έκανε να θέλουν να μηδενίσουν την απόσταση που τους χώριζε κι έτσι σιγά σιγά άρχισαν να κρατάνε επαφή με τη βοήθεια των διαφόρων κινητών συσκευών. Για να επιτευχθεί αυτή η επικοινωνία μεταξύ των χρηστών των κινητών συσκευών, οι συσκευές απαιτούσαν σύνδεση μεταξύ τους. Η σύνδεση των συσκευών έπρεπε να γίνει μέσω της σύνδεσης των σημείων όπου βρισκόταν η κάθε διακριτή φορητή συσκευή ενώ η κινητή επικοινωνία θα διεξαγόταν μέσα στα διάφορα δίκτυα χωρίς τη χρήση καλωδίων σύνδεσης.

Αρχικά, είχε εισαχθεί στην αγορά η πρώτη γενιά της τεχνολογίας ασύρματης τηλεφωνίας, κινητών τηλεπικοινωνιών, η οποία και χρησιμοποιούσε αναλογικά πρότυπα τηλεπικοινωνιών. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών, ένα κοινό Ευρωπαϊκό σύστημα επικοινωνίας κινητής τηλεφωνίας. Αρχικά, το

σύστημα αυτό είχε ονομαστεί «Group Special Mobile» (GSM), ενώ στη συνέχεια έγινε γνωστό με τον όρο «Global System for Mobile Communications». Το πρότυπο αυτό αναπτύχθηκε για να περιγράψει τα πρωτόκολλα για τα ψηφιακά κυψελοειδή δίκτυα της δεύτερης γενιάς (2G), τα οποία χρησιμοποιούνται από τα κινητά τηλέφωνα.

Συγκεκριμένα, το GSM, εισήχθη για να λύσει τους περιορισμούς της χωρητικότητας των χρηστών στο δίκτυο, περιορισμοί οι οποίοι συναντιόνταν σε αναλογικά συστήματα. Στην πραγματικότητα, με τη χρήση του συστήματος αυτού, η χωρητικότητα αυξήθηκε κατά 2 με 3 φορές, λόγω της καλύτερης χρήσης των συχνοτήτων αλλά και των μικρών τεχνικών κυττάρων που χρησιμοποιούσε. Έτσι, ο αριθμός των συνδρομητών που μπορούσαν να εξυπηρετηθούν είχε αυξηθεί δραματικά.

Όπως προαναφέρθηκε, το GSM είναι ένα πανευρωπαϊκό ψηφιακό πρότυπο κινητής τηλεφωνίας το οποίο καθορίστηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο τηλεπικοινωνιακών προτύπων (European Telecommunications Standards Institute - ETSI) και παρέχει ένα κοινό πρότυπο. Λόγω του κοινού αυτού προτύπου, οι διάφοροι συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις κινητές τους συσκευές σε όλη την Ευρώπη χωρίς κανένα περιορισμό. Επίσης, οι κλήσεις περιαγωγής στην Ευρώπη γίνονται αυτόματα. Συγκεκριμένα, κάθε χρήστης που θα ταξιδέψει έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει μαζί του το κινητό του τηλέφωνο και να το στρέψει την υπηρεσία της εταιρείας του σε κάποια υπηρεσία της χώρας που θα επισκεφθεί. Με τη σειρά της, η εταιρεία της δεύτερης χώρας, θα ανανεώσει τις πληροφορίες της τοποθεσίας του συνδρομητή στο σύστημα της εταιρείας της πατρίδας του. Ο συνδρομητής είναι σε θέση να πάρει αλλά και να δεχτεί κλήσεις, χωρίς βέβαια να χρειάζεται να γίνει γνωστή η τοποθεσία του από τον συνομιλητή του.

Επίσης, στις διεθνείς κλήσεις περιαγωγής, το GSM πρότυπο παρέχει μία πληθώρα χαρακτηριστικών όπως είναι οι υψηλές ταχύτητες στην επικοινωνία δεδομένων και η υπηρεσία σύντομων μηνυμάτων (SMS). Επιπρόσθετα, τα ψηφιακά κινητά τηλέφωνα είναι μικρότερα σε μέγεθος και ως εκ τούτου καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια από τους αναλογικούς τους προκατόχους.

Το GSM πρότυπο είναι σχεδιασμένο για να συνεργάζεται με το Ψηφιακό Δίκτυο Ενοποιημένων Υπηρεσιών (ISDN), το οποίο αποτελεί ένα δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος για ψηφιακή μετάδοση φωνής και δεδομένων μέσω των κοινών τηλεφωνικών χάλκινων

αγωγών, με αποτέλεσμα να προσφέρει καλύτερη ποιότητα και υψηλότερες ταχύτητες από αυτές που προσφέρουν τα αντίστοιχα αναλογικά συστήματα.

Η ιστορία του GSM ξεκινάει το 1982 όταν οι σκανδιναβικές χώρες έστειλαν πρόταση στο Ευρωπαϊκό συμβούλιο Ταχυδρομείων και Τηλεπικοινωνιών (CEPT) ώστε να καθορίσουν μια κοινή ευρωπαϊκή τηλεπικοινωνιακή υπηρεσία που θα άγγιζε τα 900 MHz. Μεταξύ του 1982 και του 1985 υπήρχαν συνομιλίες εάν θα δημιουργηθεί ένα αναλογικό ή ένα ψηφιακό σύστημα ενώ τελικά το 1985 αποφασίστηκε να καθοριστεί ένα αναλογικό σύστημα. Στη συνέχεια τέθηκε το ερώτημα μεταξύ στενής και ευρείας ζώνης. Σχετικά με τη λύση σε αυτό το ερώτημα διεξήχθη μία δοκιμή στο Παρίσι το 1986, όπου συμμετείχαν διάφορες εταιρείες με διάφορες λύσεις. Έτσι, το Μάιο του 1987 επιλέγηκε η λύση της περιορισμένης ζώνης (narrow-band) TDMA (Time Division Multiple Access). Έπειτα, 13 χώρες υπέγραψαν το Μνημόνιο Συμφωνίας (MOU) κι έτσι υποσχέθηκαν η μία στην άλλη να τηρούν τις προδιαγραφές, ανοίγοντας με αυτό τον τρόπο μία πολύ μεγάλη και δυναμική αγορά. Όλες οι χώρες οι οποίες υπέγραψαν το Μνημόνιο, συμφώνησαν να ξεκινήσουν τη χρήση ενός GSM συστήματος από την 1^η Ιουλίου 1991.

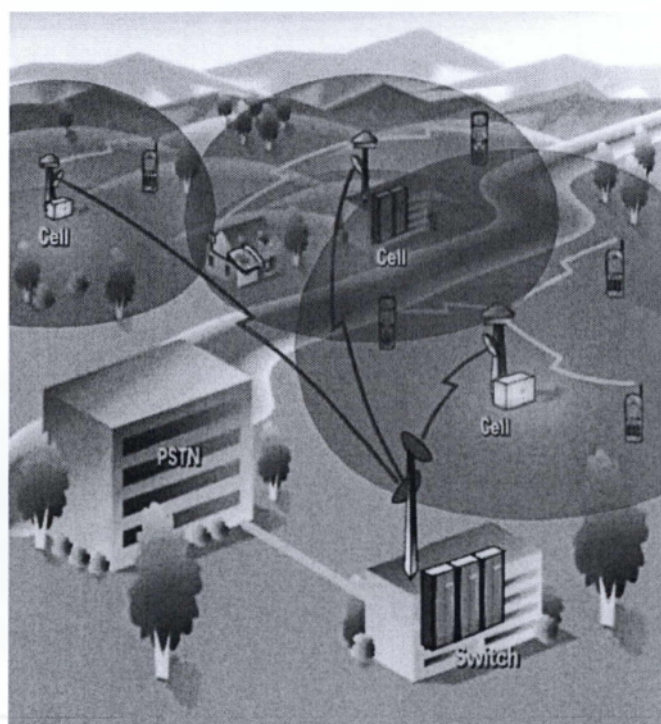
Κάποιες από τις χώρες που συμμετείχαν στο Μνημόνιο Συμφωνίας ανακοίνωσαν ότι θα ξεκινήσουν να καλύπτουν μεγάλες περιοχές εξαρχής ενώ κάποιες άλλες χώρες ότι θα καλύπτουν μόνο τις περιοχές γύρω από την πρωτεύουσα της χώρας. Στην πορεία βέβαια εισήγαγαν όλες οι χώρες την υπηρεσία σε όλες τις περιοχές και τους αυτοκινητόδρομους.

1.2.1. Λειτουργία κινητών τηλεφώνων

Τα κινητά τηλέφωνα (cell phones) είναι ασύρματα τηλέφωνα τα οποία μπορούν να πραγματοποιούν και να δέχονται τηλεφωνικές κλήσεις μέσω ραδιοζεύξης, ενώ κινούνται γύρω από μια ευρεία γεωγραφική περιοχή. Οι κινητές αυτές συσκευές χρησιμοποιούν ραδιοκύματα υψηλής συχνότητας για να επικοινωνούν με τους "πύργους κυττάρων" ("cell towers") που βρίσκονται σε όλη την έκταση της περιοχής όπου διεξάγεται η κλήση [25]. Αυτή η επικοινωνία επιτυγχάνεται με τη σύνδεση των συσκευών σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που παρέχεται από μια εταιρεία κινητής τηλεφωνίας, επιτρέποντας έτσι την πρόσβαση στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο. Αντίθετα με τη λειτουργία ενός κινητού τηλεφώνου, ένα ασύρματο τηλέφωνο χρησιμοποιείται μόνο εντός της μικρής εμβέλειας ενός ενιαίου, ιδιωτικού σταθμού βάσης.

Πιο αναλυτικά, όταν κάποιος χρήστης θέλει να διεξάγει μια κλήση προς κάποιον άλλο χρήστη, το κινητό του τηλέφωνο στέλνει ένα μήνυμα προς τον πύργο κυψέλης, ζητώντας να

συνδεθεί με ένα συγκεκριμένο συνδρομητή (ο οποίος αντιπροσωπεύεται από έναν συγκεκριμένο αριθμό τηλεφώνου). Εάν ο πύργος έχει επαρκείς πόρους για να ικανοποιήσει το αίτημα, τότε μια συσκευή που ονομάζεται "διακόπτης" ("switch") συνδυάζει το σήμα του κινητού τηλεφώνου σε ένα κανάλι στο «δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής» (ή αλλιώς PSTN). Η παρούσα πρόσκληση καταλαμβάνει ένα ασύρματο κανάλι, καθώς και ένα κανάλι PSTN, τα οποία θα παραμείνουν ανοιχτά μέχρι να ολοκληρωθεί η κλήση. Το συγκεκριμένο κανάλι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κλήσεις από οποιονδήποτε άλλο συνδρομητή, μέχρι να διακοπεί η συγκεκριμένη κλήση από αυτό το κινητό τηλέφωνο (Εικόνα 1).



Εικόνα 1 - Διεξαγωγή κλήσης μέσω κινητού τηλεφώνου

1.2.2. Ιστορική Αναδρομή στις τεχνολογίες ασύρματων δικτύων

Μέχρι σήμερα έχουν σχεδιαστεί και έχουν υλοποιηθεί οι διάφορες γενιές της κινητής τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών 1G, 2G, 2.5G, 3G 4G ενώ ήδη γίνεται ο σχεδιασμός για την πέμπτη γενιά. Ακολουθεί χρονολογική υλοποίηση και σύντομη περιγραφή κάθε γενιάς [1]:

Πρώτη Γενιά - 1G (First Generation) - 1980:

Ο όρος 1G αναφέρεται στην πρώτη γενιά ασύρματης τηλεφωνικής τεχνολογίας, στις κινητές τηλεπικοινωνίες. Σε αυτή τη γενιά συναντάμε αναλογικά πρότυπα τηλεπικοινωνιών που

εισήχθησαν γύρω στο 1980 και συνέχισαν να χρησιμοποιούνται μέχρι που αντικαταστάθηκαν από τις τεχνολογίες ψηφιακών τηλεπικοινωνιών, της δεύτερης γενιάς. Οι ταχύτητες της πρώτης γενιάς είναι πάρα πολύ χαμηλές και κυμαίνονται μεταξύ 28kbit και 56kbit ανά δευτερόλεπτο.

Δεύτερη Γενιά- 2G (Second Generation) - 1990:

Ο όρος 2G αναφέρεται στην δεύτερη γενιά ασύρματης τηλεφωνικής τεχνολογίας. Τα κυψελοειδή δίκτυα τηλεπικοινωνιών δεύτερης γενιάς ξεκίνησαν να έχουν εμπορική λειτουργία στο GSM σύστημα το 1991 στην Φιλανδία. Σε αυτή τη γενιά παρατηρούνται καινοτομίες όπως είναι η ψηφιακή κρυπτογράφηση των τηλεφωνικών συνομιλιών, υψηλότερα επίπεδα διεύθυνσης της κινητής τηλεφωνίας και εισαγωγή υπηρεσιών δεδομένων κινητής τηλεφωνίας όπως για παράδειγμα είναι τα μηνύματα κειμένου (SMS). Επιπρόσθετα, η τεχνολογία αυτή επέτρεψε στα διάφορα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας την παροχή πολλών νέων υπηρεσιών, όπως τα εικονομηνύματα και τα μηνύματα πολυμέσων (MMS). Η ψηφιακή κρυπτογράφηση που παρατηρούμε στην τεχνολογία αυτή διασφαλίζει ότι η μεταφορά των δεδομένων θα γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε μόνο ο προοριζόμενος παραλήπτης να μπορεί να λάβει και να διαβάσει το περιεχόμενό τους. Η κύρια διαφορά μεταξύ των τεχνολογιών 1G και 2G είναι το γεγονός ότι τα ραδιοφωνικά σήματα στα δίκτυα στην πρώτη γενιά στέλνονταν αναλογικά ενώ στην δεύτερη γενιά ψηφιακά. Και τα δύο συστήματα (πρώτης και δεύτερης γενιάς) χρησιμοποιούν ψηφιακή σηματοδότηση για τη σύνδεση των ασύρματων πύργων με τα υπόλοιπα τηλεφωνικά συστήματα.

Γενιά 2.5 (Second and a half Generation):

Έπειτα από τη δεύτερη γενιά, εμφανίστηκε η κυψελοειδής ασύρματη τεχνολογία 2.5G η οποία χρησιμοποιείται σε συστήματα 2G που έχουν πλέον εφαρμόσει έναν τομέα μεταγωγής πακέτων πέραν του τομέα μεταγωγής κυκλωμάτων. Σε αυτό το στάδιο κάνει την εμφάνισή της η υπηρεσία GPRS (General Packet Radio Service), η οποία αποτέλεσε το πρώτο σημαντικό βήμα στην εξέλιξη των δικτύων GSM σε 3G. Η υπηρεσία GPRS μπορούσε να παρέχει ρυθμούς δεδομένων από 56kbit έως 115kbit ανά δευτερόλεπτο. Μπορεί να εφαρμοστεί σε υπηρεσίες όπως είναι το πρωτόκολλο πρόσβασης για ασύρματες εφαρμογές WAP, η υπηρεσία μηνυμάτων για πολυμέσα (MMS), καθώς και για υπηρεσίες επικοινωνιών στο Διαδίκτυο όπως είναι το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και η πρόσβαση στον παγκόσμιο Ιστό. Επίσης, ως επέκταση της υφιστάμενης τεχνολογίας δεύτερης γενιάς εμφανίζεται και η υπηρεσία CDMA2000.

Σε γενικές γραμμές, τα 2.5G δίκτυα μπορούν να υποστηρίξουν υπηρεσίες όπως WAP, MMS, SMS, τα κινητά παιχνίδια, και την αναζήτηση.

Τρίτη Γενιά- 3G (Third Generation) - 2001:

Ο όρος 3G αναφέρεται στην τρίτη γενιά κινητής τηλεφωνίας. Η Τρίτη γενιά κινητής επικοινωνίας είναι βασισμένη σε ένα σύνολο προτύπων που χρησιμοποιούνται από τις κινητές συσκευές και επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων να προσφέρουν στους χρήστες ένα ευρύτερο φάσμα των πιο προηγμένων υπηρεσιών. Η επίτευξη μεγαλύτερης χωρητικότητας του δικτύου, μέσω της βελτίωσης της φασματικής απόδοσης, επιτρέπει ασύρματη φωνητική τηλεφωνία, κλήσεις βίντεο και ασύρματα ευρυζωνικά δεδομένα μέσα σε ένα κινητό περιβάλλον. Έτσι, η τεχνολογία αυτή εφαρμόζεται σε ασύρματη φωνητική τηλεφωνία, κινητή πρόσβαση στο Internet, σε σταθερή ασύρματη πρόσβαση στο Internet, κλήσεις βίντεο όπως επίσης και κινητή τηλεόραση (mobile TV). Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα 3G υποστηρίζουν υπηρεσίες που παρέχουν ταχύτητα λήψης δεδομένων 14.4Mbit ανά δευτερόλεπτο και ταχύτητα αποστολής δεδομένων 5.8Mbit ανά δευτερόλεπτο.

Τέταρτη Γενιά (Fourth Generation) - 2009:

Ως εξέλιξη της τρίτης γενιάς, ακολουθεί η τέταρτη γενιά κινητής επικοινωνίας. Αναλυτικά, εκτός από τις συνηθισμένες υπηρεσίες φωνής και δεδομένων που προσφέρει η τεχνολογία τρίτης γενιάς, στη γενιά αυτή παρέχεται κινητή υπέρ-ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο σε κινητές συσκευές όπως είναι για παράδειγμα οι φορητοί υπολογιστές με ασύρματο μόντεμ USB, οι έξυπνες συσκευές (smartphones). Η αύξηση των ευρυζωνικών εφαρμογών, όπως η ροή πολυμέσων (streaming media), επισκίασε τις υπηρεσίες της τρίτης γενιάς κι έτσι η βιομηχανία άρχισε να ψάχνει για υπηρεσίες 4ης γενιάς με υψηλότερες ταχύτητες από αυτές της 3ης γενιάς.

Τεχνολογία	1G	2G	2.5G	3G	4G
Έναρξη σχεδιασμού	1970	1980	1985	1990	2000
Υλοποίηση	1984	1991	1999	2002	2010?
Υπηρεσίες	Αναλογική φωνή, συγχρονισμένα μηνύματα έως και 9.6 kbps	Ψηφιακή φωνή, συνοπτικά μηνύματα	Μεγαλύτερη χωρητικότητα, πακετοποιημένα δεδομένα	Μεγαλύτερη χωρητικότητα, ευρυζωνικά δεδομένα έως και 2 mbps	Βασισμένα αποκλειστικά στο IP, ταχύτητα μέχρι και εκατοντάδες mbps
Πρότυπα	NMT, AMPS, Hicap, CDPD, TACS, ETACS	GSM, I-DEN, D-MPS	GPRS, EDGE κτλ	WCDMA, CDMA 2000	Ενιαίο πρότυπο
Εύρος ζώνης δεδομένων	1.9 kbps	14.4 kbps	384 kbps	2 mbps	200 mbps
Πολυπλεξία	FDMA	TDMA, CDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA?
Κεντρικό δίκτυο	PSTN	PSTN	PSTN, δίκτυο πακέτων	Δίκτυο πακέτων	Διαδίκτυο

Εικόνα 2 - Χαρακτηριστικά των γενιών

Πέμπτη Γενιά (Fifth Generation) – παρόν και μέλλον:

Η Πέμπτη γενιά, εάν και βρίσκεται ακόμα υπό ανάπτυξη, αποτελεί τη γενιά των υπολογιστικών συσκευών που θα είναι βασισμένες στην τεχνητή νοημοσύνη. Κάποιες εφαρμογές της, όπως είναι για παράδειγμα η αναγνώριση φωνής, χρησιμοποιούνται ήδη στις μέρες μας εφόσον η χρήση της παράλληλης επεξεργασίας και υπεραγωγών βοηθάνε να γίνει η τεχνητή νοημοσύνη πραγματικότητα. Επίσης, ο υπολογισμός της κβαντικής μηχανικής, της μοριακής και της νανοτεχνολογίας θα αλλάξουν ριζικά τον κόσμο των υπολογιστών στο προσεχές μέλλον. Ο στόχος της πέμπτης γενιάς υπολογιστών είναι να αναπτυχθούν συσκευές που ανταποκρίνονται στην είσοδο της φυσικής γλώσσας και είναι σε θέση να μαθαίνουν και να αυτο-οργανώνονται.

	Τρίτη Γενιά - 3G	Τέταρτη Γενιά - 4G
Ικανότητα διαβίβασης δεδομένων	Μέχρι και 3.1 Mbps με μέσο όρο εμβέλεια ταχύτητας μεταξύ 0.5 και 1.5 Mbps	Πρακτικά μιλώντας, 2 με 12 Mbps αλλά θεωρητικά υπολογίζεται σε μία εμβέλεια μεταξύ 100 και 300 Mbps.
Μέγιστη ταχύτητα αποστολής	5 Mbps	500 Mbps
Μέγιστη ταχύτητα λήψης	100 Mbps	1 Gbps
Τεχνική μεταγωγής	Μεταγωγή πακέτων (packet switching)	-Μεταγωγή πακέτων (packet-switching) -Μεταγωγή μηνυμάτων (message-switching)
Αρχιτεκτονική δικτύου	Ευρεία περιοχή, βασισμένη στις κυψέλες	Συνδυασμός ασύρματων τοπικών δικτύων και ευρείας περιοχής.
Υπηρεσίες και Εφαρμογές	CDMA2000, UMTS, EDGE κτλ.	Wimax2 και προηγμένο LTE
Διόρθωση λαθών (FEC)	Το 3G χρησιμοποιεί κώδικα «Turbo» για επιδιόρθωση των λαθών	Στο 4G χρησιμοποιούνται συνεχόμενοι κώδικες για επιδιόρθωση των λαθών.
Ζώνη συχνοτήτων	1.8 -2.5 GHz	2 – 8 GHz

Εικόνα 3 - Σύγκριση τρίτης και τέταρτης γενιάς [35]

1.3. Επισκόπηση του GSM συστήματος

Το GSM σύστημα (Εικόνα 4) είναι χωρισμένο σε δύο κομμάτια: στο σύστημα μεταγωγής (SS) και στο σύστημα σταθμού βάσης (BSS). Κάθε ένα από αυτά τα συστήματα περιέχει μια σειρά από λειτουργικά μπλοκ, στα οποία απελευθερώνονται όλες οι λειτουργίες του συστήματος ενώ οι διάφορες λειτουργικές του μονάδες μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορες συσκευές (υλικό).

- Σύστημα μεταγωγής (SS)

Το σύστημα μεταγωγής (SS) περιλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργικές μονάδες:

- MSC - Κέντρο Μεταγωγής Υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας:

Ένα πλήθος από BSCs (μονάδες που βρίσκονται στο σύστημα σταθμού βάσης BSS) εξυπηρετούνται από ένα MSC. Ένα κέντρο μεταγωγής υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας ελέγχει μία κλήση από και προς μια δημόσια περιοχή δικτύου κινητής τηλεφωνίας (PLMN)

ή από και προς ένα δημόσιο δίκτυο δεδομένων. Πιθανός είναι επίσης ο έλεγχος μίας κλήσης που διεξάγεται από και προς διάφορα ιδιωτικά δίκτυα.

- **VLR - Καταγραφή θέσης επισκεπτών:**

Το VLR περιέχει ένα αντίγραφο της πλειονότητας των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα στο HLR. Τα δεδομένα αυτά είναι προσωρινά δεδομένα που υπάρχουν μόνο για όσο χρονικό διάστημα ο συνδρομητής είναι «ενεργός» στην συγκεκριμένη περιοχή που καλύπτεται από το συγκεκριμένο VLR. Ως εκ τούτου, η βάση δεδομένων VLR θα περιέχει ορισμένα διπλότυπα δεδομένα, καθώς και πιο ακριβή δεδομένα σχετικά με τον συνδρομητή που παραμένει εντός του πεδίου κάλυψης VLR. Το VLR παρέχει μια τοπική βάση δεδομένων για τους συνδρομητές, που βρίσκονται φυσικά μέσα σε ένα PLMN. Η λειτουργία αυτή εξαλείφει την ανάγκη για υπερβολικές και χρονοβόρες αναφορές στην κεντρική βάση δεδομένων HLR [3].

- **HLR - Καταγραφή αρχικής τοποθεσίας:**

Το HLR αποτελεί τη βάση δεδομένων αναφοράς για τις διάφορες παραμέτρους του συνδρομητή. Περιέχει πληροφορίες, όπως είναι οι αριθμοί αναγνώρισης και οι διευθύνσεις των συνδρομητών. Πληροφορίες σαν κι αυτές αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων από τον πάροχο του δικτύου. Η εισαγωγή των πιο πάνω δεδομένων γίνεται όταν ένας νέος συνδρομητής προστίθεται στο σύστημα. Η βάση δεδομένων HLR περιέχει την κύρια βάση δεδομένων όλων των συνδρομητών σε ένα δίκτυο GSM PLMN [3]. Όλοι οι MSCs και οι VLRs στο δίκτυο έχουν απομακρυσμένη πρόσβαση στα δεδομένα αυτά.

Ακόμη, αν και το δίκτυο μπορεί να περιέχει περισσότερους από ένα HLR, έχει μόνο μία εγγραφή της βάσης δεδομένων ανά συνδρομητή και συνεπώς κάθε HLR χειρίζεται μόνο ένα κομμάτι της βάσης δεδομένων του κάθε συνδρομητή.

Τέλος, μπορούμε να έχουμε πρόσβαση στα δεδομένα ενός συνδρομητή είτε από το IMSI είτε από τον αριθμό MSISDN [8]. Τα δεδομένα μπορούν επίσης να προσεγγιστούν από ένα MSC ή ένα VLR σε ένα διαφορετικό PLMN, για να επιτραπεί η περιαγωγή εντός ενός συστήματος κάποιας χώρας.

- **AUC - Κέντρο πιστοποίησης της ταυτότητας:**

Το AUC αποτελεί μία λειτουργία σε ένα GSM δίκτυο που χρησιμοποιείται για την εξακρίβωση της γνησιότητας ενός συνδρομητή κινητής τηλεφωνίας ο οποίος θέλει να συνδεθεί με το δίκτυο. Ο έλεγχος ταυτότητας γίνεται από την αναγνώριση και την επαλήθευση της εγκυρότητας της κάρτας SIM του συνδρομητή[6].

- **EIR - Καταγραφή ταυτότητας εξοπλισμού:**

Η καταγραφή ταυτότητας του εξοπλισμού γίνεται συχνά στο HLR όπου και διατηρείται μια λίστα κινητών τηλεφώνων (που προσδιορίζονται από τον μοναδικό αριθμό IMEI), τα οποία πρόκειται είτε να απαγορευθούν είτε να παρακολουθούνται από το δίκτυο. Η συγκεκριμένη λειτουργική μονάδα έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπεται η παρακολούθηση των κλεμμένων κινητών τηλεφώνων. Έτσι, θεωρητικά όλα τα δεδομένα σχετικά με όλα τα κλεμμένα κινητά τηλέφωνα θα πρέπει να διανέμονται σε όλους τους EIRs στον κόσμο μέσα από μια κεντρική EIR [7].

