

Α.Τ.Ε.Ι ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΠΑΡΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Πτυχιακή Εργασία

ΘΕΜΑ :

**“ Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών με χρήση της τεχνολογίας  
Ultra Wide Band (UWB). ”**

Αργέντη Θεοδώρα

ΑΜ : 2007194

Επιβλέπων Καθηγητής :  
Δρ. Βασίλειος Μποζαντζής

Σπάρτη, Απρίλιος 2013

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο εγγύς μέλλον, η ανάπτυξη της χαμηλής ισχύος, μικρής εμβέλειας και υψηλής ταχύτητας συστήματα μετάδοσης πρόκειται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον τομέα της ασύρματης επικοινωνίας, που οφείλεται σε άνθιση αύξησης της ζήτησης για την ανταλλαγή πληροφοριών και τα εργαλεία της διανομής δεδομένων να χρησιμοποιηθεί σε hot-spot στρώμα και προσωπικές επικοινωνίες στρώμα δικτύου. Την ίδια στιγμή, η ραδιοσυχνότητα (RF) φάσματος κατάλληλο για ασύρματες ζεύξεις είναι περιορισμένη, έτσι αποτελεσματική χρησιμοποίηση του φάσματος είναι ένα δύσκολο πρόβλημα στην μηχανική επικοινωνίας φυσικού στρώματος. Όλα αυτά έχουν το κίνητρο για την εξερεύνηση του συστήματος μετάδοσης UWB. Έτσι, με το τεράστιο εύρος ζώνης του, η υπερευρείας ζώνης (UWB) προσφέρει μία πολλά υποσχόμενη λύση για την ικανοποίηση των απαιτήσεων αυτών και γίνεται ένας ελκυστικός υποψήφιος για το μέλλον στα ασύρματα δίκτυα. Στο πρώτο κεφάλαιο αρχίζουμε με κάποιες γενικές πληροφορίες σχετικά με την τεχνολογία UWB, έτσι ώστε να γνωρίσουμε καλύτερα την συγκεκριμένη τεχνολογία. Μετά παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά και εξηγεί τι κάνει την τεχνολογία υπερευρείας ζώνης μοναδική. Το τρίτο κεφάλαιο μιλάει για τις εφαρμογές, τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα καθώς και τις προκλήσεις αυτής της τεχνολογίας. Έστερα συζητάμε την δικτύωση που έχει το UWB και στην συνέχεια τα συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία υπερευρείας ζώνης. Τέλος, εξετάζουμε την υψηλή ταχύτητα ασύρματης σύνδεσης προσωπικών δικτύων περιοχής πάνω στην τεχνολογία UWB, όσον αφορά τα πλεονεκτήματα που έχει, τις προκλήσεις καθώς επίσης και σε κάποιες πρόσφατες εφαρμογές WPAN.

## Περιεχόμενα

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	<b>6</b>
<b>1. Γενικές Πληροφορίες για το UWB</b>	<b>7</b>
1.1 Η αιτία για UWB τεχνολογία	7
1.2 Τι είναι το UWB;	8
1.3 Πως λειτουργεί το UWB	9
1.4 Ιστορική Εξέλιξη	9
1.5 Ιδέες της UWB τεχνολογίας	10
1.6 UWB σήματα	11
1.7 Ρυθμιστικές καταστάσεις	12
1.7.1 Ρυθμίσεις της FCC	12
1.7.2 Παγκόσμιες ρυθμιστικές προσπάθειες	12
1.7.3 Ρύθμιση Φάσματος	13
<b>2. Τι κάνει το UWB μοναδικό;</b>	<b>15</b>
2.1 Σχεδιασμός στο Πεδίο του Χρόνου ( Time Domain )	15
2.2 Επιπτώσεις της κεραίας	15
2.3 Διάδοση και Μοντέλα Καναλιού	16
2.4 Σχεδιασμός Πομπού και Δέκτη	16
2.5 Θέματα δικτύωσης	17
2.6 Ποια συστήματα χαρακτηρίζονται ως UWB και νομοθεσία	17
2.7 Κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος UWB	18
2.7.1 Η Ιδέα του Impulse Radio UWB	18
2.7.2 Κατανάλωση Ισχύος	19
2.7.3 Παλμοί	19
2.7.4 Παλμοσειρές	20
2.7.5 Συμπεριφορά στην Πολυόδευση	21
2.7.6 Χαρακτηριστικά Διείσδυσης	21
2.7.7 Υψηλή Ταχύτητα Μετάδοσης	21
2.7.8 Λοιπά Χαρακτηριστικά	21
2.8 Χαρακτηριστικά UWB μοντέλων καναλιού	23
2.8.1 Μεγάλης κλίμακας μοντέλα	23

2.8.2	Μικρής κλίμακας μοντέλα	24
2.8.3	Tap-Delay-Line Εξασθένιση Γραμμής	24
2.8.4	Δ-Κ Μοντέλο	26
2.8.5	Salah-Valenzuela Μοντέλο	26
2.8.6	Πρότυπο μοντέλου καναλιού UWB	27
<b>3. Τεχνολογία Υπερευρείας Ζώνης</b>		<b>29</b>
3.1	Εφαρμογές	29
3.1.1	Αντικατάσταση καλωδίων και πρόσβαση στο δίκτυο για κινητές συσκευές υπολογιστών	31
3.2	Πλεονεκτήματα	32
3.3	Μειονεκτήματα	37
3.4	Προκλήσεις για UWB	39
3.5	UWB Συστημάτων Μεταφοράς	40
3.5.1	Συνέπειες του Καναλιού στην Απόδοση του Συστήματος	42
3.6	Τεχνική διαμόρφωσης πολλαπλών πρόσβασης συστήματα	42
3.6.1	Απευθείας Ακολουθία UWB ( DS – UWB )	42
<b>4. Δικτύωση UWB</b>		<b>45</b>
4.1	Εισαγωγή	45
4.2	Πώς είναι η UWB Δικτύωση διαφορετική;	47
4.3	UWB σε Θέματα Φυσικού Επιπέδου	48
4.4	Σχεδιασμός του Επιπέδου Ζεύξης Δεδομένων	48
4.4.1	Στόχοι του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων	49
4.4.2	Ισχυρισμός-Έλεγχος πρόσβασης με βάση το Μέσο	51
4.4.3	Κανάλι Μεσαίας κατανομής Ελέγχου Πρόσβασης	55
4.4.4	Πρωτόκολλα Πολλαπλής Πρόσβασης	56
4.4.5	Προς τα Εμπρός Διόρθωση Σφαλμάτων και Αυτόματη Αίτηση επανάληψης	58
<b>5. Συστήματα που χρησιμοποιούν την Τεχνολογία Υπερευρείας Ζώνης</b>		<b>59</b>
5.1	Εισαγωγή	59
5.2	UWB Πολλαπλά Hop Ad Hoc Δίκτυα	60

<u>5.2.1</u> Ιεραρχικό Δίκτυο Τοπολογίες	62
<u>5.2.2</u> Επίπεδο Δίκτυο Τοπολογίες	66
<b>5.3</b> Άλλα θέματα Δικτύωσης	71
<u>5.3.1</u> TCP Απόδοση σε ένα Ασύρματο Περιβάλλον	71
<u>5.3.2</u> Ποιότητα της Υπηρεσίας Διαχείρισης ( QoS )	73
<b>5.4</b> Ασύρματο Δίκτυο Σωματικής Περιοχής ( WBAN )	75
<b>5.5</b> Τεχνολογία UWB για WSN Εφαρμογές	76
<u>5.5.1</u> WSN Φυσικό Επίπεδο και τη Σκοπιμότητα του UWB	76
<b>5.6</b> UWB Γνωστικά Ραδιόφωνα	78
<u>5.6.1</u> Σενάρια και εφαρμογές για UWB με βάση το CR	79
<b>5.7</b> Υψηλής Ταχύτητας Ασύρματων Επικοινωνιών	79
<u>5.7.1</u> Ιστορική Εξέλιξη	80
<u>5.7.2</u> Πολυκαναλικά - CDMA με βάση το UWB	84
<u>5.7.3</u> Η ΜΑΓΕΙΑ του 4G	86
<b>6. Υψηλής Ταχύτητας Ασύρματη Σύνδεση Προσωπικών Δικτύων Περιοχής</b>	<b>90</b>
<b>6.1</b> Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα	90
<b>6.2</b> Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας UWB εφαρμογών για WPAN	92
<b>6.3</b> Τυποποίηση και Προκλήσεις του UWB για WPAN	92
<u>6.3.1</u> Θέματα Τυποποίησης	92
<u>6.3.2</u> Προκλήσεις	93
<u>6.3.2.1</u> Σχεδιασμός του συστήματος	93
<u>6.3.2.2</u> Ευρείας Ζώνης Σχεδιασμοί RF	93
<u>6.3.2.3</u> Κατανάλωση Ενέργειας και Διάρκεια Ζωής της μπαταρίας	93
<b>6.4</b> Η πιο πρόσφατη Ανάπτυξη Υψηλών Ταχυτήτων WPANs	94
<u>6.4.1</u> Ασύρματα USB ( WUSB )	94
<u>6.4.2</u> Bluetooth	95
<u>6.4.3</u> TransferJet	96
<b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ</b>	<b>97</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>102</b>

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Εξαιρετικά ευρείας ζώνης (UWB) συστήματα επικοινωνίας μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως ως οποιοδήποτε σύστημα επικοινωνίας των οποίων το στιγμιαίο εύρος ζώνης είναι πολλές φορές μεγαλύτερο από το ελάχιστο που απαιτείται για την παροχή συγκεκριμένων πληροφοριών. Αυτή η υπερβολή του εύρους ζώνης είναι το καθοριστικό χαρακτηριστικό του UWB. Η κατανόησή του πως επηρεάζει αυτό το χαρακτηριστικό του συστήματος απόδοσης και ο σχεδιασμός είναι ζωτικής σημασίας για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχεδιασμού όσον αφορά την εφαρμογή UWB.

Η πρώτη ασύρματη μετάδοση, μέσω του πομπού Σπινθήρας (Spark Gap) Marconi, ήταν ουσιαστικά ένα UWB σήμα που δημιουργήθηκε από την τυχαία αγωγιμότητα μιας σπίθας. Το στιγμιαίο εύρος ζώνης των μεταδόσεων του σπινθήρα ξεπέρασε κατά πολύ το ποσοστό πληροφοριών τους. Οι χρήστες των συστημάτων αυτών ανακάλυψαν γρήγορα μερικά από τα σημαντικότερα ασύρματα. Απαιτήσεις σχεδιασμού του συστήματος: παρέχει μία μέθοδο για να επιτρέψει ένα συγκεκριμένο χρήστη να ανακτήσει μια συγκεκριμένη ροή δεδομένων και επιτρέπει σε όλους τους χρήστες να μοιράζονται αποτελεσματικά τον κοινό φασματικό πόρο. Η UWB τεχνολογία της εποχής δεν προσφέρει μια πρακτική απάντηση σε κάθε απαίτηση. Τα προβλήματα αυτά λύθηκαν κατά τη διάρκεια της εξέλιξης σε φορέα με βάση τα συστήματα επικοινωνιών με ρυθμιστικούς φορείς, όπως η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η FCC έχει την ευθύνη για τη χάραξη του φάσματος σε πιο μικρά κομμάτια, τα οποία στη συνέχεια έχουν άδεια χρήσης σε διάφορους χρήστες.

Μέσα στα τελευταία 40 χρόνια, οι πρόοδοι σε αναλογικά και ψηφιακά ηλεκτρονικά και η UWB θεωρία σήματος επέτρεψαν σε σχεδιαστές του συστήματος να προτείνουν κάποια πρακτικά UWB συστήματα επικοινωνιών. Κατά την τελευταία δεκαετία, πολλοί ιδιώτες και επιχειρήσεις άρχισαν να ζητούν από την FCC για άδεια λειτουργίας χωρίς άδεια χρήσης UWB συστημάτων παράλληλα με τα υφιστάμενα σήματα στενής ζώνης. Το 2002, η FCC αποφάσισε να αλλάξει τους κανόνες για να επιτρέψει τη λειτουργία του συστήματος UWB σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Κατά τη διαδικασία της FCC η UWB κατά κανόνα διαδικασία λήψης μπορεί κανείς να βρει μια τεράστια ποικιλία απαιτήσεων που συνδέονται με την αναμενόμενη χρησιμότητα και την απόδοση των UWB συστημάτων μερικά από αυτά αρκετά φανταστικά.

# Κεφάλαιο 1

## Γενικές Πληροφορίες για το UWB

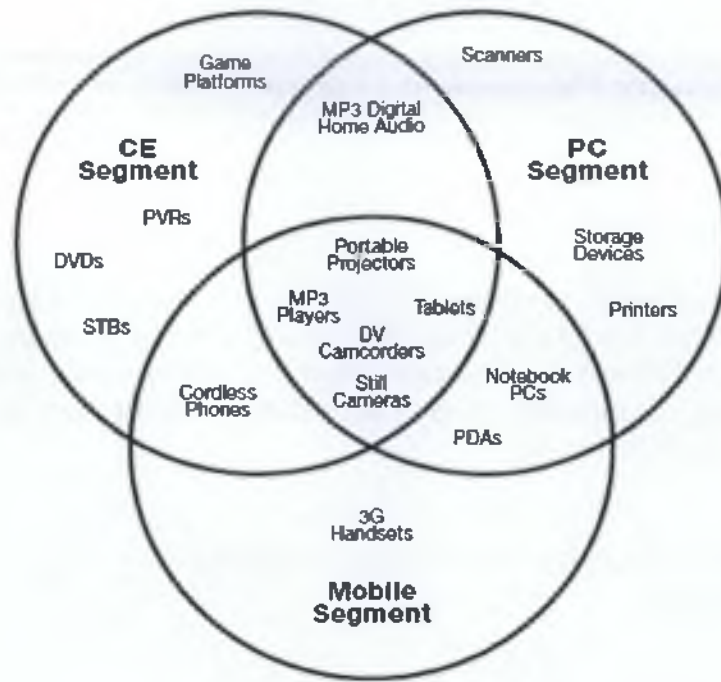
### 1.1 Η αιτία για UWB τεχνολογία

Το αναδυόμενο ψηφιακό περιβάλλον του σπιτιού αποτελείται από πολλές διαφορετικές συσκευές σήμανσης (π.χ. ψηφιακά βίντεο και ήχου παίκτες) συσκευές κινητών (π.χ. κινητά τηλέφωνα και PDAs) και προσωπικών υπολογιστών συσκευές (π.χ. φορητοί υπολογιστές notebook) που θα υποστηρίξει ένα πλήθος εφαρμογών. Αυτές οι συσκευές εμπίπτουν σε τρεις γενικές επικαλυπτόμενες κατηγορίες (Εικόνα 1):

- PC και το Διαδίκτυο
- Καταναλωτικά ηλεκτρονικά προϊόντα και το σύστημα μετάδοσης
- κινητά και φορητές συσκευές

Αυτές οι συσκευές συνήθως έχουν διατηρηθεί σε διαφορετικά δωμάτια και χρησιμοποιούνται για διάφορες λειτουργίες. Όλο και περισσότερο όμως, οι ιδιοκτήτες περιμένουν να αλληλεπιδρούν τα MP3 players, να γίνεται ανταλλαγή αρχείων με υπολογιστές, ψηφιακές συσκευές εγγραφής βίντεο επικοινωνία με αποκωδικοποιητές κλπ. Αυτή η σύγκλιση των τμημάτων της συσκευής απαιτεί μια κοινή ασύρματη τεχνολογία και το ραδιόφωνο που τους επιτρέπει εύκολα να διαλειτουργούν και να προσφέρουν υψηλή απόδοση για να φιλοξενήσει πολλαπλές γρήγορες συνδέσεις εφαρμογών. Επί του παρόντος, αυτά τα τμήματα χρησιμοποιούν διαφορετικές διασυνδέσεις και μορφές περιεχομένου.

Η επόμενη γενιά των PC, ηλεκτρονικών ειδών ευρείας κατανάλωσης και των κινητών εφαρμογών απαιτούν ταχύτητες σύνδεσης πέρα από τα 1 Mbps μέγιστος ρυθμός δεδομένων της τεχνολογίας Bluetooth, το οποίο χρησιμοποιείται από πολλές συσκευές για τη δημιουργία WPANs σήμερα. Αλλά πολλές συσκευές σήμανσης δεν μπορούν να υποστηρίξουν το κόστος και την ισχύ που απαιτείται από την υψηλότερη ταχύτητα 802.11a/b/g ραδιόφωνα για Wi-Fi δικτύωσης. Ενώ το Wi-Fi είναι πολύ πιο γρήγορο από ό,τι η τεχνολογία Bluetooth, αυτά ακόμα δεν παρέχουν επαρκείς επιδόσεις για να επιτρέπουν αποτελεσματικά τη συνεχή ροή των πολλαπλών ταυτόχρονων υψηλής ποιότητας βίντεο συνεχούς ροής. Η UWB τεχνολογία παρέχει την απόδοση που απαιτείται από την επόμενη γενιά των συσκευών. Πλέον, η υποστήριξη των πρωτοβουλιών του κλάδου, όπως και η Συμμαχία WiMedia, θα συμβάλει στη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας σε πολλαπλά πρωτόκολλα, συμπεριλαμβανομένων των IEEE 1394, USB και Universal Plug and Play (UPnP) διαδίδοντας έτσι την UWB τεχνολογία για λύση, δημιουργώντας υψηλής ταχύτητας, χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος WPANs.



**Εικόνα 1 :** Σύγκλιση των τμημάτων της συσκευής

## 1.2 Τι είναι το UWB;

Το UWB (Ultra wideband) είναι ένα ασύρματο σύστημα ψηφιακής επικοινωνίας που χρησιμοποιεί πολύ μεγάλο εύρος ζώνης (τάξης GHz) για να μεταδώσει τα δεδομένα. Αυτή είναι η βασική αρχή του UWB και πάνω σε αυτή την αρχή έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι για να μπορέσει αυτό να γίνει αποδοτικά. Το πολύ μεγάλο εύρος ζώνης συνεπάγεται και πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων σύμφωνα με τη θεωρία του Shannon περί χωρητικότητας καναλιού. Ιστορικά, σαν UWB χαρακτηρίζεται το σύστημα που χρησιμοποιεί μετάδοση εξαιρετικά σύντομων παλμών απευθείας στο ασύρματο κανάλι. Έχουμε δηλαδή μετάδοση βασικής ζώνης και μάλιστα μπορούμε προσεγγιστικά να πούμε ότι μεταδίδονται συρμοί κρουστικών παλμών. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε στις αρχές του αιώνα λόγω της απλότητάς της για μετάδοση σημάτων Morse από το Marconi. Επίσης, το μεγάλο εύρος ζώνης έχει και μια ξεχωριστή ικανότητα διάδοσης και διείσδυσης στα υλικά, γεγονός που οδήγησε στρατιωτικές δυνάμεις από τη δεκαετία του '60 μέχρι και τη δεκαετία του '90 στο να εκμεταλλεύονται την ιδιότητα αυτή και να κατασκευάζουν ειδικά ραντάρ που διαπερνούν τοίχους και τη γη.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία ημιαγωγών οδήγησαν στην πρόταση για χρήση του UWB στα "consumer electronics" τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Η τάση είναι για χρήση σε εσωτερικούς χώρους, καθώς το εύρος ζώνης που χρησιμοποιεί είναι νόμιμο μόνο για χαμηλή ισχύ μετάδοσης. Με αυτό τον περιορισμό, έχουν γίνει πολλές έρευνες για την καταλληλότερη χρήση του σαν τρόπο μετάδοσης ψηφιακών δεδομένων και σαν μικρής ισχύος ραντάρ κοντινών αποστάσεων.



### 1.3 Πως λειτουργεί το UWB

Οι Ultra wideband μεταδόσεις αποτελούνται από μεμονωμένα τετραγωνικά κύματα μονοκυκλικών παλμών που εκπέμπονται ανά πολύ μικρά διαστήματα. Εφαρμόζοντας μετασχηματισμό Fourier στους παλμούς UWB διαπιστώνουμε ότι αυτοί είναι απλωμένοι σε ένα εξαιρετικά μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Όταν η ενέργεια του παλμού υποδιαιρείται στο ευρύ φάσμα των συχνοτήτων που αυτός καταλαμβάνει, έχει παρατηρηθεί ότι το μέτρο της ενέργειας σε οποιαδήποτε μεμονωμένη συχνότητα είναι σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα ισχύος (λιγότερο από -30dB με -60dB). Το Ultra wideband δεν χρησιμοποιεί την παραδοσιακή φέρουσα ραδιοσυχνότητα (RF) όπως συμβαίνει στις κυψελωτές, δορυφορικές, καλωδιακές ή άλλες τεχνολογίες επικοινωνιών. Οι τεχνολογίες που είναι βασισμένες στη συχνότητα πρέπει να λειτουργούν σε συγκεκριμένες περιοχές του αυξανόμενου ραδιοφάσματος. Το UWB είναι μια τεχνολογία οπτικής επαφής επειδή η φυσική δομή του επιτρέπει να διαπερνά μέσα από τοίχους, το έδαφος και άλλα εμπόδια. Χρησιμοποιείται για τις συσκευές απεικόνισης "μέσω των τοίχων" και στο στρατό για διείσδυση του ραντάρ στο έδαφος. Το Ultra wideband λειτουργεί σε ισχύ της τάξης των microwatts, λιγότερο από το 1/1000 της απαραίτητης ισχύος που απαιτούν τα κυψελωτά τηλέφωνα. Αυτό καθιστά τα σήματα UWB εξαιρετικά ανθεκτικά στις παρεμβολές. Λόγω της χαμηλής ισχύος στη χρήση των σημάτων UWB μερικοί εμπειρογνώμονες λένε ότι μια μπαταρία θα μπορούσε πιθανώς να διαρκέσει μια ολόκληρη ζωή μεταδίδοντας αποκλειστικά παλμούς UWB. Λόγω της χαμηλής ισχύος χρήσης, τα σήματα UWB αναπτύσσονται κυρίως για τις περιορισμένου φάσματος εφαρμογές. Η απόσταση που θα χρειαστεί εξαρτάται από την παρεχόμενη ισχύ. Το Ultra wideband μπορεί να φθάσει από αρκετά μίλια έως μερικά μέτρα.