- **Σύστημα σταθμού βάσης (BSS)**

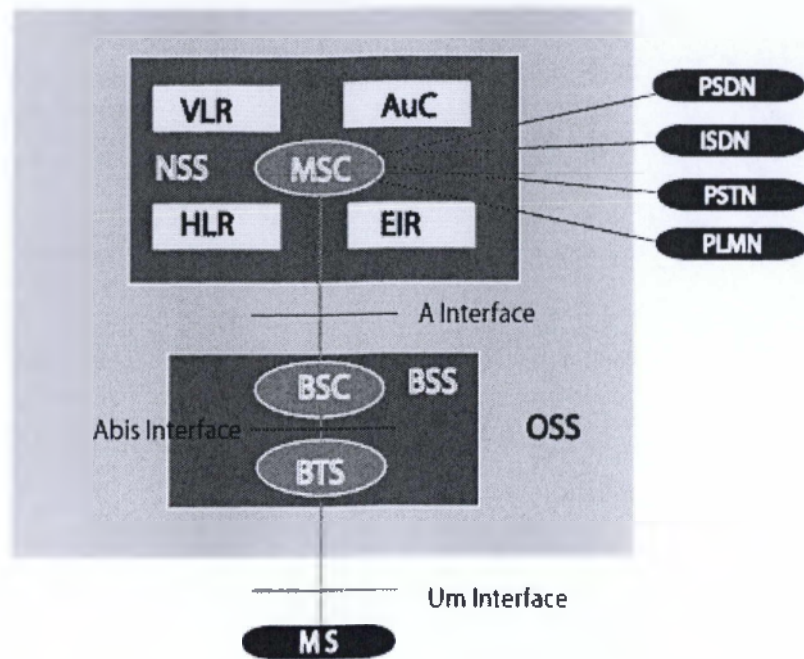
Το σύστημα σταθμού βάσης (BSS) περιλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργικές μονάδες:

- **BTS - Σταθμός βάσης:**

Κάθε κυψέλη έχει ένα βασικό σταθμό πομποδέκτη (BTS), ο οποίος λειτουργεί σε ένα σύνολο ραδιοφωνικών σταθμών. Ο σταθμός κρατά τους ραδιοφωνικούς πομποδέκτες που ορίζουν ένα κελί και συντονίζει τα πρωτόκολλα ασύρματης σύνδεσης με την κινητή συσκευή. Επιπρόσθετα, το BTS αποτελεί τη συνιστώσα δικτύωσης ενός συστήματος κινητών επικοινωνιών από το οποίο αποστέλλονται και λαμβάνονται όλα τα σήματα. Οι σταθμοί αυτοί ελέγχονται από έναν κεντρικό σταθμό βάσης και είναι διαφορετικοί από τους σταθμούς που χρησιμοποιούνται στις γειτονικές κυψέλες έτσι ώστε να γίνεται αποφυγή παρεμβολών.

- **BSC - Έλεγχος σταθμού βάσης:**

Μία ομάδα από BTSs ελέγχεται από ένα BSC για διάφορες λειτουργίες όπως είναι το handover (ο όρος αυτός θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο) και ο έλεγχος ισχύος.



Εικόνα 4 - Διάγραμμα αρχιτεκτονική του συστήματος GSM [2]

Επίσης, σε ένα δίκτυο GSM καθορίζονται και τα ακόλουθα (Εικόνα 5):

- Cell – Κυψέλη/Κελί:

Τα συστήματα κινητών τηλεφώνων αποτελούνται από πολλές μικρές κυψέλες/κελιά, όπου είναι και η βασική περιοχή εξυπηρέτησης. Κάθε κυψέλη σε ένα σύστημα κινητού τηλεφώνου αντιπροσωπεύει την περιοχή η οποία εξυπηρετείται από έναν πύργο κινητού τηλεφώνου.

Η έννοια των κελιών είναι το κλειδί πίσω από την επιτυχία των κινητών τηλεφώνων, διότι με τον τοποθέτηση πολλών κυψέλων αρκετά κοντά η μία στην άλλη, τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να μεταδίδουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα ισχύος (τυπικά 200mW μέχρι και 1W, ανάλογα με το σύστημα). Δεδομένου ότι τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να μεταδίδουν σε χαμηλά επίπεδα ισχύος, χρησιμοποιούν μικρούς πομπούς και μικρές μπαταρίες, και ως εκ τούτου είναι σε θέση να χωρέσουν σε μια τσέπη [25].

Οι κυψέλες συνήθως τοποθετούνται ώστε να απέχουν γύρω στα ένα με δύο μίλια μεταξύ τους, αλλά μπορεί και να απέχουν μέχρι και 20 μίλια στις αγροτικές περιοχές. Σε γεμάτες

περιοχές ή περιοχές με πολλά εμπόδια (όπως για παράδειγμα ψηλά κτίρια) οι κυψέλες μπορούν να έχουν ακόμα πιο μικρή απόσταση μεταξύ τους.

Το σύστημα υφίσταται σαν ένα δίκτυο από γειτονικές ράδιο-κυψέλες, οι οποίες παρέχουν μία ολοκληρωμένη κάλυψη της περιοχής υπηρεσιών. Ένα BTS καλύπτει ένα κελί και σε κάθε κυψέλη δίνεται μια παγκόσμια ταυτότητα κυψέλης (CGI), ένας αριθμός ο οποίος προσδιορίζει με μοναδικό τρόπο την κάθε κυψέλη.

- **Location Area - Περιοχή Τοποθεσίας:**

Μια ομάδα κυψέλων που σχηματίζουν μία περιοχή τοποθεσίας. Αυτή είναι η περιοχή η οποία σελιδοποιείται όταν ένας συνδρομητής δέχεται μια εισερχόμενη κλήση. Κάθε μία περιοχή τοποθεσίας παραχωρείται σε μία ταυτότητα περιοχής τοποθεσίας (LAI) και κάθε περιοχή τοποθεσίας εξυπηρετείται από ένα ή περισσότερα BSCs.

- **MSC/VLR Service Area - Περιοχή Υπηρεσίας:**

Η περιοχή που καλύπτεται από ένα MSC ονομάζεται περιοχή εξυπηρέτησης MSC/VLR.

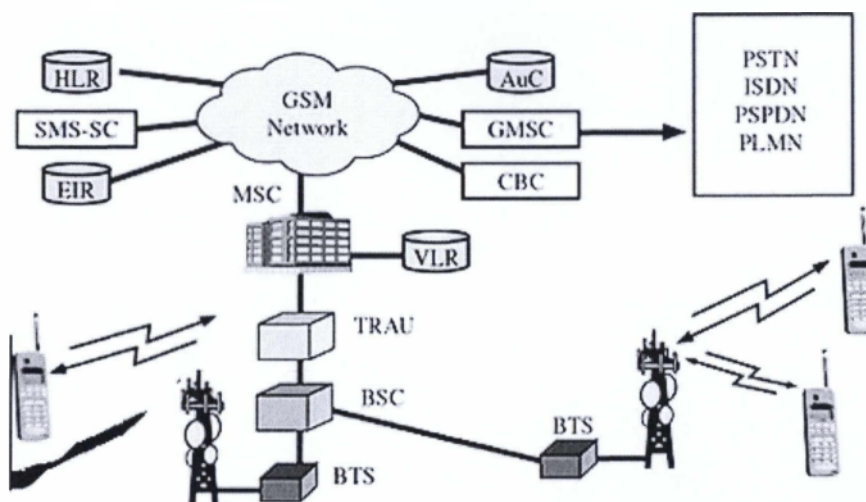
- **PLMN - Δημόσια περιοχή δικτύου κινητής τηλεφωνίας:**

Η περιοχή που καλύπτεται από έναν παροχέα δικτύου ονομάζεται PLMN. Ένα PLMN μπορεί να περιέχει ένα ή περισσότερα MSC.

Γενική Λειτουργία:

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι μονάδες: κυψέλη, BTS, BSC και MSC, που αναφέρθηκαν πιο πάνω, συμμετέχουν στη σύνδεση μεταφοράς ομιλίας ανάμεσα σε έναν φορητό σταθμό (MS). Λόγω του γεγονότος ότι υπάρχει η ανάγκη να γνωρίζουμε που βρίσκεται ο κάθε φορητός σταθμός ανά πάσα στιγμή της κλήσης, χρειαζόμαστε έναν αριθμό βάσεων δεδομένων στο δίκτυο όπου θα αποθηκεύεται καταστατικό των MS. Η πιο σημαντική βάση δεδομένων είναι η HLR κάθε παροχέα, στην οποία καταγράφεται κάθε νέος συνδρομητής μόλις κάνει συνδρομή σε κάποιον συγκεκριμένο GSM παροχέα. Η HLR βάση δεδομένων περιέχει πληροφορίες του συνδρομητή, συμπεριλαμβανομένου συμπληρωματικών υπηρεσιών και παραμέτρων ελέγχου ταυτότητας. Επιπρόσθετα, στην HLR βάση δεδομένων, θα υπάρχουν πληροφορίες για την τοποθεσία του MS, όπως για παράδειγμα σε ποια MSC περιοχή βρίσκεται ο MS σήμερα. Η καταγραφή της τοποθεσίας

είναι σημαντική κι έτσι ο MS που αλλάζει συχνά τοποθεσία στέλνει πληροφορίες τοποθεσίας στον αντίστοιχο HLR, παρέχοντας έτσι την ευκαιρία να δεχτεί κλήση.



Εικόνα 5 - GSM δίκτυο με πρόσθετα στοιχεία [2]

1.3.1. Ολοκληρωμένες Υπηρεσίες Φωνής και Δεδομένων του GSM

Η κύρια λειτουργία του GSM είναι να παρέχει μια καλή και αξιόπιστη υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας. Διαφορετικές εκδόσεις των κινητών τηλεφώνων χρησιμοποιούν επίσης μια μεγάλη ποικιλία νέων υπηρεσιών δεδομένων, χωρίς την ανάγκη χρήσης ξεχωριστού μόντεμ. Οι υπηρεσίες δεδομένων περιλαμβάνουν τη μετάδοση δεδομένων σε σχεδόν όλα τα κοινά πρότυπα, σε ποσοστά έως και 9,6kbrps, συμπεριλαμβανομένων και άλλων χαρακτηριστικών όπως είναι τα γραπτά μηνύματα και οι υπηρεσίες μετάδοσης στοιχείων (Cell Broadcast).

1.3.2. Ασφάλεια του GSM

Στο GSM σύστημα, η συνδρομή καταγράφεται στο μοντέλο ταυτοποίησης του συνδρομητή (SIM). Επιπρόσθετα, είναι διαθέσιμη και μία κάρτα συνδρομητή σε μέγεθος πιστωτικής κάρτας. Η διαδικασία σύνδεσης κάποιου συνδρομητή σε GSM συσκευή είναι εύκολη, ακόμη και αν η κάρτα δεν του ανήκει, αλλά επίσης εύκολος είναι και ο έλεγχος εάν ο συνδρομητής είναι έγκυρος ή εάν η συγκεκριμένη κάρτα είναι κλεμμένη. Ο έλεγχος αυτός γίνεται αυτόματα με μία διαδικασία επικύρωσης η οποία επικοινωνεί με ένα κέντρο πιστοποίησης. Με αυτή τη διαδικασία ελέγχου που παρέχεται μπορούν επίσης να προληφθούν

λανθασμένες χρεώσεις στον λογαριασμό ενός συνδρομητή και να εξασφαλισθεί ότι οι εισερχόμενες κλήσεις παραδίδονται στον σωστό παραλήπτη.

Η ασφάλεια στην GSM τεχνολογία ενισχύεται με τη χρήση μίας πλήρους ψηφιακής κρυπτογράφησης, η οποία προστατεύει από τις υποκλοπές φωνής και δεδομένων.

1.3.3. Απόδοση του GSM

Η ποιότητα ομιλίας της GSM τεχνολογίας είναι συγκρίσιμη με τα αναλογικά συστήματα κάτω από μέτριες και καλές συνθήκες. Ωστόσο, κάτω από κακές συνθήκες αδύνατου σήματος ή κακής απόδοσης, το GSM λειτουργεί σαφώς καλύτερα. Οι υπηρεσίες δεδομένων μπορούν να προσφέρουν υψηλή απόδοση, με εξαίρεση κάποιων μικρών λαθών, σε ταχύτητες μέχρι και 9.6 kbps.

Τα κινητά τηλέφωνα είναι διαθέσιμα σε όλες τις διαμορφώσεις, όπως για παράδειγμα ένα φορητό τηλέφωνο ή ένα τηλέφωνο χειρός. Το μέγεθος, το βάρος και η διάρκεια της μπαταρίας είναι εξίσου σημαντικές παράμετροι αν και οι νεότερες τεχνολογίες οδηγούν σε μικρότερα και πιο ελαφριά κινητά τηλέφωνα. Τέλος, η χρήση της αυτοματοποιημένης αλλαγής του τηλεφώνου σε «κατάσταση ύπνου» (sleep mode) κάνει την ζωή της μπαταρίας μεγαλύτερη.

1.3.4. Λειτουργικότητα του GSM συστήματος

Το GSM προσφέρει στους συνδρομητές του υπηρεσίες οι οποίες είναι παρόμοιες με αυτές των αναλογικών συστημάτων, και κατηγοριοποιούνται στην πρώτη γενιά κινητών προτύπων. Η διεθνής περιαγωγή επιτρέπει στους συνδρομητές να κινηθούν σε όλο τον τομέα υπηρεσιών του GSM. Επίσης, οι υπηρεσίες του φορέα, που φτάνουν μέχρι και 9.6kbps, προσφέρουν μια πληθώρα διαφορετικών υπηρεσιών δεδομένων στους πελάτες τους.

Η ταυτοποίηση των συνδρομητών και η εμπιστευτικότητα των δεδομένων των χρηστών μέσω της κρυπτογράφησης, αυξάνει την προστασία ενάντια στην παράνομη χρήση ενός συνδρομητή και προστατεύει από υποκλοπές. Μία απροειδοποίητη αποσύνδεση σημαίνει ότι οι συνδρομητές θα φύγουν από την περιοχή κάλυψης του δημόσιου κινητού δικτύου (PLMN) κι έτσι δεν θα είναι πλέον σελιδοποιημένοι. Αυτή η λειτουργία θα μειώσει το φορτίο των καναλιών τηλεειδοποίησης και το σύστημα θα δώσει στο δίκτυο μια γρήγορη απάντηση η οποία θα αναφέρει ότι ο συνδρομητής δεν μπορεί να εντοπισθεί.

1.4. Σχήμα διαμόρφωσης QAM

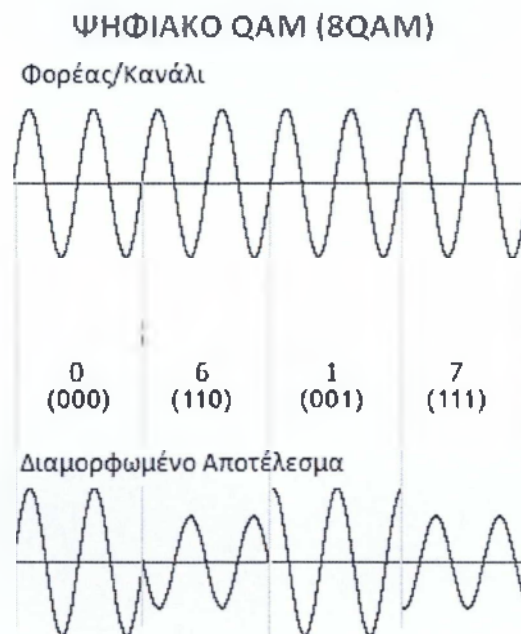
Η Τετραγωνική διαμόρφωση πλάτους (QAM - Quadrature Amplitude modulation) είναι μία τεχνική διαμόρφωσης που απασχολεί τόσο την διαμόρφωση φάσης (PM) όσο και τη διαμόρφωση πλάτους (AM). Χρησιμοποιείται ευρέως για τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων, όπως είναι η ψηφιακή καλωδιακή τηλεόραση και η καλωδιακή υπηρεσία Διαδικτύου. Επίσης, χρησιμοποιείται ως τεχνική διαμόρφωσης σε ορθογώνια πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (OFDM). Ο όρος «τετραγωνική» προέρχεται από το γεγονός ότι οι καταστάσεις (states) διαμόρφωσης φάσης είναι 90 μοίρες διαφορά η μία από την άλλη [49].

Το QAM μπορεί να είναι είτε ένα αναλογικό είτε ένα ψηφιακό σχήμα διαμόρφωσης. Στην περίπτωση του αναλογικού σχήματος διαμόρφωσης, το QAM μεταφέρει δύο αναλογικά σήματα μηνύματος διαμορφώνοντας το πλάτος των δύο φερόντων κυμάτων χρησιμοποιώντας το σύστημα αναλογικής διαμόρφωσης με διαμόρφωση πλάτους (AM - amplitude modulation). Στην περίπτωση του ψηφιακού σχήματος διαμόρφωσης, το QAM μεταφέρει δύο ψηφιακά bit streams, αλλάζοντας το πλάτος των δύο φερόντων κυμάτων, χρησιμοποιώντας το ψηφιακό σχήμα διαμόρφωσης με διαμόρφωση του εύρους μετατόπισης (ASK - amplitude-shift keying). Τα δύο φέροντα κύματα, που συνήθως είναι καμπύλες, είναι εκτός φάσης μεταξύ τους κατά 90° και ως εκ τούτου αποκαλούνται φορείς τετραγωνισμού ή συστατικά τετραγωνισμού (κι έτσι, δόθηκε το συγκεκριμένο όνομα στη ψηφιακό σχήμα διαμόρφωσης).

Από τη μία, στην περίπτωση του αναλογικού σχήματος, τα διαμορφωμένα κύματα αθροίζονται, και η προκύπτουσα κυματομορφή είναι ένας συνδυασμός της διαμόρφωσης μετατόπισης φάσεως (PSK - phase-shift keying) και της διαμόρφωσης του εύρους μετατόπισης (ASK). Από την άλλη, στην περίπτωση του ψηφιακού σχήματος, τα διαμορφωμένα κύματα αθροίζονται, και η προκύπτουσα κυματομορφή είναι ένας συνδυασμός της διαμόρφωσης φάσης (PM - phase modulation) και της διαμόρφωση πλάτους.

Στο ψηφιακό σχήμα διαμόρφωσης QAM, ένας πεπερασμένος αριθμός από τουλάχιστον δύο φάσεις και τουλάχιστον δύο πλάτη χρησιμοποιούνται. Οι διαμορφωτές μετατόπισης φάσεως (PSK) συχνά σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας την αρχή QAM, αλλά δεν θεωρούνται ως QAM αφού το πλάτος του διαμορφωμένου σήματος φερέως είναι σταθερό. Το QAM χρησιμοποιείται ευρέως ως ένα σύστημα διαμόρφωσης για ψηφιακά τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Με το σχήμα τετραγωνικής διαμόρφωσης πλάτους μπορούν να επιτευχθούν

αυθαίρετα υψηλές φασματικές αποδόσεις εφόσον γίνει καθορισμός ενός κατάλληλου μεγέθους αστερισμού. Οι αποδόσεις του QAM περιορίζονται μόνο από το επίπεδο του θορύβου και τη γραμμικότητα του καναλιού επικοινωνίας [48].



Εικόνα 6 - Διαμόρφωση σήματος Ψηφιακού QAM [49]

1.4.1. Ψηφιακό QAM

Η τετραγωνική διαμόρφωση πλάτους (QAM) μεταφέρει δεδομένα αλλάζοντας κάποια πτυχή ενός φέροντος σήματος, ή το φέρον κύμα, σε απόκριση ενός σήματος δεδομένων. Στην περίπτωση του QAM, το πλάτος των δύο κυμάτων, 90° εκτός φάσης μεταξύ τους (βρίσκονται δηλαδή σε ορθογωνισμό), αλλάζει για να εκπροσωπεί το σήμα δεδομένων.

Η διαμόρφωση κατά πλάτος δύο φορέων σε τετραγωνισμό μπορεί να θεωρηθεί είτε διαμόρφωση πλάτους είτε διαμόρφωση φάσης ενός ενιαίου φορέα.

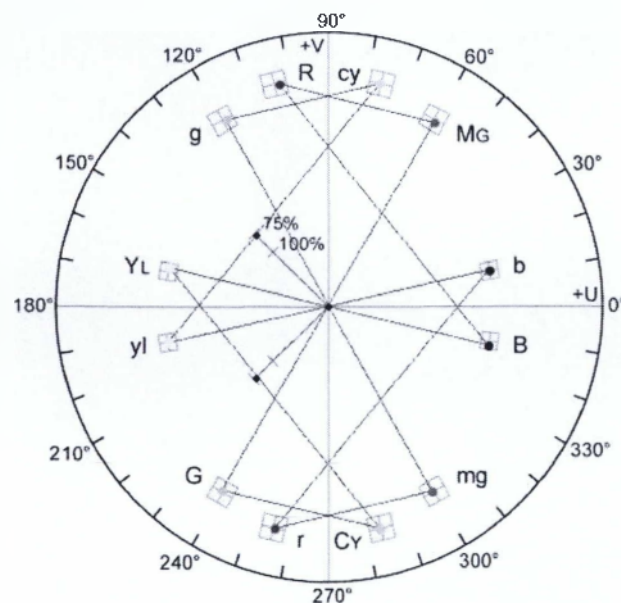
Στην ψηφιακή τετραγωνική διαμόρφωση πλάτους, το ρεύμα εισόδου διαιρείται σε ομάδες από bits με βάση τον αριθμό των καταστάσεων (states) της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, στην 8QAM, κάθε τρία δυαδικά ψηφία εισόδου, η οποία παρέχει οκτώ τιμές (0-7) μεταβάλλει την φάση και το πλάτος του φορέα έτσι ώστε να

αντλήσει οκτώ μοναδικές καταστάσεις διαμόρφωσης (Εικόνα 6). Στα 16QAM, 32QAM, 64QAM και 128QAM, τέσσερα, πέντε, έξι και επτά δυαδικά ψηφία παράγουν 16, 32, 64 και 128 καταστάσεις διαμόρφωσης αντίστοιχα.

1.4.2. Αναλογικό QAM

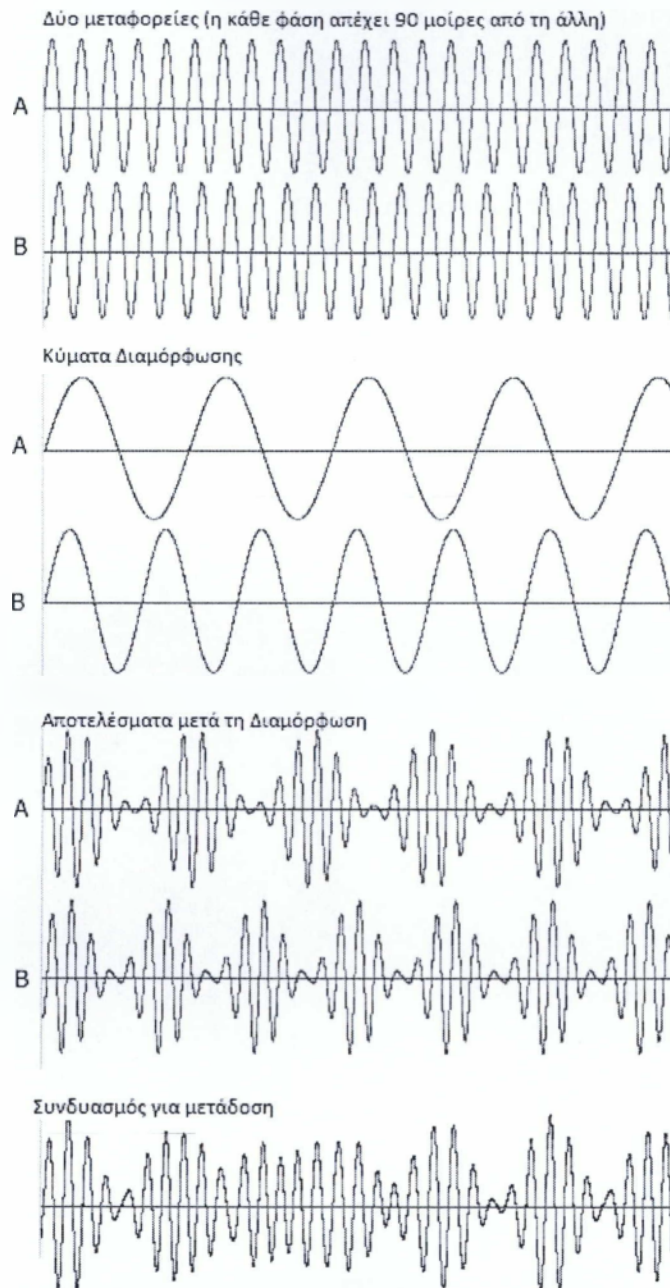
Η αναλογική τετραγωνική διαμόρφωση πλάτους (Analogue QAM) χρησιμοποιεί δύο μεταφορείς, οι οποίοι απέχουν 90 μοίρες εκτός φάσης μεταξύ τους. Κάθε φορέας διαμορφώνεται από ένα αναλογικό σήμα, και τα προκύπτοντα διαμορφωμένα κύματα συνδυάζονται (Εικόνα 8).

Το αναλογικό QAM χρησιμοποιείται σε NTSC και PAL τηλεοπτικά συστήματα, όπου τα σήματα Q και I φέρουν τα στοιχεία των πληροφοριών των χρωμάτων.



Εικόνα 7 - Αναλογικό QAM: μετρούμενο σήμα χρώματος PAL σε μια οθόνη αναλυτή φορέα [48].

ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ QAM



Εικόνα 8 - Διαμόρφωση σήματος Αναλογικού QAM [49]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Συστήματα Πολυπλεξίας

- 2.1. Εισαγωγή
- 2.2. Κωδικοποίηση και Πολυπλεξία
- 2.3. Τι είναι Πολυπλεξία
- 2.4. Βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων πολυπλεξίας
- 2.5. Συστήματα Πρόσβασης Καναλιών
- 2.6. Γενική ανασκόπηση Συστημάτων Πρόσβασης Καναλιών

Στην ενότητα αυτή θα μιλήσουμε για τα διάφορα συστήματα πολυπλεξίας. Πιο συγκεκριμένα, θα γίνει μία εισαγωγή για τις μεθόδους πολλαπλής πρόσβασης σε κάποιο μέσο, την κωδικοποίηση και την πολυπλεξία και πως αυτές οι έννοιες επηρεάζουν τη λειτουργία των κινητών συσκευών. Στη συνέχεια, θα γίνει μία εκτενής ανάλυση κάποιων εκ των βασικών χαρακτηριστικών ενός συστήματος πολυπλεξίας, όπως είναι η χωρητικότητα, η ποικιλομορφία και η μεταπομπή. Έπειτα, θα μιλήσουμε για την λειτουργία των συστημάτων πολυπλεξίας FDMA, TDMA, CDMA και CDMA2000. Ακολουθεί μία γενική ανασκόπηση όσο αφορά τα πιο πάνω συστήματα, με έμφαση στις λειτουργικές τους δυνατότητες ενώ στο τέλος θα γίνει μία σύγκριση των συστημάτων όσο αφορά τα χαρακτηριστικά τους.

2.1. Εισαγωγή

Στον τομέα «τηλεπικοινωνίες και «δίκτυα υπολογιστών», μια μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης επιτρέπει σε πολλά τερματικά - τα οποία είναι συνδεδεμένα στο ίδιο μέσο μετάδοσης πολλαπλών σημείων, να μεταδώσουν και να μοιραστούν την χωρητικότητα του μέσου. Παραδείγματα των φυσικών μέσων είναι τα ασύρματα δίκτυα, τα δίκτυα λεωφορείων, τα αστεροειδή δίκτυα και οι half-duplex point-to-point συνδέσεις [5].

Ένα σύστημα καναλιών πρόσβασης βασίζεται σε μια μέθοδο πολυπλεξίας, η οποία επιτρέπει σε πολλές ροές δεδομένων ή σε πολλά σήματα να μοιράζονται το ίδιο κανάλι επικοινωνίας ή το ίδιο φυσικό μέσο. Η πολυπλεξία παρέχεται από το φυσικό στρώμα (επιπέδου 1 -physical layer) και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε full-duplex point-to-point συνδέσεις μεταξύ κόμβων σε ένα δίκτυο μεταγωγής, το οποίο δεν πρέπει να θεωρείται πολλαπλής πρόσβασης.

Ένα σύστημα καναλιών πρόσβασης βασίζεται επίσης σε ένα πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης και τον μηχανισμό ελέγχου, γνωστό και ως έλεγχος πρόσβασης μέσων (MAC). Το πρωτόκολλο αυτό ασχολείται με θέματα όπως η διεύθυνση, η ανάθεση πολλαπλών καναλιών σε διαφορετικούς χρήστες, και η αποφυγή συγκρούσεων. Το στρώμα MAC είναι ένα υπόστρωμα (επιπέδου 2 – data link layer) του μοντέλου OSI και ένα συστατικό του link layer του μοντέλου TCP/IP.

2.2. Κωδικοποίηση και Πολυπλεξία

Με τις χιλιάδες τηλεφωνικές κλήσεις από κινητά τηλέφωνα που διεξάγονται ανά πάσα χρονική στιγμή μέσα στην πόλη, σίγουρα δεν θα μπορούσε να μιλάει ο καθένας σε κάποιο συγκεκριμένο κανάλι με τη μία, χωρίς προβλήματα. Ως εκ τούτου, αναπτύχθηκαν πολλές διαφορετικές τεχνικές από τους κατασκευαστές κινητών τηλεφώνων έτσι ώστε να χωρίσουν το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε πολλά κανάλια έτσι ώστε να είναι εφικτό να υποστηριχτούν όλες οι συνομιλίες ανά πάσα χρονική στιγμή.

Κάπου εδώ θα αναφερθούμε και στα δύο είδη μετάδοσης του ήχου, αναλογική και ψηφιακή μετάδοση. Ουσιαστικά, οι αναλογικές μεταδόσεις ήχου είναι μια σειρά από συνεχείς αλλαγές, με τα επίπεδα τάσης να αντιπροσωπεύουν το πλάτος της φωνητικής συνομιλίας. Όταν η κλήση αποστέλλεται στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, χρησιμοποιώντας το πρότυπο διαμόρφωσης συχνότητας (δηλαδή τα επίπεδα τάσης μεταφράζονται σε μετατοπίσεις συχνότητας) σε κανάλια που χωρίζονται ανά 30 kHz, διαπιστώνουμε ότι το πλάτος μπορεί να μεταδοθεί αποτελεσματικά σε 15 kHz, λόγω των περιορισμών. Όσο αφορά τώρα τις ψηφιακές μεταδόσεις, αντί να στέλνουμε δεδομένα ως διάφορα επίπεδα τάσης, το συγκεκριμένο είδος σήματος κβαντίζει τα επίπεδα τάσης σε έναν αριθμό αποθηκών (συνήθως το 28 ή το 256 αντιπροσωπεύει μια κωδικοποίηση 8-bit). Αυτές οι αποθήκες κωδικοποιούνται σε ένα δυαδικό αριθμό και αποστέλλονται ως μια σειρά από άσσους και μηδενικά. Αυτό επιτρέπεται για την ψηφιακή συμπίεση στο στάδιο που κωδικοποιείται η φωνή έτσι ώστε να σταλεί σε 8000 bits ανά δευτερόλεπτο.

2.3. Τι είναι η Πολυπλεξία

Στις τηλεπικοινωνίες και στα δίκτυα υπολογιστών, η πολυπλεξία είναι μία μέθοδος με την οποία πολλαπλά αναλογικά σήματα μηνυμάτων ή ψηφιακές ροές δεδομένων συνδυάζονται σε ένα σήμα σε ένα κοινόχρηστο μέσο [42].



Εικόνα 9 - Πολυπλεξία: Τα πολλαπλά σήματα χαμηλού ρυθμού δεδομένων πολυπλέκονται σε ένα ενιαίο σύνδεσμο υψηλού ρυθμού δεδομένων, και έπειτα αποπολυπλέκονται στο άλλο άκρο [42].

Ο σκοπός της πολυπλεξίας είναι να μοιράζεται ένας πόρος σε πολλούς χρήστες, όπως για παράδειγμα να μπορούν πολλές τηλεφωνικές κλήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν χρησιμοποιώντας ένα κοινό κανάλι επικοινωνίας. Σε αυτή την περίπτωση το κανάλι αποτελεί τον πόρο του συστήματος.

Για να μπορούν πολλαπλοί χρήστες να μοιράζονται έναν κοινόχρηστο πόρο με κάποιον προκαθορισμένο και αποδοτικό τρόπο, τότε θα έπρεπε να υπάρχει κάποιο πρωτόκολλο το οποίο θα καθόριζε πότε και πως θα πραγματοποιείται η κοινή χρήση του πόρου, όπως επίσης και τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα θα αναγνωρίζει τα διαφορετικά μηνύματα του καναλιού από κάθε χρήστη.

Η διαδικασία που μόλις περιγράψαμε ονομάζεται πολυπλεξία στα ενσύρματα συστήματα επικοινωνίας, ενώ στις ασύρματες επικοινωνίες ονομάζεται πολλαπλή προσπέλαση. Στις τηλεπικοινωνίες και στα δίκτυα υπολογιστών, ο όρος πολυπλεξία αναφέρεται στη μέθοδο την οποία επιτρέπει σε ψηφιακά δεδομένα ή σε αναλογικά σήματα από διαφορετικές πηγές να διέλθουν μέσα από το ίδιο φυσικό μέσο. Πιο συγκεκριμένα, ψηφιακά δεδομένα ή αναλογικά σήματα από διαφορετικές δικτυακές συνδέσεις μπορούν να διέλθουν είτε μέσα

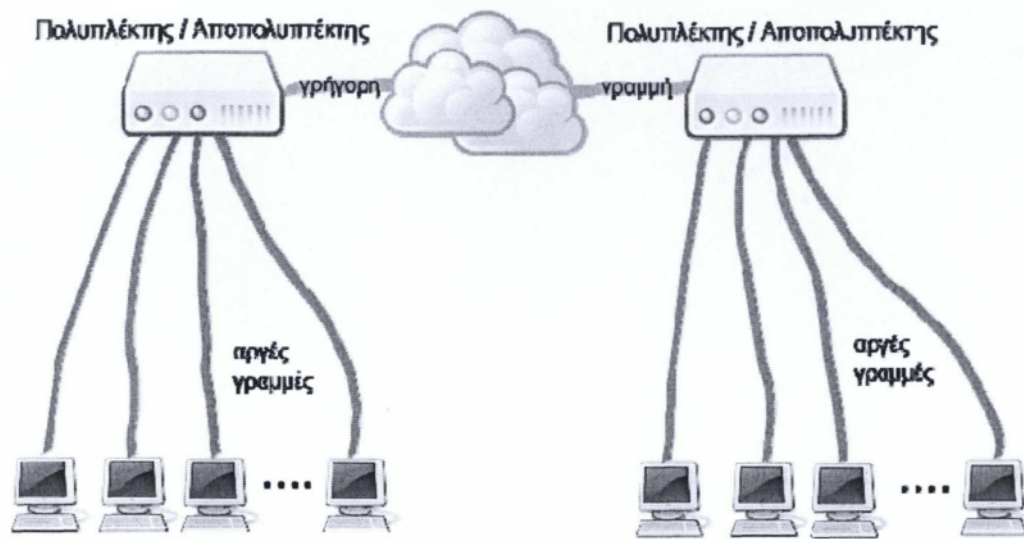
από το ίδιο καλώδιο στην ενσύρματη επικοινωνία είτε μέσα από κοινό ελεύθερο χώρο στην ασύρματη επικοινωνία.

Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται συνδυασμός πολλών αναλογικών ή ψηφιακών σημάτων για το σχηματισμό ενός σήματος με μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Έτσι, όπως προαναφέραμε, έχουμε καλύτερη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του κοινού μέσου, εφόσον μέσω της πολυπλεξίας το χρησιμοποιούν πολλαπλοί χρήστες ταυτόχρονα. Με αυτή λοιπόν την τεχνική, κάποιος πόρος, ο οποίος είτε είναι σπάνιος είτε είναι ακριβός, διαμοιράζεται σε πολλαπλούς χρήστες.

Η πολυπλεξία διαιρεί τη χωρητικότητα του τηλεπικοινωνιακού καναλιού σε λογικά κανάλια. Κάθε λογικό κανάλι αντιστοιχεί σε ένα μεταδιδόμενο πακέτο ψηφιακών δεδομένων ή σε κάθε αναλογικό σήμα αντίστοιχα, τα οποία διέρχονται συνδυασμένα από το κανάλι.

Η αντίστροφη διαδικασία ονομάζεται αποπολυπλεξία και εκτελείτε από τον παραλήπτη, έτσι ώστε να απομονωθεί το ζητούμενο πακέτο δεδομένων ή το αναλογικό σήμα αντίστοιχα (Εικόνα 9 και Εικόνα 10).

Όπως φαίνεται και στο πιο κάτω σχήμα, οι διάφορες γραμμές εισόδου (συνήθως αργής ταχύτητας) πολυπλέκονται (μέσω πολυπλεξίας) για να μεταδοθούν σε μια γραμμή μεγαλύτερης χωρητικότητας (γρήγορη γραμμή). Ο αποπολυπλέκτης λαμβάνει την πολυπλεγμένη ροή δεδομένων, χωρίζει τα δεδομένα ανάλογα με το κανάλι, στο οποίο ανήκουν και τα οδηγεί στις αντίστοιχες γραμμές εξόδου.



Εικόνα 10 - Πολυπλεξία και Αποπολυπλεξία [41]

2.4. Βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων πολυπλεξίας

2.4.1. Χωρητικότητα - Capacity

Στο γενικό πλαίσιο των δικτύων, χωρητικότητα είναι η σύνθετη μέτρηση του μέγιστου ποσού των δεδομένων που μπορούν να μεταφερθούν μεταξύ των διαφόρων τοποθεσιών του δικτύου μέσω μίας σύνδεσης ή μίας διαδρομής δικτύου. Λόγω του ύψους των συνασμένων μεταβλητών μέτρησης και των σεναρίων, η πραγματική χωρητικότητα του δικτύου είναι σπάνια ακριβείς. Η χωρητικότητα είναι επίσης γνωστή και ως απόδοση (throughput).

Η χωρητικότητα εξαρτάται από τις ακόλουθες μεταβλητές, οι οποίες δεν είναι ποτέ σταθερές:

- μηχανική δικτύου
- υπηρεσίες συνδρομητή
- ρυθμός με τον οποίο οι συσκευές χειρός εισέρχονται και εξέρχονται από περιοχή η οποία καλύπτεται από κυψέλη

Οι φορείς για τις ασύρματες επικοινωνίες ωθούνται να αυξήσουν την χωρητικότητα του δικτύου έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στη ζήτηση των χρηστών για τις υπηρεσίες υψηλού εύρους ζώνης. Μέχρι πρόσφατα, οι συνδρομητές χρησιμοποιούσαν ασύρματα δίκτυα για

να πραγματοποιήσουν κλήσεις ή να στείλουν σύντομα γραπτά μηνύματα (SMS) και μηνύματα πολυμέσων (MMS). Στις μέρες μας πλέον, η χωρητικότητα απαιτείται για να χειριστεί ο αυξημένος αριθμός των συνδρομητών και των πρόσθετων υπηρεσιών, όπως είναι:

- περιήγηση στο διαδίκτυο
- ενημερώσεις στο Facebook
- λήψεις ψηφιακών αρχείων, όπως e-books
- συνεχής ροή ήχου/βίντεο (π.χ. μέσω χρήσης Youtube)
- παιχνίδια πολλών παικτών σε απευθείας σύνδεση (online multiplayer games)

Λόγω του οριακού κόστους της χωρητικότητας του δικτύου, οι πάροχοι προσφέρουν κυρίως συσκευασμένες υπηρεσίες οι οποίες είναι σύμφωνα με ένα μενού επιλογών, όπως το πρόσθετες λειτουργίες βασισμένες στην τοποθεσία του συνδρομητή (location-based add-ons). Επίσης, παρέχονται προϊόντα, όπως ήχοι κλήσης, για να δημιουργηθούν πρόσθετα έσοδα με αμελητέα επίδραση στη λειτουργική δαπάνη [16].

Είδη Χωρητικότητας

- **Soft Capacity:**
Ένα σύστημα έχει «Soft Capacity» όταν ο διαχειριστής του συστήματος μπορεί να αλλάξει δυναμικά το καθορισμένο επίπεδο των υπηρεσιών για να αλλάξει το μέγιστο αριθμό πελατών (όριο χωρητικότητας) που μπορούν να λάβουν την υπηρεσία από το σύστημα. Αυτό επιτρέπει στον πάροχο υπηρεσιών να αυξήσει προσωρινά την ικανότητα του συστήματος με αντάλλαγμα τη μείωση της ποιότητας της φωνής [18].

2.4.2. Ποικιλομορφία – Diversity

Η ποικιλομορφία των δικτύων είναι η δυνατότητα των φορέων που εκμεταλλεύονται δίκτυα μεγάλου εύρους ζώνης να έχουν επιλογές, επιλογές σε παρόχους υπηρεσιών, επιλογές στον φυσικό εξοπλισμό δικτύου και επιλογές στην αναδρομολόγηση της κυκλοφορίας με ασφάλεια. Λόγω της αυξανόμενης ανάγκης για προστασία και ευελιξία του δικτύου οι σημερινοί πελάτες των επιχειρήσεων όπως επίσης και οι παγκόσμιοι φορείς πρέπει να είναι σε θέση να παρέχουν την ανακατεύθυνση της κίνησης του δικτύου τους κατόπιν εντολής.

Η ποικιλομορφία του δικτύου του σήμερα βασίζεται στο ότι υπάρχουν περισσότεροι από έναν φορείς, στηρίζεται σε περισσότερα από ένα κομμάτια του εξοπλισμού δικτύου, σε ένα κτίριο, σε έναν όροφο, σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας κ.ο.κ.

2.4.3. Μεταβίβαση ή Μεταπομπή – Handoff ή Handover [19]

Μία μεταπομπή αναφέρεται στη διαδικασία μεταφοράς μίας ενεργής κλήσης ή συνεδρίας δεδομένων από ένα κελί ενός κυψελοειδούς δικτύου σε άλλο ή από το ένα κανάλι ενός κελιού σε ένα άλλο. Μια καλά εφαρμοσμένη μεταπομπή είναι σημαντική για την παροχή αδιάλειπτης παροχής υπηρεσιών σε έναν καλούντα ή σε έναν χρήστη συνεδρίας δεδομένων.

Τα κυψελοειδή δίκτυα αποτελούνται από κελιά, καθένα από τα οποία είναι ικανό να παρέχει τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες σε συνδρομητές περιαγωγής στο εσωτερικό τους. Κάθε κελί μπορεί να εξυπηρετήσει μόνο μέχρι μια ορισμένη περιοχή και ένα αριθμό συνδρομητών. Έτσι, όταν κάποιο από αυτά τα δύο όρια εξαντληθεί, ακολουθεί μία μεταπομπή.

Για παράδειγμα, εάν ένας συνδρομητής κινείται έξω από την περιοχή κάλυψης ενός συγκεκριμένου κελιού ενώ εισέρχεται σε ένα άλλο, διεξάγεται μια μεταπομπή μεταξύ των δύο κελιών. Το κελί που υπηρέτησε την κλήση πριν από την μεταπομπή απαλλάσσεται από τα καθήκοντά του, τα οποία στη συνέχεια μεταφέρονται στο δεύτερο κελί. Η μεταπομπή μπορεί επίσης να ενεργοποιείται όταν ο αριθμός των συνδρομητών που χρησιμοποιούν μια συγκεκριμένη κυψέλη έχει ήδη φτάσει στο ανώτατο όριο του κυττάρου (χωρητικότητα). Μια τέτοια μεταβίβαση είναι δυνατή επειδή η έκταση των κυψελών που εξυπηρετούν αυτά τα κελιά μπορεί μερικές φορές να επικαλύπτεται. Έτσι, αν ένας συνδρομητής βρίσκεται εντός μίας επικαλυπτόμενης περιοχής, το δίκτυο μπορεί να επιλέξει να μεταφέρει την κλήση ενός συνδρομητή στο κελί που εμπλέκεται στην επικάλυψη.

Μερικές φορές η μεταβίβαση μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμη και αν δεν έχει παραβιαστεί κανένα όριο. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι ένας συνδρομητής αρχικά βρίσκεται εντός της δικαιοδοσίας ενός μεγάλου κελιού εισέρχεται στη δικαιοδοσία ενός μικρότερου κελιού. Ο συνδρομητής μπορεί να μεταβιβαστεί στον μικρότερο κελί, προκειμένου να απελευθερωθεί χωρητικότητα από το μεγαλύτερο κελί.

Οι μεταβιβάσεις διαχωρίζονται σε δύο είδη:

- **Σκληρή μεταβίβαση - Hard Handoff:** Χαρακτηρίζεται από μια πραγματική διακοπή της σύνδεσης εν όσο γίνεται η μετάβαση από το ένα κελί ή το σταθμό βάσης στον άλλο. Η αλλαγή γίνεται τόσο γρήγορα που δύσκολα μπορεί να γίνει αντιληπτό από το χρήστη. Για το λόγο ότι χρειάζεται μόνο ένα κανάλι για να εξυπηρετήσει ένα σύστημα που είναι σχεδιασμένο για hard handoffs, η επιλογή αυτή είναι η πιο

- προσιτή επιλογή. Επίσης, είναι επαρκής για τις υπηρεσίες που μπορεί να επιτρέψουν μικρές καθυστερήσεις, όπως η κινητή ευρυζωνική σύνδεση στο Διαδίκτυο.
- **Απαλή μεταβίβαση - Soft Handoff:** Περιλαμβάνει δύο συνδέσεις με το κινητό τηλέφωνο από δύο διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Αυτό εξασφαλίζει ότι δεν ακολουθεί διάλειμμα κατά τη διάρκεια της μεταβίβασης. Φυσικά, είναι πιο δαπανηρή από ένα hard handoff.

2.5. Συστήματα Πρόσβασης Καναλιών

2.5.1. FDMA

Το FDMA(Frequency Division Multiple Access) είναι μια μέθοδος πρόσβασης καναλιών που διαιρεί τη συνολική συχνότητα σε ένα αριθμό διαύλων, όπου κάθε δίαυλος-κανάλι μπορεί να ανατεθεί σε διαφορετικό χρήστη. Συγκεκριμένα, το FDMA δίνει στους χρήστες μια ατομική κατανομή ενός ή περισσότερων ζωνών συχνοτήτων ή καναλιών, συντονίζοντας έτσι την πρόσβαση μεταξύ πολλών χρηστών. Κάθε χρήστης μεταφέρει δεδομένα χωρίς περιορισμούς στο χρόνο αλλά χρησιμοποιώντας μόνο ένα τμήμα του διαθέσιμου συνόλου εύρους ζώνης συχνοτήτων. Επιπλέον, οι διαφορετικοί χρήστες διαχωρίζονται στο πεδίο συχνοτήτων (Εικόνα 11).

Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στο σύστημα πολυπλεξίας διαίρεσης της συχνότητας (FDM), το οποίο παρέχει διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων σε διαφορετικές ροές δεδομένων. Στην περίπτωση του FDMA συστήματος, οι ροές δεδομένων κατανέμονται σε διαφορετικούς κόμβους ή συσκευές. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα του συγκεκριμένου συστήματος είναι τα συστήματα κινητών τηλεφώνων της πρώτης γενιάς (1G), όπου για κάθε τηλεφώνημα γινόταν ανάθεση σε ένα συγκεκριμένο κανάλι συχνότητας άνω ζεύξης (uplink) και σε ένα άλλο κανάλι συχνότητα κατερχόμενης ζεύξης (downlink).

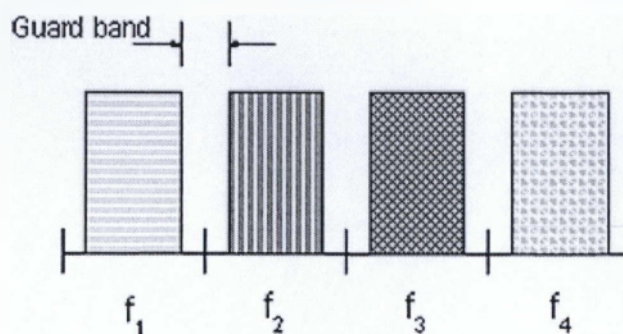
Ακόμη, το FDMA, εκτός από την σταθερή ανάθεση υποστηρίζει και ανάθεση με βάση τη ζήτηση. Πιο αναλυτικά, η ανάθεση της ζήτησης επιτρέπει φαινομενικά σε όλους τους χρήστες συνεχή πρόσβαση του ραδιοφάσματος. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ανάθεσης των συχνοτήτων μεταφορέα σε προσωρινή βάση, χρησιμοποιώντας μια διαδικασία στατιστικής ανάθεσης.

Το FDMA χρησιμοποιείται συνήθως στην αναλογική κινητή τηλεφωνία, συμπεριλαμβανομένων των αναλογικών κυψελοειδών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, όπως είναι το AMPS, NMT και των TAC [9].

Επιπλέον, κάθε τηλεφώνημα διαμορφώνεται σε μια συγκεκριμένη συχνότητα φορέα και μεταξύ των διαφορετικών καναλιών συχνότητας που χρησιμοποιούνται υπάρχει και ένα μικρό ποσό του εύρους ζώνης που δεν χρησιμοποιείται (Εικόνα 11). Ο χώρος αυτός ονομάζεται ζώνη προστασίας (guard band) και είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη για την αστάθεια του αποστολέα, τις μετατοπίσεις συχνότητας λόγω της κίνησης (το φαινόμενο Doppler) και το μη ιδανικό φιλτράρισμα.

Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου FDMA είναι [10]:

- Όλοι οι χρήστες μοιράζονται το δορυφορικό αναμεταδότη ή το κανάλι συχνότητας ταυτόχρονα, αλλά κάθε χρήστης μεταδίδει σε μόνο μία συχνότητα.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο με αναλογικό όσο και με ψηφιακό σήμα.
- Κάθε χρήστης εκπέμπει και λαμβάνει σε διαφορετικές συχνότητες, εφόσον κάθε χρήστης παίρνει μία μοναδική σχισμή συχνότητας.



Εικόνα 11 - Η αρχή του FDMA

Χαρακτηριστικά του FDMA [10]

- Διαμοιρασμός καναλιού:

Όλοι οι χρήστες μοιράζονται τον δορυφορικό αναμεταδότη ή το κανάλι συχνότητας ταυτόχρονα, αλλά κάθε χρήστης μεταδίδει μόνο σε μία μοναδική συχνότητα.

- **Σήμα:**

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο με αναλογικό όσο και με ψηφιακό σήμα.

- **Πρόβλημα Χρονισμού:**

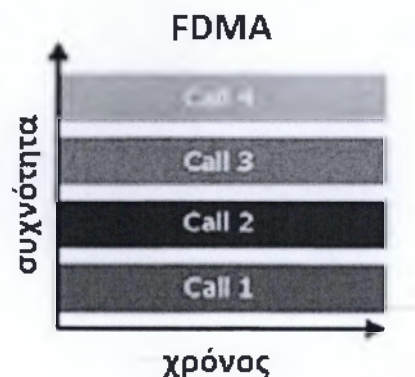
Δεν είναι ευάλωτο στα προβλήματα χρονισμού. Δεδομένου ότι μια προκαθορισμένη ζώνη συχνοτήτων είναι διαθέσιμη για ολόκληρη την περίοδο της επικοινωνίας, η ροή των δεδομένα (μια συνεχής ροή των δεδομένων που δεν μπορεί να μπει σε πακέτα) μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί με FDMA.

- **Πρόβλημα Near-Far:**

Λόγω της συχνότητας φιλτραρίσματος, FDMA δεν είναι ευαίσθητο στο πρόβλημα "near-far" [4]

- **Συχνότητες:**

Κάθε χρήστης εκπέμπει και λαμβάνει σε διαφορετικές συχνότητες, εφόσον κάθε χρήστης παίρνει μία μοναδική σχισμή συχνότητας.



Εικόνα 12 - FDMA: Σχέση Χρόνου και Συχνότητας

2.5.2. TDMA

Το TDMA (Time division multiple access) είναι ακόμα ένα σύστημα πρόσβασης καναλιών το οποίο βασίζεται στην πολυπλεξία διαίρεσης του χρόνου (TDM). Και σε αυτή τη μέθοδο, το μέσο διαμοιράζεται στο δίκτυο. Η συγκεκριμένη μέθοδος παρέχει διάφορες χρονικές σχισμές σε διαφορετικές ροές δεδομένων (στην συγκεκριμένη περίπτωση του TDMA σε διαφορετικούς πομπούς) σε μία κυκλικά επαναλαμβανόμενη δομή πλαισίου [5]. Πιο συγκεκριμένα, επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται το ίδιο κανάλι συχνότητας διαιρώντας το σήμα σε διαφορετικές χρονοθυρίδες (Εικόνα 13). Οι χρήστες μεταδίδουν σε γρήγορη διαδοχή, ο ένας μετά τον άλλο, ο καθένας χρησιμοποιώντας τη δικιά του

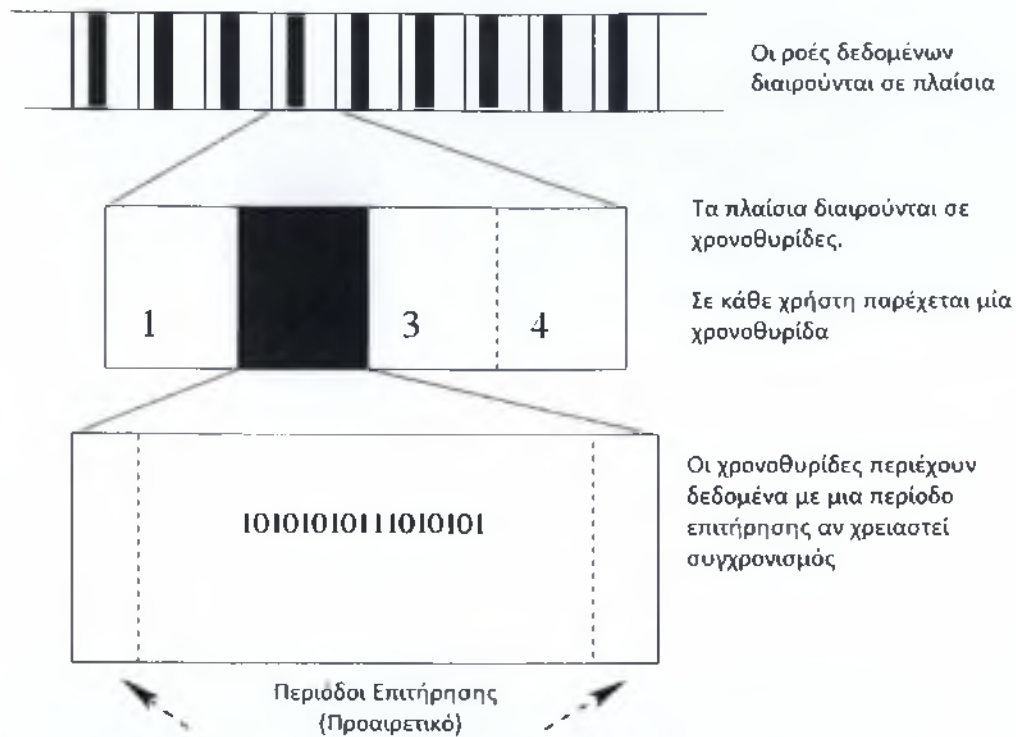
χρονοθυρίδα. Αυτό επιτρέπει σε πολλούς σταθμούς να μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης (π.χ. κανάλι ραδιοσυχνοτήτων), ενώ χρησιμοποιείται μόνο ένα μέρος της χωρητικότητας του καναλιού του.

Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να ήτα ότι ο πρώτος κόμβος θα χρησιμοποιήσει τη χρονοθυρίδα 1, ο δεύτερος κόμβος τη χρονοθυρίδα 2, κλπ. μέχρι τον τελευταίο πομπό (Εικόνα 13). Στη συνέχεια, αρχίζει ξανά από την αρχή, σε ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο, έως ότου τελειώσει η σύνδεση και ελευθερωθεί η υποδοχή ή έως ότου η σύνδεση εκχωρηθεί σε άλλο κόμβο.