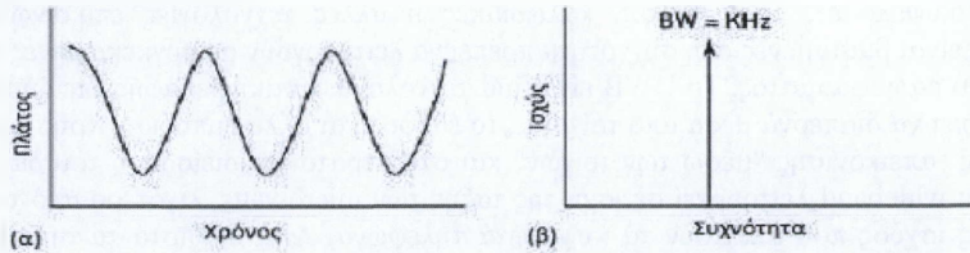
### 1.4 Ιστορική Εξέλιξη

Η έννοια του UWB αναπτύχθηκε στις αρχές του 1960 μέσω της έρευνας στον ηλεκτρομαγνητισμό πεδίο του χρόνου, όπου τεχνικές μέτρησης ώθησης χρησιμοποιήθηκαν για το χαρακτηρισμό της μεταβατικής συμπεριφοράς μιας συγκεκριμένης κατηγορίας των δικτύων μικροκυμάτων. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, τεχνικές μέτρησης ώθησης είχαν χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό των στοιχείων της κεραίας ευρείας ζώνης, που οδηγεί στην ανάπτυξη των συστημάτων επικοινωνίας και σύντομων παλμών ραντάρ. Το 1973, η πρώτη UWB επικοινωνία απονεμήθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για ένα δέκτη σύντομων παλμών. Μέσα από τα τέλη της δεκαετίας του 1980, το UWB αναφέρεται ως βασική ζώνη χωρίς φορέα τεχνολογίας ή άμεσης κατανάλωσης (ώθησης). Ο όρος υπερευρείας ζώνης επινοήθηκε περίπου το 1989 από το αμερικανικό υπουργείο Άμυνας. Μέχρι το 1989, η UWB θεωρία, τεχνικές και πολλές προσεγγίσεις εφαρμογής είχαν αναπτυχθεί για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως ραντάρ, επικοινωνίες, αποφυγή συγκρούσεων αυτοκινήτων, συστήματα εντοπισμού θέσης, υγρό επίπεδο αίσθησης και υψομετρία. Ωστόσο, μεγάλο μέρος της αρχικής εργασίας στον τομέα UWB σημειώθηκε στο στρατό ή χρηματοδοτήθηκε από την κυβέρνηση των ΗΠΑ μέσα από διαβαθμισμένα προγράμματα. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990, η UWB τεχνολογία είχε γίνει περισσότερο εμπορικής εκμετάλλευσης και η ανάπτυξή της είχε επιταχυνθεί σε μεγάλο βαθμό.

Μια σημαντική αλλαγή στην UWB ιστορία συνέβη τον Φεβρουάριο του 2002 που ήταν όταν η Αμερικανική Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) εξέδωσε αποφάσεις του UWB που παρείχαν τις πρώτες τους περιορισμούς για τη μετάδοση ακτινοβολίας UWB και επιτρέπεται η λειτουργία των UWB συσκευών σε μια βάση χωρίς άδεια.

## 1.5 Ιδέες της UWB τεχνολογίας

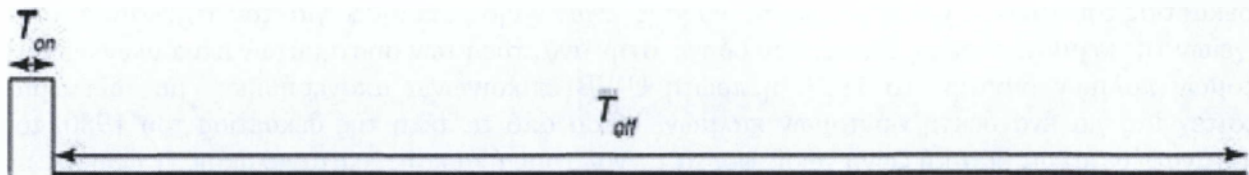
Τα παραδοσιακά τηλεπικοινωνιακά συστήματα στενής ζώνης (narrowband) διαμορφώνουν συνεχώς κυματομορφές (CW, continuous-waveform) RF παλμών με μία συγκεκριμένη συχνότητα φέροντος (carrier frequency) για την εκπομπή και λήψη πληροφορίας. Ένα σήμα συνεχούς κυματομορφής έχει μία καλά ορισμένη ενέργεια σε μια στενή ζώνη συχνοτήτων, κάτι που το καθιστά εύκολα ανιχνεύσιμο και ευάλωτο σε παρεμπόδιση ή παρεμβολή. Η εικόνα 2 δείχνει ένα σήμα στενής ζώνης στα πεδία του χρόνου και της συχνότητας.



Εικόνα 2 : Σήμα στενής ζώνης στο πεδίο (α) του χρόνου και (β) της συχνότητας

Τα UWB συστήματα χρησιμοποιούν μικρής χρονικής διάρκειας ( της τάξης των picoseconds–nanoseconds ) παλμούς χωρίς φέροντος με πολύ μικρό κύκλο λειτουργίας ( duty cycle, μικρότερο από 0,5%) για εκπομπή και λήψη πληροφορίας. Ένας απλός ορισμός του κύκλου λειτουργίας είναι ο λόγος του χρόνου κατά τον οποίο είναι εμφανής ο παλμός προς το συνολικό χρόνο εκπομπής, όπως περιγράφουν η παρακάτω εξίσωση και η εικόνα 3.

$$(1.1) \quad \text{Duty Cycle} = T_{on} / (T_{on} + T_{off})$$

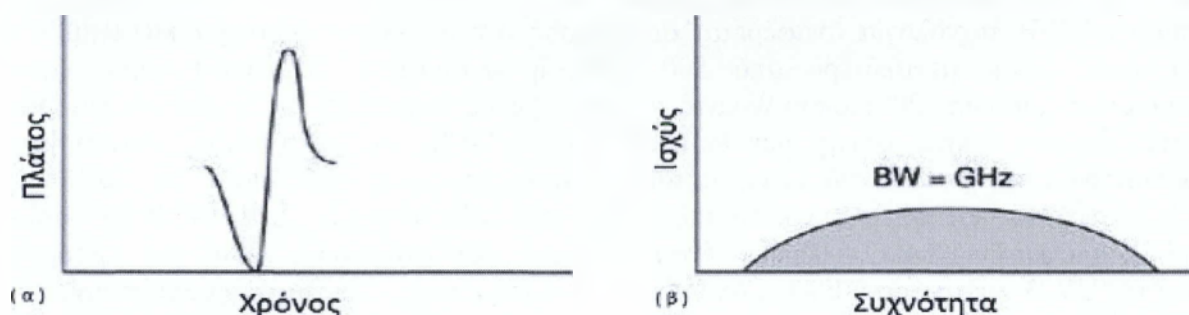


Εικόνα 3 : Παλμός μικρού κύκλου λειτουργίας

Ο μικρός κύκλος λειτουργίας προσφέρει μικρή μέση ισχύ εκπομπής στα UWB τηλεπικοινωνιακά συστήματα, η οποία είναι της τάξης των  $\mu\text{W}$ , δηλαδή χίλιες φορές μικρότερη από την ισχύ εκπομπής των κινητών τηλεφώνων. Ωστόσο, η μέγιστη ή η στιγμιαία ισχύς κάποιων UWB παλμών μπορεί να είναι σχετικά μεγάλη<sup>[1]</sup>, αλλά επειδή εκπέμπονται για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα ( $T_{on} < 1 \text{ ns}$ ), η μέση ισχύς θα γίνεται αισθητά χαμηλή.

[1]: Σε ορισμένες περιπτώσεις, η μέγιστη ισχύς των UWB παλμών έχει αναφερθεί ότι είναι περίπου 1 Watt για το 1Mbps στο 1 MHz.

Κατά συνέπεια, οι UWB συσκευές απαιτούν χαμηλή εκπεμπόμενη ισχύ χάρη σ' αυτόν τον έλεγχο του κύκλου λειτουργίας το οποίο ευθύς μεταφράζεται σε μεγαλύτερης διάρκειας ζωής μπαταρία για φορητό εξοπλισμό. Εφόσον η συχνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του χρόνου, οι μικρής διάρκειας UWB παλμοί “απλώνουν” την ενέργειά τους σε μία μεγάλη ζώνη συχνοτήτων, από σχεδόν συνεχή (dc, μηδενική συχνότητα) μέχρι μερικά GHz με πολύ μικρή πυκνότητα φασματικής ισχύος ( power spectral density, PSD)<sup>[2]</sup>. Στην εικόνα 4 φαίνονται οι UWB παλμοί στα πεδία του χρόνου και της συχνότητας.



Εικόνα 4 : UWB παλμός στο πεδίο (α) του χρόνου και (β) της συχνότητας

## 1.6 UWB σήματα

Όπως καθορίστηκε από την First Report and Order της FCC, τα UWB σήματα πρέπει να έχουν απόλυτο εύρος ζώνης μεγαλύτερο από 500 MHz ή κλασματικό εύρος ζώνης μεγαλύτερο από 20% καθ' όλη τη διάρκεια εκπομπής τους. Το κλασματικό εύρος ζώνης είναι ένας παράγοντας που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των σημάτων ως στενής ζώνης, ευρείας ζώνης ή υπερευρείας ζώνης και ορίζεται από το λόγο του εύρους ζώνης στο σημείο των 10 dB<sup>[3]</sup> προς την κεντρική συχνότητα.

(1.2)

$$B_f = (BW / f_c) \times 100\% = \{(f_h - f_l) / ((f_h + f_l) / 2)\} \times 100\% = \{2(f_h - f_l) / (f_h + f_l)\} \times 100\%$$

όπου  $f_h$  και  $f_l$  είναι η υψηλότερη και η χαμηλότερη αντίστοιχα συχνότητα αποκοπής ( στο σημείο των 10 dB ) του φάσματος ενός UWB παλμού.

Παρακάτω παρουσιάζεται η ταξινόμηση των σημάτων με βάση το κλασματικό εύρος ζώνης τους:

$$\text{Στενής ζώνης ( Narrowband ) : } B_f < 1\% \quad (1.3)$$

$$\text{Ευρείας ζώνης ( Wideband ) : } 1\% < B_f < 20\% \quad (1.4)$$

$$\text{Υπερευρείας ζώνης ( Ultra-wideband ) : } B_f > 20\% \quad (1.5)$$

[2]: Η φασματική πυκνότητα ισχύος είναι η ισχύς του σήματος στο πεδίο της συχνότητας.

[3]: Το σημείο των 10 dB αντιπροσωπεύει τη φασματική ισχύ του σήματος 10 dB χαμηλότερα από τη μέγιστη τιμή της.

## 1.7 Ρυθμιστικές καταστάσεις

### 1.7.1 Ρυθμίσεις της FCC

Το UWB είναι σημαντικό επειδή η FCC ρυθμίζει το ποσό ραδιοφάσματος που είναι διαθέσιμο για χρήση. Η FCC διανέμει το διαθέσιμο ραδιοφάσμα στα κυψελωτά τηλέφωνα, στην TV, στο ραδιόφωνο και διάφορες άλλες μορφές ασύρματης επικοινωνίας. Επομένως, τα διαφορετικά σήματα στέλνονται σε διαφορετικές συχνότητες και δεν προκαλούνται παρεμβολές μεταξύ τους. Εντούτοις, ένα μεγάλο πρόβλημα έχει προκύψει και είναι το αποτέλεσμα της εκθετικής αύξησης στη χρήση των ασύρματων επικοινωνιών. Το ραδιοφωνικό φάσμα είναι περιορισμένο και η ζήτηση γι' αυτό αυξάνεται συνεχώς. Το UWB μπορεί να παρέχει λύση σ' αυτό το πρόβλημα. Εξ ορισμού, η UWB τεχνολογία αναφέρεται σε οποιοδήποτε ασύρματο σύστημα καταλαμβάνει απόλυτο εύρος ζώνης μεγαλύτερο από 500 MHz ή κλασματικό (σχετικό) εύρος ζώνης  $W/f_c$  μεγαλύτερο ή ίσο από 20%, όπου  $W$  είναι το εύρος ζώνης εκπομπής και  $f_c$  είναι η κεντρική συχνότητα, δηλαδή εύρος ζώνης μεγαλύτερο από το 20% της συχνότητας λειτουργίας. Τα περισσότερα συστήματα στενής ζώνης καταλαμβάνουν εύρος μικρότερο από το 10% της κεντρικής συχνότητας και εκπέμπουν κατά πολύ υψηλότερα επίπεδα ισχύος. Στις 14 Φεβρουαρίου 2002, η FCC αποφάσισε να απελευθερώσει ένα πρωτοφανές ποσοστό εύρους ζώνης για εμπορική ανάπτυξη της UWB τεχνολογίας. Έπειτα από αρκετή άσκηση πίεσης, είτε για να χαλαρώσουν είτε για να γίνουν αυστηρότεροι οι περιορισμοί της FCC, η τελευταία υπέκυψε στις παρακλήσεις πολλών υποστηρικτών. Έτσι, ένα χρόνο αργότερα το Φεβρουάριο του 2003, η έκδοση της Memorandum Opinion and Order (MO&O) από την FCC διαβεβαίωσε τους ενδιαφερομένους ότι η UWB τεχνολογία ήρθε και θα μείνει. Η γκάμα των ενδιαφερομένων περιλαμβάνει από ηγετικές εταιρείες στο χώρο των οικιακών δικτύων (home networking) μέχρι κολοσσούς ηλεκτρονικών, όπως οι Philips Electronics και Samsung Electronics και λογισμικού, όπως οι Intel, Texas Instruments και Microsoft και ένα μεγάλο αριθμό εταιρειών ανάπτυξης UWB τεχνολογιών, όπως οι Multispectral Solutions, Pulse ~ LINK, Staccato Communications, Time Domain Corporation και XtremeSpectrum καθώς και αρκετές αμερικάνικες οργανώσεις, όπως η Ground Penetrating Radar Industry Coalition (GPRIC).

Η φασματική μάσκα (spectral mask) της FCC (δηλαδή οι λειτουργικοί περιορισμοί των UWB στις Η.Π.Α.) καθορίζει 7.5 GHz χρησιμοποιούμενου φασματικού εύρους ζώνης μεταξύ των συχνοτήτων 3.1GHz και 10.6 GHz για συσκευές τηλεπικοινωνιών. Επίσης, η FCC προστατεύει τους ήδη υπάρχοντες χρήστες που εκπέμπουν σ' αυτό το φάσμα περιορίζοντας την ισχύ του εκπεμπόμενου UWB σήματος. Τα συντηρητικά επίπεδα της φασματικής πυκνότητας ισχύος των UWB συσκευών περιορίζονται στα -41.3 dBm/MHz ή ισοδύναμα 75 nW/MHz.

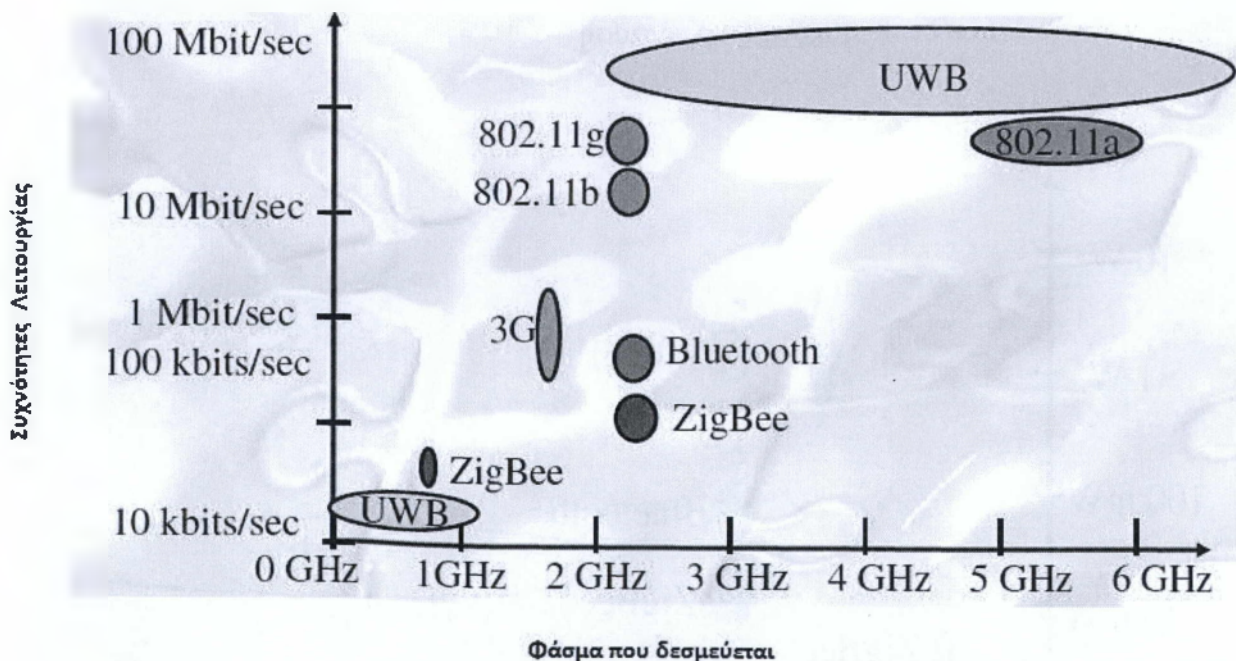
### 1.7.2 Παγκόσμιες ρυθμιστικές προσπάθειες

Προς το παρόν, η UWB τεχνολογία είναι νόμιμη μόνο στις Η.Π.Α. Ωστόσο, παγκόσμια ρυθμιστικά σωματεία επεξεργάζονται πιθανούς κανονισμούς και περιορισμούς εκπομπής που θα βοηθούσαν στη λειτουργία UWB συσκευών παγκοσμίως. Η Intel συνεργάζεται με προσπάθειες αρχών στην Ιαπωνία, την Ευρώπη και την Κίνα προκειμένου να επιτύχει ρυθμίσεις παρόμοιες με αυτές της FCC. Οι εναρμονισμένες ρυθμίσεις παγκοσμίως θα παρείχαν ένα σημαντικό όφελος για την UWB τεχνολογία, επιτρέποντας τη μετακίνηση συσκευών ανά τον κόσμο χωρίς διακοπή των υπηρεσιών. Παρόλο που τα ρυθμιστικά σωματεία εκτός των Η.Π.Α. είναι περισσότερο σκεπτικά σχετικά με τη βιωσιμότητα και τη νομιμοποίηση της UWB τεχνολογίας, διεξάγονται πολλές προσπάθειες ώστε αυτό να αλλάξει. Οι οδηγίες της FCC διαμορφώνουν το πλαίσιο για τους παγκόσμιους ρυθμιστικούς κανονισμούς με τον Καναδά, την Ευρώπη, την Ιαπωνία, την Κορέα και τη Σιγκαπούρη. Η αποδοχή των ρυθμίσεων αναμένεται σύντομα στην Ευρώπη και την Ασία χάρη στις πιεστικές προσπάθειες των Intel, Philips, Sony, Sharp, Panasonic, STMicroelectronics, Texas Instruments, Motorola και Wisair.

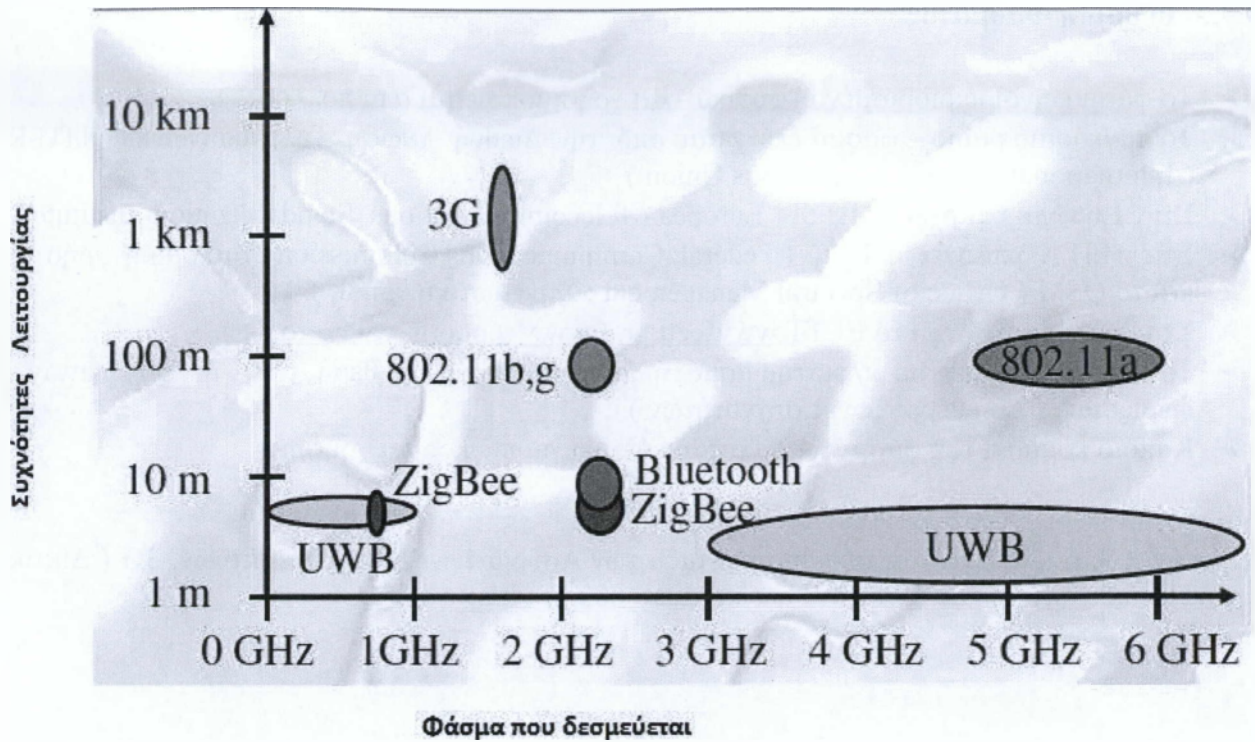
### 1.7.3 Ρύθμιση Φάσματος

- Το φάσμα είναι περιορισμένο “φυσικά” και χρησιμοποιείται από πολλούς.
- Το παγκόσμιο ράδιο – φάσμα ελέγχεται από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU-R ( International Telecommunications Union ).
- Στην Ευρώπη υπάρχει το ETSI ( European Telecommunications Standardization Institute ).
- Στις Η.Π.Α υπάρχει η FCC ( Federal Communications Commission : Εμπορική χρήση ) και το OSM ( Office of Spectral Management : Στρατιωτική χρήση ).
- Στην Ελλάδα υπάρχει το EETT [www.eett.gr](http://www.eett.gr) ( [www.ccpt.org](http://www.ccpt.org), [www.ero.dk](http://www.ero.dk) ).
- Το φάσμα μπαίνει σε πλειστηριασμό ή πληρώνεται με σταθερή τιμή ή “given away – δωρίζεται” ( ελεύθερες ζώνες συχνοτήτων ).
- Κάποιο κομμάτι του φάσματος “αποταμιεύεται” για παγκόσμια χρήση.

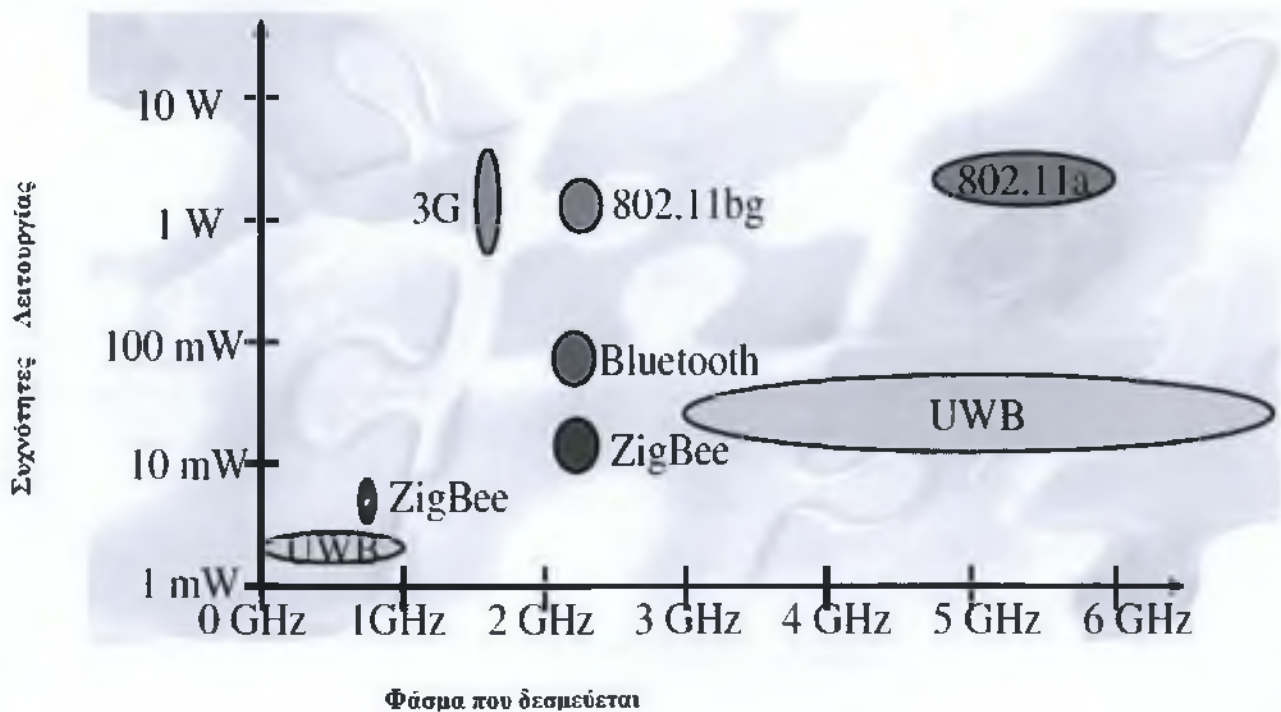
Στις Εικόνες 5, 6 και 7 γίνεται σύγκριση μεταξύ των Ασύρματων/ Κινητών Δικτύων, 3G ( Δίκτυο Κινητής Επικοινωνίας) και Wireless Lans πρότυπο 802.11a/b/g.



Εικόνα 5 : Ρυθμός Μετάδοσης



Εικόνα 6 : Απόσταση



Εικόνα 7 : Κατανάλωση Ισχύος

## Κεφάλαιο 2

### Τι κάνει το UWB μοναδικό;

#### 2.1 Σχεδιασμός στο Πεδίο του Χρόνου ( Time Domain )

Το UWB έχει ένα πολύ μοναδικό σύνολο απαιτήσεων σχεδιασμού και προσπαθούν να εφαρμόζουν τις αρχές της παραδοσιακής στενής ζώνης ή ακόμα και ευρυζωνικών επικοινωνιών, για το σχεδιασμό του I-UWB στα συστήματα μπορεί να είναι παραπλανητικά. Ανάλυση των I-UWB συστημάτων συχνά σημαίνει εξέταση της παλμικής αποκρίσεως του συστήματος, σε αντίθεση με τη σταθερή κατάσταση απόκρισης, ιδιαίτερα κατά την εξέταση της κεραίας απόκρισης. Επιδράσεις στο πεδίο του χρόνου μπορεί να περιλαμβάνουν τη συχνότητα παλμού εξαρτώμενη από παραμόρφωση που προσδίδεται από RF συνιστώσες ή το ασύρματο κανάλι, η διασπορά του παλμού που παράγεται από την κεραία, ή jitter χρονισμού<sup>[4]</sup> που παράγονται από μη ιδανικούς ταλαντωτές. Για τα παραδοσιακά συστήματα επικοινωνιών, οι παροδικές επιδράσεις είναι μόνο ένα μικρό κλάσμα της διάρκειας συμβόλου και μπορεί συχνά να αγνοηθεί. Σε I-UWB συστήματα, αυτά τα αποτελέσματα επηρεάζουν άμεσα την απόδοση του συνολικού συστήματος επικοινωνιών. Για παράδειγμα, το jitter χρονισμού θα οδηγήσει σε ατελή συσχέτιση στην απώλεια δέκτη ή δυναμικό των δεδομένων και συγχρονισμό του συστήματος για τα συστήματα διαμόρφωσης, όπου τα δεδομένα μεταδίδονται με την ακριβή θέση ενός παλμού.

#### 2.2 Επιπτώσεις της κεραίας

Μία από τις προκλήσεις της εφαρμογής των UWB συστημάτων είναι η ανάπτυξη μιας κατάλληλης κεραίας που θα ενισχύσει τα πλεονεκτήματα που υποσχέθηκε από ένα παλμικό σύστημα επικοινωνίας. Το I-UWB απαιτεί κεραίες που μπορεί να καλύψουν πολλές οκτάβες εύρους ζώνης, ώστε να μεταδίδουν παλμούς της τάξεως του ενός nanosecond σε διάρκεια με ελάχιστη παραμόρφωση. Επειδή τα δεδομένα μπορούν να περιέχονται στο σχήμα ή στο χρονισμό του παλμού, μία καθαρή παλμική απόκριση (δηλαδή, ελάχιστη παραμόρφωση παλμού) μπορεί να θεωρηθεί ως μια πρωταρχική απαίτηση για μια καλή I-UWB κεραία.

Ενώ μπορεί να είναι πιο διαισθητική για μηχανικούς επικοινωνίας να σκέφτονται την απόδοση μιας κεραίας όσον αφορά τα χαρακτηριστικά συχνότητας τομέας του, η απόκριση μιας κεραίας σε ένα I-UWB παλμού ρεύματος μπορεί καλύτερα να περιγραφεί με όρους των χρονικών χαρακτηριστικών του. Μια ιδανική κεραία UWB πρέπει να είναι σχετικά πιο αποτελεσματική σε ολόκληρη η ζώνη συχνοτήτων με μια τάση Ratio Wave μόνιμη (VSWR) το πολύ 2:1. Για να αποφευχθεί η στρέβλωση του παλμού, μια ιδανική κεραία UWB πρέπει να παράγει πεδία ακτινοβολίας με σταθερό μέγεθος και μία μετατόπιση φάσης που μεταβάλλεται γραμμικά με τη συχνότητα. Μια κεραία που ικανοποιεί τα χαρακτηριστικά αυτά θα εκπέμψει ένα σήμα το οποίο είναι μόνο ένα παράγωγο του χρόνου του σήματος εισόδου.

[4]: Το Jitter είναι η ανεπιθύμητη απόκλιση από την πραγματική περιοδικότητα ενός υποτιθέμενου περιοδικού σήματος στα ηλεκτρονικά και τις τηλεπικοινωνίες, συχνά σε σχέση με μια πηγή ρολογιού αναφοράς. Το Jitter μπορεί να παρατηρηθεί σε χαρακτηριστικά, όπως η συχνότητα των διαδοχικών παλμών, το εύρος του σήματος, ή της φάσης περιοδικών σημάτων. Το Jitter είναι ένα σημαντικό, και συνήθως ανεπιθύμητο, παράγοντας στο σχεδιασμό του σχεδόν όλες τις συνδέσεις επικοινωνίας (π.χ. USB, PCI-e, SATA, OC-48). Σε εφαρμογές αποκατάστασης ρολογιού ονομάζεται **jitter χρονισμού**.

Στην πραγματικότητα, λόγω του μεγέθους και των περιορισμών κόστους, πρακτικά οι UWB κεραίες μπορεί να μην πληρούν τις προηγούμενες απαιτήσεις. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι από την στρέβλωση που προκαλεί η κεραία μπορεί να αλλάξει με την ανύψωση και την αζιμούθιο (azimuth) γωνία. Έτσι, μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα αποτελέσματα αυτά τελικά θα συμπεριληφθούν στο μοντέλο υποτιθέμενου καναλιού.

### 2.3 Διάδοση και Μοντέλα Καναλιού

Για να εκτελέσετε συστήματα σε επίπεδο μηχανικής, τα UWB χαρακτηριστικά διάδοσης πρέπει να ληφθούν υπόψη. Το UWB διαφέρει από τη συμβατική επικοινωνία στο οποίο το σήμα μπορεί να περνά πάνω από παρεμβολές. Αυτή η παρέμβαση πρέπει να θεωρηθεί ότι στον προϋπολογισμό του συνδέσμου και στην πραγματικότητα μπορεί συχνά να είναι ο κύριος λόγος για τους περιορισμούς απόδοσης. Ένα άλλο ζήτημα είναι η εισαγωγή μεγάλου αριθμού πολλαπλών σημάτων που δεν ήταν επιλύσιμο σε στενής ζώνης συστήματα επικοινωνίας. Οι μετρήσεις των τυπικών καναλιών UWB έχουν αποκαλύψει πυκνά, πολλαπλών διαδρομών πλούσια περιβάλλοντα, επιτρέποντας στους δέκτες RAKE που μπορούν να συλλέξουν ένα τεράστιο ποσό ενέργειας. Επιπλέον, η UWB διάδοση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την επίδραση της κεραίας που έχει από το σχήμα και της διάρκειας του μεταδιδόμενου παλμού.

### 2.4 Σχεδιασμός Πομπού και Δέκτη

Ο σχεδιασμός RF για UWB συστήματα είναι διαφορετικός από την παραδοσιακή στενής ζώνης ή ευρυζωνικά συστήματα με διάφορους τρόπους. Το εξαιρετικά μεγάλο εύρος ζώνης του UWB απαιτεί RF εξαρτήματα που έχουν επίπεδη απόκριση συχνότητας. Σημαντική απόκλιση ή κυμάτωση στην απόκριση συχνότητας των RF συνιστωσών καθώς και οι μη γραμμικότητες παρουσιάζονται σε όλες τις συσκευές RF, θα εισαγάγει παραμόρφωση του UWB σήματος. Τα UWB μεταδιδόμενα σήματα έχουν επίσης μια πολύ υψηλή κορυφή σε μέση αναλογία ισχύος ( PAPR ). Όπως τα RF εξαρτήματα είναι περιορισμένη ισχύ αιχμής, καθίσταται σημαντικό να διασφαλιστεί ότι όλες οι συσκευές έχουν μια RF ικανότητα χειρισμού ισχύος τουλάχιστον τόσο μεγάλη όσο η μέγιστη δύναμη στο UWB σήμα. Επιπλέον, η συνύπαρξη του UWB και των υφιστάμενων υπηρεσιών σημαίνει ότι τα στενής ζώνης σήματα παρεμβολής θα ανιχνεύονται από το δέκτη. Αυτά τα σήματα στενής ζώνης μπορούν να καταστρέψουν είτε τον παλμό είτε τον κορεσμό του RF προσκηνίου, μειώνοντας τη δυναμική περιοχή του δέκτη και περιορίζοντας αποτελεσματικά το εύρος του συστήματος UWB. Παρουσιάζοντας φίλτρα με εγκοπές στο δέκτη είναι μια πιθανή λύση, οι παλμοί διαμόρφωσης τεχνικές παρέχουν μια εναλλακτική μέθοδο για τον περιορισμό στενής ζώνης χωρίς στρέβλωση της κυματομορφής UWB. Οι περισσότερες UWB τεχνικές δεκτών απαιτούν εξαιρετικά ακριβή συγχρονισμό με τον πομπό, καθώς και σταθερές ταλαντωτές για να διατηρηθεί ο συγχρονισμός. Με ορισμένα I-UWB σχήματα διαμόρφωσης, τα δεδομένα μπορούν να μεταφέρονται με την ακριβή θέση ή χρονισμού του παλμού και μία απώλεια ακριβούς συγχρονισμού θα μπορούσε να οδηγήσει σε απώλεια δεδομένων.



## 2.5 Θέματα δικτύωσης

Μια βασική εφαρμογή οδήγησης του UWB είναι μια υψηλή ταχύτητα Wireless Personal Area Network (WPAN) περιορίζεται σε μια μικρή περιοχή κάλυψης (λιγότερο από 10 m ακτίνα). Το δίκτυο θα πρέπει να είναι ένα αυτο-οργανωμένο, δυναμικό ad hoc δίκτυο, το οποίο σημαίνει ότι το δίκτυο σχηματίζεται χωρίς προηγμένο σχεδιασμό και ότι οι χρήστες μπορούν να συμμετέχουν ή να φύγουν οποιαδήποτε στιγμή. Η ασφάλεια των δικτύων είναι επίσης ένα σημαντικό ζήτημα. Ακόμα κι αν τα UWB σήματα μπορούν να έχουν μια μικρή πιθανότητα της τομής (LPI), εξακολουθεί να είναι σημαντικό να παρέχει έλεγχο ταυτότητας, εμπιστευτικότητας, ακεραιότητας και διαθεσιμότητας. Μεταβλητή τρόπων λειτουργίας θα πρέπει να επιτρέπει τόσο μεγάλης εμβέλειας, χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων επικοινωνιών όσο και μικρής εμβέλειας, υψηλής ταχύτητας συνδέσεις πολυμέσων ή για μεγάλες μεταφορές δεδομένων.

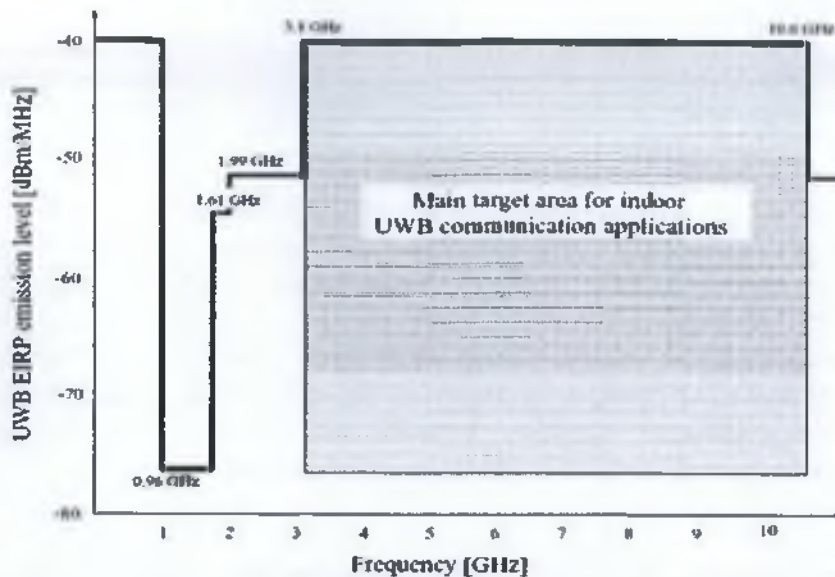
## 2.6 Ποια συστήματα χαρακτηρίζονται ως UWB και νομοθεσία

Σαν UWB χαρακτηρίζονται τα σήματα που έχουν εύρος ζώνης (Bandwidth, BW) ίσο ή μεγαλύτερο από 500 MHz, ή κλασματικό εύρος ζώνης (Fractional Bandwidth, FB) μεγαλύτερο από το 20% της κεντρικής του συχνότητας. Το FB ορίζεται ως εξής :

$$(2.1) \quad FB = BW / f_c \quad , \quad \text{όπου } f_c \text{ η κεντρική συχνότητα του φάσματος.}$$

Το μεγάλο ενδιαφέρον για τις UWB επικοινωνίες πυροδοτήθηκε από τους κυβερνώντες της FCC, το Φεβρουάριο του 2002 όταν ενέκριναν την ελεύθερη εμπορική εκμετάλλευση της UWB τεχνολογίας υπό έναν αυστηρό έλεγχο της ισχύος σε φάσμα 7500 MHz , που καταλαμβάνει τη ζώνη συχνοτήτων από 3.1 GHz ως 10.6 GHz. Αυτή η φασματική μάσκα είναι μεγάλη από άποψη εύρους ζώνης, αλλά πολύ χαμηλή από την πλευρά του PSD (Φασματική Πυκνότητα Ενέργειας). Αυτό το γεγονός επηρεάζει σαφώς το σχεδιασμό των συστημάτων και τις ιδιότητές τους. Η δύναμη της FCC για τη φασματική πυκνότητα ορίου εκπομπών για πομπούς UWB είναι -41,3 dBm / MHz. Το όριο αυτό ισχύει επίσης για μη σκόπιμες εκπομπές στη ζώνη UWB. Ωστόσο, το όριο εκπομπής για UWB εκπομπές μπορεί να είναι σημαντικά χαμηλότερο ( τόσο χαμηλό όπως -75 dBm / MHz) σε άλλα τμήματα του φάσματος.

Υπήρξε ανησυχία για παρεμβολές μεταξύ στενής ζώνης και των UWB σημάτων αν μοιράζονται το ίδιο φάσμα. Νωρίτερα, η μόνη τεχνολογία ραδιοφώνου που λειτουργούσε χρησιμοποιώντας παλμούς ήταν ο σπινθήρας - χάσματος πομπών ( που είχαν απαγορευτεί λόγω παρεμβολών σε μεσαίου κύματος δέκτες ) αλλά το UWB χρησιμοποιεί χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Το θέμα καλύφθηκε εκτενώς στο πλαίσιο της διαδικασίας που οδήγησε στην υιοθέτηση των κανόνων της FCC στις ΗΠΑ και στις συνεδριάσεις που σχετίζονται με το UWB της ITU-R, που οδηγεί σε έκθεση και τις συστάσεις της σχετικά με την τεχνολογία UWB.



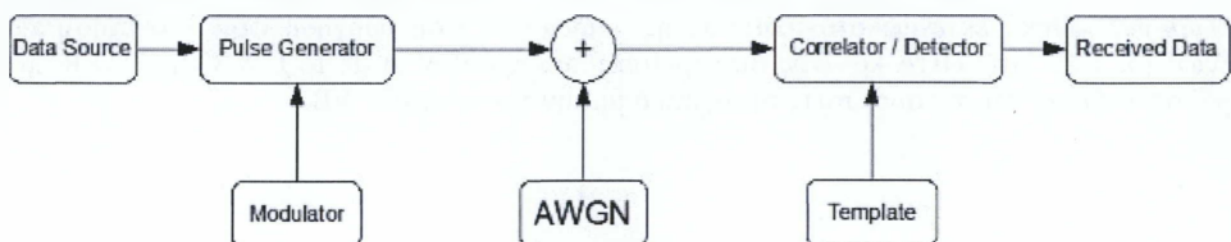
Εικόνα 8 : Φασματική μάσκα ακτινοβολίας της FCC για τα UWB συστήματα

## 2.7 Κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος UWB

### 2.7.1 Η Ιδέα του Impulse Radio UWB

Για να γίνει πιο συγκεκριμένη η εικόνα για τον τρόπο που λειτουργεί το UWB, θα αναφερθεί η βασική αρχή του Impulse Radio, η οποία είναι εξαιρετικά απλή.

Ένας πομπός που θέλει να μεταδώσει σήμα Impulse Radio UWB, θα πρέπει να έχει σαν βασικά χαρακτηριστικά του: Ένα υποσύστημα δημιουργίας παλμών, ένα υποσύστημα ενσωμάτωσης των δεδομένων (ή / και κωδικών για πολλαπλή πρόσβαση χρηστών) και τέλος, το στάδιο εξόδου. Αν υποθέσουμε ότι το κανάλι είναι AWGN, τότε ο δέκτης χρειάζεται γενικά ένα στάδιο εισόδου και ένα Correlator Detector ο οποίος θα τροφοδοτείται από κάποια συνάρτηση (template) η οποία στη γενική περίπτωση είναι προυπολογισμένη. Το γενικό block διάγραμμα είναι στο παρακάτω σχήμα. Γενικώς, με τον όρο modulator (διαμορφωτής) στο UWB αναφερόμαστε στο υποσύστημα το οποίο ενσωματώνει τα δεδομένα στους παλμούς. Αυτή η έννοια της διαμόρφωσης δεν είναι η ίδια με την παραδοσιακή έννοια της διαμόρφωσης φορέα (carrier modulation). Από δω και στο εξής, ο όρος διαμόρφωση (modulation) θα αναφέρεται αποκλειστικά στην έννοια του UWB εκτός και αν αναφερθεί κάτι άλλο.



Εικόνα 9 : Απλοποιημένο Block Διάγραμμα για Σύστημα Μετάδοσης UWB

### 2.7.2 Κατανάλωση Ισχύος

Το UWB έχει χαμηλή κατανάλωση ισχύος για διάφορους λόγους. Έχει πολύ χαμηλό duty cycle καθώς οι παλμοί του είναι κρουστικοί (στην πραγματικότητα έχουν καθορισμένο σχήμα). Έτσι, η ενέργεια μεταδίδεται ακαριαία και σε υψηλά σχετικά επίπεδα, κατά μέσο όρο όμως θα έχουμε χαμηλή ενέργεια. Επίσης, λόγω νομοθεσίας η φασματική πυκνότητα ενέργειας ( PSD ) του σήματος πρέπει να είναι χαμηλή. Επιπλέον το εύρος ζώνης θα είναι της τάξης των GHz και έτσι το PSD μπορεί να προσεγγίζει το κατώφλι του λευκού θορύβου, επιτρέποντας στο σύστημα να χαρακτηριστεί ως συσκευή πολύ χαμηλής ακτινοβολίας ( unintentional radiator ), όπως οι μη - τηλεπικοινωνιακές συσκευές.

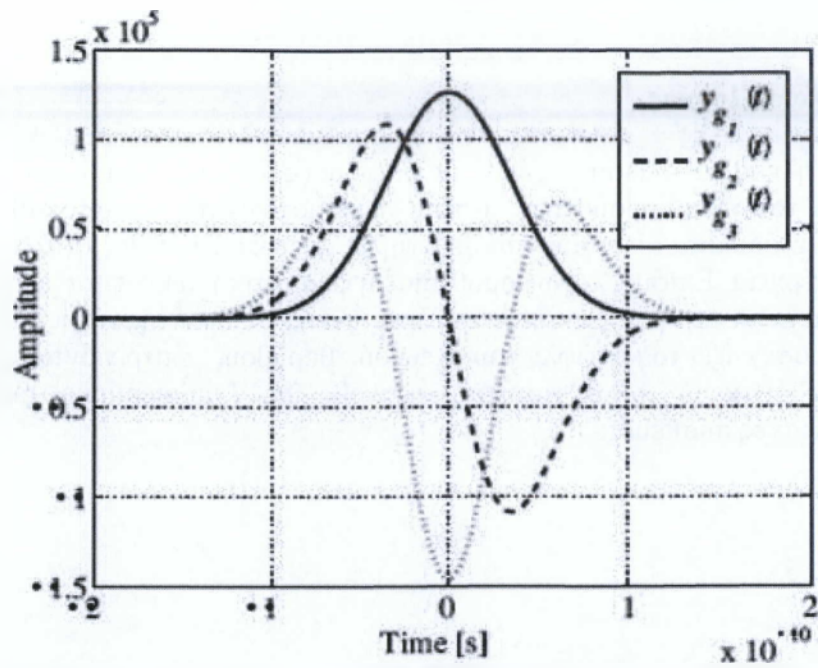
### 2.7.3 Παλμοί

Οι παλμοί στο UWB είναι εξαιρετικά σύντομοι, με διάρκεια κάτω από το 1 ns. Η περίοδος όμως είναι αρκετά μεγαλύτερη της τάξης των 100 ns. Αυτές οι τιμές βέβαια μεταβάλλονται ανάλογα με την επιθυμητή ταχύτητα μετάδοσης.