Το TDMA χρησιμοποιείται στα ψηφιακά κυψελοειδή συστήματα 2G, όπως για παράδειγμα το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (GSM καθώς και στις ψηφιακές ενισχυμένες ασύρματες τηλεπικοινωνίες (DECT) για φορητά τηλέφωνα [11]. Επίσης, χρησιμοποιείται ευρέως σε δορυφορικά συστήματα.

Μια προηγμένη μορφή είναι του TDMA είναι το δυναμικό TDMA (DTDMA), όπου ο προγραμματισμός μπορεί να δώσει διαφορετικό χρόνο μερικές φορές και μερικές φορές ο πρώτος κόμβος μπορεί να χρησιμοποιήσει χρονοθυρίδα 1 σε πρώτο πλαίσιο και στο επόμενο πλαίσιο να χρησιμοποιήσει μια άλλη χρονοθυρίδα.

Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα για τα δύο συστήματα πρόσβασης καναλιών που προαναφέρθηκαν είναι τα κυψελοειδή συστήματα 2G τα οποία βασίζονται σε ένα συνδυασμό των TDMA και FDMA. Κάθε κανάλι συχνοτήτων χωρίζεται σε οκτώ χρονοθυρίδες, εκ των οποίων οι επτά χρησιμοποιούνται για επτά τηλεφωνήματα, και μία για τα δεδομένα σηματοδότησης.



Εικόνα 13 - Δομή πλαισίου TDMA

Χαρακτηριστικά του TDMA [11]

- Συχνότητες:

Διαμοιρασμός μίας ενιαίας συχνότητα φορέα σε πολλούς χρήστες.

Προηγμένες εξισώσεις μπορεί να είναι απαραίτητες για υψηλές ταχύτητες δεδομένων στην περίπτωση που το κανάλι είναι "επιλεκτικό στη συχνότητα" και δημιουργεί παρεμβολές.

Πολυπλοκότητα κατανομής συχνότητας/σχισμής

- Μετάδοση:

Μη συνεχή μετάδοση κάνει τη μεταπομπή απλούστερη

- Συγχρονισμός:

Υψηλότερη επιβάρυνση συγχρονισμού από ότι στο CDMA

- Παρεμβολές:

Λιγότερο αυστηρός έλεγχος ισχύς από το CDMA λόγω των μειωμένων εσωτερικών παρεμβολών του κελιού.

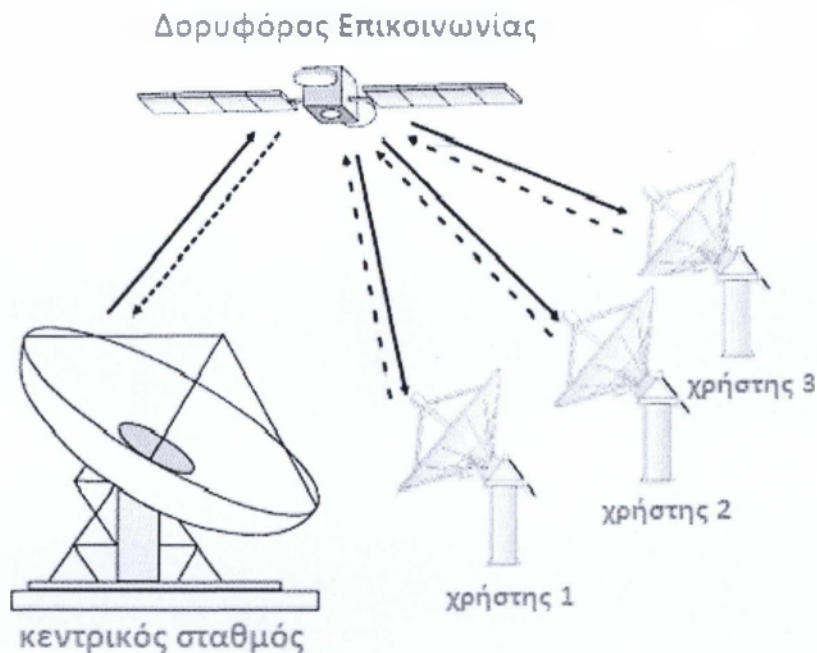
Παλλόμενη περικάλυψη ισχύος: παρεμβολές από άλλες συσκευές

- Δυναμικότητα:

Μπορεί να αποδοθούν σχισμές με τη ζήτηση σε ένα δυναμικό TDMA

- Δανεισμός πόρων:

Ο δανεισμός πόρων από γειτονικά κύτταρα είναι πιο περίπλοκος από ότι στο σύστημα CDMA



Εικόνα 14 - Πολλαπλή πρόσβαση από χρήστες που μοιράζονται το ίδιο κανάλι συχνότητας διαιρώντας το σήμα σε διαφορετικές χρονοθυρίδες.

2.5.3. CDMA

Η τεχνολογία αυτή αρχικά αναπτύχθηκε για την εξουδετέρωση των ραδιοφωνικών παρεμβολών που γίνονταν εκ προθέσεως στα στρατιωτικά συστήματα. Το 1949, ο John Pierce έγραψε ένα τεχνικό υπόμνημα το οποίο περιέγραφε ένα σύστημα πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιούσε ένα κοινό μέσο το οποίο μετέφερε ένα κωδικοποιημένο σήμα που δεν χρειαζόταν να συγχρονιστεί. Αργότερα εκείνο το έτος, ο Claude Shannon και ο Robert Pierce ανέπτυξαν τις βασικές λειτουργικές ιδέες για το σύστημα CDMA. Στη συνέχεια έγιναν και άλλες θεωρητικές και τεχνολογικές ανακαλύψεις και αποδείχθηκε ότι το σύστημα αυτό είναι κατάλληλο για την κυτταρική επικοινωνία. [12]

Η διαίρεση του κώδικα πολλαπλής πρόσβασης (CDMA) είναι μια μέθοδος πρόσβασης καναλιών που χρησιμοποιείται από διάφορες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας. Στο συγκεκριμένο σύστημα, μπορούν πολλοί πομποί να στείλουν πληροφορίες ταυτόχρονα σε ένα κανάλι επικοινωνίας. Το χαρακτηριστικό αυτό επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται μια κοινή ζώνη συχνοτήτων, με αποτέλεσμα η κατανάλωση των πόρων να εκφράζεται σε bits ανά δευτερόλεπτο (bandwidth). Για να μπορέσει αυτό να επιτευχθεί χωρίς άσκοπες παρεμβολές μεταξύ των χρηστών, το CDMA χρησιμοποιεί τεχνολογία εξάπλωσης φάσματος και ένα ειδικό σύστημα κωδικοποίησης (όπου σε κάθε πομπό αντιστοιχεί ένας κωδικός). Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για πρόσβαση σε πολλά πρότυπα κινητής τηλεφωνίας, όπως για παράδειγμα το cdmaOne [2], το CDMA2000 (η 3G εξέλιξη της cdmaOne) και το WCDMA (το 3G πρότυπο που χρησιμοποιείται από τους μεταφορείς GSM), στα οποία και αναφερόμαστε συχνά ως CDMA.

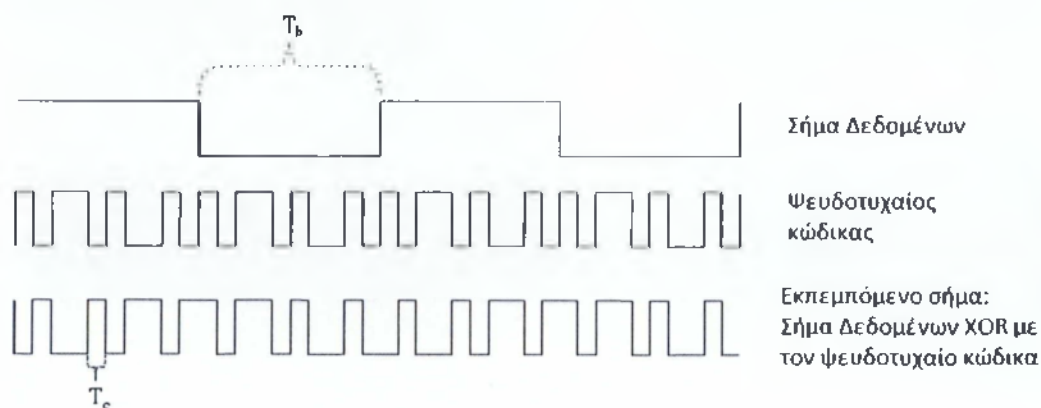
Το CDMA είναι μία ευρέως φάσματος τεχνική πολλαπλής πρόσβασης. Η τεχνική αυτή διαδίδει το εύρος ζώνης των δεδομένων (bandwidth) ομοιόμορφα με την ίδια μεταδιδόμενη ισχύ. Πιο αναλυτικά, ένας κωδικός διάδοσης είναι ένας ψευδο-τυχαίος κωδικός ο οποίος έχει μία ασαφή συνάρτηση περιορισμένης αντίληψης, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους κωδικούς περιορισμένων παλμών. Στο CDMA ένας τοπικά παραγόμενος κωδικός τρέχει σε ένα πολύ υψηλότερο ποσοστό από ότι τα δεδομένα που διαβιβάζονται. Τα δεδομένα μετάδοσης συνδυάζεται μέσω bitwise [83] XOR (αποκλειστικό OR) με τον ταχύτερο κώδικα.

Τα βήματα που ακολουθούνται για τη διαμόρφωση του CDMA περιγράφονται με τη δημιουργία ενός σήματος φασματικής εξάπλωσης. Αρχικά, το σήμα δεδομένων με διάρκεια παλμού T_b (περίοδος συμβόλων) γίνεται XOR με το σήμα κώδικα με διάρκεια παλμού T_c (περίοδος chip). Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι το εύρος ζώνης είναι ανάλογο με $1/T$, όπου T είναι χρόνος του bit και ως εκ τούτου, το εύρος ζώνης του σήματος δεδομένων είναι $1/T_b$ και το εύρος ζώνης του σήματος φασματικής εξάπλωσης είναι $1/T_c$. Δεδομένου ότι το T_c είναι πολύ μικρότερο από ότι το T_b , το εύρος ζώνης του σήματος φασματικής εξάπλωσης είναι πολύ μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης του αρχικού σήματος. Ο λόγος T_b/T_c ονομάζεται η «παράγοντας διάδοσης» ή «κέρδος επεξεργασίας» και καθορίζει σε κάποιο βαθμό το ανώτατο όριο του συνολικού αριθμού των χρηστών που υποστηρίζονται ταυτόχρονα από ένα σταθμό βάσης (Εικόνα 14).

Κάθε χρήστης σε ένα σύστημα CDMA χρησιμοποιεί διαφορετικό κώδικα για να διαμορφώσει το σήμα του. Η σωστή επιλογή του κώδικα που χρησιμοποιείται για τη

διαμόρφωση του σήματος είναι πολύ σημαντική κατά την εκτέλεση των συστημάτων CDMA. Η καλύτερη απόδοση θα επιτευχθεί όταν υπάρχει καλός διαχωρισμός μεταξύ του σήματος ενός επιθυμητού χρήστη και του σήματος των άλλων χρηστών. Ο διαχωρισμός των σημάτων γίνεται με τη συσχέτιση του λαμβανόμενου σήματος και του τοπικά παραγόμενου κώδικα του επιθυμητού χρήστη.

Εάν το σήμα ταιριάζει με τον κωδικό του επιθυμητού χρήστη, τότε η συνάρτηση συσχέτισης θα είναι υψηλή και το σύστημα μπορεί να εξαγάγει αυτό το σήμα. Εάν όμως ο κωδικός του επιθυμητού χρήστη δεν έχει τίποτα κοινό με το σήμα τότε ο συσχετισμός πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο κοντά στο μηδέν έτσι ώστε να εξαλειφθεί το σήμα. Το σενάριο που μόλις αναφέραμε είναι γνωστό ως διασταυρωμένη συσχέτιση. Εάν πάλι ο κώδικας είναι συσχετισμένος με το σήμα σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή εκτός από το μηδέν, ο συσχετισμός θα πρέπει να είναι όσο πιο κοντά στο μηδέν είναι δυνατόν. Το σενάριο αυτό είναι γνωστό ως αυτοσυσχέτιση και χρησιμοποιείται για την απόρριψη παρεμβολών πολλαπλών διαδρομών.



Εικόνα 15 -Γενιά του CDMA[12], πώς δημιουργείται ένα σήμα φασματικής εξάπλωσης.

Χαρακτηριστικά του CDMA [17]

Κάποια από τα κύρια θετικά χαρακτηριστικά του CDMA για τα οποία προτιμάμε τη χρήση τη συγκεκριμένη τεχνολογία είναι:

- Περιορισμοί:

Η χωρητικότητα του δικτύου (hard capacity) ενός συστήματος CDMA περιορίζεται από δύο παράγοντες: το μήκος της λέξης κώδικα και τη μέγιστη ισχύ αποστολέα. Κάθε μήκος κώδικα

μπορεί να διατηρήσει μόνο έναν περιορισμένο αριθμό ορθογώνιων κωδικών. Επιπλέον, ένας δέκτης βλέπει άλλες μεταδόσεις χρήστη στο σύστημα, όπως ο θόρυβος. Επομένως, ο πομπός που στέλνει σε ένα συγκεκριμένο δέκτη πρέπει να μεταδίδει σε μια δύναμη αρκετά υψηλή για να υπερνικήσει το θόρυβο, δηλαδή πρέπει να έχει μια αρκετά υψηλή αναλογία ισχύος σήματος προς θόρυβο. Οι χρήστες κινητών τηλεφώνων έχουν μόνο μια πεπερασμένη πηγή ενέργειας, περιορίζοντας έτσι το επίπεδο θορύβου που μπορούν να ξεπεράσουν. Αν ο θόρυβος του συστήματος υπερβαίνει την τιμή πάνω από την οποία ένας χρήστης μπορεί να μεταδώσει με επιτυχία, τότε ο χρήστης δεν μπορεί να προστεθεί στο σύστημα.

- **Απαλή χωρητικότητα - Soft capacity:**

Τα συστήματα CDMA έχουν υψηλό ποσοστό εξυπηρέτησης σε αριθμό πελατών και μετάδοσης δεδομένων, σε ένα ασύρματο σύστημα και είναι σε θέση να δεχθούν χρήστες πέρα από το όριο της σκληρής χωρητικότητας τους. Όταν ένας χρήστης κινητού ζητά πρόσβαση σε ένα σύστημα που έχει φθάσει σε *hard capacity*, το κελί μπορεί να επιτρέψει αυτόν τον χρήστη επάνω στο δίκτυο του, διότι έχει ένα μοναδικό κωδικοποιημένο σήμα. Για να φιλοξενήσει αυτό το νέο χρήστη, η ποιότητα των υπηρεσιών του κυττάρου μειώνεται σε ένα επιτρεπτό επίπεδο. Αυτό μειώνει την εμφάνιση των κλήσεων που διακόπτονται λόγω των κελιών που λειτουργούν σε *hard capacity* (Εικόνα 15).

- **Απαλές μεταβιβάσεις - Soft handoffs:**

Δεδομένου ότι κάθε χρήστης έχει καθορίσει μια συγκεκριμένη υποδοχή μετάδοσης μέσα σε ένα κελί, θα πρέπει να ανατεθεί εκ νέου σε νέα υποδοχή καθώς κινείται προς ένα άλλο κελί. Εάν το νέο κελί έχει φτάσει στο μέγιστο της χωρητικότητας του, τότε η κλήση διακόπτεται. Το CDMA εξαλείφει τη σκληρή μεταπομπή (*hard handoff*) μέσω μιας τεχνικής λογικά επισημασμένη ως απαλή μεταπομπή (*soft handoff*). Μόλις ένας χρήστης κινητού πλησιάσει τα περιθώρια ενός κελιού, μπορεί να διαβιβαστεί στα γειτονικά κελιά ταυτόχρονα επειδή έχει ένα μοναδικό κωδικοποιημένο σήμα. Από τη στιγμή που κινείται πιο κοντά σε ένα σταθμό βάσης και μακρύτερα από τους άλλους, ο χρήστης μεταβαίνει ομαλά σε ένα μόνο σταθμό βάσης. Λόγω της καινοτόμου απαλής χωρητικότητας (*soft capacity*) των κυττάρων CDMA, ακόμη και αν το διπλανό κελί βρίσκεται σε σκληρή χωρητικότητα (*hard capacity*), θα εξακολουθεί να δέχεται το νέο χρήστη.

- Έλεγχος ισχύος:

Στη θέση της τυφλής μετάδοσης σημάτων χρησιμοποιώντας πλήρη ισχύ, τα συστήματα CDMA χρησιμοποιούν έλεγχο ισχύος για να μειώσουν το θόρυβο και τις παρεμβολές του συστήματος, ενισχύοντας έτσι την ποιότητα του δικτύου. Οι χρήστες κινητών τηλεφώνων είναι υποχρεωμένοι να μεταδίδουν σε ένα ελάχιστο επίπεδο ισχύος που απαιτείται για το σήμα έτσι ώστε να μπορεί να φτάσει στο σταθμό βάσης. Αυτό εξαλείφει τις παρεμβολές στα γειτονικά κελιά και μειώνει την ποσότητα του θορύβου στο σύστημα.

- Αυξημένη Ικανότητα Χρήσης:

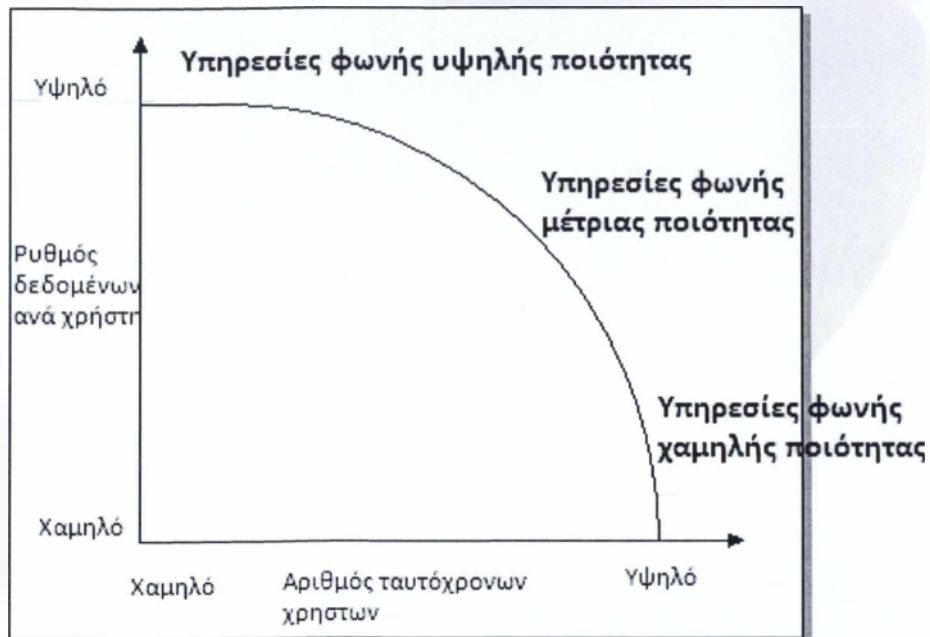
Το σύστημα CDMA έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα χρηστών από εκείνη του TDMA ή του FDMA. Η πλήρης αξιοποίηση των πόρων του συστήματος (εύρος ζώνης συχνοτήτων και χρόνου) επιτρέπει σε περισσότερους χρήστες να έχουν πρόσβαση στο σύστημα. Επιπλέον, το μήκος του κωδικού λέξης που χρησιμοποιείται για να κωδικοποιήσει τα σήματα πιο αυστηρά, περιορίζει την ικανότητα του χρήστη. Έτσι, ενόσω υπάρχει διαθέσιμη επαρκής δύναμη για τον κινητό χρήστη, ένα σύστημα μπορεί να έχει όσους περισσότερους χρήστες μπορεί να υποστηρίξει το μήκος κώδικα του.

- Ασφάλεια:

Το CDMA εξασφαλίζει εγγενώς τα σήματα του με την κωδικοποίηση της μετάδοσης του χρήστη χρησιμοποιώντας ένα μοναδικό κωδικό. Οι ακροατές που θέλουν να υποκλέψουν πρέπει να έχουν γνώση του εν λόγω κώδικα, προκειμένου να αποκρυπτογραφήσουν το μήνυμα.

- Εύρος ζώνης έπειτα από ζήτηση:

Δεδομένου ότι τα συστήματα CDMA αξιοποιούν το σύνολο του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων, κάθε χρήστης που απαιτεί επιπρόσθετους πόρους με τους οποίους μπορεί να μεταδώσει, μπορεί να τους πάρει χωρίς να διαταράσσεται η ποιότητα της υπηρεσίας για τους άλλους χρήστες.



Εικόνα 16 - CDMA Διάγραμμα Ορίου Soft Capacity

2.5.4. CDMA2000

Το CDMA2000 είναι ένα πρότυπο της κινητής τεχνολογίας το οποίο ανήκει στην οικογένεια της τρίτης γενιάς (3G). Το συγκεκριμένο πρότυπο χρησιμοποιεί κανάλια πρόσβασης CDMA για να στείλει φωνή, δεδομένα και δεδομένα σηματοδότησης μεταξύ των κινητών τηλεφώνων και των cell sites [3]. Το όνομα CDMA2000, που αποδόθηκε σε αυτό το πρότυπο, υποδηλώνει μια οικογένεια προτύπων που αντιπροσωπεύουν τις διαδοχικές εξελικτικές φάσεις της υποκείμενης τεχνολογίας όπως είναι για παράδειγμα το CDMA2000 1xRTT.

2.6. Γενική ανασκόπηση Συστημάτων Πρόσβασης Καναλιών

2.6.1. Λειτουργικές δυνατότητες του GSM και του CDMA

Σε αυτό το σημείο θα αναλύσουμε τις λειτουργικές δυνατότητες των συστημάτων GSM και CDMA. Θα αναφερθούμε στην ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων που προσφέρεται από τα συγκεκριμένα συστήματα, στον μέγιστο αριθμό χρηστών που μπορούν να χρησιμοποιήσουν

το κανάλι ανά πάσα στιγμή, στη ζώνη συχνοτήτων όπως επίσης και τη γενιά στην οποία ανήκουν.

- **Ζώνες συχνοτήτων:**

Σε ολόκληρο τον κόσμο, το GSM λειτουργεί στα 900MHz και 1800MHz, με εξαίρεση τις Ηνωμένες Πολιτείες όπου το GSM λειτουργεί με 1900 megahertz (MHz).

- **Κανάλια μεταφοράς:**

Όπως αναφέρεται και στην έννοια λειτουργίας του GSM, διαιρούνται σε κανάλια των 200 kilohertz (kHz), το καθένα από τα οποία μπορεί να φιλοξενήσει μέχρι και 8 χρήστες μέσω πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου.

Το GSM αρχικά δημιουργήθηκε με μια υπηρεσία σύντομων γραπτών μηνυμάτων (SMS), η οποία επιτρέπει αποστολή μηνυμάτων με λιγότερους από 160 χαρακτήρες από χρήστη σε χρήστη. Συνήθως η διαδικασία αυτή αναφέρεται ως ανταλλαγή μηνυμάτων κειμένου. Τα μηνύματα κειμένου στέλνονται και λαμβάνονται με τον ίδιο τρόπο που διεξάγονται οι φωνητικές συνομιλίες, επιτρέποντας μια εναλλακτική μορφή κυψελοειδούς επικοινωνίας. Το μέγεθος αυτών των μηνυμάτων είναι συχνά αρκετά μικρό έτσι ώστε να μπορούν να σταλούν όλα με τη μία.

- **Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων:**

Η μεταφορά δεδομένων είναι επίσης δυνατή μέσω της χρήσης των δεδομένων μεταγωγής κυκλώματος (CSD), το οποίο επιτρέπει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και 14,4 Kbps ανά δευτερόλεπτο (Kbps). Αυτό το σύστημα μεταφοράς δεδομένων έχει αλλάξει σε High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) και σε General Packet Radio Service (GPRS). Τα δύο αυτά συστήματα μεταφοράς επιτρέπουν ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και 57,6 kbps.

Τέλος, όπως προαναφέραμε, τα συστήματα CDMA λειτουργούν στα 850 MHz και 1900 MHz. Οι ζώνες αυτές διαιρούνται σε κανάλια των 1.25 MHz, τα οποία μπορούν να μοιράζονται μέχρι και 64 χρήστες ανά πάσα στιγμή. Σε αντίθεση με το GSM, το CDMA δεν είχε σχεδιαστεί αρχικά με σύστημα μηνυμάτων κειμένου. Ωστόσο, η πρώτη εμπορική έκδοση του CDMA, η οποία είναι το IS-95A, είχε ταχύτητα μεταφοράς έως και 14,4 kbps. Η νεότερη έκδοση συστήματος, η οποία είναι το IS-95B και ολοκληρώθηκε στα μέσα του 1997, αύξησε το ποσοστό των δεδομένων μέχρι και στα 64 kbps.

Ο πίνακας που ακολουθεί παρέχει μια σύντομη περίληψη των δυνατοτήτων εκμετάλλευσης των σημερινών και των μελλοντικών συστημάτων GSM και CDMA (Εικόνα 16).

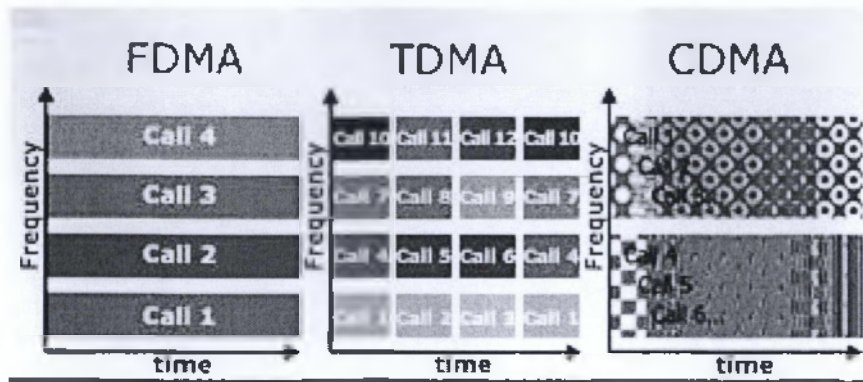
	GSM	GPRS	UMTS	CDMA IS-95A	CDMA IS-95B	CDMA 2000
Γενιά Συστήματος	2G	2.5G	3G	2G	2.5G	3G
Βασικό Σύστημα	TDMA	GSM	GSM GPRS	CDMA	IS-95A	IS-95B
Εύρος Συχνότητων	1900 MHz*	1900 MHz*	+	1900 MHz	1900 MHz	+
Κανάλια Ουρέων	200 kHz	200 kHz	3 MHz/ 1.6 MHz	1.25 MHz	1.25 MHz	1.25 MHz
Χρήστες ανά Κανάλι	8	8	+	64	64	+
Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων	14.4 kbps	57.6 kbps	2 Mbps	14.4 kbps	64 kbps	3 Mbps

+ : Οι πληροφορίες δεν είναι διαθέσιμες αυτή τη στιγμή

Εικόνα 17 - Λειτουργικές δυνατότητες των συστημάτων 2G και 3G [12]

2.6.2. Σύγκριση Συστημάτων Πρόσβασης Καναλιών

Όπως είδαμε και πιο πριν, το FDMA, το TDMA και το CDMA είναι τρεις διαφορετικές μεθοδολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί το ίδιο έργο. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν φάσμα συχνοτήτων πολύ πιο αποτελεσματικά από ότι το παραδοσιακό ειδικό σύστημα μετάδοσης σταθερής συχνότητας. Ο στόχος είναι να αυξηθεί δραματικά ο αριθμός των ταυτόχρονων χρηστών μέσα σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων.



Εικόνα 18 - Συστήματα FDMA, TDMA και CDMA: συχνότητα προς χρόνο.

Διαφορές συστημάτων [22]

FDMA

Το FDMA διαιρεί διαθέσιμο φάσμα σε κανάλια με βάση το πεδίο συχνοτήτων. Κάθε τηλεφώνημα κατανέμεται σε ένα κανάλι για όλη τη διάρκεια της κλήσης. Στο παραπάνω σχήμα, κάθε ζώνη αντιπροσωπεύει ένα τηλεφώνημα.

Το FDMA χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε όλα τα αναλογικά κυψελοειδή συστήματα, αν και θα μπορούσε κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί για τα ψηφιακά συστήματα.

Παράδειγμα προσομοίωσης συνομιλίας σε δωμάτια:

Στο σύστημα FDMA ο κάθε χρήστης μιλάει σε διαφορετικό δωμάτιο για να αποφευχθούν οι παρεμβολές. Εφόσον η συνομιλία δεν μπορεί να ακουστεί από άλλο δωμάτιο, μπορεί να ξεχωρίσει από τις άλλες συνομιλίες με τη μεταφορά του χρήστη σε άλλο δωμάτιο.

TDMA

Το σύστημα TDMA ενισχύει τη διαίρεση του διαθέσιμου φάσματος σε κανάλια (που είδαμε πιο πριν για το σύστημα FDMA), με επιπλέον διαίρεση στο πεδίο χρόνου. Ένα κανάλι στο πεδίο συχνοτήτων διαιρείται μεταξύ πολλών χρηστών. Κάθε τηλεφώνημα παίρνει μια θέση στο κανάλι για ένα μικρό χρονικό διάστημα, και παίρνει σειρά (εναλλαγές με τη σειρά) καθώς μεταδίδεται. Στο παραπάνω σχήμα, κάθε οριζόντια ζώνη αντιπροσωπεύει το κανάλι το οποίο διαιρείται με το πεδίο της συχνότητας. Μέσα σε αυτό είναι η κάθετη διαίρεση στο πεδίο του χρόνου. Κάθε χρήστης καταλαμβάνει το κανάλι κατόπιν στροφής (με τη σειρά).

Το TDMA χρησιμοποιείται στα ψηφιακά κυψελοειδή συστήματα 2G (όπως είναι το GSM) όπως επίσης και σε δορυφορικά συστήματα.

Παράδειγμα προσομοίωσης συνομιλίας σε δωμάτια:

Σε κάθε δωμάτιο, στο σύστημα TDMA, ο κάθε χρήστης παίρνει σειρά και μιλάει όταν φτάσει η σειρά του έτσι ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές. Σε κάθε δωμάτιο, μιλάει μόνο ένα άτομο κάθε φορά (ανά πάσα στιγμή) κι έτσι θα πρέπει να μιλάνε γρήγορα για να πουν όλα όσα θέλουν να πουν.

CDMA

Στο σύστημα CDMA τα πράγματα αλλάζουν εφόσον η μετάδοση δεν λειτουργεί με την κατανομή των καναλιών για κάθε τηλεφώνημα. Αντ' αυτού, το CDMA χρησιμοποιεί όλο το φάσμα της μετάδοσης δεδομένων της κάθε κλήσης. Συγκεκριμένα, κάθε τηλεφώνημα είναι μοναδικά κωδικοποιημένο και μεταδίδεται σε όλο το φάσμα, με έναν τρόπο γνωστό ως μετάδοση του φάσματος. Στο παραπάνω σχήμα, το καθένα έντονο χρώμα αντιπροσωπεύει το κωδικοποιημένο τηλεφώνημα το οποίο μεταδίδεται διά μέσου του φάσματος.

Παράδειγμα προσομοίωσης συνομιλίας σε δωμάτια:

Ο κάθε χρήστης μιλάει διαφορετική γλώσσα την ίδια χρονική στιγμή στο ίδιο ακριβώς δωμάτιο με όλους τους υπόλοιπους χρήστες. Εφόσον κάθε γλώσσα είναι μοναδική, ο ένας ξεχωρίζει από τον άλλο κι έτσι δεν υπάρχει σύγχυση.

FDMA έναντι TDMA[28]

Ενώ οι δύο μεθοδολογίες FDMA και TDMA έχουν χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου 2G διαφέρουν στον τρόπο πολλαπλής πρόσβασης αφού το FDMA είναι βασισμένο στον διαχωρισμό της συχνότητας ενώ το TDMA είναι βασισμένο στον διαχωρισμό του χρόνου.

Το FDMA είναι μια μέθοδος που διαιρεί μία ζώνη σε 30 διακριτά κανάλια και κάθε κανάλι με τη σειρά του θα είναι τότε σε θέση να χειρίζονται χωριστά την κυκλοφορία, είτε πρόκειται για μια κλήση είτε για μεταφορά δεδομένων. Για να επιτύχει το σκοπό του, το FDMA υλικό περιλαμβάνει φίλτρα υψηλής απόδοσης που βοηθούν επίσης στην αποφυγή του προβλήματος «near-far»[4] το οποίο μπορεί να επιδεινώσει την ποιότητα της κλήσης.

Το TDMA χωρίζει ένα κανάλι σε 3 διακριτά τμήματα χρόνου και κάθε τμήμα αποτελείται μόνο από λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου κι έτσι κάθε κανάλι στέλνει ένα μικρό κομμάτι δεδομένων κάθε φορά και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται με τη σειρά. Οι διαδικασίες του TDMA είναι λίγο πιο δύσκολο να υλοποιηθούν λόγω του χρονοδιαγράμματος που απαιτείται, έτσι ώστε να διακρίνονται τα πακέτα δεδομένων μεταξύ τους. Ακόμη, η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί περισσότερο συγχρονισμό λόγω των πολλαπλών πακέτων που πρέπει ενώσει ξανά κατά την λήξη της αποστολής, προκειμένου να σχηματίσουν ένα μόνο σήμα.

Εξίσου σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι το FDMA δεν είναι ευάλωτο στα προβλήματα χρονισμού όπως συμβαίνει με το TDMA. Δεδομένου ότι μια προκαθορισμένη ζώνη συχνοτήτων είναι διαθέσιμη για ολόκληρη την περίοδο της επικοινωνίας, η συνεχής ροή των δεδομένων μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί με FDMA. Δηλαδή, όλοι οι πομποί που μοιράζονται το μέσο έχουν φάσματα ισχύος εξόδου σε μη επικαλυπτόμενες ζώνες κι έτσι η διαίρεση συχνότητας είναι πολύ πιο απλή παρά στο σύστημα TDMA, όπου συναντάμε καθυστερήσεις διάδοσης [20].

FDMA έναντι CDMA [27]

Η πιο σημαντική διαφορά των δύο αυτών μεθοδολογιών είναι στον τρόπο που γίνεται η πολλαπλή πρόσβαση των χρηστών στο δίκτυο. Το FDMA είναι βασισμένο στον διαχωρισμό της συχνότητας ενώ το CDMA είναι βασισμένο στον διαχωρισμό μίας τυχαίας κωδικοποιημένης ακολουθίας.

Επίσης, το FDMA δεν είναι ευαίσθητο στο πρόβλημα «κοντά- μακριά» (near-far problem [4]), το οποίο συναντάται στο CDMA και αυτό συμβαίνει επειδή αποφεύγεται λόγω της συχνότητας του φιλτραρίσματος στο σύστημα FDMA.

Όσο αφορά θέματα ασφάλειας, το CDMA επιτυγχάνει υψηλότερη προστασία μέσω της συσχέτισης των χρησιμοποιούμενων κωδικών ενώ στο FDMA υπάρχει μόνο ένας κωδικός και έτσι έχουμε να μιλήσουμε για αυτοσυσχέτιση αντί συσχέτιση, γεγονός που του αποδίδει μικρότερη ασφάλεια.

TDMA έναντι CDMA [26]

Η κύρια διαφορά των δύο αυτών μεθοδολογιών αναφέρεται και στο όνομα τους. Για να επιτευχθεί η πολλαπλή πρόσβαση χρηστών, το TDMA είναι βασισμένο στον διαχωρισμό

του χρόνου ενώ το CDMA είναι βασισμένο στον διαχωρισμό μίας τυχαίας κωδικοποιημένης ακολουθίας.

Πιο αναλυτικά, το TDMA χωρίζει μια ραδιοφωνική συχνότητα σε χρονικές περιόδους και στη συνέχεια κατανέμει αυτές τις χρονοθυρίδες σε πολλαπλές κλήσεις. Με αυτόν τον τρόπο, μία μόνο συχνότητα μπορεί να υποστηρίξει πολλαπλά και ταυτόχρονα κανάλια δεδομένων. Ο εξοπλισμός λήψης πρέπει να είναι σε θέση να αποκωδικοποιήσει το λαμβανόμενο σήμα με το να αποκωδικοποιήσει το λαμβανόμενο σήμα και να κάνει ανασύσταση χρησιμοποιώντας την ίδια χρονοθυρίδα και αλγόριθμο με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κωδικοποίηση και μετάδοση. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, το TDMA χρησιμοποιείται από το ψηφιακό σύστημα GSM.

Από την άλλη, το CDMA δεν εκχωρεί κάποια συγκεκριμένη συχνότητα για κάθε χρήστη ο οποίος κάνει ή λαμβάνει μια κλήση. Διαφορετικές συνομιλίες κωδικοποιούνται με ένα ψευδό-τυχαίο ψηφιακό σύστημα ακολουθίας. Ο εξοπλισμός λήψης πρέπει να είναι σε θέση να αποκωδικοποιήσει το λαμβανόμενο σήμα, έχοντας την ικανότητα να αναπαράγει αυτή την ψευδό-τυχαία ψηφιακή ακολουθία.

Μολονότι και τα δύο συστήματα CDMA και GSM αντιπροσωπεύουν ψηφιακά δεδομένα, οι μέθοδοι στις οποίες κωδικοποιούν και μεταδίδουν την πληροφορία είναι εντυπωσιακά διαφορετικές. Από την μία, το GSM σύστημα χρησιμοποιεί μια έκδοση πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου (TDMA) για να διαιρέσει τις συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για πολλαπλούς χρήστες έτσι ώστε να έχουν πρόσβαση στο κινητό σύστημα. Από την άλλη, το πλαίσιο της εφαρμογής του CDMA χρησιμοποιεί μια έκδοση της διαίρεσης της συχνότητας.

Πίνακας σύγκρισης των τριών συστημάτων διαίρεσης πολλαπλής πρόσβασης[24]

Πιο κάτω ακολουθεί ένας πίνακας με τιμές όσο αφορά το διαθέσιμο εύρος ζώνης, την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων, το απαιτούμενο εύρος ζώνης του καναλιού, τον αριθμό των κελιών και των καναλιών που εξυπηρετούνται και τη χωρητικότητα. Αρχικά αναθέτουμε και στα τρία συστήματα ίσο εύρος ζώνης και παρατηρούμε ότι το CDMA δεν έχει επαναχρησιμοποίηση συχνότητας, όπως παρατηρείται στα FDMA και TDMA. Συγκρίνοντας τα τρία αυτά συστήματα με βάση τα νούμερα που δόθηκαν στο συγκεκριμένο παράδειγμα, παρατηρούμε ότι το CDMA έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα (capacity) αλλά καθόλου επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων του. Αυτό σημαίνει ότι ενώ χρησιμοποιεί λιγότερα κανάλια ανά κελί είναι σε θέση να διεξάγει περισσότερες κλήσεις ανά τομέα.

Συγκρίσεις FDMA, TDMA και CDMA Παράδειγμα

Λειτουργία	FDMA	TDMA	CDMA
Κατανεμημένο Bandwidth	12.5 MHz	12.5 MHz	12.5 MHz
Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας	7	7	1
Επιθυμητό BW καναλιού	0.03 MHz	0.03 MHz	1.25 MHz
Πλήθος καναλιών RF	$12.5/0.03=416$	$12.5/0.03=416$	$12.5/1.25=10$
Κανάλια/κελί	$416/7=59$	$416/7=59$	$12.5/1.25=10$
Έλεγχος καναλιών/κελί	2	2	2
Χρησιμα κανάλια/κελί	57	57	8
Κλήσεις ανά κανάλι RF	1	4*	40**
Κανάλι ήχου/κελί	$57 \times 1 = 57$	$57 \times 4 = 228$	$8 \times 40 = 320$
Τομείς/κελί	3	3	3
Θωρητικές κλήσεις/τομέα	$57/3=19$	$228/3=76$	320
Χωρητικότητα VS FDMA	1	4	16.8
Καθυστέρηση	?	?	?

* Εξαρτάται από το πλήθος των σχισμών

** Εξαρτάται από το πλήθος των κωδικών

Εικόνα 19 - Σύγκριση FDMA, TDMA και CDMA

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Συστήματα Τέταρτης Γενιάς

- 3.1. Εισαγωγή
 - 3.2. Σύστημα 4G
 - 3.3. Καινοτομία Συστημάτων 4G
 - 3.4. Χαρακτηριστικά
-

Στην ενότητα αυτή θα εξηγήσουμε τι εννοούμε με τον όρο «τέταρτη γενιά» και θα μελετήσουμε αναλυτικά τα διακριτά συστήματα αυτής της γενιάς. Στη συνέχεια, θα μελετήσουμε την καινοτομία των συστημάτων της τέταρτης γενιάς και θα αναφερθούμε στα πλεονεκτήματα που έχουν συγκριτικά με τα συστήματα προηγούμενων γενιών. Τέλος, θα αναλύσουμε τα διάφορα θετικά χαρακτηριστικά που έχουν τα συστήματα της συγκεκριμένης γενιάς.

3.1. Εισαγωγή

Επειτα από την καινοτομία εισαγωγή και χρήση της δεύτερης γενιάς κινητής τηλεφωνίας στην αγορά, παρατηρήθηκε ότι σταδιακά το κέρδος ανά χρήστη της 2G τεχνολογίας άρχισε να μειώνεται. Οι πάροχοι τότε αποφάσισαν να εφεύρουν ακόμα μία, ακόμη πιο καινοτόμα τεχνολογία από την δεύτερη, εισάγοντας τις υπηρεσίες πολυμέσων στα κινητά δίκτυα, εγκαινιάζοντας έτσι την Τρίτη γενιά κινητής τηλεφωνίας.

Η προσπάθεια για εισαγωγή νέων χαρακτηριστικών στα κινητά δίκτυα δε σταμάτησε εδώ. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε μία υποδομή η οποία και ήταν υπεύθυνη για τη δημιουργία και την εγκατάσταση μίας υποδομής «IP» η οποία λειτουργούσε ως ο συνδετικός κρίκος και το κεντρικό δίκτυο που ένωνε όλα τα υπόλοιπα ασύρματα δίκτυα. Αυτό το κεντρικό δίκτυο λειτουργεί ως το δίκτυο-σπονδυλική στήλη, το οποίο συνδέει είτε δίκτυα κυτταρικής τηλεφωνίας, είτε ασύρματα δίκτυα δεδομένων όπως είναι τα WPAN WLAN και τα WMAN. Το συγκεκριμένο κεντρικό δίκτυο ονομάστηκε «4G δίκτυο» και είναι βασισμένο σε «All-IP» δίκτυο μεταγωγής πακέτων.

Ο όρος «4G» είναι η σύντομη ονομασία για την τέταρτη γενιά κυψελωιδών ασύρματων προτύπων στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Η τέταρτη γενιά αποτελεί το στάδιο κατά το οποίο οι κινητές ευζωνικές επικοινωνίες υπερσχύουν της τρίτης γενιάς (3G) εφόσον πρόκειται για τη νεότερη έκδοση των γενιών 3G και 2G, που αναφέρθηκαν στις

προηγούμενες ενότητες. Μελλοντικό πλάνο είναι αυτή η νέα ασύρματη τεχνολογία να τελειοποιηθεί και να αντικαταστήσει εντελώς τα συστήματα της τρίτης γενιάς σε 5 με 10 χρόνια.

Ένα σύστημα τέταρτης γενιάς, εκτός από τη συνήθη χαρακτηριστικά, όπως είναι η φωνή και άλλες υπηρεσίες του συστήματος 3G, παρέχει και κινητή υπερ-ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Παράδειγμα από την καθημερινή μας ζωή αποτελούν οι φορητοί υπολογιστές με ασύρματο USB μόντεμ, οι έξυπνες κινητές συσκευές smartphones όπως επίσης και άλλες πολλές φορητές συσκευές (π.χ. Tablet). Ακόμα κι αν το 4G είναι μια τεχνολογία διάδοχος του 3G, μπορεί να υπάρξει πρόβλημα στο 3G δίκτυο για την αναβάθμιση του σε 4G, εφόσον πολλές από τις συσκευές που υποστηρίζουν τεχνολογία 3G δεν κατασκευάστηκαν έτσι ώστε να έχουν συμβατότητα με τις επόμενες γενιές.

3.2. Σύστημα 4G

Ένα ασύρματο σύστημα τέταρτης γενιάς είναι ένα ασύρματο σύστημα για μεταγωγή πακέτων με ευρεία κάλυψη και υψηλή απόδοση που έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι αποδοτικό και να παρέχει υψηλή φασματική απόδοση.

Τα συστήματα της τέταρτης γενιάς είναι ικανά να παρέχουν μια περιεκτική λύση βασισμένη στο IP όπου η φωνή, τα δεδομένα και η συνεχής ροή πολυμέσων παρέχονται στους χρήστες οποιαδήποτε ώρα, οπουδήποτε και μάλιστα σε μεγαλύτερη περιοχή ρυθμών δεδομένων από ότι στις προηγούμενες γενιές.

Τα κλειδιά της υποδομής της τεχνολογίας 4G αποτελούν η πανταχού πρόσβαση σε πληροφορίες (οπουδήποτε και οποτεδήποτε) με απρόσκοπτη σύνδεση σε ένα ευρύ φάσμα των πληροφοριών και των υπηρεσιών. Επίσης, εξίσου σημαντική είναι και δυνατότητα λήψης μεγάλου όγκου πληροφοριών, δεδομένων, εικόνων, βίντεο και ούτω καθεξής.

Η τεχνολογία τέταρτης γενιάς χρησιμοποιεί ορθογωνική πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM), Ultra Wideband Technology (UWB) [5] και millimeter wireless technology [6].

Τα συστήματα της τέταρτης γενιάς έχουν υψηλή επίδοση της τάξεως των 200mps στη ροή δεδομένων ενώ η ταχύτητα στα κινητά φτάνει μέχρι και τα 200km/ώρα. Αυτή η τόσο καλή επίδοση επιτυγχάνεται με τη χρήση της μακροπρόθεσμης πρόβλεψη του καναλιού όσο αφορά τη συχνότητα και τον χρόνο. Λόγω της μακροπρόθεσμης πρόβλεψης, γίνεται

προγραμματισμός μεταξύ των χρηστών και των ευφώνων κεραιών σε συνδυασμό με την προσαρμοστική διαμόρφωση και τον έλεγχο ισχύος κι έτσι έχουμε υψηλές ταχύτητες.

Η ζώνη συχνοτήτων, που είναι μεταξύ 2-8 GHz, δίνει τη δυνατότητα για περιαγωγή σε παγκόσμια κλίμακα παρέχοντας πρόσβαση για οπουδήποτε.

3.3. Καινοτομία Συστημάτων 4G

3.3.1. Συγχώνευση υπηρεσιών

Η ιδέα της σύγκλισης εννοεί ότι η δημιουργία της ατμόσφαιρας μπορεί να προσφέρει μία ευρυζωνική υπηρεσία κινητών επικοινωνιών η οποία θα είναι απρόσκοπτη, υψηλής ποιότητας και αξιόπιστη. Η υπηρεσία αυτή παρέχεται μέσω ενσύρματων και ασύρματων δικτύων σύγκλισης χωρίς το πρόβλημα των διαστημικών και επίγειων περιορισμών, μέσω της πανταχού συνδεσιμότητας.

Τα κινητά συστήματα της τέταρτης γενιάς χαρακτηρίζονται κυρίως από ένα οριζόντιο μοντέλο επικοινωνίας, όπου οι εν λόγω διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης θα πρέπει να συνδυαστούν σε μια κοινή πλατφόρμα για να συμπληρώνουν ο ένας τον άλλο με τον καλύτερο δυνατό τρόπο για διάφορες υπηρεσιακές απαιτήσεις και διάφορα περιβάλλοντα. Κάποιες από τις τεχνολογίες πρόσβασης θα μπορούσαν να είναι τα κινητά τηλέφωνα, τα ασύρματα συστήματα για τοπικά δίκτυα (LAN), η μικρής εμβέλειας ασύρματη συνδεσιμότητα, και τα ενσύρματα συστήματα.

3.3.2. Ευρυζωνικές Υπηρεσίες

Η ευρυζωνικότητα αποτελεί τη βάση για το σκοπό της ενεργοποίησης των επικοινωνιών πολυμέσων, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών βίντεο, οι οποίες και απαιτούν την μετάδοση μεγάλης ποσότητας δεδομένων. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιεί πτυχές της συγχώνευσης υπηρεσιών των μέσων ενημέρωσης, με βάση το πακέτο των μεταφορών, υποστηρίζοντας την ενσωμάτωση των διαφόρων μέσων σε διαφορετικές ποιότητες.

Η αυξανόμενη θέση των ευρυζωνικών υπηρεσιών, όπως είναι για παράδειγμα το Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL), τα συστήματα πρόσβασης οπτικών ινών και τα τοπικά δίκτυα του γραφείου ή του σπιτιού, παραπέμπουν στο γεγονός ότι η ζήτηση αυτή θα επικρατήσει για τις παρόμοιες υπηρεσίες στον τομέα των κινητών επικοινωνιών περιβάλλον .

Τα κύρια πλεονεκτήματα που αποδίδουν τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής της υπηρεσίας 4G είναι:

- Χαμηλό κόστος
- Κάλυψη ευρείας περιοχής
- Μεγάλη Ποικιλία στις Δυνατότητες Υπηρεσιών

3.3.3. Ευελιξία και εξατομικευμένες υπηρεσίες

Το βασικό μέλημα στα σχέδια ασφαλείας για τα δίκτυα 4G είναι η ευελιξία. Τα συστήματα 4G υποστηρίζουν ολοκληρωμένες και εξατομικευμένες υπηρεσίες, παρέχοντας σταθερή απόδοση και ποιότητα των υπηρεσιών του συστήματος.

Για την υποστήριξη των υπηρεσιών πολυμέσων, παρέχονται υπηρεσίες υψηλού ρυθμού δεδομένων με καλή αξιοπιστία του συστήματος ενώ ταυτόχρονα διατηρείται ένα κόστος μετάδοσης χαμηλού ρυθμού δεδομένων.

Προκειμένου να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των διαφορετικών χρηστών, οι πάροχοι υπηρεσιών θα πρέπει να σχεδιάσουν προσωπικές και εξατομικευμένες υπηρεσίες για αυτούς.

Η προσωπική κινητικότητα επικεντρώνεται στην κίνηση των χρηστών αντί των τερματικών των χρηστών, και περιλαμβάνει την παροχή των προσωπικών επικοινωνιών και εξατομικευμένα λειτουργικά περιβάλλοντα.

3.4. Χαρακτηριστικά

- Υποστήριξη για τα διαδραστικά πολυμέσα (multimedia), φωνή, βίντεο συνεχόμενης ροής, Διαδίκτυο και άλλες ευρυζωνικές υπηρεσίες
- Κινητά Συστήματα Βασισμένα στο IP
- Υψηλή ταχύτητα, υψηλή χωρητικότητα και χαμηλό κόστος ανά bit
- Παγκόσμια πρόσβαση, φορητότητα υπηρεσιών, αυξομειώσιμο κινητό δίκτυο και επεκτάσιμες υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας
- Απρόσκοπτη εναλλαγή, και μια ποικιλία υπηρεσιών βασισμένη στην αξίωση της Ποιότητας των Υπηρεσιών (Quality of Service).
- Καλύτερος προγραμματισμός και τεχνικές ελέγχου αποδοχής κλήσεων

- Καλύτερες τεχνικές ελέγχου και προγραμματισμού της διαθεσιμότητας του δρομολογητή ή της γραμμής.
- Ad-hop και Multi-hop δίκτυα
- Βελτιωμένη απόδοση φάσματος
- Ιδανικό δίκτυο πολλαπλών πρωτοκόλλων και διεπαφών αέρα
- Μία υποδομή για να χειριστεί προϋπάρχοντα συστημάτων 3G μαζί με άλλες ασύρματες τεχνολογίες, ορισμένες από τις οποίες είναι αυτή τη στιγμή υπό ανάπτυξη

3.5. Πρότυπα του συστήματος 4G

Η τεχνολογία 4G τεχνολογία έχει ως στόχο να προσφέρει ότι είναι γνωστό ως πρόσβαση "υπερ-ευρείας ζώνης" για φορητές συσκευές, και έτσι το Μάρτιο του 2008, ο τομέας International Telecommunications Union-Radio communications (ITU-R) δημιούργησε μια σειρά από πρότυπα τα οποία τα δίκτυα πρέπει να πληρούν προκειμένου να μπορούν να θεωρηθούν 4G. Αυτή η συμφωνία έγινε γνωστή ως η International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced) προδιαγραφή.

Μέχρι στιγμής, υπάρχουν δύο τεχνολογίες που έχουν υποβληθεί στη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) ως βιώσιμοι υποψήφιοι 4G. Οι δύο αυτές τεχνολογίες είναι το LTE Advanced, το οποίο είχε εγκριθεί από το 3GPP και το 802.16m, το οποίο έχει τυποποιηθεί από το IEEE (επίσης γνωστό και ως WinMAX). Οι τυποποιημένες εκδόσεις αυτών των τεχνολογιών έχουν κυρωθεί από την ITU, την άνοιξη του 2011.

Μία από τις πιο σημαντικές πτυχές της τεχνολογίας 4G είναι η εξάλειψη των κόμβων των δικτύων στα παράλληλα κυκλώματα μεταγωγής και στα δίκτυα μεταγωγής πακέτων. Η εξάλειψη αυτή επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Διαδικτύου έκδοση 6 (IPv6). Το τρέχον πρότυπο, το IPv4, έχει πεπερασμένο όριο για τον αριθμό των διευθύνσεων IP στις οποίες μπορούν να εκχωρηθούν συσκευές, πράγμα που σημαίνει ότι οι διπλότυπες διευθύνσεις πρέπει να δημιουργηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν χρησιμοποιώντας τη μετάφραση διευθύνσεων δικτύου (NAT), μια λύση που μόνο συγκαλύπτει το πρόβλημα, αντί να δίνει την οριστική επίλυσή του. Το IPv6 παρέχει έναν πολύ μεγαλύτερο αριθμό των διαθέσιμων διευθύνσεων, και θα συμβάλλει στην παροχή μιας εκσυγχρονισμένης εμπειρίας για τους χρήστες.

3.5.1. LTE Advanced

Το LTE Advanced είναι ένα πρότυπο κινητών επικοινωνιών και μια σημαντική ενίσχυση του προτύπου Long Term Evolution (LTE), το οποίο και υποβλήθηκε επίσημα ως υποψήφιο 4G σύστημα ITU-T στα τέλη του 2009. Το συγκεκριμένο πρότυπο υποβλήθηκε ως απάντηση στις απαιτήσεις του προτύπου IMT-Advanced και τυποποιήθηκε από το Σχέδιο Συνεταιρισμού Τρίτης Γενιάς (3GPP) τον Μάρτιο του 2011, ως «3GPP Release 10».

Το έργο του 3GPP έτσι ώστε να θεωρείται υποψήφια ραδιοφωνική τεχνολογία της διεπαφής 4G ξεκίνησε από το Release 9 με τη φάση της μελέτης για το LTE-Advanced. Τώρα, ο στόχος του 3GPP LTE Advanced είναι να φτάσει και να ξεπεράσει τις απαιτήσεις της ITU. Το συγκεκριμένο πρότυπο θα πρέπει να είναι συμβατό με την πρώτη έκδοση εξοπλισμό LTE, και θα πρέπει να χρησιμοποιεί από κοινού ζώνες συχνοτήτων με την πρώτη LTE έκδοση ενώ στη μελέτη σκοπιμότητας για το LTE Advanced, 3GPP καθορίστηκε ότι το LTE Advanced θα πληροί τις απαιτήσεις της ITU-R για το 4G.