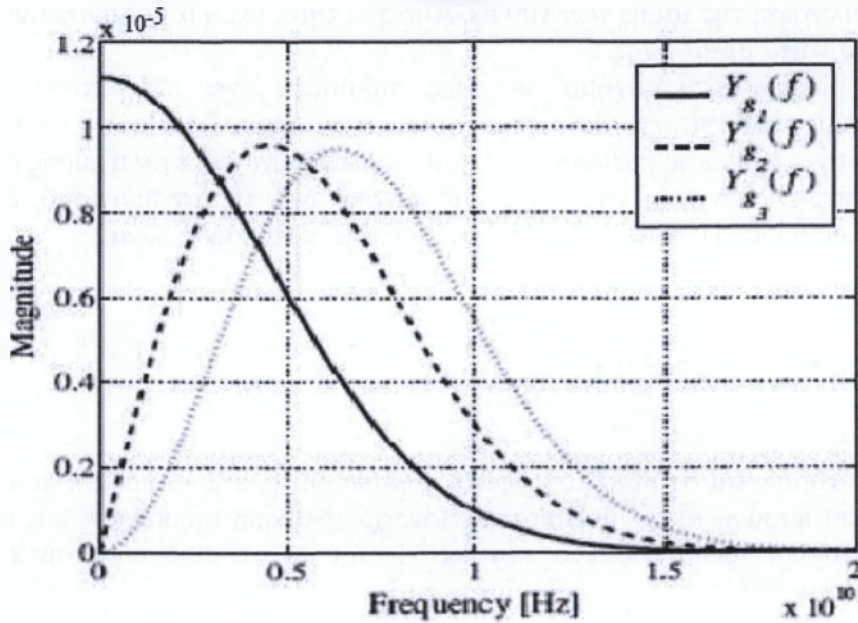
Αν και δεν υπάρχει υποχρεωτικό σχήμα για τους παλμούς, έχει επικρατήσει σε ερευνητικές εργασίες να χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα σχήματα τα οποία βασίζονται σε κάποια παράγωγο της συνάρτησης της κανονικής κατανομής. Αυτοί οι παλμοί έχουν μεγάλο εύρος ζώνης και μαζί με το γεγονός ότι έχουν σύντομη διάρκεια, μας δίνουν ένα μετασχηματισμό Fourier που έχει εξαιρετικά μεγάλο εύρος. Η συνάρτηση της κανονικής κατανομής είναι:

$$(2.2) \quad G(x) = \{1 / \sqrt{2\pi\sigma^2}\} e^{-x^2 / 2\sigma^2}$$

Ο παλμός αυτός ονομάζεται στη βιβλιογραφία Gaussian pulse, ενώ οι παλμοί που βασίζονται στην πρώτη και δεύτερη παράγωγο ονομάζονται αντίστοιχα gaussian monocycle και gaussian doublet. Ο τελευταίος είναι ευρέως διαδεδομένος και προτείνεται για την εισαγωγή του impulse radio στις επικοινωνίες.



(α)



(β)

Εικόνα 10 : Γκαουσιανός παλμός και οι πρώτες δύο παράγωγοί του για μοναδιαία ενέργεια παλμού

#### 2.7.4 Παλμοσειρές

Η μετάδοση δεδομένων απαιτεί μεγάλους συρμούς από παλμούς, οι οποίοι θα εκπέμπονται περιοδικά από τον πομπό. Αν θεωρήσουμε προσεγγιστικά ότι ο γκαουσιανός παλμός έχει επίπεδο εύρος ζώνης και ότι μεταδίδεται με σταθερή περίοδο, τότε θα έχουμε ουσιαστικά ένα φίλτρο χτένας με υψηλές κορυφές σε ορισμένες συχνότητες. Αυτό δεν είναι επιθυμητό καθώς το UWB πρέπει να έχει ομαλά κατανομημένη την ισχύ στις συχνότητες για να μην ξεπερνάει τη μάσκα του PSD που επιβάλλεται από την νομοθεσία. Έτσι, μία λύση που προτείνεται είναι να υπάρχει μία ψευδοτυχαία μετακίνηση των παλμών στο χρόνο, έτσι ώστε το σήμα να αποκτήσει ένα χαρακτήρα θορύβου. Αυτό το γεγονός μας εισάγει στη διαμόρφωση TH-PPM (Time Hopping Pulse Position Modulation) και εκτός από την εξομάλυνση του φάσματος, μας προσφέρει και ένα τρόπο να έχουμε εξυπηρέτηση πολλαπλών χρηστών.

### 2.7.5 Συμπεριφορά στην Πολυόδευση

Με τον όρο πολυόδευση (multipath) αναφερόμαστε στο χαρακτήρα του ασύρματου καναλιού αν θεωρήσουμε ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαδίδεται σε ακτίνες. Όταν η κεραία του πομπού εκπέμπει την ακτινοβολία, τότε λόγω φαινομένων ανάκλασης, διάθλασης, διάχυσης, απορρόφησης κλπ, ο δέκτης θα λάβει το αρχικό σήμα σε πολλαπλά αντίγραφα μετατοπισμένα στο χρόνο και με διάφορες αλλαγές στη φάση και το μέτρο.

Το σύστημα UWB χαρακτηρίζεται ως εξαιρετικά ανθεκτικό σε αυτό το φαινόμενο. Οι παλμοί του είναι πολύ σύντομοι και η μέθοδος ανίχνευσης παλμών εκμεταλλεύεται τη γνώση της ακριβούς θέσης τους, στην περίπτωση που ο δέκτης είναι συγχρονισμένος με τον πομπό. Έτσι, οι παλμοί που θα προκύπτουν από ανακλάσεις θα βρίσκονται εκτός θέσης και θα απορρίπτονται. Αυτή είναι γενικά μία εξιδανίκευση, καθώς ο συγχρονισμός δεν είναι πάντα εύκολος και ίσως να προϋποθέτει μερική γνώση του καναλιού η οποία πρέπει να αποκτηθεί.

### 2.7.6 Χαρακτηριστικά Διείσδυσης

Λόγω των χαμηλών συχνοτήτων που περιλαμβάνει το φάσμα του σήματος UWB, η ακτινοβολία του πομπού θα αποτελείται από συνιστώσες με μεγάλο μήκος κύματος οι οποίες μπορούν να διαπεράσουν τοίχους και γενικότερα ογκώδη εμπόδια με ευκολία. Οι υψηλές συχνότητες βέβαια θα απορροφηθούν από το υλικό, αλλά η ανίχνευση μπορεί να σχεδιαστεί με βέλτιστο τρόπο ώστε να χάνεται η ελάχιστη δυνατή πληροφορία.

Αυτή είναι μία σημαντική ιδιότητα του UWB που όμως ίσως να μην μπορεί να είναι πάντοτε εκμεταλλεύσιμη καθώς ο οργανισμός FCC έχει επιβάλλει υψηλότερη κεντρική συχνότητα στη μάσκα του φάσματος και έτσι, οι χαμηλές συχνότητες που οφείλονται για τη διεισδυτικότητα της ακτινοβολίας δεν είναι παρούσες.

### 2.7.7 Υψηλή Ταχύτητα Μετάδοσης

Σύμφωνα με τη θεωρία του Shannon για τη χωρητικότητα του καναλιού Προσθετικού Λευκού Γκαουσιανού Θορύβου (AWGN) η ταχύτητα μετάδοσης αυξάνεται όσο αυξάνεται και το bandwidth σύμφωνα με τον τύπο :

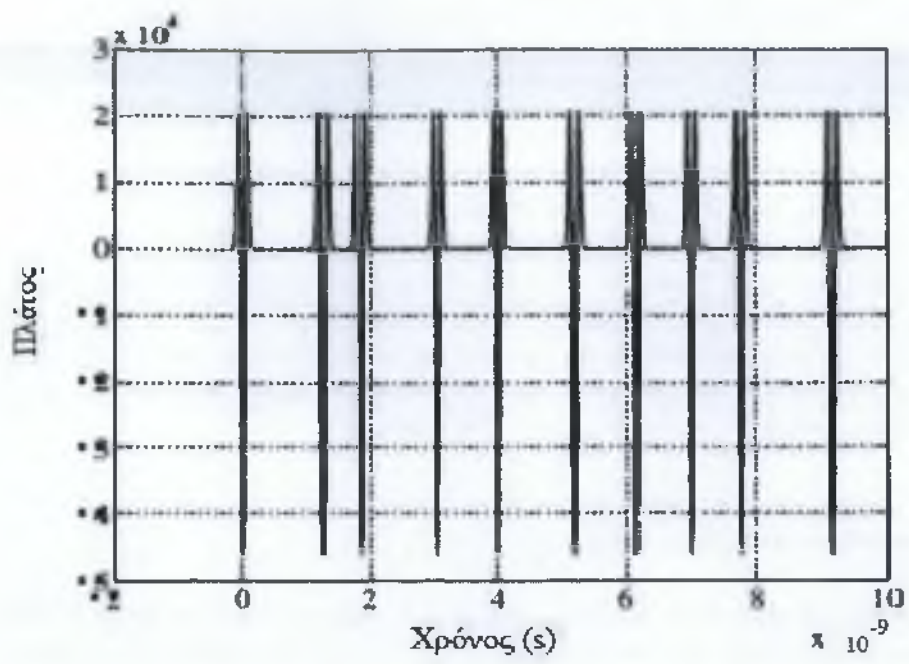
$$(2.3) \quad C = BW \log_2 ( 1 + S / N_0 BW )$$

όπου  $N_0 / 2$  είναι το PSD του θορύβου και  $S$  η ισχύς του σήματος.

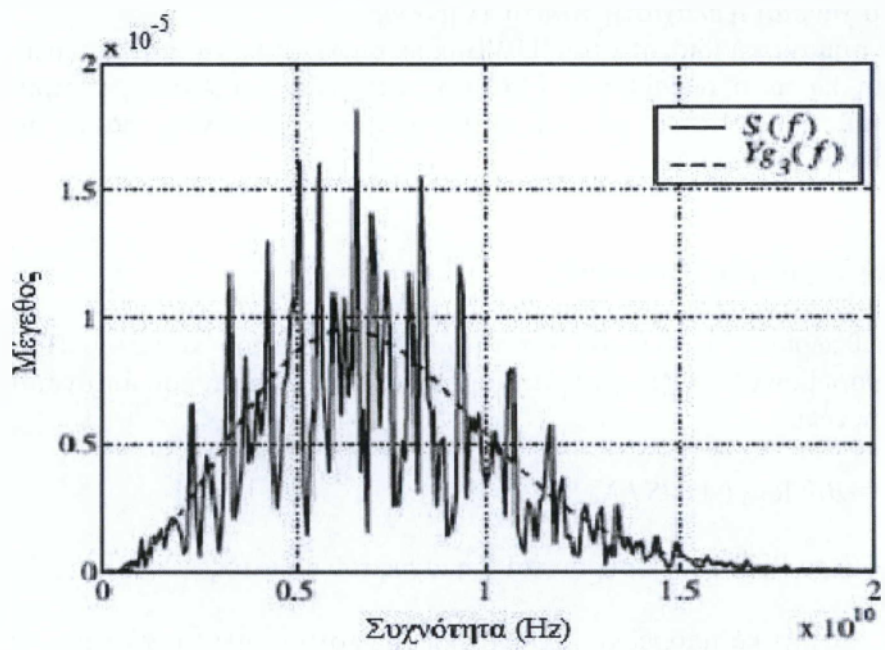
Έτσι, το UWB θεωρητικά μπορεί να λειτουργήσει σε πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης λόγω του μεγέθους του όρου  $BW$ .

### 2.7.8 Λοιπά Χαρακτηριστικά

Ένα σύστημα UWB μπορεί να έχει πολύ μικρό μέγεθος, ώστε να χωράει σε ένα chip μεγέθους της τάξης του ενός cm. Επίσης, το κόστος κατασκευής του είναι πολύ μικρό και η κατανάλωσή του επίσης πολύ μικρή της τάξης των 100 mW. Όλα αυτά οφείλονται στην εξαιρετικά χαμηλή πολυπλοκότητα της κατασκευής τους και στο γεγονός ότι ο δέκτης μπορεί να υλοποιηθεί σε ένα πολύ μεγάλο ποσοστό μόνο από ψηφιακά dsp components.



(α)



(β)

Εικόνα 11 : Παλμοσειρά UWB

## 2.8 Χαρακτηριστικά UWB μοντέλων καναλιού

Ανάλυση και σχεδιασμός των UWB συστημάτων επικοινωνιών απαιτεί ένα ακριβές μοντέλο κανάλι για να καθορίσει το που μπορεί να επιτευχθεί, να σχεδιάσουν αποτελεσματική διαφοροποίηση και συστήματα κωδικοποίησης, καθώς και για την ανάπτυξη που σχετίζεται επεξεργασίας σημάτων αλγορίθμων. Παρά το γεγονός ότι τα στενής ζώνης ασύρματα κανάλια είναι καλά τεκμηριωμένες στη λογοτεχνία, δεν μπορούν να γενικευτούν άμεσα τα UWB κανάλια. Ειδικότερα, τα στενής ζώνης κανάλια χτίστηκαν με βάση ένα εύρος ζώνης του σήματος μικρότερη από 20 MHz. Η ακτινοβολία στα UWB συστήματα, από την άλλη πλευρά, μπορεί να καλύψει μέχρι και 10 GHz της ζώνης. Ένα τέτοιο μεγάλο εύρος ζώνης δημιουργεί σημαντικές διαφορές μεταξύ UWB και στενής ζώνης κανάλια, ιδίως όσον αφορά τον αριθμό των επιλύσιμων διαδρομών και τους χρόνους άφιξης των πολλαπλών συνιστωσών. Ειδικότερα, το μεγάλο εύρος ζώνης μιας κυματομορφής UWB αυξάνει σημαντικά την ικανότητα του δέκτη για να επιλύσει μια σειρά από προβληματισμούς σε UWB κανάλια. Ως αποτέλεσμα, το λαμβανόμενο σήμα περιλαμβάνει ένα σημαντικό αριθμό επιλύσιμων πολλαπλών συνιστωσών. Επιπλέον, λόγω προστίμου για ανάλυση χρόνου μιας UWB κυματομορφής, τα κατασκευαστικά στοιχεία πολλαπλών διαδρομών τείνουν να εμφανιστούν σε ένα σύμπλεγμα και όχι σε ένα συνεχές, όπως είναι κοινή για κανάλια μικρού εύρους. Τα τελευταία χρόνια, πολλές ερευνητικές προσπάθειες έχουν αφιερωθεί στην μοντελοποίηση UWB καναλιού για να κατασκευάσουν μοντέλα καναλιού που είναι σε θέση να συλλάβει αυτά τα σημαντικά χαρακτηριστικά των UWB καναλιών. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης για την εσωτερική επικοινωνία με UWB σήματα παρουσιάστηκαν, το κανάλι UWB μοντελοποιείται ως ένα tap-delay-line διαλείψεων μοντέλο και το πλάτος των πολλαπλών διαδρομών συντελεστών χαρακτηρίζεται από τη Nakagami-m κατανομή.

Τα μοντέλα διάδοσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: μεγάλου και μικρού μεγέθους μοντέλα. Τα μεγάλης κλίμακας μοντέλα χαρακτηρίζουν την ισχύ του σήματος σε μεγάλες πομπού-δέκτη αποστάσεις διαχωρισμού και τα μικρής κλίμακας μοντέλα χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά του σήματος σε μια πολύ μικρή απόσταση (έως 30 μέτρα σε εξωτερικούς χώρους ή σε απόσταση λίγων μέτρων στο εσωτερικό).

### 2.8.1 Μεγάλης κλίμακας μοντέλα

Τα μεγάλης κλίμακας μοντέλα περιγράφονται από μοντέλα απώλειας διαδρομής και σκίασης. Συγκεκριμένα, τα μοντέλα απώλειας διαδρομής περιγράφουν την εξασθένηση του σήματος μεταξύ πομπού και δέκτη. Τα μοντέλα απώλειας διαδρομής παρέχουν μια μέση τιμή της ισχύος του σήματος ως συνάρτηση της απόστασης διάδοσης. Αυτό που χαρακτηρίζει την σκίαση είναι η αργή μεταβολή του κονδυλίου του σήματος με την πάροδο του χρόνου γύρω από το ντετερμινιστικό αξίας απώλειας διαδρομής. Η συμπεριφορά της σκίασης προκαλείται από μεγάλα εμπόδια ( π.χ. κτίρια ή τοπία ) που είναι μακριά από το δέκτη.

Τόσο η απώλεια διαδρομής όσο και η σκίαση επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των τοπικών χαρακτηριστικών εδάφους, εύρος ζώνης του σήματος και τη συχνότητα του μεταφορέα. Μέχρι σήμερα, οι περισσότερες από τις υπάρχουσες απώλειες διαδρομής και μοντέλα σκίασης για UWB επικοινωνίες βασίζονται σε μοντέλα στενής ζώνης με ορισμένες τροποποιήσεις στο λογαριασμό για το γεγονός ότι το εύρος ζώνης UWB μπορεί να καλύψει μια σειρά από αρκετά gigahertz.

## 2.8.2 Μικρής κλίμακας μοντέλα

Τα μικρής κλίμακας μοντέλα οφείλονται στην ύπαρξη πολλαπλών συνιστωσών του σήματος που προέρχονται από διαφορετικές διαδρομές που ακολούθησε το αρχικό σήμα πριν φτάσει στο δέκτη. Η υπέρθεση των συνιστωσών αυτών μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες για την επικοινωνία σε ορισμένες χρονικές στιγμές. Ο λόγος είναι ότι η υπέρθεση των διάφορων συνιστωσών μπορεί να γίνει εποικοδομητικά (constructive) ή καταστροφικά (destructive), ενισχύοντας ή εξασθενώντας την ισχύ του σήματος ανάλογα. Σε ορισμένες χρονικές στιγμές, η εξασθένιση του σήματος είναι τόσο, ώστε η σηματοθορυβική σχέση του λαμβανόμενου σήματος να είναι μικρότερη από την ελάχιστη σηματοθορυβική σχέση που απαιτείται για την ανάκτηση της πληροφορίας. Η περίπτωση αυτή αναφέρεται ως βαθιά διάλειψη (deep fading) και έχει ως αποτέλεσμα την προσωρινή διακοπή της επικοινωνίας. Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας μοντέλων έχουν ως αποτέλεσμα να μπορεί να θεωρηθεί το λαμβανόμενο σήμα ως μια τυχαία μεταβλητή, με την ισχύ του να μεταβάλλεται τόσο έντονα που οι διαλείψεις μικρής κλίμακας μοντέλων να μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες για ζευξείς σχετικά μικρής απόστασης. Επιπλέον, το κανάλι πολλαπλών διαδρομών με διαλείψεις μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ένα γραμμικό, χρονικά μεταβαλλόμενο κανάλι. Η χρονική μεταβλητότητα του καναλιού προκύπτει από το γεγονός ότι ακόμα και για ακίνητους πομποδέκτες το περιβάλλον είναι μη στατικό, με αποτέλεσμα να αλλάζουν οι πιθανές διαδρομές που ακολουθεί το σήμα με την πάροδο του χρόνου και άρα οι συνιστώσες του λαμβανόμενου σήματος είναι χρονικά μεταβαλλόμενες.

## 2.8.3 Tap-Delay-Line Εξασθένιση Γραμμής

Ένα απλό μοντέλο για τον χαρακτηρισμό ενός καναλιού UWB είναι η βρύση καθυστέρησης γραμμής (tap - delay - line) εξασθένιση μοντέλου στο οποίο το λαμβανόμενο σήμα είναι ένα άθροισμα από τα αντίγραφα του μεταδιδόμενου σήματος που σχετίζονται με τις αντανάκλασεις, τη σκέδαση και / ή των αντικειμένων εκτροπής μέσω των οποίων το σήμα διαδίδεται. Ένα τέτοιο tap - delay - line μοντέλο εξασθένισης επιτρέπει συχνότητα επιλεκτικότητας των UWB καναλιών που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Κάτω από τη tap - delay - line εξασθένιση μοντέλου, η παλμική απόκριση του διαύλου μπορεί να περιγραφεί ως

$$(2.4) \quad h(t) = \sum_{l=0}^{L-1} a(l) \delta(t - \tau_l)$$

όπου  $a(l)$  είναι ο πολλαπλών διαδρομών συντελεστής κέρδους της διαδρομής του  $l$ , το  $L$  υποδηλώνει τον αριθμό των τμημάτων των διαχωρίσιμων σημάτων πολλαπλών διαδρομών και  $\tau_l$  αντιπροσωπεύει την καθυστέρηση διαδρομής της διαδρομής του  $l$ . Σε συμβατικά συστήματα στενής ζώνης είναι καλά τεκμηριωμένο ότι το πλάτος της διαδρομής του  $l$ ,  $|a(l)|$ , διαμορφώνεται ως μία τυχαία μεταβλητή Rayleigh με συνάρτηση πυκνότητα πιθανότητας (PDF) όπου  $a(l)$  είναι ο πολλαπλών διαδρομών συντελεστής κέρδους της διαδρομής του  $l$ , το  $L$  υποδηλώνει τον αριθμό των τμημάτων των διαχωρίσιμων σημάτων πολλαπλών διαδρομών και  $\tau_l$  αντιπροσωπεύει την καθυστέρηση διαδρομής της διαδρομής του  $l$ . Σε συμβατικά συστήματα στενής ζώνης είναι καλά τεκμηριωμένο ότι το πλάτος της διαδρομής του  $l$ ,  $|a(l)|$ , διαμορφώνεται ως μία τυχαία μεταβλητή Rayleigh με συνάρτηση πυκνότητα πιθανότητας (PDF) :

$$(2.5) \quad P_{|a(l)|}(x) = x / \Omega_l \exp(-x^2 / \Omega_l)$$



όπου  $\Omega_l = E[|a(l)|^2]$  υποδηλώνει τη μέση ισχύ της διαδρομής του  $l$ . Εδώ το  $p_x(x)$  αντιπροσωπεύει το PDF του  $x$ , και το  $E[\cdot]$  στέκεται για προσδοκία λειτουργίας. Στα συστήματα UWB ο αριθμός των συνιστωσών που εμπίπτουν μέσα σε κάθε κάδο καθυστέρησης είναι πολύ μικρότερη, πράγμα που οδηγεί σε μια μεταβολή στις στατιστικές. Διάφορες εναλλακτικές κατανομές έχουν χρησιμοποιηθεί στην βιβλιογραφία.

- *Λογαριθμικής Κατανομής* : Η λογαριθμικής κατανομής δίνεται από

$$(2.6) \quad P_{|a(l)|}(x) = \{ (20 / \ln 10) / x \sqrt{2\pi\Omega_l} \} \exp[ \{ (10 \log_{10}(x^2) - \mu_l)^2 \} / 2\Omega_l ]$$

όπου  $\Omega_l$  είναι η διακύμανση της τοπικής σημαίνει  $|a(l)|$  και  $\mu_l$  είναι ο μέσος όρος του  $|a(l)|$  σε ντεσιμπέλ. Η λογαριθμικής κατανομής έχει το πλεονέκτημα ότι τα στατιστικά στοιχεία εξασθένισης από τα μικρής κλίμακας στατιστικά στοιχεία και τις μεταβολές μεγάλης κλίμακας έχουν την ίδια μορφή, η υπέρθεση των λογαριθμικών μεταβλητών μπορεί επίσης να προσεγγιστεί καλά από μια κανονική λογαριθμική κατανομή. Το μειονέκτημα είναι ότι είναι δύσκολο να επιτευχθεί διορατική ανάλυση επιδόσεων, ειδικά για ένα σύστημα MIMO, κάτω από ένα λογαριθμικής εξασθένισης μοντέλο.