3.5.2 IEEE 802.16

Το IEEE 802.16 είναι μια σειρά από ασύρματα ευρυζωνικά πρότυπα που γράφτηκαν από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE). Το Διοικητικό Συμβούλιο Προτύπων IEEE δημιούργησε μια ομάδα εργασίας το 1999 για την ανάπτυξη προτύπων για τα ευρυζωνικά ασύρματα δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής. Η ομάδα εργασίας είναι μια μονάδα του τοπικού δικτύου IEEE 802 και της επιτροπής προτύπων του δικτύου μητροπολιτικής περιοχής.

Αν και η οικογένεια προτύπων 802.16 ονομάζεται επίσημα «WirelessMAN» στο IEEE, έχει εμπορευματοποιηθεί με την επωνυμία «WiMAX» (από το "Worldwide Interoperability for Microwave Access» που σημαίνει Παγκόσμια Διαλειτουργικότητα για Πρόσβαση Μικροκυμάτων) από τη συμμαχία βιομηχανίας WiMAX Forum. Το Φόρουμ προωθεί και πιστοποιεί τη συμβατότητα και τη διαλειτουργικότητα των προϊόντων με βάση τα πρότυπα IEEE 802.16.

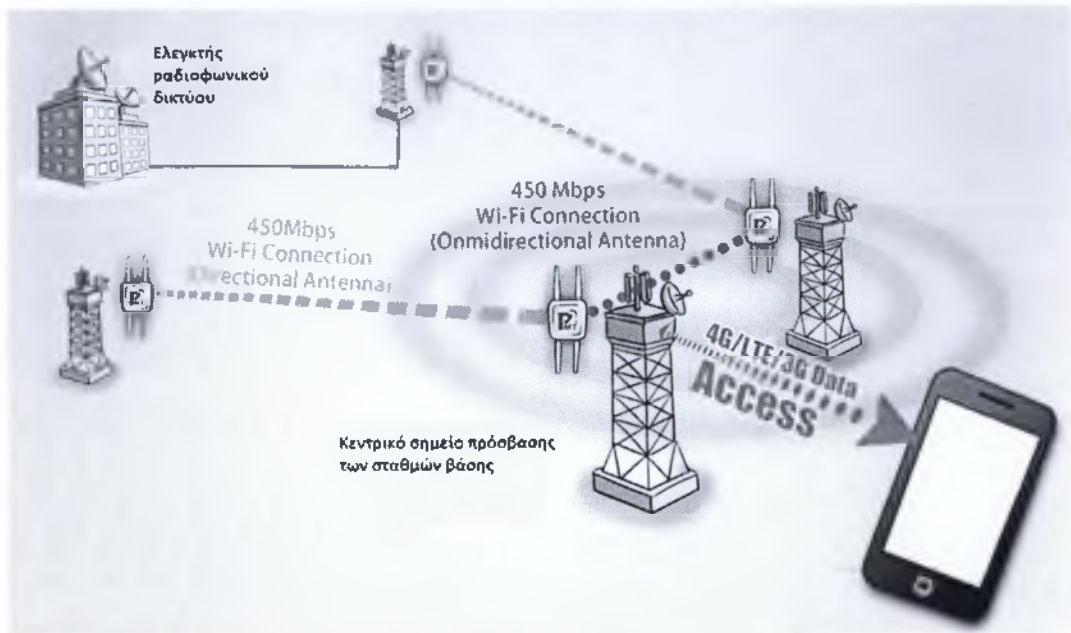
Το 2011 λοιπόν, εισηχθηκε το πρότυπο IEEE 802.16m, το οποίο προσφέρει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων της τάξεως των 100 Mbit ανά δευτερόλεπτο σε κινητό και 1 Gbit ανά δευτερόλεπτο σε σταθερό. Το IEEE 802.16m είναι επίσης γνωστό και ως Mobile WiMAX Release 2 ή WirelessMAN-Advanced και έχει σκοπό την εκπλήρωση των απαιτήσεων της ITU-R IMT-Advanced για τα συστήματα τέταρτης γενιάς [51].

3.6. Αρχιτεκτονική

Στις μέρες μας, οι χρήστες υπολογιστών έχουν αυξηθεί δραματικά και απότομα εφόσον πλέον γίνεται συνεχής χρήση των έξυπνων συσκευών (Smartphones) και των Tablet τα οποία φέρουν μια μεγάλη ευκολία για τους χρήστες. Αυτή η τάση έχει αλλάξει τη συνήθεια της χρήσης των κινητών συσκευών αφού οι χρήστες πρέπει απλώς να συνδεθούν με το Διαδίκτυο οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Ως εκ τούτου, αυτή η «συνήθεια» προκαλεί πραγματικά μια αύξηση της ζήτησης για τα δίκτυα δεδομένων 3G/4G/LTE, και αναγκάζει τους φορείς 3G/4G/LTE να αναβαθμίσουν την υποδομή του δικτύου τους. Με άλλα λόγια, εάν οι μεταφορείς εξακολουθούσαν να βασίζονται στις λύσεις της οπτικής ίνας (όπως συνέβαινε σε προηγούμενες τεχνολογίες), θα ήταν πρακτικά και οικονομικά ανέφικτο.

Πλέον, οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας έχουν αναβαθμίσει τον εξοπλισμό και τους χώρους των κυψελών τους από 3G σε 4G/LTE, ενώ την ίδια στιγμή εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν το ίδιο πρόβλημα με την αναβάθμιση του δικτύου τους. Δεδομένου ότι η κάλυψη μιας κυψέλης 4G είναι πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη 3G κυψέλη, οι φορείς πρέπει να οικοδομήσουν γρήγορα κάποιες νέες θέσεις κυψελών έτσι ώστε να επεκτείνουν την κάλυψη των δικτύων 4G. Δεδομένου ότι η μέγιστη ταχύτητα λήψης στην τεχνολογία 4G (LTE) είναι περίπου 100Mbit/sec, ορισμένες από τις συμβατικές υποδομές του δικτύου απλά δεν υποστηρίζουν τέτοιου είδους υψηλή ταχύτητα. Ως αποτέλεσμα, οι κατασκευές του δικτύου μπορεί να χρειαστεί να ξεκινήσουν από το μηδέν. Επιπλέον, το κόστος και ο χρόνος που απαιτείται για την οικοδόμηση μιας σύνδεσης οπτικών ινών συχνά είναι υψηλά (τόσο όσο να μην είναι προσιτά) και κάποιες φορές είναι ανέφικτα όταν οι εν λόγω κατασκευές έχουν γίνει για ορισμένες σκληρές συνθήκες.

Στο σχήμα που ακολουθεί, υπάρχει μία προτεινόμενη λύση αρχιτεκτονικής για ένα 4G δίκτυο. Το συγκεκριμένο δίκτυο αποτελείται από ένα ασύρματο πλέγμα κεντρικού σημείου πρόσβασης (Wireless Mesh Backhaul[11]). Το πιο κάτω δίκτυο λύνει όλες τις προαναφερόμενες δυσκολίες και παρέχει πολλά πλεονεκτήματα όπως είναι το εξαιρετικά χαμηλό κόστος και γρήγορη ανάπτυξη.



Εικόνα 20 - Αρχιτεκτονική ενός δικτύου τέταρτης γενιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Τεχνικές OFDMA και OFDM

- 4.1. Υπόβαθρο για το OFDMA
- 4.2. Υπόβαθρο για το OFDM
- 4.3. Χαρακτηριστικά OFDMA και OFDM
- 4.4. Εφαρμογές OFDM

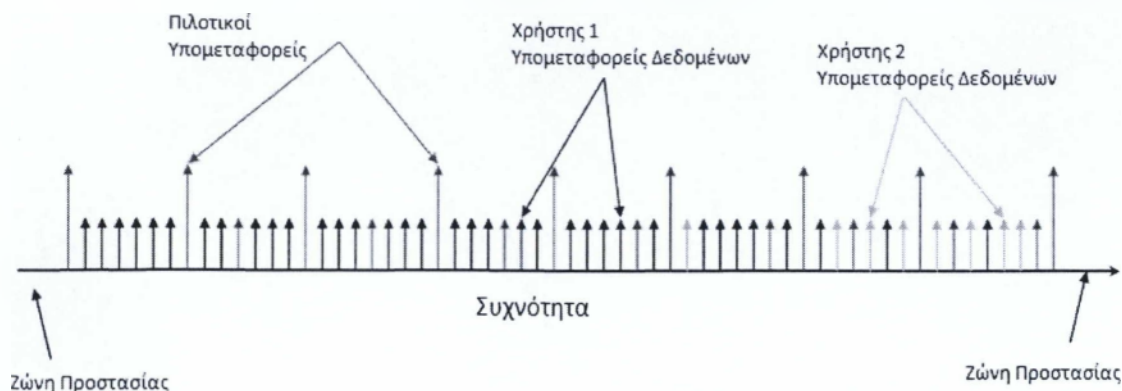
Στην ενότητα αυτή θα μελετήσουμε το υπόβαθρο για την Ορθογώνια Διαίρεση Συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης όπως επίσης και το υπόβαθρο για την Ορθογωνική Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας. Στη συνέχεια θα δούμε γιατί είναι καλή και γιατί όχι ή κάθε μέθοδος αντίστοιχα, αναλύοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Τέλος, θα δούμε που μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική της Ορθογωνικής Πολυπλεξίας Διαίρεσης Συχνότητας (OFDM).

4.1. Υπόβαθρο για το OFDMA

Το OFDMA είναι ένα σύστημα διαμόρφωσης και είναι βασισμένο σε ένα σύστημα πολλαπλής διαμόρφωσης. Πιο συγκεκριμένα, η «Ορθογώνια Διαίρεση Συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης» (OFDMA) είναι μια έκδοση του δημοφιλούς συστήματος ψηφιακής διαμόρφωσης «Ορθογώνιας Πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας» (OFDM) και είναι φτιαγμένο για πολλαπλούς χρήστες.

Η πολλαπλή πρόσβαση χρηστών στο σύστημα OFDMA επιτυγχάνεται με την ανάθεση υποσυνόλων των υπομεταφορέων σε μεμονωμένους χρήστες (Εικόνα 21). Αυτό επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση χαμηλού ρυθμού δεδομένων από πολλούς χρήστες [37].

Η Ορθογώνια Πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) και η Ορθογώνια Διαίρεση Συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (OFDMA) είναι δύο διαφορετικές παραλλαγές της ίδιας ασύρματης ευρυζωνικής διασύνδεσης του αέρα που συχνά συγχέονται μεταξύ τους. Στην πραγματικότητα το OFDMA είναι μια μορφή OFDM εφόσον το OFDMA αποτελεί μία από τις εκδόσεις πολλαπλής πρόσβασης του OFDM και είναι παρόμοια συστήματα διαμόρφωσης [36].



Εικόνα 21 - Υπομεταφορείς στο σύστημα OFDMA[37]

4.2. Υπόβαθρο για το OFDM

Η Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) είναι μια τεχνική για μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων ψηφιακών δεδομένων, τα οποία αποστέλλονται μέσω ενός ραδιοφωνικού κύματος. Τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται σε πολλαπλούς παράλληλους φορείς που έχουν επικάλυψη συχνότητας. Η τεχνολογία αυτή λειτουργεί διαχωρίζοντας το ραδιοφωνικό σήμα σε πολλαπλά μικρότερα υποσήματα τα οποία στη συνέχεια μεταδίδονται ταυτόχρονα σε διαφορετικές συχνότητες στο δέκτη.

Η συγκεκριμένη τεχνική μειώνει την ποσότητα των αλληλοπαρεμβολών στις μεταδόσεις σήματος εφόσον είναι ένα σύστημα πολυπλεξίας βασισμένο στη διαίρεση συχνοτήτων (FDM). Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ένα σύστημα το οποίο είναι πολυπλεξίας βασισμένο στη διαίρεση συχνοτήτων χρησιμοποιείται ως μια ψηφιακή μέθοδος διαμόρφωσης πολλαπλών φορέων. Συγκεκριμένα, ένας μεγάλος αριθμός από στενά διατεταγμένα ορθογώνια σήματα υπό-μεταφορέων χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν δεδομένα σε διάφορες παράλληλες ροές δεδομένων ή κανάλια. Κάθε υπό-μεταφορέας είναι διαμορφωμένος με ένα συμβατικό σύστημα διαμόρφωσης σε χαμηλό ρυθμό συμβόλων, διατηρώντας τη συνολική ταχύτητα δεδομένων παρόμοια με τα συμβατικά συστήματα διαμόρφωσης μονού φορέα στο ίδιο εύρος ζώνης.

Σήμερα, υπάρχουν πολλοί τύποι ευρυζωνικών ασύρματων διασυνδέσεων συμπεριλαμβανομένων και αυτών του μονού φορέα, όπως είναι η Ορθογώνια Πολυπλεξία

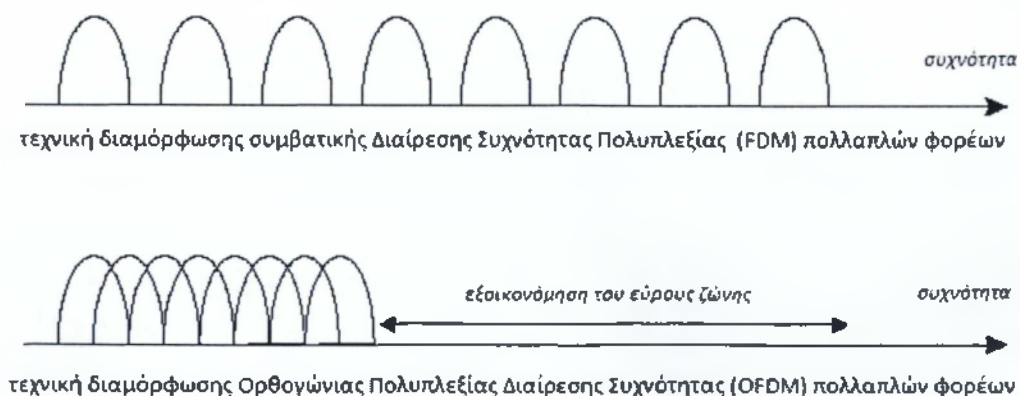
Διαίρεσης Συχνότητας (OFDM) και η Ορθογώνια Διαίρεση Συχνότητας Πολλαπλής πρόσβασης (OFDMA). Κάπου εδώ να πούμε ότι όταν αναφερόμαστε σε ευρυζωνικές ασύρματες διασυνδέσεις, το μεγαλύτερο μέρος δράσης τους λαμβάνει χώρο στο στρώμα ελέγχου του μέσου (MAC layer) και στο φυσικό στρώμα (Physical layer).

Ενώ, όπως προαναφέρθηκε, η τεχνική Ορθογώνιας Πολυπλεξίας είναι βασισμένη στη διαίρεση συχνότητας (FDM), το όφελος της ορθογωνιότητας είναι η απλή δομή του δέκτη με αποτέλεσμα η τεχνική OFDM να είναι ιδιαίτερα πιο αποτελεσματική από την τεχνική FDM.

Πέρα από το γεγονός ότι το OFDM είναι σύστημα μονής φέρουσας, έχει την ικανότητά να αντιμετωπίσει σοβαρά προβλήματα που συναντάμε στα κανάλια μεταφοράς, όπως για παράδειγμα την εξασθένηση των υψηλών συχνοτήτων σε ένα μακρύ σύρμα χαλκού, τις παρεμβολές στενής ζώνης και το επιλεκτικό ξεθώριασμα συχνότητας λόγω πολλαπλής διαδρομής. Όλα αυτά τα προβλήματα που αναφέραμε, αντιμετωπίζονται από το OFDM χωρίς σύνθετα φίλτρα εξισορρόπησης.

Το OFDM έχει εξελιχθεί σε ένα δημοφιλές πρόγραμμα για την ψηφιακή επικοινωνία ευρείας ζώνης, είτε ασύρματα είτε μέσω χάλκινων καλωδίων τα οποία χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως είναι η ψηφιακή τηλεόραση και η μετάδοση ήχου, στην DSL πρόσβαση στο Internet, στα ασύρματα δίκτυα, στα δίκτυα powerline[7] και στις κινητές επικοινωνίες 4G.

Κάπου εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι το όφελος της ορθογωνιότητας είναι απλή η δομή του δέκτη κι έτσι η τεχνική OFDM είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικότερη από την τεχνική FDM (Εικόνα 22).



Εικόνα 22 - OFDM VS FDM [8]

4.3. Χαρακτηριστικά OFDM και OFDMA

Οι διεπαφές των δύο συστημάτων OFDM και OFDMA δουλεύουν με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή με τον διαχωρισμό ενός ενιαίου σήματος σε υποφέρουσες. Πιο αναλυτικά, λειτουργούν με τη διαίρεση ενός εξαιρετικά γρήγορου σήματος σε πολλά αργά σήματα τα οποία βελτιστοποιούν την πρόσβαση στην κινητή τηλεφωνία, καθώς τα υποκανάλια μπορούν στη συνέχεια να μεταδίδουν δεδομένα χωρίς να υπόκεινται στην ίδια ένταση των πολλαπλών διαδρομών που αντιμετωπίζει η μονή μετάδοση φορέα.

Η διαφορά μεταξύ των συστημάτων OFDM και OFDMA είναι ότι το OFDMA έχει τη δυνατότητα να ορίσει δυναμικά ένα υποσύνολο των υπό-μεταφορέων σε μεμονωμένους χρήστες, δημιουργώντας έτσι την έκδοση πολλαπλών χρηστών για το OFDM. Ο τρόπος με τον οποίο δημιουργείται η έκδοση πολλαπλών χρηστών είναι είτε χρησιμοποιώντας ξεχωριστά χρονικά πλαίσια βάση της πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου (TDMA) είτε χρησιμοποιώντας ξεχωριστά κανάλια βάση της διαίρεσης συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (FDMA) για πολλαπλούς χρήστες. Το OFDMA υποστηρίζει ταυτόχρονα πολλούς χρήστες με την ανάθεσή τους σε συγκεκριμένα υποκανάλια για διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Τα συστήματα «σημείο- προς- σημείο» είναι συστήματα OFDM, και δεν υποστηρίζουν OFDMA ενώ τα συστήματα «σημείο- προς- πολλαπλά σημεία» είναι σταθερά και κινητά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν OFDMA [38].

4.3.1. Πλεονεκτήματα OFDM

- Επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση χαμηλού ρυθμού δεδομένων από πολλούς χρήστες.
- Διαιρώντας το κανάλι σε ξεθωριασμένους υποδιαύλους στενής επίπεδης ζώνης, το OFDM είναι πιο ανθεκτικό στην επιλεκτική εξασθένιση συχνότητας από ότι είναι τα απλά συστήματα φορέα.
- Καταπολέμηση της παρεμβολής στενής ζώνης.
- Κάνει αποτελεσματική χρήση του φάσματος επιτρέποντας επικάλυψη.
- Ο παλμικός φορέας μπορεί να αποφευχθεί.
- Με τη χρήση κατάλληλων κωδικοποιήσεων του καναλιού και διεμπλοκή, μπορεί κανείς να ανακτήσει τα σύμβολα που χάνονται λόγω της επιλεκτικότητας της συχνότητας του καναλιού.

- Η εξίσωση του καναλιού γίνεται απλούστερη από ό, τι με τη χρήση προσαρμοστικών τεχνικών εξίσωσης με ενιαία συστήματα μεταφοράς.
- Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί μέγιστη αποκωδικοποίηση πιθανότητας με λογική πολυπλοκότητα.
- Είναι λιγότερο ευαίσθητο σε δείγμα χρονικών μετατοπίσεων από όσο είναι τα απλά συστήματα μεταφοράς είναι.
- Έχει μικρότερη μέγιστη ισχύς εκπομπής για τους χρήστες χαμηλού ρυθμού δεδομένων.
- Μικρότερες καθυστέρηση, και συνεχής καθυστέρηση.
- Η πολλαπλή πρόσβαση βάση διένεξης είναι απλουστευμένη κι έτσι έχουμε αποφυγή συγκρούσεων
- Παρέχει καλή προστασία από παρεμβολές συνδιαύλων και από ορμητικούς παρασιτικούς θορύβους.

4.3.2. Μειονεκτήματα OFDM

- Το σήμα του OFDM έχει ένα θόρυβο σαν το ρεύμα υψηλής ποσότητας με ένα πολύ μεγάλο δυναμικό εύρος, ως εκ τούτου απαιτεί ενισχυτές ισχύος RF με υψηλή προς μέση ισχύ.
- Παρασύρονται πιο εύκολα και είναι πιο ευαίσθητα στο αντιστάθμισμα της φέρουσα συχνότητας από τα απλά συστήματα φορέων λόγω διαρροής του DFT [9].

4.3.3. Πλεονεκτήματα OFDMA

- Ευελιξία της ανάπτυξης σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων με ελάχιστη αναγκαία τροποποίηση της διεπαφής αέρα
- Υπολογισμός μέσου όρου παρεμβολών από τα γειτονικά κύτταρα, χρησιμοποιώντας διαφορετικές βασικές παραλλαγές φορέα μεταξύ χρηστών σε διαφορετικά κελιά.
- Οι Παρεμβολές στο εσωτερικό του κυττάρου υπολογίζονται κατά μέσο όρο χρησιμοποιώντας κατανομή με κυκλικές μεταθέσεις.
- Επιτρέπει κάλυψη δικτύου μονής συχνότητας όπου υπάρχει πρόβλημα κάλυψης ενώ παράλληλα παρέχει άριστη κάλυψη.
- Προσφέρει ποικιλομορφία συχνότητας με την εξάπλωση των φορέων σε όλο το χρησιμοποιούμενο φάσμα.

- Ποικιλομορφία πολλαπλών χρηστών :
 - Τα σήματα ευρείας ζώνης αντιμετωπίζουν επιλεκτική απόσβεση συχνότητας.
 - Το OFDMA επιτρέπει στους διάφορους χρήστες να εκπέμπουν σε διαφορετικά τμήματα του ευρυζωνικού φάσματος.
 - Διαφορετικοί χρήστες αντιλαμβάνονται διαφορετικές ποιότητες του καναλιού. Ένα βαθιά ξεθωριασμένο κανάλι για έναν χρήστη μπορεί να εξακολουθεί να είναι ευνοϊκό για τους υπόλοιπους.

4.3.4. Μειονεκτήματα OFDMA

- Μεγαλύτερη ευαισθησία στις μετατοπίσεις της συχνότητας και στο θορύβου φάσης.
- Οι υπηρεσίες ασύγχρονης επικοινωνίας όπως είναι η πρόσβαση στο διαδίκτυο χαρακτηρίζονται από σύντομες εκρήξεις επικοινωνίας σε υψηλό ρυθμό δεδομένων. Μόνο μερικοί χρήστες σε ένα κύτταρο σταθμού βάσης μεταφέρουν δεδομένα ταυτόχρονα σε χαμηλή σταθερή ταχύτητα.
- Η γρήγορη ανατροφοδότηση πληροφοριών του καναλιού και η προσαρμοστική ανάθεση του υποφορέα είναι πιο περίπλοκη από τον γρήγορο έλεγχο δύναμης του CDMA.
- Στο OFDM, ενασχόληση με τις παρεμβολές ομοίων καναλιών γύρω από τα γύρω κελιά είναι πιο περίπλοκη από ότι στο CDMA. Θα απαιτούσε δυναμική κατανομή καναλιών με προηγμένο συντονισμό μεταξύ των γειτονικών σταθμών βάσης.

4.4. Εφαρμογές OFDM

Η τεχνολογία Ορθογωνικής Πολυπλεξίας Διαίρεσης Συχνότητας (OFDM) χρησιμοποιείται και είναι πλέον σε πολλούς τομείς όπως είναι το ψηφιακό ραδιόφωνο, η ψηφιακή τηλεόραση, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (όπως είναι για παράδειγμα το IEEE 802.11a), η ασύμμετρη ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (ADSL) και τα προχωρημένα πρότυπα κινητής τηλεφωνίας της τέταρτης γενιάς.

4.4.1. Ψηφιακό ραδιόφωνο

Η ανάπτυξη του ψηφιακού ραδιοφώνου (Digital Audio Broadcasting - DAB) ξεκίνησε το 1981, ακολούθησαν σταδιακά μεταδόσεις σε κάποιες χώρες ενώ στην τελική του μορφή έφτασε το 1995 όταν και ξεκίνησαν μεταδόσεις σε διάφορες χώρες με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται σε πολλούς ραδιοφωνικούς σταθμούς κυρίως στην Ευρώπη.

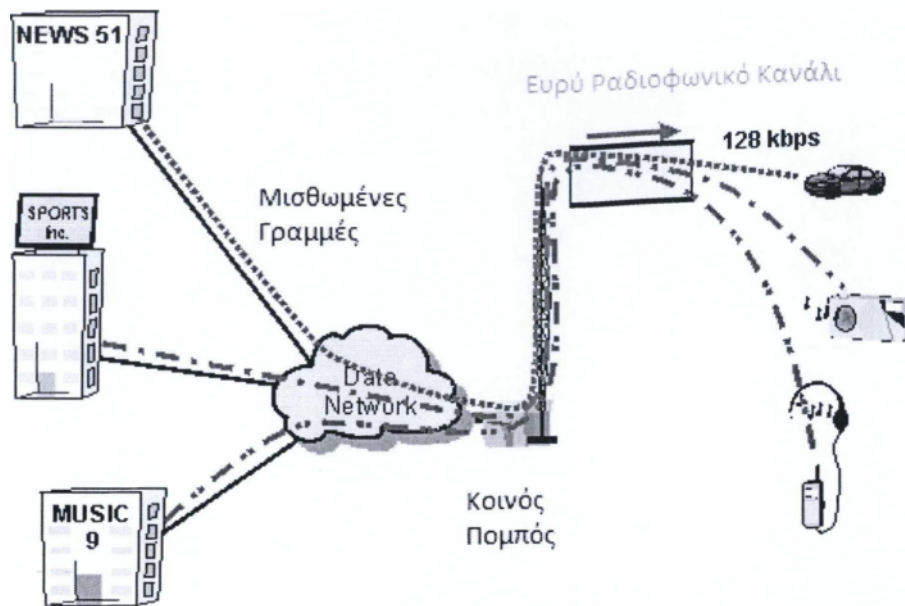
Το ψηφιακό ραδιόφωνο ήταν το πρώτο πρότυπο το οποίο βασιζόταν στην τεχνική ορθογώνιας πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (OFDM), η οποία από τότε έχει γίνει ένα από τα πιο δημοφιλή συστήματα μετάδοσης για τα σύγχρονα ψηφιακά συστήματα επικοινωνιών ευρείας ζώνης [43].



Εικόνα 23 - Ψηφιακό Ραδιόφωνο

Ένα σύστημα ψηφιακού ραδιοφώνου χρησιμοποιεί ένα ενιαίο ευρύ ψηφιακό ραδιοφωνικό κανάλι, το οποίο με τη σειρά του χωρίζεται σε πολλαπλά ψηφιακά κανάλια. Κάθε ραδιοηλεκτρονικός οργανισμός αντιστοιχεί σε κάποιο ραδιοφωνικό σταθμό (κανάλι) και έχει τους δικούς του εκφωνητές ήχου. Οι εκφωνητές ήχου είναι συνδεδεμένοι με το σύστημα ψηφιακού ραδιοφώνου μέσω ενός ψηφιακού καναλιού και είναι εκχωρημένοι (χαρτογραφημένοι) σε ένα ειδικό τμήμα (λογικό κανάλι) στο ψηφιακό ραδιοφωνικό κανάλι.