- *Nakagami κατανομή* : Το πλάτος του συντελεστή πολλαπλών διαδρομών μπορεί να μοντελοποιηθεί από τη Nakagami- $m$  κατανομή

$$(2.7) \quad P_{|a(l)|}(x) = (2 / \Gamma(m)) (m / \Omega_l)^m x^{2m-1} \exp(- (m / \Omega_l) x^2)$$

όπου  $\gamma(\cdot)$  είναι η συνάρτηση γάμμα,  $m \geq 1/2$  είναι η Nakagami εξασθένιση παραμέτρου και  $\Omega_l$  είναι η μέση τετραγωνική αξία του πλάτους εξασθένισης. Η παράμετρος εξασθένισης,  $m$ , περιγράφει τη σοβαρότητα της αποσβέσεως. Όσο μικρότερη είναι η  $m$ , τόσο πιο σοβαρό είναι το ξεθώριασμα με  $m = 1$  και  $m = \infty$  που αντιστοιχεί σε διάλεια Rayleigh και σε μη - διάλεια κανάλια αντίστοιχα. Το πλεονέκτημα της Nakagami- $m$  στατιστικών στοιχείων είναι ότι μπορεί να μοντελοποιήσει ένα ευρύ φάσμα συνθηκών εξασθένισης ρυθμίζοντας την εξασθένιση των παραμέτρων τους. Στην πραγματικότητα, οι Nakagami -  $m$  κατανομές με μεγάλες τιμές του  $m$  είναι παρόμοιες με της κανονικής λογαριθμικής διανομές. Επιπλέον, εάν το πλάτος είναι Nakagami που έχει διανεμηθεί, η ισχύς είναι κατανεμημένη ως γάμμα, η οποία επιτρέπει κλειστή μορφή σκευάσματος απόδοσης.

Παρά το γεγονός ότι η tap - delay - line μοντέλο εξασθένισης είναι σε θέση να συλλάβει την επιλεκτικότητα συχνότητας, δεν αντανάκλα το χαρακτηριστικό ομαδοποίησης των UWB καναλιών. Για να συλλάβει την ιδιότητα ομαδοποίησης μια προσέγγιση ώστε οι χρόνοι άφιξης πολλαπλών διαδρομών μοντέλων χρησιμοποιώντας στατιστικά τυχαία διαδικασία με βάση τη διαδικασία Poisson έχει ληφθεί υπόψη. Συγκεκριμένα, οι χρόνοι άφιξης πολλαπλών διαδρομών  $\tau_l$  μπορεί να χαρακτηρισθεί από μια διαδικασία Poisson με ένα σταθερό ρυθμό αφίξεων  $\lambda$  ως

$$(2.8) \quad P_r(\tau_l - \tau_{l-1} > t) = \exp(-\lambda t).$$

Με άλλα λόγια, η ώρα άφιξης μεταξύ των πολλαπλών συστατικών εκθετικά κατανεμημένη είναι ότι δεδομένου ενός ορισμένου χρόνου άφιξης  $\tau_{l-1}$  για τον προηγούμενο χρόνο, το PDF για την άφιξη του μονοπατιού  $l$  μπορεί να γραφτεί ως

$$(2.9) \quad p_{\tau_l}(\tau_l | \tau_{l-1}) = \lambda \exp[-\lambda (\tau_l - \tau_{l-1})], \quad l > 0.$$

Δύο μαθηματικά μοντέλα που αντανάκλουν αυτή την ομαδοποίηση είναι το  $\Delta$  - K μοντέλο και το Saleh-Valenzuela (S-V) μοντέλο.

### 2.8.4 Δ-Κ Μοντέλο

Το Δ - Κ μοντέλο εισήχθηκε για το εξωτερικό περιβάλλον και διαδόθηκε για το εσωτερικό σενάριο. Το Δ - Κ μοντέλο ορίζει δύο καταστάσεις: Κατάσταση Α, όπου ο ρυθμός άφιξης των μονοπατιών είναι  $\lambda$  και η κατάσταση Β, όπου το ποσοστό είναι  $K\lambda$ . Το μοντέλο ξεκινά στην κατάσταση Α. Εάν υπάρχει μία διαδρομή που φθάνει σε χρόνο  $t$ , τότε γίνεται η μετάβαση στην κατάσταση Β για ένα ελάχιστο χρονικό διάστημα του  $\lambda$ . Εάν δεν υπάρχει μονοπάτι που φτάνει σε αυτό το διάστημα, το μοντέλο επανέρχεται στην κατάσταση Α αλλιώς, παραμένει στην κατάσταση Β. Το Δ - Κ μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για UWB κανάλια. Αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο ο αριθμός των συστάδων (ομάδων) όσο και η διάρκεια των συστάδων γίνονται με τυχαία μεταβλητή, την πραγματοποίηση του οποίου καθορίζεται από το πόσο συχνά το σύστημα εισέρχεται στην κατάσταση Β. Επιπλέον, οι συστάδες διαχωρίζονται αυστηρά η μία από την άλλη, η διάρκεια μεταξύ δύο συστάδων καθορίζεται από τη  $\Delta$  παράμετρο.

### 2.8.5 Saleh-Valenzuela Μοντέλο

Το Saleh - Valenzuela (S - V) μοντέλο εισήχθηκε για μια ευρείας ζώνης εσωτερικού καναλιού. Στο μοντέλο S - V είναι αφίξεις πολλαπλών διαδρομών που ομαδοποιούνται σε δύο διαφορετικές κατηγορίες: μια συστάδα άφιξης και μια άφιξη ακτίνων μέσα σε μια συστάδα. Αυτό το μοντέλο απαιτεί τέσσερις βασικές παράμετροι: ο ρυθμός άφιξης συστάδας, ο ρυθμός άφιξης ακτίνων μέσα σε μια συστάδα, τον παράγοντα διάσπασης συστάδας και τον παράγοντα διάσπασης ακτίνων. Η παλμική απόκριση του διαύλου του μοντέλου S-V μοντελοποιείται από

$$(2.10) \quad h(t) = \sum_{c=0}^C \sum_{l=0}^L a(c,l) \delta(t - T_c - \tau_{c,l})$$

όπου το  $a(c, l)$  υποδηλώνει την απολαβή του συστατικού  $l$  πολλαπλών διαδρομών στο σύμπλεγμα  $c$ , το  $C$  είναι ο συνολικός αριθμός των συστάδων, και το  $L$  είναι ο συνολικός αριθμός των ακτίνων μέσα σε κάθε συστάδα. Ο χρόνος διάρκειας  $T_c$  αντιπροσωπεύει την καθυστέρηση της  $c$  συστάδας και το  $\tau_{c,l}$  είναι η καθυστέρηση της  $l$  διαδρομής στην συστάδα  $c$  σε σχέση με την ώρα άφιξης της συστάδας. Εξ ορισμού έχουμε  $\tau_{c,0} = 0$ . Το σύμπλεγμα και οι αφίξεις των μονοπατιών της κάθε ομάδας είναι μοντελοποιημένα από διαδικασίες Poisson:

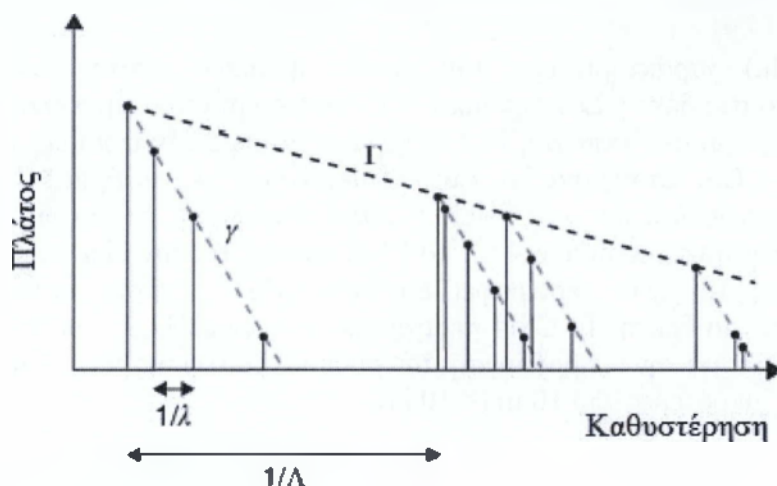
$$(2.11) \quad p_{T_c}(T_c | T_{c-1}) = \lambda \exp[-\Lambda(T_c - T_{c-1})], \quad c > 0$$

$$(2.12) \quad p_{\tau_{c,l}}(\tau_{c,l} | \tau_{c,l-1}) = \lambda \exp[-\lambda(\tau_{c,l} - \tau_{c,l-1})], \quad l > 0$$

όπου  $\Lambda$  είναι ο ρυθμός άφιξης της συστάδας και  $\lambda$  (όπου  $\lambda > \Lambda$ ) είναι ο ρυθμός άφιξης ακτίνων (δηλαδή ο ρυθμός άφιξης διαδρομής μέσα σε κάθε της συστάδας). Το πλάτος των μονοπατιών  $|a(c, l)|$  ακολουθεί την κατανομή Rayleigh, ενώ η φάση  $a(c, l)$  κατανέμεται ομοιόμορφα πάνω από  $[0, 2\pi)$ . Συγκεκριμένα, ο συντελεστής κέρδους πολλαπλής διαδρομής  $a(c, l)$  διαμορφώνεται ως μηδενική μέση τιμή του συγκροτήματος Gaussian τυχαίας μεταβλητής με διακύμανση :

$$(2.13) \quad \Omega_{c,l} = E[|a(c, l)|^2] = \Omega_{0,0} \exp(-(T_c / \Gamma) - (\tau_{c,l} / \gamma))$$

όπου  $\rho_0$  είναι η μέση ενέργεια της πρώτης διαδρομής του πρώτου συμπλέγματος, το  $\Gamma$  είναι ο συντελεστής απόσβεσης της συστάδας και το  $\gamma$  είναι ο συντελεστής απόσβεσης ακτίνων, αυτό αντανακλά την εκθετική αποσύνθεση της κάθε συστάδας, καθώς και τη διάσπαση της συνολικής δύναμης της συστάδας με καθυστέρηση. Οι τέσσερις βασικοί παράμετροι μπορούν να αλλάξουν για διαφορετικά περιβάλλοντα. Παρέχουν μεγάλη ευελιξία να διαμορφώσουν πολύ διαφορετικά περιβάλλοντα. Η εικόνα 12 απεικονίζει τις διάφορες παραμέτρους στο μοντέλο S-V.



Εικόνα 12 : Αρχή της Saleh-Valenzuela εξασθένιση μοντέλου

### 2.8.6 Πρότυπο μοντέλου καναλιού UWB

Το 2004 πολλές μελέτες για την απόκριση του καναλιού UWB ενοποιήθηκαν από τους ερευνητές και κατέληξαν σε ένα πρότυπο καναλιού το οποίο αν και δεν κατοχυρώθηκε, καταγράφηκε και χρησιμοποιείται για ερευνητικούς σκοπούς. Αυτό το πρότυπο είναι στα πλαίσια του προτύπου IEEE 802.15.3a το οποίο είναι πρότυπο για πολύ γρήγορη μεταφορά δεδομένων πολυμέσων κυρίως. Επίσης, δημιουργήθηκε και το πρότυπο καναλιού IEEE 802.15.4a το οποίο αναφέρεται για επικοινωνίες χαμηλότερου ρυθμού, αλλά πιο εύρωστες και με μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας. Το κανάλι IEEE 802.15.3a έχει σαν βάση το κανάλι των Saleh - Valenzuela (1987) το οποίο αντιπροσωπεύει ένα κανάλι εσωτερικού χώρου στο οποίο οι ανακλάσεις παρουσιάζονται κατά ριπές (clusters). Τα κανάλια είναι χρονικώς μεταβαλλόμενα και τα πλάτη και οι καθυστερήσεις είναι τυχαίες μεταβλητές που εξαρτώνται από μια πληθώρα τυχαίων παραμέτρων. Τα πλάτη των ανακλάσεων είναι πραγματικοί αριθμοί για να υπάρχει συμφωνία με το χαρακτήρα βασικής ζώνης του UWB. Η απώλεια διαδρομής, σκίασης και η εξασθένιση μικρής κλίμακας μοντέλα του πρότυπου σταθμού UWB παρέχεται παρακάτω.

- *Απώλεια διαδρομής* : Η απώλεια διαδρομής που ορίζεται στο πρότυπο βασίζεται σε ελεύθερο χώρο απώλειες διαδρομής, με την κεντρική συχνότητα  $f_c$  όπου δίνεται από (2.14)  $f_c = \sqrt{f_l f_H}$  όπου  $f_l$  και  $f_H$  προκύπτουν στα -10 dB άκρα του φάσματος της κυματομορφής.
- *Σκίαση*: Η σκίαση θεωρείται λογαριθμικά ότι διανέμεται με τυπική απόκλιση 3 dB ( δηλαδή η σκίαση είναι  $X_\sigma[\text{dB}] \sim N(0, \sigma^2)$ , με το  $\sigma$  αξίας των 3 dB).
- *Εξασθένιση μικρής κλίμακας*: Η εξασθένιση μικρής κλίμακας που εγκρίθηκε στο πρότυπο IEEE 802.15.3a βασίζεται στο μοντέλο S-V. Αν και το πλάτος διαδρομής  $|a(c, l)|$  ενδέχεται να ακολουθήσει την λογαριθμική κατανομή, την κατανομή Nakagami ή την κατανομή Rayleigh, η λογαριθμική κατανομή εκδίδεται στο πρότυπο.

Σαν LOS (Line of Sight) χαρακτηρίζουμε την ακτίνα η οποία φτάνει απευθείας, καμία ανάκλαση από τον πομπό στο δέκτη. Σαν εκπομπή LOS χαρακτηρίζουμε την εκπομπή στην οποία υπάρχει μια ακτίνα LOS, ενώ σαν εκπομπή NLOS χαρακτηρίζουμε την εκπομπή στην οποία δεν υπάρχει καμία ακτίνα LOS. Στο μοντέλο αυτό διακρίνουμε 4 σενάρια : CM1, CM2, CM3 και CM4. Το CM1 περιγράφει ένα line - of - sight ( LOS ) σενάριο με το διαχωρισμό μεταξύ του πομπού και του δέκτη είναι μικρότερη από 4 m. Το CM2 περιγράφει την ίδια περιοχή, αλλά για μια μη - LOS κατάσταση. Το CM3 περιγράφει ένα μη - LOS σενάριο για αποστάσεις από 4 έως 10 m μεταξύ πομπού και δέκτη. Το CM4 περιγράφει ένα περιβάλλον με έντονη διασπορά καθυστέρησης, με αποτέλεσμα την επιβράδυνση του ρυθμού εξάπλωσης των 25 ns με ένα NLOS σενάριο για αποστάσεις μικρότερες από 10 m (< 10 m).

Parameters	CM1	CM2	CM3	CM4
$\Lambda$ ( $\text{ns}^{-1}$ )	0.0233	0.4	0.0667	0.0667
$\lambda$ ( $\text{ns}^{-1}$ )	2.5	0.5	2.1	2.1
$\Gamma$	7.1	5.5	14	24
$\gamma$	4.3	6.7	7.9	12

Εικόνα 13 : Παράμετροι των 4 σεναρίων του μοντέλου καναλιού IEEE 802.15.3a

## Κεφάλαιο 3

### Τεχνολογία Υπερευρείας Ζώνης

#### 3.1 Εφαρμογές

Τα υπερευρείας ζώνης χαρακτηριστικά είναι κατάλληλα για μικρές αποστάσεις εφαρμογών, όπως τα περιφερειακά του υπολογιστή. Λόγω των χαμηλών επιπέδων εκπομπών που επιτρέπεται από τους ρυθμιστικούς οργανισμούς, τα συστήματα UWB τείνουν να είναι μικρής εμβέλειας εφαρμογές σε εσωτερικούς χώρους. Λόγω της μικρής διάρκειας των παλμών UWB, είναι ευκολότερο να κατασκευαστούν τα υψηλά ποσοστά των δεδομένων. Το ποσοστό αυτό των δεδομένων μπορεί να ανταλλάσσονται με μία σειρά, με βάση τα συγκεντρωτικά του παλμού της ενέργειας ανά bit δεδομένων (με την ένταξη ή κωδικοποίηση). Η συμβατική ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) τεχνολογία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί, με την επιφύλαξη των ελάχιστων απαιτήσεων εύρους ζώνης. Υψηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων UWB μπορεί να παρέχει ασύρματες οθόνες, την αποτελεσματική μεταφορά των δεδομένων από ψηφιακές βιντεοκάμερες, ασύρματη εκτύπωση των ψηφιακών εικόνων από μια φωτογραφική μηχανή, χωρίς την ανάγκη για έναν προσωπικό υπολογιστή και μεταφορά αρχείων μεταξύ κινητών τηλεφώνων, τηλέφωνα και φορητές συσκευές, όπως οι φορητές συσκευές αναπαραγωγής πολυμέσων UWB χρησιμοποιούνται σε πραγματικό χρόνο για συστήματα εντοπισμού θέσης. Οι δυνατότητες της ακρίβειας και της χαμηλής ισχύος καθιστούν κατάλληλες για ραδιοφωνικών συχνοτήτων ευαίσθητα περιβάλλοντα, όπως τα νοσοκομεία. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του UWB είναι το σύντομο χρονικό διάστημα της εκπομπής. Η Υπερευρεία ζώνη χρησιμοποιείται επίσης σε “see-through-the-wall” ραδιοεντοπισμού ακρίβειας τεχνολογία απεικόνισης, ακρίβεια εντοπισμού και παρακολούθησης (χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις απόστασης μεταξύ των ραδιοφώνων) και την ακριβής ώρα της άφιξης προσεγγίζοντας με βάση τον εντοπισμό. Είναι αποτελεσματική, με μια χωρική ικανότητα περίπου 1.013 bits/s/m<sup>2</sup>.

Οι μικροί και φθηνότεροι UWB πομποδέκτες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ασύρματων αισθητηρίων δικτύων (wireless sensor network applications) τόσο στο στρατιωτικό όσο και στον πολιτικό τομέα. Τέτοια αισθητήρια δίκτυα χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ενός φυσικού φαινομένου σε μια μη προσβάσιμη περιοχή και για τη μεταφορά της πληροφορίας σε συγκεκριμένο προορισμό. Μια στρατιωτική εφαρμογή θα μπορούσε να είναι η ανίχνευση βιολογικών παραγόντων ή εχθρική εισχώρηση στο πεδίο μάχης. Οι πολιτικές εφαρμογές μπορεί να περιλαμβάνουν παρακολούθηση και έλεγχο κατοίκων, παρατήρηση του περιβάλλοντος, έλεγχο και παρακολούθηση της υγείας και οικιακή αυτοματοποίηση.

Η καλή λειτουργία των UWB συσκευών σε κανάλια πολλαπλών οδεύσεων μπορεί να παρέχει δυνατότητα ακριβούς γεωγραφικού προσδιορισμού σε εσωτερικούς και σκοτεινούς χώρους όπου οι δέκτες του GPS δε θα απέδιδαν.

Ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων των UWB συστημάτων για μικρές αποστάσεις βρίσκει πολυάριθμες εφαρμογές σε οικιακά δίκτυα και σε επικοινωνίες πλούσιες σε πολυμέσα με τη μορφή των WPANs εφαρμογών.

Η UWB τεχνολογία όπως είπαμε παραπάνω μπορεί να επιτρέψει μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών WPAN. Παραδείγματα περιλαμβάνουν :

- Αντικατάσταση καλωδίων μεταξύ φορητών συσκευών πολυμέσων σήμανσης, όπως βιντεοκάμερες, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, και φορητό MP3 players με ασύρματη συνδεσιμότητα.
- Ενεργοποίηση υψηλής ταχύτητας ασύρματη Universal Serial Bus (WUSB) συνδεσιμότητα για υπολογιστές και περιφερειακά υπολογιστών, συμπεριλαμβανομένων των εκτυπωτών, σαρωτές και εξωτερικές συσκευές αποθήκευσης.
- Αντικατάσταση καλωδίων της επόμενης γενιάς τεχνολογίας Bluetooth συσκευών, όπως κινητά τηλέφωνα 3G, καθώς και IP / UPnP που βασίζονται στην συνδεσιμότητα για την επόμενη γενιά των IP-based PC / σήμανσης / κινητές συσκευές.
- Δημιουργία ad-hoc υψηλού ρυθμού bit ασύρματη συνδεσιμότητα για τη σήμανση, PC και φορητές συσκευές.

Το UWB είναι μια προτεινόμενη τεχνολογία για χρήση σε προσωπικά δίκτυα περιοχής και εμφανίστηκε στο IEEE 802.15.3a σχέδιο PAN προτύπου. Το έργο ολοκληρώθηκε από τη Συμμαχία WiMedia και τους Υπεύθυνους υλοποίησης του Φόρουμ USB. Ωστόσο, η αργή πρόοδος στην ανάπτυξη των UWB προτύπων, το κόστος της αρχικής υλοποίησης και η απόδοση σημαντικά χαμηλότερη από ότι αρχικά αναμενόταν είναι αρκετοί λόγοι για την περιορισμένη χρήση των UWB σε καταναλωτικά προϊόντα.

Η UWB τεχνολογία χρησιμοποιείται επίσης σε εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές για τον καθορισμό αποστάσεων ανάμεσα σε αντικείμενα, στην ανίχνευση αντικειμένων και καταστάσεων δια μέσου οικοδομών και σε συστήματα ασφαλείας.

Στον πίνακα 1 που ακολουθεί συνοψίζουμε τις εφαρμογές της UWB τεχνολογίας στον στρατιωτικό, πολιτικό και εμπορικό τομέα πάνω στις επικοινωνίες.

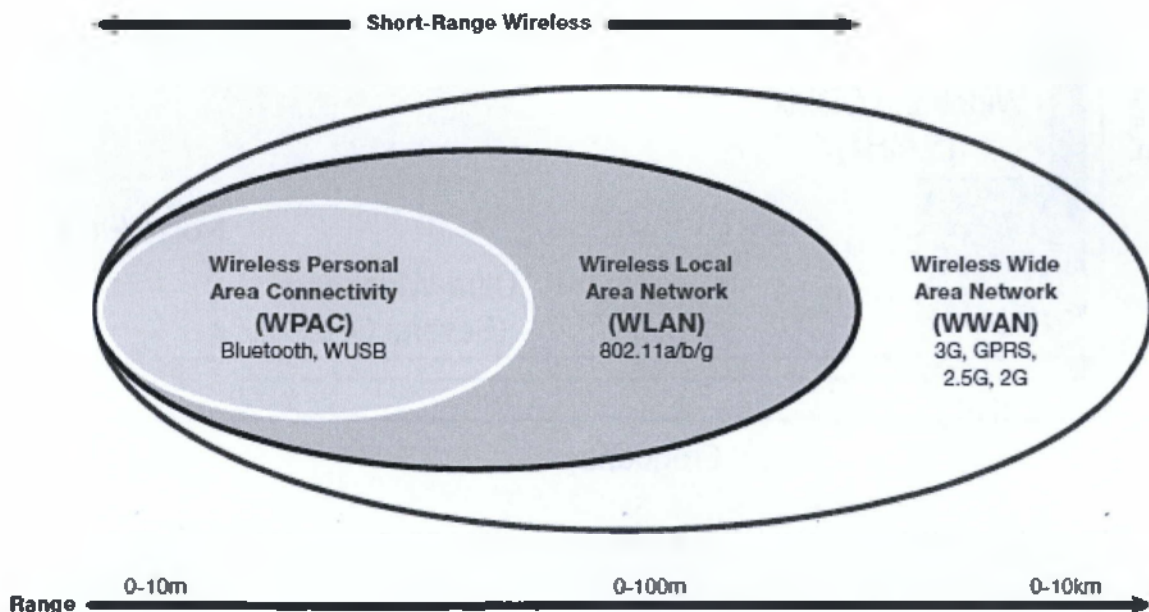
	<b>Στρατιωτικές και Πολιτικές</b>	<b>Εμπορικές</b>
<b>Επικοινωνίες</b>	Ασφαλείς LPI/D επικοινωνίες Κρυφά ασύρματα αισθητήρια δίκτυα (εφαρμογές σε πεδία μάχης)	WLANs, WPANs Ασύρματο βίντεο (οικιακά δίκτυα) Ασύρματα αισθητήρια δίκτυα ( παρακολούθηση υγείας, οικιακή αυτοματοποίηση )

Πίνακας 1

### 3.1.1 Αντικατάσταση καλωδίων και πρόσβαση στο δίκτυο για κινητές συσκευές υπολογιστών

Για τους χρήστες των πολλαπλών κινητών συσκευών, διαχείριση καλωδίων μπορεί να είναι μια μεγάλη αναστάτωση όταν οι συσκευές πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους. Πολλές συσκευές, όπως προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς, σύνδεση μέσω USB θύρες, αλλά και άλλοι, όπως 3G κινητά τηλέφωνα, μπορεί να απαιτεί μια ειδική υποδοχή προσαρμογέα ή για ένα καλώδιο USB. Η UWB τεχνολογία επιτρέπει σε αυτές τις συσκευές να αλληλεπιδρούν χωρίς καλώδια από τη στιγμή που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Το UWB μπορούσε επίσης να χρησιμοποιείται για να επιτρέψει υψηλής ταχύτητας, χαμηλής ισχύος πρόσβαση στο δίκτυο μέσα σε δυναμική ζώνη τοποθεσίες. Η κάλυψη Δυναμικής ζώνης Διαδικτύου δημιουργεί μια μεγάλη αγορά ενδιαφέροντος για ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο για φορητές συσκευές υπολογιστών σε απομακρυσμένες περιοχές.

Σήμερα, δύο τεχνολογίες επιτρέπουν ενεργά σημεία: 802.11a/b/g WLAN και Bluetooth που βασίζονται στην τεχνολογία WPAN. Και οι δύο έχουν τους περιορισμούς για την αντιμετώπιση των αναγκών για συνδυασμένες υψηλού εύρους ζώνης σύνδεσεις: υψηλή χωρική ικανότητα για την εξυπηρέτηση πολλών χρηστών σε ένα δεδομένο χώρο και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το UWB θα βοηθήσει να ξεπεράσουν αυτές τις προκλήσεις και θα μπορούσε να προσφέρει σημαντικά βελτιωμένη εμπειρία του χρήστη.



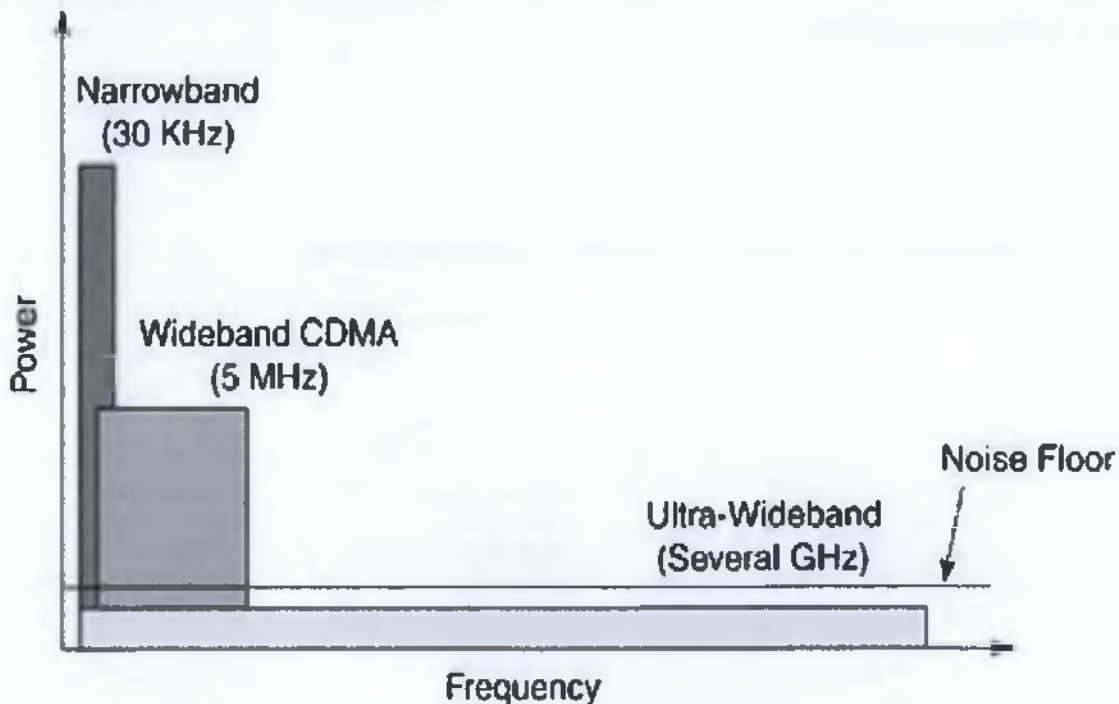
Εικόνα 14 : RF δεδομένα εύρος κάλυψης των επικοινωνιών

### 3.2 Πλεονεκτήματα

Η φύση των μικρής διάρκειας παλμών που χρησιμοποιούνται στην UWB τεχνολογία προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τα στενής ζώνης τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Στη συνέχεια, παρατίθενται κάποια από τα σημαντικότερα οφέλη που η UWB τεχνολογία επέφερε στις ασύρματες επικοινωνίες.

#### 1. Δυνατότητα από κοινού χρήσης του φάσματος συγγοτήτων.

Η απαίτηση ισχύος της FCC στα  $-41.3 \text{ dBm/MHz}$  ή ισοδύναμα στα  $75 \text{ nW/MHz}$  για τα UWB συστήματα, τα κατατάσει στην κατηγορία των αυθόρμητων ακτινοβολητών (unintentional radiators), όπως π.χ. οι τηλεοράσεις. Αυτός ο περιορισμός ισχύος επιτρέπει στα UWB σήματα να παραμένουν κάτω από το επίπεδο θορύβου ενός τυπικού δέκτη στενής ζώνης και τους δίνει τη δυνατότητα να συνυπάρχουν με τα ήδη υπάρχοντα ραδιοσήματα με ελάχιστη ή καθόλου μεταξύ τους παρεμβολή. Βεβαίως, όλα αυτά εξαρτώνται από τον τύπο της διαμόρφωσης ( modulation ) που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων σ' ένα UWB σύστημα. Η εικόνα 14 δείχνει τη γενική ιδέα της συνύπαρξης του UWB με τις τεχνολογίες στενής και ευρείας ζώνης.



Εικόνα 15 : Συνύπαρξη του UWB με τις τεχνολογίες στενής και ευρείας ζώνης.

#### 2. Μεγάλη χωρητικότητα καναλιού.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του μεγάλου εύρους ζώνης για τους UWB παλμούς είναι η βελτιωμένη χωρητικότητα καναλιού. Η *χωρητικότητα καναλιού* ( channel capacity ) ή *ρυθμός δεδομένων* ( data rate ) ορίζεται ως η μέγιστη ποσότητα δεδομένων που μπορεί να μεταδοθεί ανά δευτερόλεπτο σ' ένα τηλεπικοινωνιακό κανάλι. Η μεγάλη χωρητικότητα καναλιού των UWB τηλεπικοινωνιακών συστημάτων γίνεται προφανής από την εξίσωση των Hartley - Shannon :

(3.1)  $C = B \log_2(1 + \text{SNR})$ , όπου C η μέγιστη χωρητικότητα καναλιού, B το εύρος ζώνης και SNR ο λόγος σήματος προς θόρυβο.



Όπως προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση, η χωρητικότητα καναλιού C αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση του εύρους ζώνης B. Συνεπώς, με μερικά GHz εύρους ζώνης διαθέσιμα για UWB σήματα, αναμένεται ένας ρυθμός δεδομένων της τάξης των gigabits ανά δευτερόλεπτο (Gbps). Ωστόσο, λόγω του πρόσφατου περιορισμού εκπομπής UWB σημάτων από την FCC, αυτός ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων επιτυγχάνεται σε μικρή εμβέλεια, έως 10 m. Αυτό καθιστά τα UWB συστήματα τέλειους υποψήφιους για μικρής εμβέλειας υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων ασύρματες εφαρμογές, όπως τα WPANs ( Wireless Personal Area Networks). Το trade-off ανάμεσα στην εμβέλεια και το ρυθμό δεδομένων κάνει την UWB τεχνολογία ιδανική για μια μεγάλη σειρά εφαρμογών στο στρατιωτικό, πολιτικό και εμπορικό τομέα.

**3. Δυνατότητα λειτουργίας σε κανάλια με χαμηλό SNR.**

Η εξίσωση των Hartley-Shannon για τη μέγιστη χωρητικότητα καναλιού δείχνει επίσης ότι η χωρητικότητα καναλιού εξαρτάται μόνο λογαριθμικά από τη σηματοθορυβική σχέση ( SNR ). Επομένως, τα UWB τηλεπικοινωνιακά συστήματα ενδέχονται να λειτουργούν σε κανάλια με χαμηλό SNR και παρόλα αυτά να προσφέρουν υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ως αποτέλεσμα του μεγάλου εύρους ζώνης τους.

**4. Μικρή πιθανότητα παρεμπόδισης και ανίχνευσης.**

Λόγω της χαμηλής μέσης εκπεμπόμενης ενέργειά τους, τα UWB τηλεπικοινωνιακά συστήματα έχουν μια εγγενή “ανοσία” στην παρεμπόδιση και ανίχνευση. Με τόσο χαμηλή ισχύς εκπομπής, ο “ωτακουστής” πρέπει να βρίσκεται πολύ κοντά στον πομπό (περίπου 1 m) για να μπορεί να ανιχνεύσει τη μεταδιδόμενη πληροφορία. Επιπλέον, οι UWB παλμοί διαμορφώνονται στο χρόνο με κώδικες μοναδικούς για κάθε ζεύγος πομπού / δέκτη. Η χρονική διαμόρφωση εξαιρετικά στενών παλμών προσδίδει περισσότερη ασφάλεια στην UWB εκπομπή, αφού η ανίχνευση παλμών διάρκειας της τάξης των picoseconds χωρίς να γνωρίζουμε πότε θα φτάσουν είναι σχεδόν αδύνατη. Επομένως, τα UWB συστήματα υπόσχονται την επίτευξη υψηλής ασφάλειας επικοινωνιών με μικρή πιθανότητα παρεμπόδισης και ανίχνευσης ( low probability of intercept and detection, LPI/D), κάτι που είναι απολύτως απαραίτητο σε στρατιωτικές εφαρμογές.

**5. Αντίσταση σε παρεμβολές ( jamming ).**

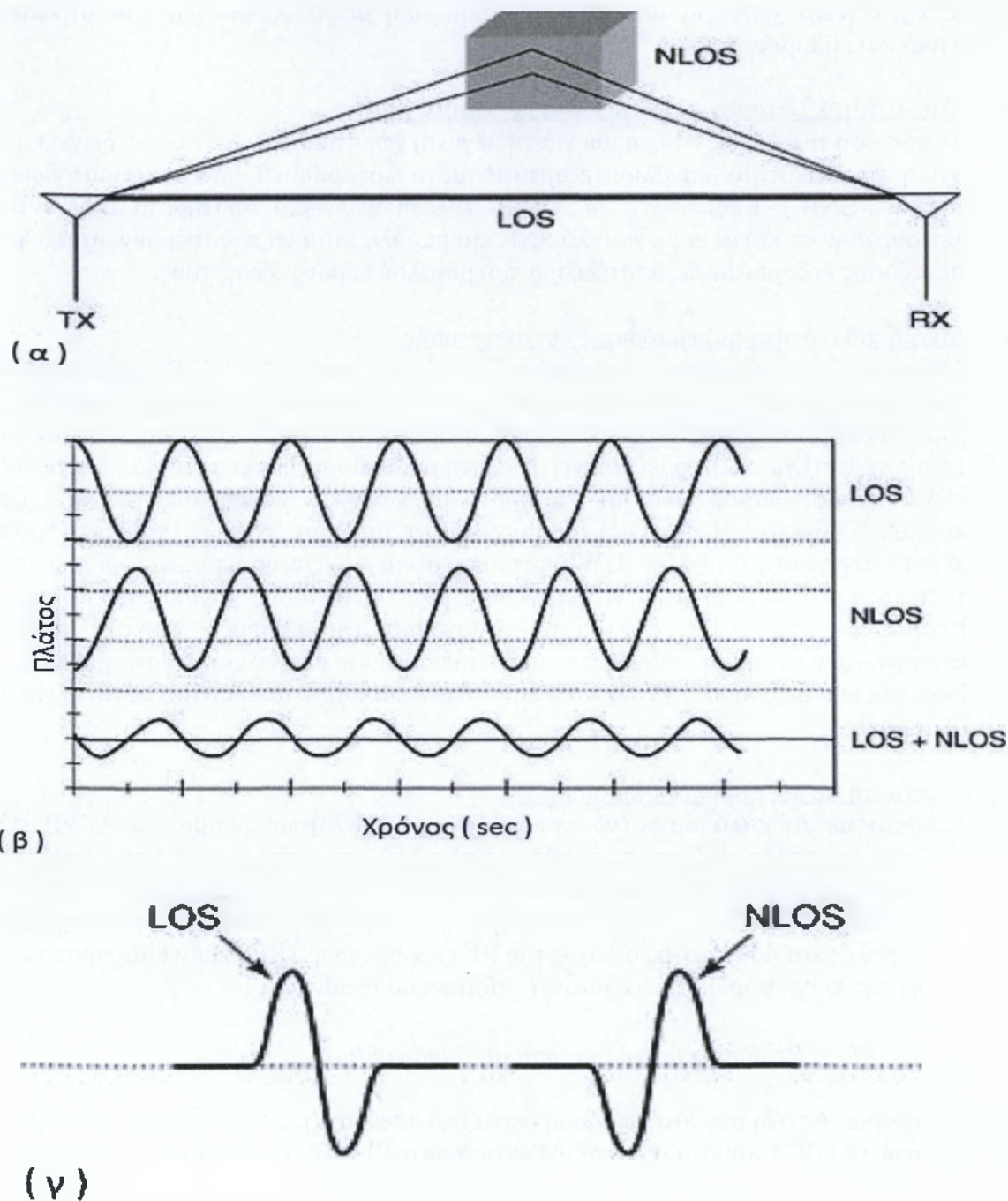
Αντίθετα με το καλά ορισμένο στενής ζώνης συχνοτήτων φάσμα, το UWB φάσμα καλύπτει μια τεράστια ζώνη συχνοτήτων από σχεδόν συνεχή μέχρι μερικά gigahertz και προσφέρει μεγάλο κέρδος επεξεργασίας για UWB σήματα. Το κέρδος επεξεργασίας ( processing gain, PG ) είναι ένα μέτρο για την αντίσταση του συστήματος σε παρεμβολές και ορίζεται ως ο λόγος του RF εύρους ζώνης (RF bandwidth) προς το εύρος ζώνης της πληροφορίας του σήματος ( information bandwidth ):

$$(3.2) \quad PG = RF \text{ Bandwidth} / \text{Information Bandwidth}$$

Ο διαφορισμός στη συχνότητα που προκαλείται από το μεγάλο κέρδος επεξεργασίας καθιστά τα UWB σήματα σχετικά ανθεκτικά σε σκόπιμες ή απρόσκοπες παρεμβολές, γιατί κανένας παρεμβολέας δεν μπορεί να παρεμβάλλει σε κάθε συχνότητα του UWB φάσματος ταυτόχρονα. Συνεπώς, αν κάποιες συχνότητες υποστούν παρεμβολή, υπάρχει ακόμη μεγάλη γκάμα συχνοτήτων που παραμένει ανέπαφη. Βέβαια, αυτή η αντίσταση σε παρεμβολές αναφέρεται συγκριτικά με τα συστήματα στενής ζώνης.

6. Πολύ καλή λειτουργία σε κανάλια πολλαπλών οδεύσεων (multipath).

Το φαινόμενο των πολλαπλών οδεύσεων είναι αναπόφευκτο σε ασύρματα τηλεπικοινωνιακά κανάλια. Προκαλείται από τις πολλαπλές ανακλάσεις του εκπεμπόμενου σήματος σε διάφορες επιφάνειες, όπως κτίρια, δέντρα και ανθρώπους. Η ευθεία γραμμή μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη είναι η γραμμή οπτικής επαφής (line of sight, LOS). Τα ανακλώμενα σε επιφάνειες σήματα δεν είναι γραμμές οπτικής επαφής (non-line of sight, NLOS). Στην εικόνα 16 φαίνεται το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών για σήματα στενής και υπερευρείας ζώνης.



Εικόνα 16 : ( α ) Το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών σε ασύρματες ζεύξεις.  
( β ) Επιδράσεις του φαινομένου σε σήματα στενής ζώνης.  
( γ ) Επιδράσεις του φαινομένου σε UWB σήματα.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 16, οι επιπτώσεις του φαινομένου των πολλαπλών διαδρομών είναι μάλλον σοβαρές στα σήματα στενής ζώνης: μπορεί να προκαλέσει εξασθένηση του σήματος μέχρι 40 dB λόγω της πρόσθεσης των διαφορετικής φάσης LOS και NLOS συνεχών κυματομορφών. Από την άλλη πλευρά, η πολύ μικρή χρονική διάρκεια των UWB παλμών, τους καθιστά λιγότερο ευαίσθητους στις επιδράσεις του φαινομένου. Καθώς η διάρκεια εκπομπής ενός UWB παλμού είναι μικρότερη από 1 ns στις περισσότερες περιπτώσεις, ο ανακλώμενος παλμός έχει υπερβολικά μικρή πιθανότητα να συγκρουστεί με τον LOS παλμό και να προκαλέσει εξασθένηση.

Παρόλο που η μικρή διάρκεια των UWB παλμών, τους καθιστά λιγότερο ευαίσθητους στις επιδράσεις του φαινομένου των πολλαπλών οδεύσεων συγκριτικά με τους παλμούς στενής ζώνης, αυτό δε σημαίνει ότι οι UWB επικοινωνίες είναι απολύτως ασφαλείς από την παραμόρφωση λόγω των πολλαπλών διαδρομών. Έρευνα πάνω στη μοντελοποίηση UWB καναλιών έχει αποδείξει ότι ανάλογα με το είδος της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται, χαμηλής ισχύος UWB παλμοί μπορούν να υποστούν σημαντική μεταμόρφωση σε κανάλια εσωτερικού χώρου, όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός αντικειμένων και σκεδαστών.

#### 7. Άριστες ιδιότητες διεισδυτικότητας.

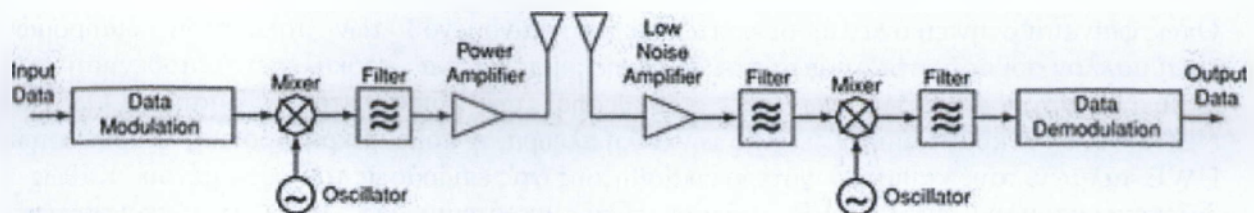
Σε αντίθεση με τα στενής ζώνης, τα UWB συστήματα μπορούν να διεισδύουν αποτελεσματικά σε διάφορα υλικά. Οι χαμηλές συχνότητες που περιλαμβάνονται στο ευρύ UWB φάσμα αντιστοιχούν σε μεγάλα μήκη κύματος, κάτι που επιτρέπει στα UWB σήματα να διεισδύουν σε πολλά υλικά συμπεριλαμβανομένων και τοίχων. Αυτή η ιδιότητα κάνει την UWB τεχνολογία κατάλληλη για επικοινωνίες διά μέσου τοίχων (through - the - wall communications) και για ραντάρ διείσδυσης στο έδαφος (ground-penetrating radars, GPR)<sup>[5]</sup>. Ωστόσο, η ιδιότητα διεισδυτικότητας των UWB σημάτων είναι χρήσιμη μόνο όταν επιτρέπεται να εκπέμπονται στις χαμηλές συχνότητες του ραδιο - φάσματος.

#### 8. Απλή αρχιτεκτονική του πομποδέκτη.

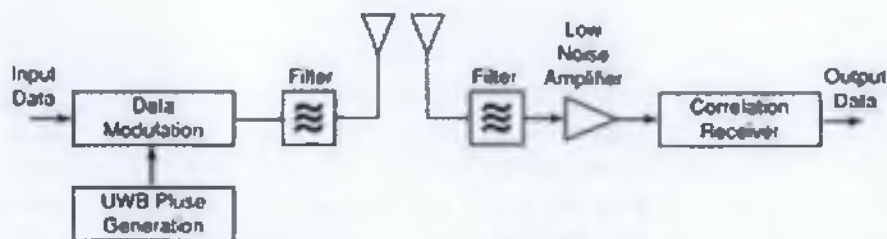
Η UWB εκπομπή γίνεται χωρίς τη χρήση φέροντος, που σημαίνει ότι τα δεδομένα δε διαμορφώνουν κάποια συνεχή κυματομορφή με συγκεκριμένη συχνότητα φέροντος, όπως στις στενής και ευρείας ζώνης τεχνολογίες. Η απαλλαγμένη φέροντος εκπομπή προϋποθέτει λιγότερες RF συνιστώσες απ' ό,τι η εκπομπή με χρήση φέροντος. Γι' αυτό το λόγο, η δομή του UWB ζεύγους πομπού/δέκτη είναι σημαντικά πιο απλή και επομένως φθηνότερη. Η εικόνα 17 συγκρίνει τα block διαγράμματα ενός τυπικού στενής ζώνης πομποδέκτη και ενός UWB.

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, η δομή του UWB πομποδέκτη είναι αισθητά λιγότερο σύνθετη. Η εκπομπή των χαμηλής ισχύος παλμών περιορίζει την ανάγκη για ενισχυτή ισχύος (power amplifier, PA) στους UWB πομπούς. Επιπλέον, αφού η UWB εκπομπή είναι απαλλαγμένη φέροντος, δεν υπάρχει ανάγκη για μείκτες (mixers) και τοπικούς ταλαντωτές (local oscillators). Κατά συνέπεια, παρακάμπτεται το στάδιο ανάκτησης φέροντος στο τέλος του δέκτη.

[5]: Τεχνική ανίχνευσης κατά την οποία RF παλμοί στέλνονται στο έδαφος και ανακλώνται από υλικά με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες, βρίσκοντας έτσι πιθανές σεισμογενείς περιοχές. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε εφαρμογές της γεωφυσικής καθώς και σε διασωστικές προσπάθειες.