Το σύστημα DAB συνδυάζει (πολυπλέκει) τα εισερχόμενα κανάλια για να σχηματίσουν ένα ψηφιακό κανάλι μετάδοσης. Οι δέκτες του ψηφιακού ραδιοφώνου λαμβάνουν και αποκωδικοποιούν τη μονή συχνότητα, διαχωρίζοντας (αποπολυπλέκοντας) το συγκεκριμένο ψηφιακό (λογικό) κανάλι και μετατρέποντας το ψηφιακό κανάλι στην αρχική του μορφή του ήχου του [44] (Εικόνα 24).



Εικόνα 24 - Σύστημα Ψηφιακού Ραδιοφώνου [44]

4.4.2. Ψηφιακή τηλεόραση

Η ψηφιακή επίγεια τηλεόραση (DTT ή DTT - Digital Terrestrial Television) είναι η τεχνολογική εξέλιξη της τηλεοπτικής μετάδοσης και εξέλιξη της αναλογικής τηλεόρασης. Η ψηφιακή τηλεόραση μεταδίδει (επίγεια) σήματα στην ξηρά. Οι σκοποί της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης είναι παρόμοια με την σχέση που υπάρχει για την ψηφιακή και την αναλογική μετάδοση σε άλλες πλατφόρμες - όπως η καλωδιακή, δορυφορική, και των τηλεπικοινωνιών. Με άλλα λόγια, η ψηφιακή τηλεόραση αποσκοπεί στη μείωση της χρήσης του ραδιοφάσματος, στην παροχή μεγαλύτερης χωρητικότητας από ότι στην αναλογική, στην προσφορά καλύτερης ποιότητας εικόνας όπως επίσης και στη μείωση της αξίας που έχουν τα λειτουργικά κόστη για την εκπομπή και τη μετάδοση (μετά το αρχικό κόστος αναβάθμισης). Μια επίγεια εφαρμογή της τεχνολογίας της ψηφιακής τηλεόρασης (DTV) χρησιμοποιεί μια κεραία για τη μετάδοση σε μια συμβατική κεραία τηλεόρασης (ή εναέρια) αντί για ένα δορυφορικό πιάτο ή συνδέσεις καλωδιακής τηλεόρασης.

Η DTTV μεταδίδεται στις ραδιοσυχνότητες, μέσω επίγειου χώρου με τον ίδιο τρόπο όπως και η τυπική αναλογική τηλεόραση, με την κύρια διαφορά ότι στη ψηφιακή τηλεόραση γίνεται χρήση πολλαπλών πομπών έτσι ώστε να είναι δυνατή η λήψη πολλαπλών καναλιών σε ένα ενιαίο φάσμα συχνότητας (όπως ένα κανάλι UHF ή VHF), γνωστά και ως υποκανάλια [47].

Η ποσότητα των δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν (και ως εκ τούτου ο αριθμός των καναλιών) επηρεάζεται άμεσα από την ικανότητα του καναλιού και τη μέθοδο διαμόρφωσης του καναλιού. Η μέθοδος διαμόρφωσης στο DVB-T COFDM [10] (το οποίο είναι Coded OFDM και είναι ταυτόσημο με την τεχνική OFDM) είναι είτε 64 είτε 16 Quadrature Amplitude Modulation (QAM).



Εικόνα 25 - Ψηφιακή Τηλεόραση

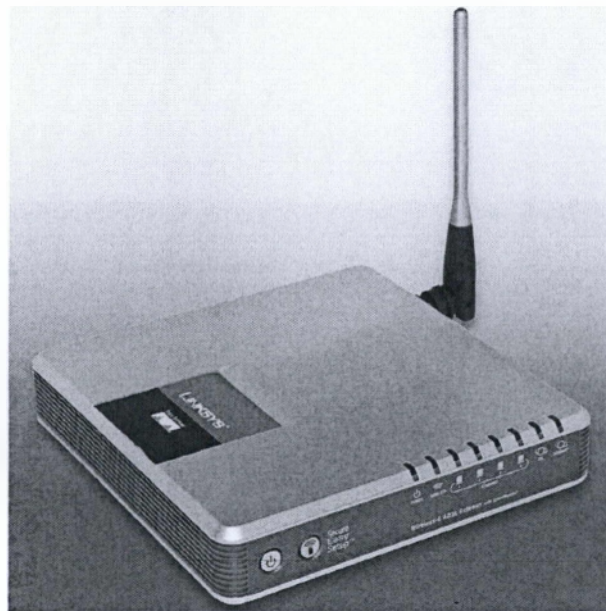
4.4.3. Τεχνολογία ADSL

Η ασύμμετρη ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (ADSL), είναι ένα είδος ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής της τεχνολογίας (DSL), μια τεχνολογία επικοινωνιών δεδομένων που επιτρέπει την ταχύτερη μετάδοση δεδομένων μέσω τηλεφωνικών γραμμών χαλκού από ότι μπορεί να προσφέρει ένα συμβατικό μόντεμ φωνητικής ζώνης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των συχνοτήτων που δεν χρησιμοποιούνται από μια τηλεφωνική κλήση ομιλίας. Ένας χωριστής (splitter) ή ένα φίλτρο DSL, επιτρέπει μόνο σε μία τηλεφωνική σύνδεση να χρησιμοποιηθεί τόσο για την υπηρεσία ADSL όσο και για τις φωνητικές κλήσεις ταυτόχρονα. Το ADSL μπορεί γενικά να διανεμηθεί μόνο σε μικρές αποστάσεις από το τηλεφωνικό κέντρο, συνήθως λιγότερο από 4 χιλιόμετρα, αλλά έχει τυχαίνει να υπερβεί και τα 8 χιλιόμετρα εάν το αρχικώς προβλεπόμενο πάχος του σύρματος επιτρέπει την περαιτέρω διανομή.

Η τεχνική ορθογώνιας πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (OFDM) χρησιμοποιείται και σε συνδέσεις ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line). Το DSL επιτυγχάνει συνδέσεις δεδομένων υψηλής ταχύτητας για τα υπάρχοντα καλώδια χαλκού.

Τα μεγάλα και μακριά καλώδια χαλκού πάσχουν από εξασθένηση στις υψηλές συχνότητες. Το γεγονός ότι η OFDM μπορεί να αντιμετωπίσει αυτή την επιλεκτική εξασθένηση της συχνότητας και τις παρεμβολές στενής ζώνης είναι οι κύριοι λόγοι που χρησιμοποιείται συχνά και στις εφαρμογές των ADSL μόντεμ.

Το DSL προσφέρει ευρυζωνική σύνδεση σε περισσότερους ανθρώπους σήμερα από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία εφόσον περίπου τα δύο τρίτα του συνόλου των ευρυζωνικών συνδρομητών είναι συνδρομητές DSL. Κάθε μήνα υπάρχουν περισσότεροι νέοι συνδρομητές DSL από το σύνολο των νέων συνδρομητών για όλες τις άλλες τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης.

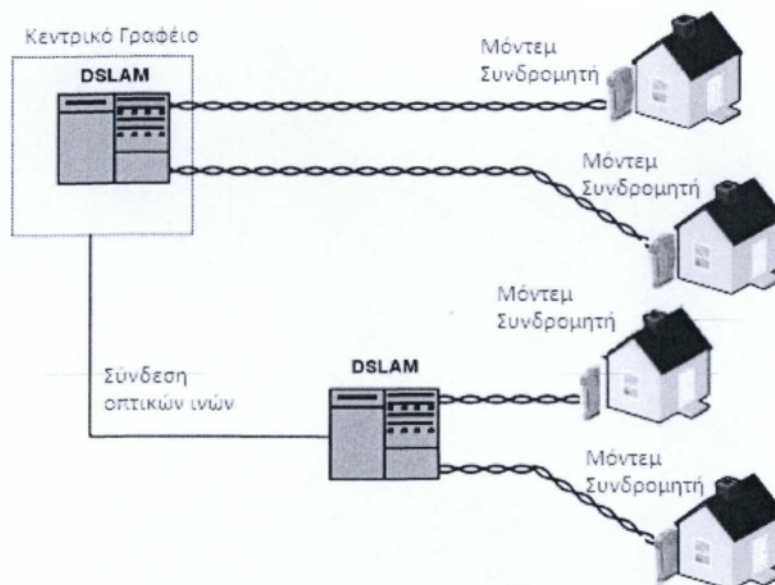


Εικόνα 26 - Μια πύλη που χρησιμοποιείται συνήθως για να διεξάγει μια σύνδεση ADSL [46]

Όπως προαναφέρθηκε, το DSL (Digital Subscriber Line), είναι μια τεχνολογία που προσφέρει ευρυζωνικές ταχύτητες σε αποστάσεις μιλίων ή χιλιομέτρων μέσω καλωδίων χαλκού. Το DSL αρχικά διανεμόταν πάνω από τα ίδια καλώδια που χρησιμοποιούνταν για να παρέχουν τις παραδοσιακές υπηρεσίες φωνητικής τηλεφωνίας. Αυτά τα καλώδια έτρεχαν από τα κεντρικά γραφεία μιας τηλεφωνικής εταιρείας (CO), την τοποθεσία όπου η φωνή μεταγωγής και άλλες παραδοσιακές τηλεφωνικές λειτουργίες εκτελούνται, προς το σπίτι ή την επιχείρηση ενός συνδρομητή. Το DSL παραδίδεται από μια συσκευή που βρίσκεται πιο

κοντά στο σπίτι ή την επιχείρησή του συνδρομητή που συνδέεται με ένα CO μέσω μιας σύνδεσης οπτικών ινών, και στη συνέχεια στις εγκαταστάσεις του συνδρομητή μέσω καλωδίων χαλκού. Σε όλες τις περιπτώσεις, ωστόσο, το DSL προσφέρει εύρος ζώνης δια μέσου των συνδέσεων χαλκού που υπάρχουν ήδη σχεδόν σε κάθε κατοικία και επιχείρηση στις αναπτυσσόμενες και ανεπτυγμένες περιοχές.

Στο σχήμα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε την αρχιτεκτονική για την τεχνολογία ADSL. Στον κεντρικό σταθμό (CO), ή σε μια απομακρυσμένη τοποθεσία που συνήθως συνδέεται με το CO μέσω οπτικών ινών, υπάρχει ένα πολυπλέκτης πρόσβασης DSL (DSL Access Multiplexer - DSLAM) που στέλνει και λαμβάνει ευρυζωνικά δεδομένα σε/από πολλούς συνδρομητές μέσω της τεχνολογίας DSL. Στη θέση του κάθε συνδρομητή, υπάρχει ένα μόντεμ (διαμορφωτής-αποδιαμορφωτής) το οποίο επικοινωνεί με το DSLAM για να στείλει και να λάβει τα διάφορα ευρυζωνικά δεδομένα του εν λόγω συνδρομητή, από το Διαδίκτυο αλλά και από τα υπόλοιπα δίκτυα. Ένα DSLAM επικοινωνεί με πολλά ατομικά μόντεμ συνδρομητών ενώ το μόντεμ κάθε συνδρομητή είναι προσηλωμένο στην ευρυζωνική σύνδεση του συγκεκριμένου συνδρομητή.



Εικόνα 27 - Τεχνολογία ADSL [45]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Προσομοιώσεις και Συμπεράσματα

5.1 Εισαγωγή

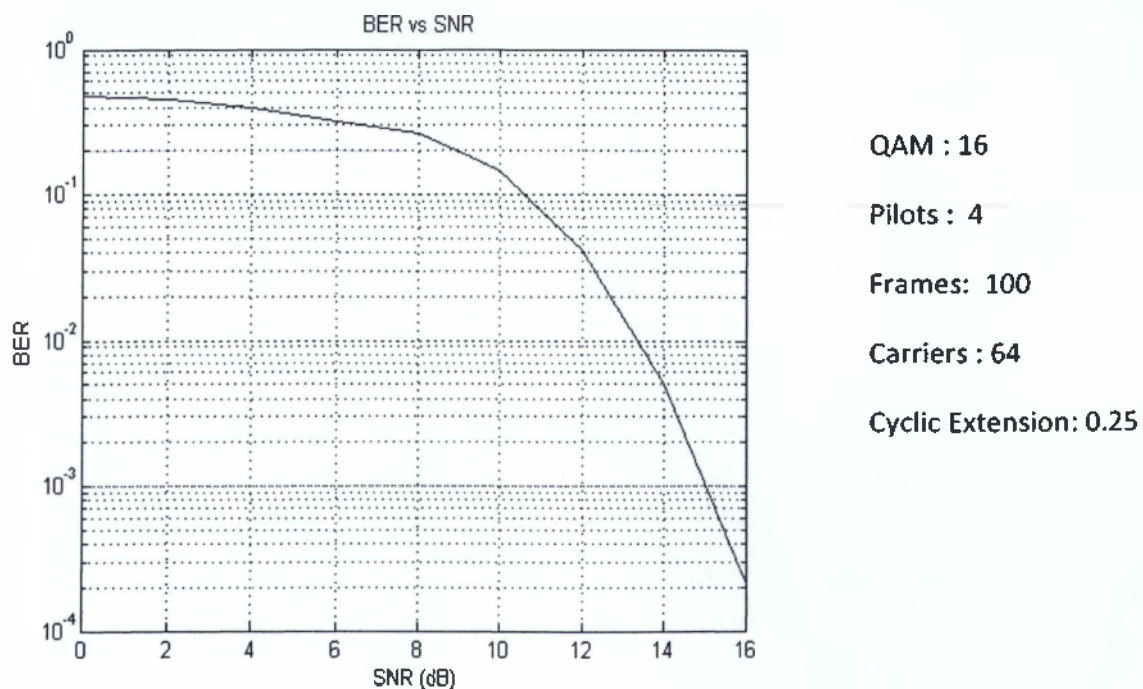
5.2 Προσομοιώσεις και Συμπεράσματα

5.1 Εισαγωγή

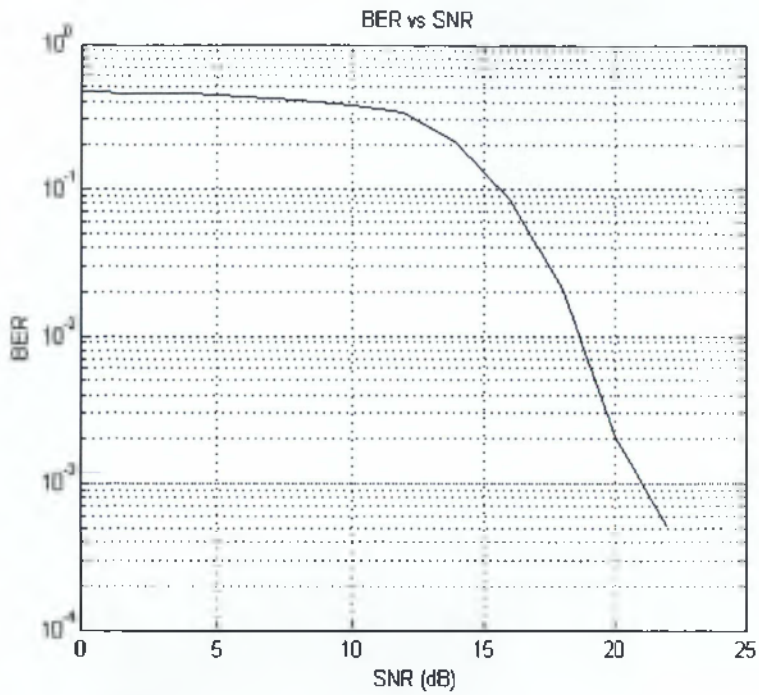
Στην ενότητα αυτή απεικονίζουμε σε διαγράμματα το BER(Bit Error Rate) συναρτήσει του SNR(Signal to Noise Ratio) και αλλάζοντας τις σταθερές των μεταβλητών: QAM, Pilots, Frames, Carriers, Cyclic Extension παρατηρούμε τη μεταβολή της γραφικής παράστασης. Οι παρακάτω απεικονίσεις πραγματοποιήθηκαν με χρήση του λογισμικού MATLAB.

5.2 Προσομοιώσεις και Συμπεράσματα

Στα διαγράμματα 1 έως 3 αυξάνεται ο αριθμός συμβόλων της QAM από 16 σε 64 και 256 χωρίς ταυτόχρονη αύξηση ισχύος. Παρατηρούμε, όπως είναι αναμενόμενο βελτίωση απόδοσης όταν μειώνεται ο αριθμός συμβόλων.

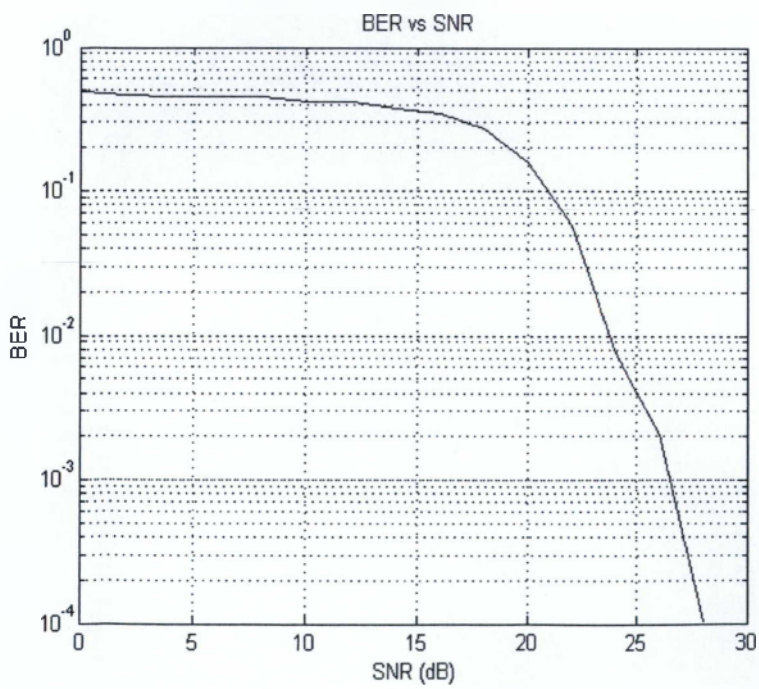


Διάγραμμα 1



QAM : 64
 Pilots : 4
 Frames: 100
 Carriers :64
 Cyclic Extension: 0.25

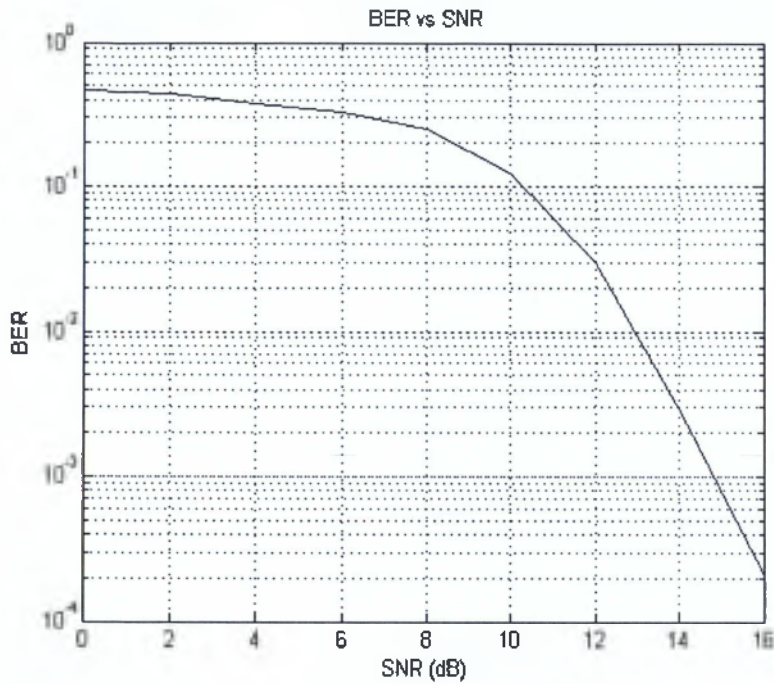
Διάγραμμα 2



QAM : 256
 Pilots : 4
 Frames: 100
 Carriers :64
 Cyclic Extension: 0.25

Διάγραμμα 3

Στα διαγράμματα 4 έως 5 αυξάνεται ο αριθμός πιλότων. Παρατηρούμε, βελτίωση απόδοσης όταν μειώνεται ο αριθμός πιλότων.



QAM : 16

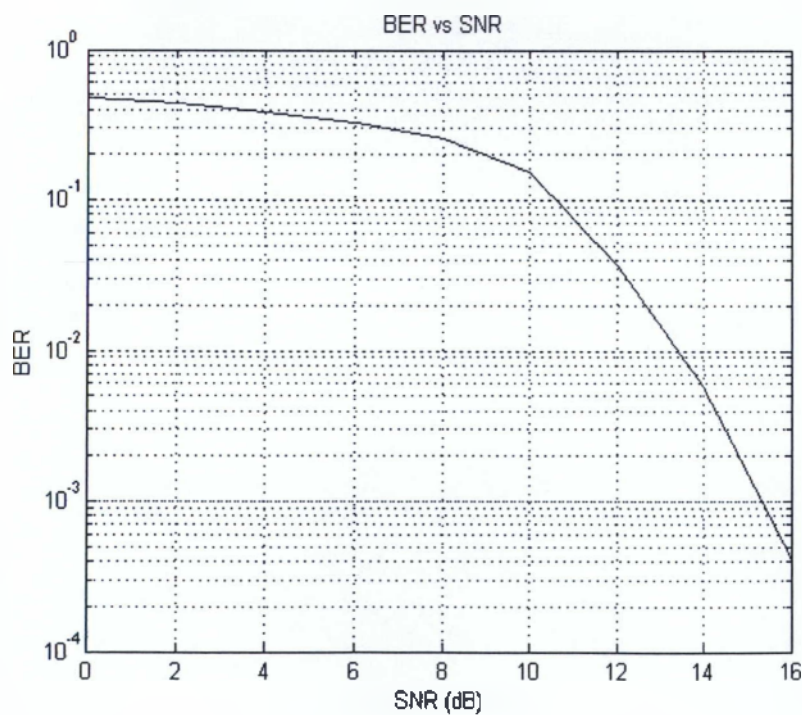
Pilots : 2

Frames: 100

Carriers :64

Cyclic Extension: 0.25

Διάγραμμα 4



QAM : 16

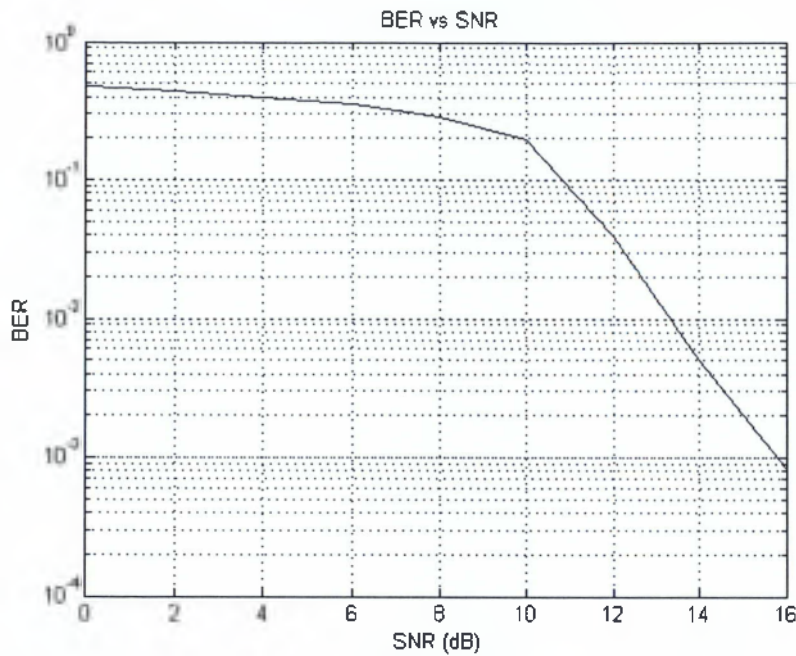
Pilots : 8

Frames: 100

Carriers :64

Cyclic Extension: 0.25

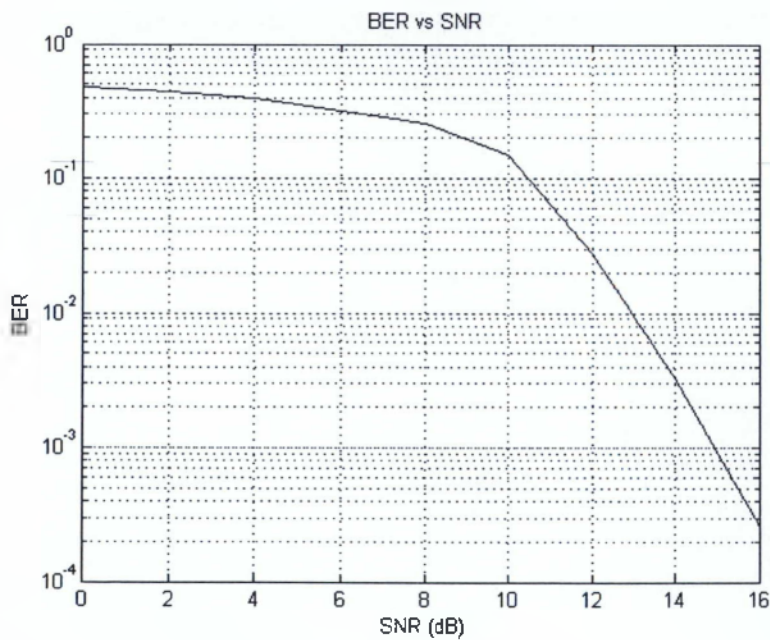
Διάγραμμα 5



QAM : 16
 Pilots : 16
 Frames: 100
 Carriers :64
 Cyclic Extension: 0.25

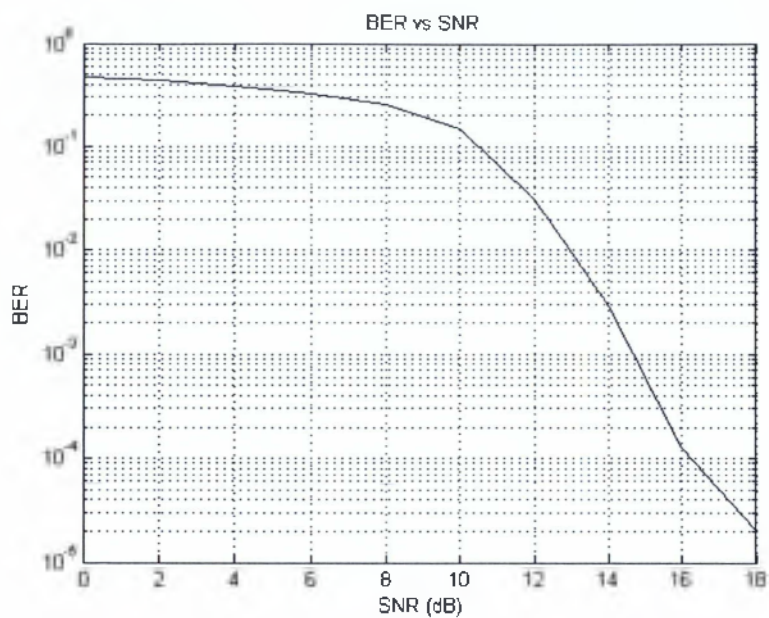
Διάγραμμα 6

Στα διαγράμματα 7 έως 9 αυξάνεται ο αριθμός πλαισίων. Παρατηρούμε, όπως είναι αναμενόμενο, ότι η απόδοση είναι αμετάβλητη.