(α)



(β)

Εικόνα 17 : (α) Δομή τυπικού στενής ζώνης πομποδέκτη  
(β) Παράδειγμα αρχιτεκτονικής ενός UWB πομποδέκτη

Στον πίνακα 2 συνοψίζονται τα κυριότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η UWB τεχνολογία καθώς και τα σημαντικότερα οφέλη που απορρέουν από αυτά.

Πλεονεκτήματα	Όφελος
Συνύπαρξη με ήδη υπάρχουσες narrowband και wideband ραδιο-υπηρεσίες.	Αποφυγή καταβολής των αντιτίμων των ακριβών αδειών.
Μεγάλη χωρητικότητα καναλιού.	Το μεγάλο εύρος ζώνης μπορεί να υποστηρίξει σε πραγματικό χρόνο (real-time) βίντεο.
Λειτουργία σε κανάλια για χαμηλό SNR.	Πολύ καλή λειτουργία σε περιβάλλον θορύβου.
Μικρή εκπεμπόμενη ισχύς.	Μεγάλη ασφάλεια με μικρή πιθανότητα ανίχνευσης και παρεμπόδισης.
Αντίσταση στο jamming <sup>[6]</sup> .	Αξιοπιστία σε “εχθρικό” περιβάλλον.
Καλή λειτουργία σε κανάλια πολλαπλών διαδρομών (multipath channels).	Μεγαλύτερη αντίσταση του σήματος σε δυσμενείς συνθήκες.
Απλή δομή πομπού / δέκτη.	Δυνατότητα εκπομπής μικρής ισχύος, καλύτερος μέσος χρόνος μεταξύ σφαλμάτων, μειωμένο κόστος.

Πίνακας 2

[6]: Οι επιθέσεις παρεμβολών ή παρακώλυσης επικοινωνιών, γνωστές και ως **jamming**, είναι οι επιθέσεις που σκόπιμα ή μη προκαλούνται στο σήμα του πομπού, του δέκτη ή του σημείου ασύρματης πρόσβασης από παρεμβολές ή θορύβους (noises).

### 3.3 Μειονεκτήματα

Εκτός από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η UWB τεχνολογία για τις επικοινωνίες, υπάρχουν και κάποιες από τις κυριότερες δυσκολίες των UWB επικοινωνιών οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

#### 1. Παραμόρφωση του σήματος των παλμών.

Τα χαρακτηριστικά εκπομπής των UWB παλμών είναι πιο σύνθετα από τα αντίστοιχα των συνεχών στενής ζώνης ημιτονοειδών κυματομορφών. Ένα στενής ζώνης σήμα παραμένει ημιτονοειδές συνεχώς στο κανάλι μετάδοσης. Αντίθετα, οι ασθενείς και χαμηλής ισχύος UWB παλμοί μπορούν να παραμορφωθούν σημαντικά. Αυτή η παραμόρφωση αποδεικνύεται μαθηματικά με την ευρέως χρησιμοποιούμενη εξίσωση του Friis :

$$(3.3) \quad P_r = P_t G_t G_r (c / 4\pi df)^2$$

όπου  $P_r$  και  $P_t$  είναι η λαμβανόμενη και εκπεμπόμενη ισχύς αντίστοιχα,  $G_t$  και  $G_r$  είναι τα κέρδη των κεραιών εκπομπής και λήψης αντίστοιχα,  $c$ <sup>[7]</sup> είναι η ταχύτητα του φωτός,  $d$  είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη και  $f$  είναι η συχνότητα του σήματος.

Αυτή η εξίσωση δείχνει ότι η λαμβανόμενη ισχύς σήματος θα μειωθεί τετραγωνικά με την αύξηση της συχνότητας. Στα στενής ζώνης σήματα, η αλλαγή της συχνότητας ελάχιστα μεταβάλλει τη λαμβανόμενη ισχύ και έτσι, μπορεί να παραβλεφθεί. Όμως, λόγω του μεγάλου εύρους συχνοτήτων που καταλαμβάνεται από το UWB φάσμα, η λαμβανόμενη ισχύς αλλάζει δραματικά με αποτέλεσμα να παραμορφώνει το σχήμα του παλμού. Αυτό περιορίζει τη λειτουργία των UWB δεκτών που συσχετίζουν το λαμβανόμενο παλμό με μια προκαθορισμένη μορφή όπως ένα τυπικό προσαρμοσμένο φίλτρο.

#### 2. Εκτίμηση καναλιού ( Channel Estimation ).

Η εκτίμηση καναλιού είναι βασικό θέμα για τη σχεδίαση του δέκτη στα ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Επειδή είναι αδύνατη η μέτρηση κάθε ασύρματου καναλιού στο χώρο, είναι σημαντικό να χρησιμοποιήσουμε πιλοτικές αλληλουχίες για την εκτίμηση των παραμέτρων του καναλιού, π.χ. εξασθενήσεις και καθυστερήσεις της διαδρομής διάδοσης. Δεδομένου ότι οι περισσότεροι UWB δέκτες συσχετίζουν το λαμβανόμενο σήμα με ένα σήμα προκαθορισμένης μορφής, η εκ των προτέρων γνώση των παραμέτρων του ασύρματου καναλιού είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη της μορφής του προκαθορισμένου σήματος που προσαρμόζεται στο λαμβανόμενο. Ωστόσο, ως αποτέλεσμα του μεγάλου εύρους ζώνης και της μειωμένης ισχύος του σήματος, οι UWB παλμοί υφίστανται σοβαρή παραμόρφωση. Έτσι, η εκτίμηση καναλιού στα UWB τηλεπικοινωνιακά συστήματα γίνεται πολύ περίπλοκη.

#### 3. Συγχρονισμός σε υψηλή συχνότητα.

Ο συγχρονισμός στο χρόνο είναι μια πλούσια περιοχή έρευνας στα UWB τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Όπως με οποιοδήποτε άλλο τηλεπικοινωνιακό σύστημα, ο συγχρονισμός στο χρόνο μεταξύ πομπού και δέκτη είναι επιτακτικός στα UWB συστήματα. Όμως, η δειγματοληψία και ο συγχρονισμός παλμών διάρκειας των nanoseconds θέτει σοβαρό περιορισμό στο σχεδιασμό των UWB συστημάτων.

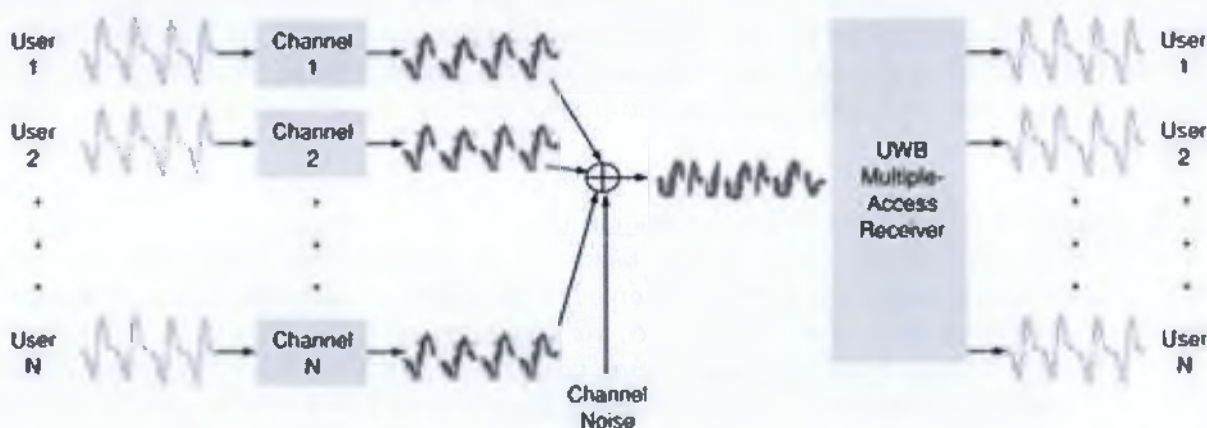
[7]: Στο κενό, όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός,  $c = 3 \times 10^8$  m/s.

Προκειμένου να δειγματοληπτήσουμε αυτούς τους στενούς παλμούς, χρειάζονται πολύ γρήγορες ( της τάξης των gigahertz ) μετατροπές αναλογικού σε ψηφιακό ( analog - to - digital converters, ADCs ).

Επιπλέον, οι αυστηροί περιορισμοί ισχύος και η μικρή χρονική διάρκεια των παλμών καθιστούν τη λειτουργία των UWB συστημάτων εξαιρετικά ευαίσθητη σε λάθη συγχρονισμού. Αυτό αποτελεί κρίσιμο θέμα για την επιτυχία των δεκτών διαμόρφωσης θέσης παλμών (pulse-position modulation, PPM)<sup>[8]</sup>, που βασίζονται στην ανίχνευση της ακριβούς θέσης του λαμβανόμενου σήματος.

#### 4. Παρεμβολή πολλαπλής πρόσβασης (Multiple-Access Interference).

Σε ένα πολλαπλών χρηστών ( multiuser ) ή πολλαπλής πρόσβασης τηλεπικοινωνιακό σύστημα, διάφοροι χρήστες ή συσκευές αποστέλλουν πληροφορία ανεξάρτητα και ταυτόχρονα σε ένα κοινό μέσο διάδοσης(όπως ο αέρας στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες). Στο σημείο λήψης, ένας ή περισσότεροι δέκτες πρέπει να είναι σε θέση να ξεχωρίζουν τους χρήστες και να ανιχνεύουν την πληροφορία από τον κατάλληλο χρήστη. Η παρεμβολή από άλλους χρήστες ονομάζεται *παρεμβολή πολλαπλής πρόσβασης ( multiple - access interference, MAI )* και αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τη χωρητικότητα του καναλιού και τη λειτουργία τέτοιων δεκτών. Η πρόσθεση της MAI στον αναπόφευκτο θόρυβο καναλιού και στην παρεμβολή στενής ζώνης μπορεί να υποβαθμίσει σημαντικά τη χαμηλή ισχύ UWB παλμών και να κάνει τη διαδικασία ανίχνευσης πολύ δύσκολη. Η εικόνα 18 δείχνει ένα UWB κανάλι πολλαπλής πρόσβασης.



Εικόνα 18 : UWB κανάλι πολλαπλής πρόσβασης

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, η διάκριση της πληροφορίας κάθε χρήστη από το συνδυασμό των πολύ παραμορφωμένων και χαμηλής ισχύος UWB παλμών όλων των χρηστών είναι μια διαδικασία γεμάτη προκλήσεις.

[8]: Είδος διαμόρφωσης σήματος κατά την οποία η ψηφιακή πληροφορία κωδικοποιείται με βάση την ακριβή θέση των παλμών σε μια αλληλουχία παλμών σήματος.

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται τα μειονεκτήματα που εμπλέκονται με την UWB τεχνολογία καθώς και τα προβλήματα που αυτές προκαλούν.

Μειονεκτήματα	Πρόβλημα
Παραμόρφωση του σχήματος του παλμού.	Υποβάθμιση της λειτουργίας χρησιμοποιώντας δέκτες με προσαρμοσμένα φίλτρα.
Εκτίμηση καναλιού.	Δυσκολία πρόβλεψης προκαθορισμένων σημάτων.
Συγχρονισμός σε μεγάλη συχνότητα.	Πολύ γρήγοροι ADCs.
Παρεμβολή πολλαπλής πρόσβασης ( MAI ).	Η ανίχνευση της πληροφορίας του επιθυμητού χρήστη είναι δυσκολότερη απ' ότι στις στενής ζώνης ( narrowband ) επικοινωνίες.
Χαμηλή ισχύ εκπομπής.	Μικρή εμβέλεια.

Πίνακας 3

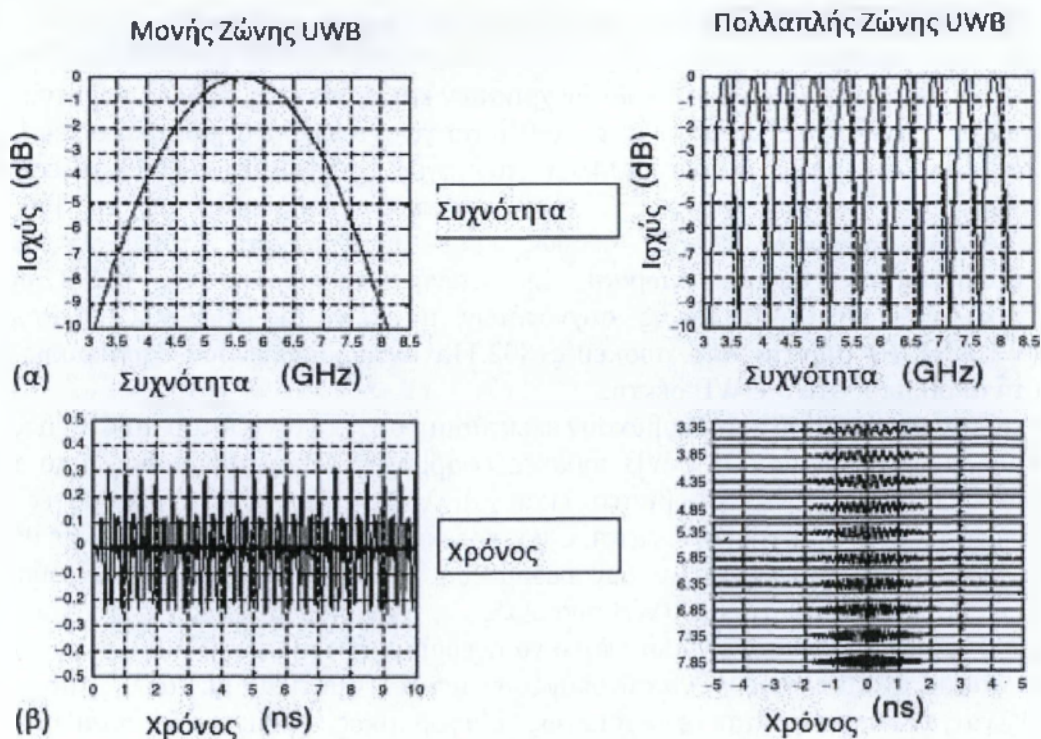
### 3.4 Προκλήσεις για UWB

Προκλήσεις του σχεδιασμού υπάρχουν στους τομείς της διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, που είναι κατάλληλες για συστήματα UWB. Αρχικά το UWB ραδιόφωνο χρησιμοποιήθηκε για στρατιωτικές εφαρμογές, όπου η μετάδοση πολλών χρηστών και η επίτευξη υψηλής χωρητικότητας δεν αποτελούν μείζονες ανησυχίες. Ωστόσο, αυτά τα θέματα γίνονται πολύ σημαντικά σε εμπορικές εφαρμογές, όπως τα ασύρματα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων στο σπίτι. Η αποτελεσματική κωδικοποίηση και τα σχήματα διαμόρφωσης είναι συνεπώς απαραίτητα για να βελτιωθεί η ικανότητα πολλών χρηστών UWB καθώς και η απόδοση του συστήματος. Μία πρόκληση του σχεδιασμού είναι η επίδραση της στενής παρεμβολής για UWB δέκτες. Ειδικότερα, οι επικαλύψεις της UWB ζώνης συχνοτήτων με εκείνη του IEEE 802.11a ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN). Τα σήματα από συσκευές 802.11a αντιπροσωπεύουν εσωτερικής ζώνης παρέμβαση για το άκρο μπροστινό UWB δέκτη.

Άλλες προκλήσεις του σχεδιασμού περιλαμβάνουν επεκτάσιμη αρχιτεκτονική του συστήματος και την ευελιξία του ραδιοφάσματος. Οι UWB πιθανές εφαρμογές περιλαμβάνουν τόσο υψηλό ποσοστό-εφαρμογές ( π.χ. εικόνες και βίντεο ) και χαμηλότερο συντελεστή εφαρμογές ( π.χ. ο υπολογιστής περιφερειακή υποστήριξη ). Έτσι, ο πομποδέκτης UWB πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξει ένα ευρύ φάσμα των ποσοστών των δεδομένων. Επιπλέον, η χωρίς άδεια φύση του φάσματος UWB καθιστά απαραίτητη για UWB συσκευές να συνυπάρχουν με τις συσκευές που μοιράζονται το ίδιο φάσμα. Ωστόσο, είναι δύσκολο να σχεδιάσει συστήματα UWB με την ευελιξία που επιτρέπει το φάσμα UWB συσκευές να συνυπάρχουν αποτελεσματικά με άλλες ασύρματες τεχνολογίες και να ανταποκρίνονται ενδεχομένως διαφορετικές ρυθμιστικές απαιτήσεις σε διάφορες περιοχές του κόσμου.

### 3.5 UWB Συστημάτων Μεταφοράς

Παρά το γεγονός ότι η FCC έχει ρυθμίσει το φάσμα και τα επίπεδα ισχύος εκπομπής για UWB, σήμερα δεν υπάρχει πρότυπο για ένα σύστημα μετάδοσης UWB. Διάφορες τεχνικές παραγωγής παλμών έχει προταθεί η χρησιμοποίηση των 7,5 GHz χωρίς άδεια φάσματος UWB. Σε γενικές γραμμές, οι UWB προσεγγίσεις μετάδοσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο βασικές προσεγγίσεις: μονής-ζώνης και πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων. Μια παραδοσιακή τεχνολογία UWB βασίζεται σε μονής ζώνης συστήματα που χρησιμοποιούν ελεύθερο φορέα ή άμεσης κατανάλωσης ραδιοεπικοινωνίες. Το ραδιοφωνο άμεσης κατανάλωσης αναφέρεται στην παραγωγή μιας σειράς άμεσης κατανάλωσης όπως κυματομορφές, κάθε διάρκειας της τάξης των εκατοντάδων πικοδευτερολέπτων. Κάθε παλμός καταλαμβάνει εύρος ζώνης αρκετά gigahertz, που πρέπει να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις της φασματικής μάσκας. Η πληροφορία είναι διαμορφωμένη απ' ευθείας εντός της ακολουθίας των παλμών. Τυπικά, ένας παλμός μεταφέρει την πληροφορία για 1 bit. Τα δεδομένα θα μπορούσαν να διαμορφωθούν χρησιμοποιώντας είτε παλμό διαμόρφωσης πλάτους (PAM) ή διαμόρφωση παλμών θέσης (PPM). Πολλοί χρήστες μπορούν να υποστηριχθούν με τη χρήση του χρόνου - μεταπήδησης ή απευθείας ακολουθία εξάπλωσης προσεγγίσεων. Αυτό το είδος της μετάδοσης δεν απαιτεί τη χρήση πρόσθετων διαφοροποίησης μεταφορέα, όπως ο παλμός θα διαδοθεί καλά στο ραδιοφωνικό κανάλι. Η τεχνική είναι επομένως, μια προσέγγιση σήματος βασικής συχνότητας. Ωστόσο, το σύστημα μονής ζώνης αντιμετωπίζει ένα προκλητικό πρόβλημα στην οικοδόμηση RF και αναλογικών κυκλωμάτων και στο σχεδιασμό μιας χαμηλής πολυπλοκότητας δέκτη που μπορεί να συλλάβει επαρκή ενέργεια πολυδρόμων. Στην εικόνα 19 απεικονίζει UWB σήματα στο χρόνο όσο και σε περιοχές συχνοτήτων όταν χρησιμοποιούνται μονής - ζώνης και πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων προσεγγίσεις.



Εικόνα 19 : UWB μετάδοση προσεγγίσεων: (α) Μονής - ζώνης  
(β) πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων



Για να ξεπεραστεί το μειονέκτημα της μονής ζώνης προσεγγίσεις, οι προσεγγίσεις πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων προτάθηκαν. Αντί να χρησιμοποιείται ολόκληρη τη ζώνη συχνοτήτων UWB για τη μετάδοση πληροφοριών, η τεχνική πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων διαιρεί το UWB ζώνης συχνοτήτων από 3,1 μέχρι 10,6 GHz σε αρκετές μικρότερες ζώνες που αναφέρονται ως υποζώνες. Κάθε υποζώνη καταλαμβάνει ένα εύρος ζώνης τουλάχιστον 500 MHz, σε συμμόρφωση με τους κανονισμούς FCC. Με αλληλοπλοκή των μεταδιδόμενων συμβόλων σε υποζώνες, οι πολλαπλές ζώνες συχνοτήτων προσεγγίσεις μπορούν να διατηρήσουν τη δύναμη που μεταδίδεται σαν ένα μεγάλο εύρος ζώνης GHz όπου βρίσκεται στο στάδιο να χρησιμοποιηθεί. Το πλεονέκτημα είναι ότι οι προσεγγίσεις των πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων επιτρέπουν πληροφορίες που πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία σε ένα πολύ μικρότερο εύρος ζώνης, μειώνοντας έτσι τη συνολική πολυπλοκότητα του σχεδιασμού, καθώς και τη βελτίωση της φασματικής ευελιξίας και παγκόσμιας συμμόρφωσης.

Η OFDM τεχνική προτάθηκε η οποία χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό πολλαπλής ζώνης συχνοτήτων προσέγγιση και ορθογωνίας πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας. Η τεχνική OFDM είναι αποτελεσματική στη συλλογή πολλαπλών διαδρομών ενέργειας σε υψηλά κανάλια διασποράς, όπως στην περίπτωση για των περισσότερων UWB καναλιών. Επιπλέον, επιτρέπει σε κάθε OFDM υποζώνη να διαιρείται σε μια σειρά από ορθογώνιους διαύλους στενής ζώνης ( με μια πολύ μεγαλύτερη διάρκεια περίοδο συμβόλου ). Η κύρια διαφορά μεταξύ των πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων και των παραδοσιακών συστημάτων OFDM είναι ότι οι πολλαπλές ζώνες συχνοτήτων OFDM συμβόλων δεν αποστέλλονται συνεχώς σε μια μονή ζώνη συχνότητας, αντί αυτού, είναι παρεμβαλλόμενα πάνω από διαφορετικές υποζώνες διά μέσου τόσο του χρόνου όσο και της συχνότητας. Η πολλαπλή πρόσβαση με την προσέγγιση πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων είναι δυνατή με τη χρήση κατάλληλης σχεδίασης αναπήδησης - συχνότητας ακολουθιών πάνω από το σύνολο των υποζωνών. Μια συχνότητα συνθετητή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτελέσει αναπήδηση – συχνότητας.

Με τη χρήση κατάλληλων χρόνου - συχνότητας κωδικών, ένα σύστημα πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων παρέχει ταυτόχρονα την πολυμορφία συχνότητας και πολλαπλών δυνατοτήτων πρόσβασης. Η OFDM προσέγγιση πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων έχει κάνει μία καθοριστική πρόταση για το IEEE 802.15.3a WPAN πρότυπο και έχει εγκριθεί ως πρότυπο UWB από την Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (ECMA).