QAM : 16
 Pilots : 4
 Frames: 200
 Carriers :64
 Cyclic Extension: 0.25

Διάγραμμα 7



QAM : 16

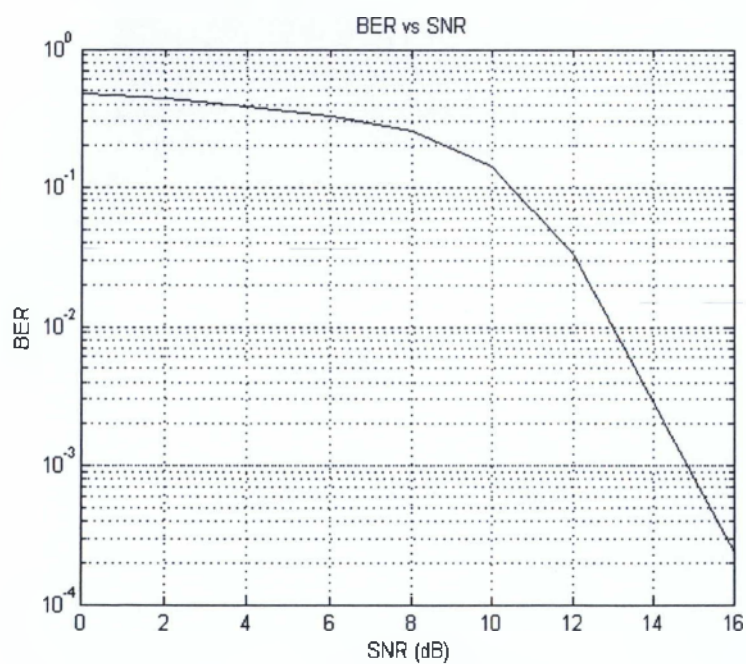
Pilots : 4

Frames: 500

Carriers :64

Cyclic Extension: 0.25

Διάγραμμα 8



QAM : 16

Pilots : 4

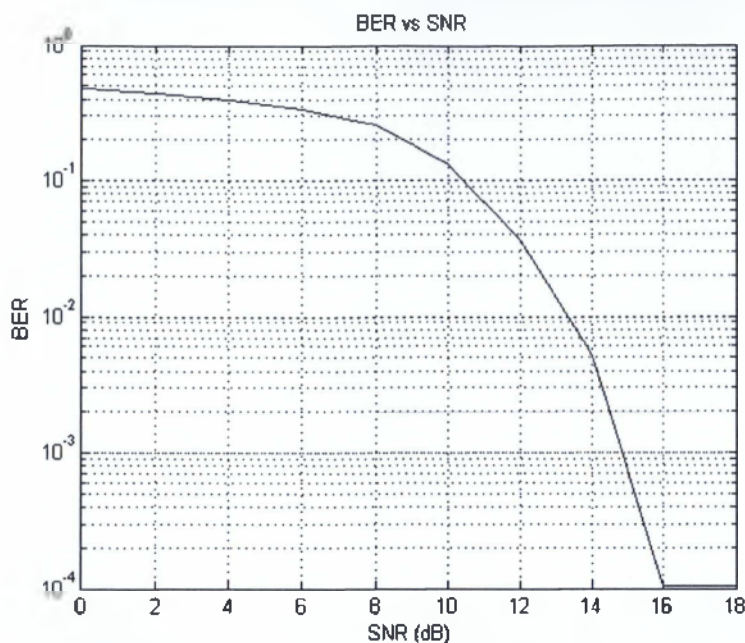
Frames: 1000

Carriers :64

Cyclic Extension: 0.25

Διάγραμμα 9

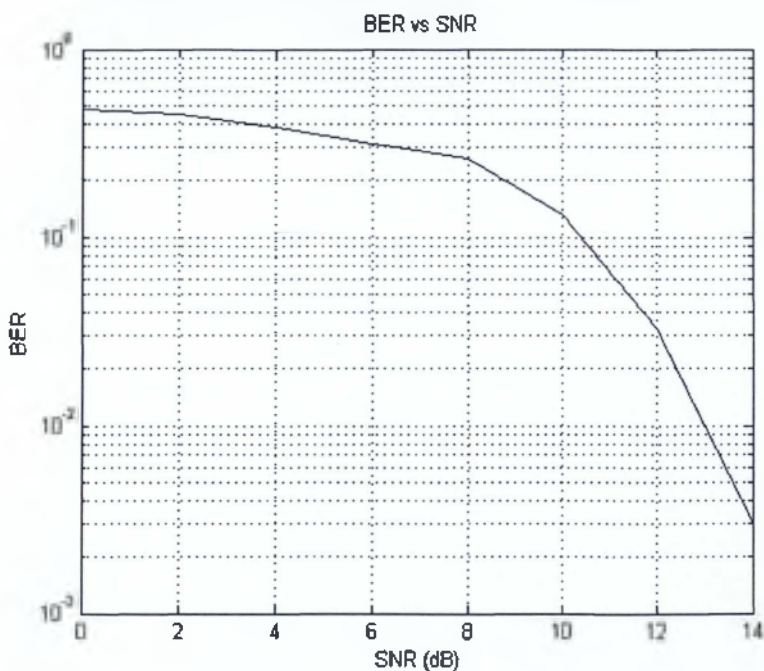
Στο Διάγραμμα 10 έχουμε αυξήσει τον αριθμό των φερόντων σε σχέση με το Διάγραμμα 1 από 64 σε 128. Παρατηρούμε βελτίωση απόδοσης.



QAM : 16
 Pilots : 4
 Frames: 100
 Carriers : 128
 Cyclic Extension: 0.25

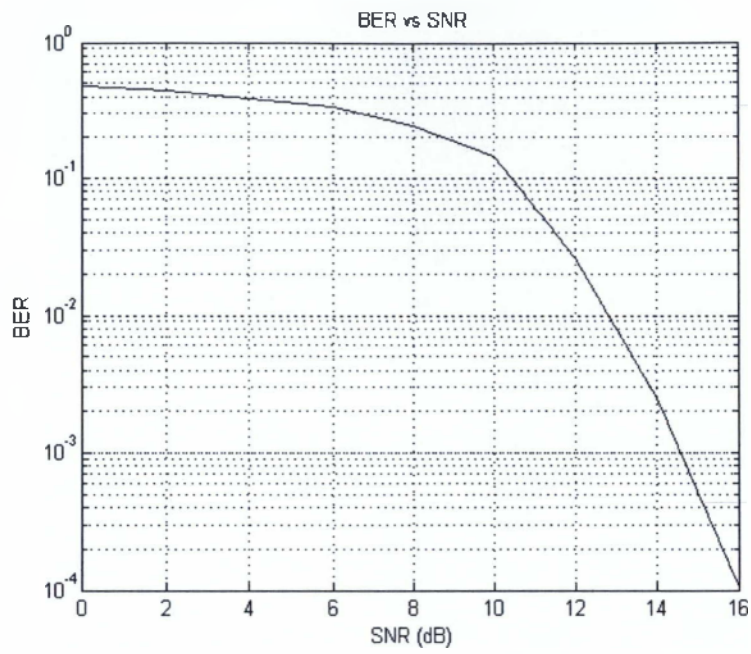
Διάγραμμα 10

Στα Διαγράμματα 11-12 έχουμε αυξήσει τον αριθμό της κυκλικής επέκτασης από 0.5 σε 0.75. Παρατηρούμε βελτίωση απόδοσης.



QAM : 16
 Pilots : 4
 Frames: 100
 Carriers : 64
 Cyclic Extension: 0.5

Διάγραμμα 11



QAM : 16

Pilots : 4

Frames: 100

Carriers :64

Cyclic Extension:
0.75

Διάγραμμα 12

Βιβλιογραφία

- [1] «*History of mobile phones*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_mobile_phones [Πρόσβαση: 01 Απρ. 2014]
- [2] «*GSM - Architecture*». Tutorialspoint. [Online]. Διαθέσιμο στο: http://www.tutorialspoint.com/gsm/gsm_architecture.htm [Πρόσβαση: 01 Απρ. 2014]
- [3] «*What is HLR and VLR and its function in GSM* ». Teletopix. [Online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.teletopix.org/gsm/what-is-hlr-and-vlr-and-its-function-in-gsm/> [Πρόσβαση: 01 Απρ. 2014]
- [4] «*Multiple Access Schemes for Mobile Phones*». Illumin. [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://illumin.usc.edu/printer/10/multiple-access-schemes-for-mobile-phones/> [Πρόσβαση: 01 Απρ. 2014]
- [5] «*Channel access method*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: http://en.wikipedia.org/wiki/Channel_access_method [Πρόσβαση: 01 Απρ. 2014]
- [6] «*AUC*». Telecom ABC. [Online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.telecomabc.com/a/auc.html> [Πρόσβαση: 01 Απρ. 2014]
- [7] «*Network switching subsystem*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: http://en.wikipedia.org/wiki/Network_switching_subsystem#Equipment_identity_register_28EIR.29 [Πρόσβαση: 01 Απρ. 2014]
- [8] «*OFDM*». Wireless Cationic. [Online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.wirelesscationnc.nl/referee/chaptr05/ofdm/ofdmhist.htm> [Πρόσβαση: 01 Απρ. 2014]
- [9] «*FDMA*». Telecom ABC. [Online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.telecomabc.com/f/fdma.html> [Πρόσβαση: 01 Απρ. 2014]
- [10] «*Frequency-division multiple access*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: http://en.wikipedia.org/wiki/Freomunicquency-division_multiple_access [Πρόσβαση: 08 Απρ. 2014]
- [11] «*Time division multiple access*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: http://en.wikipedia.org/wiki/Time_division_multiple_access [Πρόσβαση: 10 Απρ. 2014]
- [12] «*Code division multiple access*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: http://en.wikipedia.org/wiki/Code_division_multiple_access [Πρόσβαση: 10 Απρ. 2014]
- [13] «*Bitwise operation*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: http://en.wikipedia.org/wiki/Bitwise_operation [Πρόσβαση: 10 Απρ. 2014]

- [14] «IS-95». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://en.wikipedia.org/wiki/IS-95>> [Πρόσβαση: 19 Απρ. 2014]
- [15] Rahim Tafazolli. (2013). *Mobile Communications*, University of Surrey
- [16] «Capacity». Technopedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://www.techopedia.com/definition/18179/capacity-network>> [Πρόσβαση: 18 Απρ. 2014]
- [17] «Characteristics of a CDMA Wireless Network». RICE. [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.clear.rice.edu/elec301/Projects01/cdma_dominate/cdma_network.htm> [Πρόσβαση: 22 Απρ. 2014]
- [18] «CDMA Soft Capacity». Althos. [Online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.wirelessdictionary.com/wireless_dictionary/CDMA_Soft_Capacity_Definition.html> [Πρόσβαση: 21 Απρ. 2014]
- [19] «Handoff». Technopedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://www.techopedia.com/definition/16851/handoff>> [Πρόσβαση: 18 Απρ. 2014]
- [20] «TDMA, FDMA, and CDMA». LNST Lab. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://lenst.det.unifi.it/~mucchi/DOCS/ING/3bis/Multiplexing.pdf>> [Πρόσβαση: 24 Απρ. 2014]
- [21] «Near-far problem». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <http://en.wikipedia.org/wiki/Near-far_problem> [Πρόσβαση: 22 Απρ. 2014]
- [22] «Cellular Telephones». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <http://gyanpedia.in/Portals/0/Electronics/OptSub_Elect_Att_10CellularPhones.htm> [Πρόσβαση: 22 Απρ. 2014]
- [23] «Cell site». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cell_site> [Πρόσβαση: 22 Απρ. 2014]
- [24] «Multiple Division Techniques». Western Michigan University. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<https://cs.wmich.edu/~alfugaha/Fall09/cs6030/lectures/lec05.pdf>> [Πρόσβαση: 22 Απρ. 2014]
- [25] «Cellular Telephones». Gyanpedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <http://gyanpedia.in/Portals/0/Electronics/OptSub_Elect_Att_10CellularPhones.htm> [Πρόσβαση: 01 Απρ. 2014]
- [26] «CDMA and TDMA». Softwright. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://www.softwright.com/faq/engineering/cdmatdma.html>> [Πρόσβαση: 22 Απρ. 2014]

- [27] «FDMA vs. CDMA». Navipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <[http://www.navipedia.net/index.php/FDMA vs. CDMA](http://www.navipedia.net/index.php/FDMA_vs._CDMA)> [Πρόσβαση: 22 Απρ. 2014]
- [28] «Difference between FDMA and TDMA». Differencebetween. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://www.differencebetween.net/technology/difference-between-fdma-and-tdma/>> [Πρόσβαση: 22 Απρ. 2014]
- [29] «4G Fourth generation wireless system PPT Presentation». Youtube. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<https://www.youtube.com/watch?v=2G90oVuvsGk>> [Πρόσβαση: 22 Απρ. 2014]
- [30] «Ασύρματα Δίκτυα». COmputer Networks & Telematics Applications. [Online]. Διαθέσιμο στο: <[http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptychiaka/technologies diktywn/ergasies/2008/4G%20Wireless%20Networks.pdf](http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptychiaka/technologies_diktywn/ergasies/2008/4G%20Wireless%20Networks.pdf)> [Πρόσβαση: 15 Απρ. 2014]
- [31] «Ultra-wideband». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-wideband>> [Πρόσβαση: 28 Απρ. 2014]
- [32] «An Introduction to Millimetre Wave Technology». 4 Gon. . [Online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.4gon.co.uk/solutions/introduction_to_millimetre_wave.php> [Πρόσβαση: 28 Απρ. 2014]
- [33] «1G». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://en.wikipedia.org/wiki/1G>> [Πρόσβαση: 22 Απρ. 2014]
- [34] «1G». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <[http://www.diffen.com/difference/3G vs 4G](http://www.diffen.com/difference/3G_vs_4G)> [Πρόσβαση: 25 Απρ. 2014]
- [35] «MSISDN». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://en.wikipedia.org/wiki/MSISDN>> [Πρόσβαση: 26 Απρ. 2014]
- [36] «Comparison of Single-Carrier FDMA vs. OFDMA as 3GPP Long-Term Evolution Uplink». Stanford University. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://www.stanford.edu/~nsoltani/ee359project/project.pdf>> [Πρόσβαση: 5 Μάης 2014]
- [37] «Orthogonal frequency-division multiple access». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal frequency-division multiple access](http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiple_access)> [Πρόσβαση: 5 Μάης 2014]
- [38] «OFDM/OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiplexing/Orthogonal Frequency Division Multiple Access». 4G Americas. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=253>> [Πρόσβαση: 6 Μάης 2014]

- [39]«*Advantages and Disadvantages of OFDM*». National Dong Hwa University. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://sna.csie.ndhu.edu.tw/~cnyang/MCCDMA/tsld021.htm>> [Πρόσβαση: 2 Μάης 2014]
- [40]«*Discrete Fourier transform*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Discrete Fourier transform](http://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_Fourier_transform)> [Πρόσβαση: 2 Μάης 2014]
- [41]«*Πολυπλεξία*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CF%85%CF%80%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%AF%CE%B1>> [Πρόσβαση: 2 Μάης 2014]
- [42]«*Multiplexing*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Multiplexing>> [Πρόσβαση: 2 Μάης 2014]
- [43]«*Digital Audio Broadcasting*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Digital Audio Broadcasting](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Audio_Broadcasting)> [Πρόσβαση: 2 Μάης 2014]
- [44]«*Digital Audio Broadcasting System*». IPTV Dictionary. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://www.iptvdictionary.com/IPTVDictionary-Digital-Audio-Broadcast-DAB-Definition.html>> [Πρόσβαση: 2 Μάης 2014]
- [45]«*DSL TECHNOLOGY TUTORIAL*». ASSIA. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://www.assia-inc.com/technology/knowledge-center/tutorials/DSL-technology-tutorial.php>> [Πρόσβαση: 3 Μάης 2014]
- [46]«*Asymmetric digital subscriber line*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Asymmetric digital subscriber line](http://en.wikipedia.org/wiki/Asymmetric_digital_subscriber_line)> [Πρόσβαση: 5 Μάης 2014]
- [47]«*Digital terrestrial television*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Digital terrestrial television](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_terrestrial_television)> [Πρόσβαση: 6 Μάης 2014]
- [48]«*Quadrature amplitude modulation*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature Amplitude Modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_Amplitude_Modulation)> [Πρόσβαση: 7 Μάης 2014]
- [49]«*QAM*». The Free Dictionary. [Online]. Διαθέσιμο στο: <<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/analog+QAM>> [Πρόσβαση: 8 Μάης 2014]
- [50]«*Mobile Data Network Backhauling*». P2 Mobile Technologies Limited. [Online]. Διαθέσιμο στο: <[http://www.p2mt.com/solutions/cellular backhaul](http://www.p2mt.com/solutions/cellular_backhaul)> [Πρόσβαση: 8 Μάης 2014]
- [51]«*IEEE 802.16*». Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο στο: <[http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE 802.16](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.16)> [Πρόσβαση: 8 Μάης 2014]

Παράρτημα Χρήσιμων Ορολογιών

- [1] **Bitwise:** Στον ψηφιακό προγραμματισμό ηλεκτρονικών υπολογιστών, μια πράξη bitwise λειτουργεί σε ένα ή περισσότερα μοτίβα bit ή δυαδικά ψηφία στο επίπεδο των επιμέρους κομματιών τους. Είναι μια γρήγορη, πρωτόγονη ενέργεια η οποία υποστηρίζεται άμεσα από τον επεξεργαστή, και χρησιμοποιείται έτσι ώστε να παραποιηθούν οι τιμές για τις συγκρίσεις και τους υπολογισμούς [13].
- [2] **CdmaOne:** Είναι το εμπορικό όνομα για το πρότυπο IS-95. Το ενδιάμεσο πρότυπο IS-95 είναι το πρώτο ψηφιακό κυψελοειδές πρότυπο βασισμένο στο CDMA. Είναι ένα 2G πρότυπο κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιεί CDMA, ένα σύστημα πολλαπλής πρόσβασης για το ψηφιακό ραδιόφωνο, την αποστολή φωνής, δεδομένων και σηματοδότησης (όπως ο κληθέντας αριθμός τηλεφώνου) μεταξύ κινητών τηλεφώνων και κυψελοειδών τοποθεσιών τηλεφώνων [14].
- [3] **Cell Site:** είναι μία θέση κυψελοειδούς τηλεφώνου όπου τοποθετούνται οι κεραίες και ο εξοπλισμός ηλεκτρονικών επικοινωνιών. Συνήθως είναι σε μια ραδιοφωνική κεραία, κάποιο πύργο ή κάποιο άλλο ψηλό μέρος, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα κελί (ή γειτονικά κελιά) σε ένα κυψελοειδές δίκτυο. Η υπερυψωμένη κατασκευή τυπικά υποστηρίζει κεραίες και ένα ή περισσότερα σύνολα του πομπού/δέκτη πομποδέκτες, επεξεργαστές ψηφιακού σήματος, ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, ένα δέκτη GPS για το χρονοδιάγραμμα, κύριες και εφεδρικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας και καταφύγιο [23].
- [4] **Near-Far problem:** ή αλλιώς «hearability problem», είναι μια κατάσταση που είναι κοινή σε ασύρματα συστήματα επικοινωνιών, ιδιαίτερα στο CDMA. Σε ορισμένες τεχνικές μπλοκαρίσματος σημάτων, το πρόβλημα «near-far» αξιοποιείται για να διακόψει τις επικοινωνίες [21]. Συγκεκριμένα, είναι μια κατάσταση κατά την οποία ένας δέκτης συλλαμβάνει ένα ισχυρό σήμα και ως εκ τούτου καθιστά αδύνατο για τον δέκτη να ανιχνεύσει ένα ασθενέστερο σήμα.
- [5] **Ultra Wideband Technology:** είναι μια ασύρματη τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολύ χαμηλό επίπεδο ενέργειας για μικρή εμβέλεια, υψηλού εύρους ζώνης επικοινωνίες χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο τμήμα του ραδιοφάσματος. Το UWB έχει παραδοσιακές εφαρμογές με τις πιο πρόσφατες εφαρμογές να είναι η συλλογή δεδομένων στόχου του αισθητήρα, εντοπισμός ακρίβειας και η παρακολούθηση των αιτήσεων [31].
- [6] **Millimeter Wireless Technology:** στα πλαίσια της ασύρματης δικτύωσης και επικοινωνίας, αντιστοιχεί γενικά σε μερικές επιλεγμένες ζώνες ραδιοσυχνοτήτων που οι

υψηλού δυναμικού βρίσκονται περίπου γύρω τα 70 και 80 GHz και έχουν οριστεί για τον δημόσιο τομέα για τον σκοπό της ασύρματης δικτύωσης και επικοινωνιών [32].

- [7] **Δίκτυο Powerline:** είναι ένα δίκτυο δεδομένων που χρησιμοποιεί ηλεκτρικό σύστημα ενός κτιρίου ως μέσο μετάδοσης και πρίζες ως σημεία σύνδεσης. Συνήθως χρησιμοποιείται για την επέκταση ενός ενσύρματου δικτύου Ethernet σε ένα άλλο δωμάτιο.
- [8] **MSISDN:** είναι ένας αριθμός που προσδιορίζει μονοσήμαντα μια συνδρομή σε ένα GSM ή ένα UMTS δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Με απλά λόγια, είναι ο αριθμός τηλεφώνου της κάρτας SIM σε ένα κινητό τηλέφωνο [36].
- [9] **DFT (Discrete Fourier transform):** στα Μαθηματικά, μετατρέπει ένα πεπερασμένο κατάλογο από ισαπέχοντα δείγματα μιας συνάρτησης στον κατάλογο των συντελεστών ενός πεπερασμένου συνδυασμού σύνθετων καμπύλων, στοιχισμένα βάση της συχνότητας τους, η οποία έχει τις ίδιες τιμές δείγματος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετατρέψει τη λειτουργία του δείγματος από το αρχικό τομέα του (συχνά χρόνο ή θέση κατά μήκος μιας γραμμής) στο πεδίο των συχνοτήτων.
- [10] **DVB-T COFDM:** DVB-T - Digital Video Broadcasting — Terrestrial και COFDM – Coded Orthogonal frequency-division multiplexing.
- [11] **Backhaul:** στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, που ασχολούνται με τη μεταφορά της κυκλοφορίας μεταξύ κατανεμημένων τοποθεσιών αναφέρεται στα κεντρικά σημεία πρόσβασης, που ουσιαστικά αποτελούν τον συνδετικό κρίκο με τα υπόλοιπα σημεία πρόσβασης. Το κομμάτι αυτό του δικτύου περιλαμβάνει τις ενδιάμεσες συνδέσεις μεταξύ του πυρήνα του δικτύου (ή του κορμού του δικτύου) και των μικρών υποδικτύων στην «άκρη» του συνόλου της ιεραρχίας του δικτύου.

Κώδικας του MATLAB

```
% OFDM Code
% No.of Carriers: Nr_of_Carriers
% coding used: Convolutional coding
% Single frame size: 96 bits
% Total no. of Frames: Nr_of_Frames
% Modulation: M-QAM --> M = 16,64,256
% No. of Pilots: nofpits --> 2,4,8,16
% Cyclic Extension: Cycl_Ext

close all
clear all
clc

%%
% Generating and coding data

M = input('Dwse M gia M-QAM: ');
nofpits = input('Dwse arithmo pilotwn: ');
Nr_of_Frames = input('Dwse arithmo plaisiwn: ');
Nr_of_Carriers = input('Dwse arithmo carriers: ');
Cycl_Ext = input('Dwse cyclic extension: ');

t_data=randint(96*Nr_of_Frames,1)';
x=1;
si=1; %for BER rows
%%
for d=1:Nr_of_Frames;
data=t_data(x:x+95);
x=x+96;
k=3;
n=6;
s1=size(data,2); % Size of input matrix
j=s1/k;

%%
% Convolutionally encoding data
constlen=7;
codegen = [171 133]; % Polynomial
trellis = poly2trellis(constlen, codegen);
codedata = convenc(data, trellis);
```

```

%%
% Interleaving coded data

s2=size(codedata,2);
j=s2/log2(M);
matrix=reshape(codedata,j,log2(M));

intlvddata = matintrlv(matrix',2,log2(M)/2);
Interleave.

intlvddata=intlvddata';

%%
% Binary to decimal conversion

dec=bi2de(intlvddata','left-msb');

%%
%M-QAM Modulation (16,32,64,128)

y = qammod(dec,M);
% scatterplot(y);

%%
% Pilot insertion

lendata=length(y);
pilt=3+3j;

k=1;

for i=(1:(lendata+nofpits)/nofpits:lendata+nofpits)

    pilt_data1(i)=pilt;

    for j=(i+1:i+(lendata+nofpits)/nofpits -1);
        pilt_data1(j)=y(k);
        k=k+1;
    end
end

pilt_data1=pilt_data1'; % size of pilt_data
=lendata+nofpits
pilt_data(1:lendata+nofpits)=pilt_data1(1:lendata+nofpits
); % upsizing to Nr_of_Carriers
pilt_data(Nr_of_Carriers-lendata-
nofpits+1:Nr_of_Carriers)=pilt_data1(1:lendata+nofpits);
% upsizing to Nr_of_Carriers

```



```

for i=1:lendata+nofpits

    pilt_data(i+(Nr_of_Carriers-lendata-
nofpits)/2)=pilt_data1(i);

end

%%
% IFFT

ifft_sig=ifft(pilt_data',Nr_of_Carriers);

%%
% Adding Cyclic Extension

cext_data=zeros(Nr_of_Carriers*(1+Cycl_Ext),1);

cext_data(1:Nr_of_Carriers*Cycl_Ext)=ifft_sig(Nr_of_Carri
ers*(1-Cycl_Ext)+1:Nr_of_Carriers);
for i=1:Nr_of_Carriers

    cext_data(i+Nr_of_Carriers*Cycl_Ext)=ifft_sig(i);

end

%%
% Channel

% SNR

o=1;
for snr=0:2:50

ofdm_sig=awgn(cext_data,snr,'measured'); % Adding white
Gaussian Noise
% figure;
% index=1:80;
% plot(index,cext_data,'b',index,ofdm_sig,'r'); %plot
both signals
% legend('Original Signal to be Transmitted','Signal with
AWGN');

%%
RECEIVER
%%
%Removing Cyclic Extension

```

```

for i=1:Nr_of_Carriers
    rxed_sig(i)=ofdm_sig(i+Nr_of_Carriers*Cycl_Ext);
end

%%
% FFT
ff_sig=fft(rxed_sig,Nr_of_Carriers);

%%
% Pilot Synch%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:lendata+nofpits
    synched_sig1(i)=ff_sig(i+(Nr_of_Carriers-lendata-
nofpits)/2);
end
k=1;
for i=(1:(lendata+nofpits)/nofpits:lendata+nofpits)
    for j=(i+1:i+(lendata+nofpits)/nofpits-1);
        synched_sig(k)=synched_sig1(j);
        k=k+1;
    end
end

% scatterplot(synched_sig)

%%
% Demodulation
dem_data= qamdemod(synched_sig,M);

%%
% Decimal to binary conversion
bin=de2bi(dem_data,'left-msb');
bin=bin';

%%
% De-Interleaving

```

```

deintlvddata = matdeintrlv(bin,2,log2(M)/2); % De-
Interleave
deintlvddata=deintlvddata';
deintlvddata=deintlvddata(:)';

%%
%Decoding data
n=6;
k=3;
decodedata
=vitdec(deintlvddata,trellis,5,'trunc','hard');
decoding datausing veterbi decoder
rxed_data=decodedata;

%%
% Calculating BER
rxed_data=rxed_data(:)';
errors=0;

c=xor(data,rxed_data);
errors=nnz(c);

% for i=1:length(data)
%
%     if rxed_data(i)~=data(i);
%         errors=errors+1;
%
%     end
% end

BER(si,o)=errors/length(data);
o=o+1;

end % SNR loop ends here
si=si+1;
end % main data loop

%%
% Time averaging for optimum results

```

```

for col=1:25;          %%%change if SNR loop Changed
    ber(1,col)=0;
for row=1:Nr_of_Frames;

        ber(1,col)=ber(1,col)+BER(row,col);
    end
end
ber=ber./Nr_of_Frames;

%%
figure
i=0:2:48;
semilogy(i,ber);
title('BER vs SNR');
ylabel('BER');
xlabel('SNR (dB)');
grid on

```