Οι μονής ζώνης παροχές προσέγγισης από ένα κέρδος της κωδικοποίησης επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης του χρόνου – αναπήδησης ή άμεσης ακολουθίας εξάπλωσης, εκμεταλλεύεται τις αρχές του Shannon σε μεγαλύτερο βαθμό από ό, τι κάνει η προσέγγιση πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων, διαθέτει μεγαλύτερη ακρίβεια για τον προσδιορισμό θέσης και πραγματοποιεί καλύτερη αποδοτικότητα του φάσματος. Ωστόσο, έχει λιγότερη ευελιξία όσον αφορά την εξωτερική φασματική ρύθμιση και μπορεί να είναι πολύ ευρυζωνική εάν οι ξένες κυβερνήσεις επιλέξουν να περιορίσουν την UWB φασματική τους κατανομή σε μικρότερες κλίμακες από ό, τι επιτρέπεται από την FCC. Από την άλλη πλευρά, η προσέγγιση πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων έχει κύριο πλεονέκτημα να είναι η ικανότητά του για την ακρίβεια στον έλεγχο του πομπού PSD έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η μέση ισχύς που μεταδίδεται, ενώ ικανοποιεί τη φασματική μάσκα. Παρέχει τη δυνατότητα για ειρηνική συνύπαρξη με ευέλικτη φασματική κάλυψη και αποτελεί πιο εύκολο να υιοθετηθεί σε διαφορετικά ρυθμιστικά περιβάλλοντα παγκοσμίως. Επιπλέον, η επεξεργασία πάνω σε ένα μικρότερο εύρος ζώνης διευκολύνει την απαίτηση από αναλογικό προς ψηφιακό μετατροπέα ρυθμό δειγματοληψίας και συνεπώς, διευκολύνει περισσότερο την ψηφιακή επεξεργασία. Επιπλέον, στην UWB πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων OFDM προσέγγιση, λόγω του αυξημένου μήκους της περιόδου συμβόλου OFDM, η μέθοδος διαμόρφωσης μπορεί να μειώσει επιτυχώς τα αποτελέσματα της διασυμβολικής παρεμβολής ( ISI ). Παρ'όλα αυτά, αυτή η ισχυρή ανοχή πολλαπλών διαδρομών έρχεται στην τιμή της αυξημένης πολυπλοκότητας του πομποδέκτη, η ανάγκη για την καταπολέμηση της παρεμβολής μεταξύ μεταφορέα ( ICI ) και αυστηρότερων περιορισμών σε γραμμικά στοιχεία του κυκλώματος ενισχυτή.

### 3.5.1 Συνέπειες του Καναλιού στην Απόδοση του Συστήματος

Το μήκος του καναλιού, λόγω της συνέλιξης, προκαλεί επιμήκυνση και του μεταδιδόμενου σήματος. Αυτό σημαίνει πρακτικά ότι σήματα τα οποία είναι χρονικώς απομακρυσμένα στην έξοδο του πομπού, στο δέκτη είναι πιθανόν να παρουσιάζουν επικάλυψη (overlapping). Αυτή η επικάλυψη είναι πολύ πιθανόν να μεταβάλλει τη θεωρητική απόδοση του συστήματος και να προκαλέσει τα παρακάτω φαινόμενα:

**Διασυμβολική παρεμβολή:** Κατά τη μετάδοση των  $N_f$  κωδικοποιημένων παλμών που χρειάζονται για τη μετάδοση ενός bit, γνωρίζουμε ότι κάθε μεταδιδόμενο bit δεν προκαλεί παρεμβολή στα επόμενα. Εάν όμως έχουμε πολυδοεύν κανάλι (multipath channel), τότε, ενώ ο πομπός θα συνεχίσει να μεταδίδει σύμβολα με την ίδια περίοδο, το μήκος των συμβόλων στο δέκτη θα είναι μεγαλύτερο. Συνεπώς, αν το channel spread<sup>[9]</sup> είναι μεγάλο, το σήμα που αντιστοιχεί σε κάθε bit θα διαρκεί περισσότερο από την περίοδο συμβόλου και θα έχουμε παρεμβολή στα επόμενα bits. Αυτή είναι μια μορφή διασυμβολικής παρεμβολής (ISI, Inter Symbol Interference).

**Παρεμβολή πολλαπλών χρηστών:** Στο απλό γκαουσιανό κανάλι, εάν θεωρήσουμε ότι οι ξένοι χρήστες έχουν ορθογώνιους κωδικούς με το χρήστη ενδιαφέροντος, τότε δεν παρουσιάζουν καμία παρεμβολή στο σύστημα.

### 3.6 Τεχνική διαμόρφωσης πολλαπλών πρόσβασης συστήματα

Με τον όρο UWB έχει καθιερωθεί να χαρακτηρίζονται δύο εντελώς διαφορετικά συστήματα. Το ένα είναι αυτό που αναφέρθηκε ήδη, δηλαδή η τεχνική μετάδοσης OFDM, ενώ το δεύτερο είναι το DS – UWB ( Direct Sequence UWB ) Απευθείας Ακολουθία UWB, την οποία θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

#### 3.6.1 Απευθείας Ακολουθία UWB ( DS – UWB )

Το DS-UWB χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό ενός μοναδικού μεταφορέα - σχεδίαση κατανομής φάσματος και ευρεία συνεκτικό εύρος ζώνης. Το UWB Φόρουμ, μια οργάνωση βιομηχανίας επικεντρώνεται στο σχεδιασμό και την εφαρμογή UWB, η οποία ανέπτυξε το DS - UWB, λέει ότι παρέχει χαμηλή εξασθένιση, βέλτιστα χαρακτηριστικά παρεμβολής, εγγενή πολυμορφία συχνότητας και ακρίβεια των δυνατοτήτων που κυμαίνονται. Αντίθετα από τα συμβατικά ασύρματα συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν κύματα στενής ζώνης διαμορφωμένου μεταφορέα για τη μετάδοση πληροφοριών, το DS-UWB μεταδίδει δεδομένα με παλμούς της ενέργειας που παράγεται σε πολύ υψηλούς ρυθμούς: άνω του ενός δισεκατομμυρίων παλμών ανά δευτερόλεπτο, παρέχοντας υποστήριξη για ταχύτητες δεδομένων 28M, 55M, 110M, 220m, 500m, 660m και 1320M bit / sec. Ένας σταθερός ρυθμός chip UWB σε συνδυασμό με μεταβλητού μήκους διάδοση κωδικών λέξεων επιτρέπει την κλιμακούμενη υποστήριξη. Το DS-UWB προσφέρει τέσσερα βασικά πλεονεκτήματα σε σχέση με νόμιμες ασύρματες τεχνολογίες: ποιότητα των υπηρεσιών, υψηλούς ρυθμούς δεδομένων που κλιμακώνονται στο 1G bit / sec ή περισσότερο, χαμηλότερο κόστος και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Αυτά τα χαρακτηριστικά σημαίνουν ότι το DS - UWB είναι κατάλληλο για να είναι το φυσικό στρώμα για τα PANs. Με τη χρήση όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος ζώνης για την παραγωγή των παλμών, τόσο το συντομότερο δυνατό το DS - UWB υποστηρίζει ισχυρό, υψηλού ρυθμού δεδομένων συνδέσεις σε ένα περιβάλλον υψηλών πολλαπλών διαδρομών και προσφέρει ακριβή χωρική ανάλυση για την ανίχνευση της θέσης UWB συσκευών.

[9]: Η κρουστική απόκριση έχει ένα χρονικό μήκος που ισοδυναμεί με την καθυστέρηση της τελευταίας καθυστέρησης ή της τελευταίας καθυστέρησης με πλάτος που λαμβάνουμε υπόψιν. Αυτό το μήκος θα ονομάζουμε channel spread ή delay spread.

Ένα περιβάλλον πολλαπλών διαδρομών είναι εκείνο κατά το οποίο τα ραδιοκύματα ανακλώνται από πολλά αντικείμενα, με αποτέλεσμα να εξασθενεί. Με την αξιοποίηση της συνεκτικής επεξεργασίας καθ' όλη τη ζώνη συχνοτήτων, το DS - UWB επιτρέπει την καλύτερη θεωρητικά δυνατή απόδοση σε περιβάλλοντα υψηλών πολλαπλών διαδρομών, όπως τα σπίτια. Δημιουργώντας συνεχή ομαλό λευκό θόρυβο σε χαμηλότερα επίπεδα από ό,τι ανταγωνιστικές προσεγγίσεις, το DS-UWB θα ελαχιστοποιήσει τις παρεμβολές. Αυτό δεν προκαλεί επιβλαβείς παρεμβολές σε υπάρχοντες χρήστες του φάσματος, βασικό μέλημα των ρυθμιστικών αρχών σε παγκόσμιο επίπεδο. Η τεχνολογία DS-UWB παρέχει κλιμακωτή απόδοση σε ένα ευρύ φάσμα των απαιτήσεων των εφαρμογών – από τις υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων μέχρι και 1G bit / sec σε εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Η τεχνολογία μειώνει την πολυπλοκότητα της εφαρμογής επιτρέποντας ταυτόχρονα αυξημένη επεκτασιμότητα, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές όπως η υψηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων ή με περιορισμένη εξουσία φορητές συσκευές.

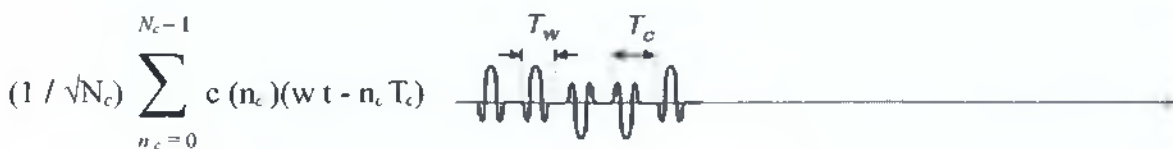
Το DS-UWB χρησιμοποιεί έναν υψηλής αντοχής κύκλου παλμών των οποίων οι πολικότητες ακολουθούν ψευδοτυχαίες ακολουθίες κώδικα. Συγκεκριμένα, κάθε χρήστης του συστήματος αντιστοιχεί σε μία ψευδοτυχαία ακολουθία που ελέγχει τις αναστροφές των ψευδοτυχαίων παλμών UWB. Σε ένα DS-UWB σύστημα με διαμόρφωση BPSK, το δυαδικό σύμβολο  $d(k)$  πρέπει να μεταδοθεί μέσω του διαστήματος πλαισίου  $k$ -οστή που απλώνεται από μία αλληλουχία πολλαπλών μονόκυκλων, των οποίων οι πολικότητες που καθορίζονται από την ακολουθία εξάπλωσης. Μία τέτοια ακολουθία εξάπλωσης αποδίδεται μοναδικά σε κάθε χρήστη σε μια πολλαπλή μετάδοση με μικρή παρεμβολή. Παρόμοιο με το σύστημα FH, μία ορθογωνική αλληλουχία εξάπλωσης όπως μία αλληλουχία Gold ή ένας Hadamard - Walsh κώδικας μπορεί να επιλεγεί για το μετριασμό των παρεμβολών πολλαπλής προσπελάσεως σε ένα σύγχρονο δίκτυο.

Το DS-BPSK μεταδιδόμενο σήμα μπορεί να περιγραφεί ως

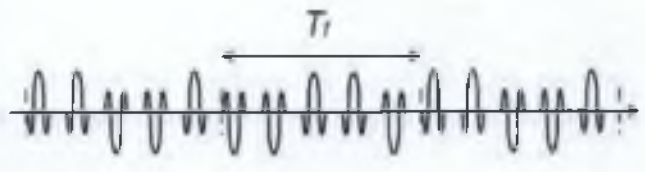
$$(3.4) \quad \bar{x}(t) = (1 / \sqrt{N_c}) \sum_{k=-\infty}^{\infty} d(k) \sum_{n_c=0}^{N_c-1} c(n_c) \bar{w}(t - kT_f - n_c T_c)$$



Ακολουθία παλμών με ένα ψευδο-τυχαίο κωδικό :



DS-UWB σήμα με διαμόρφωση BPSK :

$$(1 / \sqrt{N_c}) \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_m(k) \sum_{n_c=0}^{N_c-1} c(n_c) \bar{w}(t - kT_f - n_c T_c)$$


Εικόνα 20 : DS-UWB σήμα με διαμόρφωση BPSK

όπου  $d(k) \in \{-1, 1\}$  είναι τα διαμορφωμένα δεδομένα δυαδικών ( δηλαδή,  $d(k) = -1$  όταν το bit δεδομένων είναι μηδέν και το  $d(k) = 1$  όταν το bit δεδομένων είναι 1 ).  $T_c \geq T_w$  δηλώνει την περίοδο λυκίσκου (hop) και ο συντελεστής  $1 / \sqrt{N_c}$  εισάγεται έτσι ώστε η αλληλουχία του  $N_c$  μονόκυκλων να έχει μονάδα ενέργειας.

## Κεφάλαιο 4

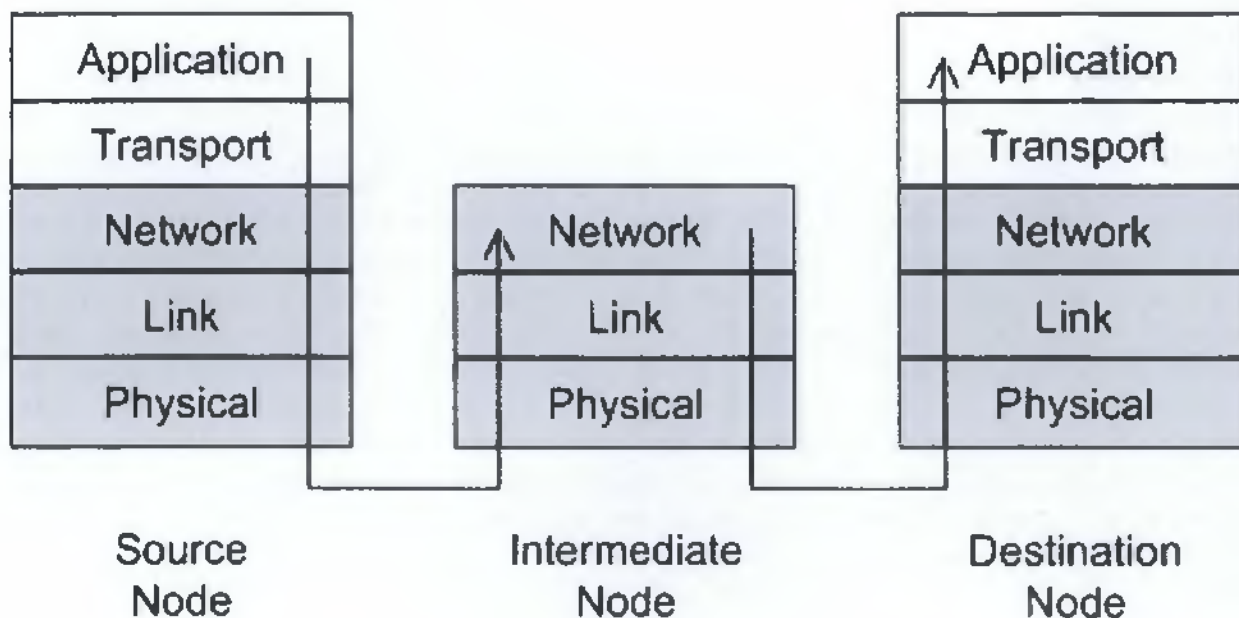
### Δικτύωση UWB

#### 4.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει τα βήματα και ζητήματα που αφορούν τη δημιουργία ενός δικτύου των UWB συσκευών. Όπως θα δούμε, υπάρχουν πτυχές της UWB δικτύωσης που είναι παρόμοιες με τα παραδοσιακά δίκτυα επικοινωνιών, ενώ άλλες πτυχές είναι αρκετά διαφορετικές. Για να ξεκινήσουμε τη συζήτησή μας για τη δικτύωση UWB, έχουμε αναθεωρήσει ορισμένες θεμελιώδεις έννοιες δικτύωσης. Ένα δίκτυο είναι μια συλλογή διασυνδεδεμένων συσκευών. Ένα δίκτυο UWB είναι η συλλογή των συσκευών μεταξύ τους με δεσμούς UWB. Αυτές οι συνδέσεις λειτουργούν με τον ίδιο μέσο ασύρματο, έτσι ώστε ακόμη και τα πιο στοιχειώδεις δίκτυα πρέπει να καθορίζουν έναν τρόπο να μοιράζονται το ασύρματο μέσο είτε με το συντονισμό είτε με τον ισχυρισμό. Πιο πολύπλοκα δίκτυα που παρέχουν έμμεσες συνδέσεις συμπληρώνουν συνήθως αυτά τα συστήματα πρόσβασης μεσοπρόθεσμα με τις μεθόδους για τον συντονισμό της από άκρο σε άκρο ροή των πληροφοριών μέσω των δικτύων. Δίκτυα χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα για να επισημοποιήσουν τις διαδικασίες για την πρόσβαση στο μέσο, από άκρο σε άκρο ροή πληροφοριών καθώς και άλλες λειτουργίες του δικτύου. Για παράδειγμα, όταν η επικοινωνία λαμβάνει χώρα μόνο μεταξύ κόμβων συνδέεται άμεσα, δηλαδή πάνω από ένα λυκίσκο (hop), ένας σύνδεσμος δεδομένων πρωτοκόλλου στρώματος (ή ένα σύνολο δεδομένων πρωτοκόλλων στρώματος σύνδεσης) είναι απαραίτητος για να συντονίζει την μεταφορά των πληροφοριών σε οποιοδήποτε από τους πολλούς τρόπους, όπως ως ένα προς ένα (unicast), ένα προς πολλά (multicast), ένα προς όλα (broadcast) ή πολλά προς ένα. Ελάχιστα, αυτό απαιτεί την εισαγωγή ενός συστήματος αντιμετώπισης για να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα πηγαίνουν στον σωστό παραλήπτη (-παραλήπτες). Επιπλέον, ορισμένα σχεδιαγράμματα είναι απαραίτητα για να συντονίζουν την χρήση του κοινόχρηστου ασύρματου καναλιού από πολλαπλούς κόμβους. Αυτό τυπικά πραγματοποιείται με πρωτόκολλα μεσαίου ελέγχου πρόσβασης (MAC), τα οποία συζητούνται με περισσότερες λεπτομέρειες αργότερα σε αυτό το κεφάλαιο. Αυτή η άποψη ενός δικτύου (απευθείας συνδέσεις μεταξύ των ασύρματων συσκευών) είναι ανάλογη με το δίκτυο που παρέχεται από το IEEE 802.11 ασύρματο τοπικό δίκτυο προτύπων, καθώς και οι προδιαγραφές για WPAN σε ένα riconet. Ωστόσο, όταν οι κόμβοι συνδέονται επίσης έμμεσα, δηλαδή, πάνω από πολλαπλά (λυκίσκου) hops, πρόσθετα πρωτόκολλα πρέπει να εισαχθούν. Συγκεκριμένα, οι συσκευές του δικτύου πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίσουν τον τρόπο δρομολόγησης των πληροφοριών μεταξύ έμμεσα συνδεδεμένων συσκευών, μια διαδικασία που περιπλέκεται από την κίνηση των συσκευών, όπως ένα κινητό δίκτυο ad hoc (MANET), καθώς και η έλλειψη οποιασδήποτε δικτυακής υποδομής για τη δρομολόγηση, όπως σε ένα Bluetooth scatternet ή ένα MANET. Αυτό το καθήκον πέφτει συνήθως σε δικτυακά πρωτόκολλα επιπέδου. Επιπλέον, μια έμμεση σύνδεση, όπως ένα ενδιάμεσο hop, μπορεί να αποτύχει, καθιστώντας έτσι αναγκαία τη χρήση για πρόσθετων πρωτοκόλλων για την εξασφάλιση αξιόπιστης επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων που συνδέονται έμμεσα. Αξιόπιστες από άκρο σε άκρο επικοινωνίες παρέχονται τυπικά από ένα πρωτόκολλο στρώματος - επιπέδου μεταφοράς.

Τελικά, η απόδοση ενός δικτύου UWB εξαρτάται από την απόδοση των δεσμών του, το σημείο προς σημείο πρωτοκόλλων της, από άκρο σε άκρο του πρωτοκόλλου και σχετικά με την αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των πρωτοκόλλων. Η πρόβλεψη της απόδοσης του δικτύου μπορεί να είναι αρκετά περίπλοκη λόγω των αμοιβαίων εξαρτήσεων και αλληλεξαρτήσεων των πρωτοκόλλων δικτύου.

Για να απλοποιηθεί η κατασκευή των πρωτοκόλλων δικτύου, ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) δημοσίευσε τη Διασύνδεση Ανοικτών Συστημάτων (OSI) μοντέλο. Το μοντέλο OSI χωρίζει τη λειτουργικότητα των πρωτοκόλλων δικτύου σε επτά στρώματα-επίπεδα, παρουσίαση, σύννοδος, μεταφορά, δίκτυο, ζεύξης δεδομένων, και τη φυσική. Κρύβοντας τις λειτουργίες του κάθε στρώματος-επιπέδου πίσω από καλά καθορισμένες διεπαφές, μια διαδικασία γνωστή ως ενθυλάκωση, αυτή η προσέγγιση στρωματοποίησης διευκολύνει την ανεξάρτητη ανάπτυξη των πρωτοκόλλων για κάθε στρώμα-επίπεδο. Μέσω της χρήσης των καλά καθορισμένων διεπαφών, τα πρωτόκολλα σε κάθε στρώμα του μοντέλου αυτού αλληλεπιδρούν με τα πρωτόκολλα μόνο σε στοιβάδες αμέσως πάνω και κάτω από το στρώμα του. Με άλλα λόγια, ένας σύνδεσμος δεδομένων πρωτοκόλλου στρώματος μπορεί να αλληλεπιδράσει (ίσως με το πέρασμα πακέτων) με πρωτόκολλα στο δίκτυο ή φυσικά στρώματα, αλλά όχι με τα πρωτόκολλα της μεταφοράς ή το επίπεδο εφαρμογής. Πράγματι, εάν ένα δίκτυο είναι σχεδιασμένο σωστά, τα πρωτόκολλα παραμένουν μακάρια αγνοώντας τα πρωτόκολλα που δεν είναι άμεσα γειτονικά στη στοίβα. Ωστόσο, στην πράξη, το επτά-στρώματα μοντέλο είναι συνήθως απλοποιημένο σε ένα μοντέλο αναφοράς πέντε στρωμάτων TCP / IP, όπως δείχνεται στην εικόνα 21, με βάση τα συγκεντρωτικά της παρουσίασης και τα στρώματα συνόδου σε επίπεδο εφαρμογής. Αυτό το πέντε - στρωμάτων μοντέλο είναι παρόμοιο με τα τέσσερα - στρώματα του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ (DoD) μοντέλο δικτύου που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του Διαδικτύου. Σε αυτό το μοντέλο, το επίπεδο εφαρμογής αναφέρεται ως το στρώμα διεργασίας, το επίπεδο μεταφοράς ονομάζεται ως ο ξενιστής - προς - ξενιστή στρώματος αφού ασχολείται με τη συνδεσιμότητα από άκρο σε άκρο, το επίπεδο δικτύου είναι το στρώμα διαδικτύου και ο σύνδεσμος δεδομένων καθώς και τα φυσικά στρώματα συνδυάζονται εντός του επιπέδου πρόσβασης στο δίκτυο.



Εικόνα 21 : Ένα πέντε - Στρωμάτων Μοντέλο Αναφοράς Πρωτοκόλλου

Στο μοντέλο αναφοράς TCP / IP της εικόνας 21 που το φυσικό στρώμα χειρίζεται τη διαμόρφωση, την κωδικοποίηση σφάλματος, τη μετάδοση και τη λήψη. Ο σκοπός του φυσικού στρώματος είναι για την αποτελεσματική μετάδοση και λήψη δυαδικών ψηφίων δεδομένων με όσο το δυνατόν λιγότερα λάθη. Στην πραγματικότητα, το φυσικό στρώμα περιλαμβάνει όλες τις πτυχές των UWB επικοινωνιών που καλύπτονται σε αυτό το σημείο.

Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων των ομάδων των δυαδικών ψηφίων δεδομένων σε μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου στο επίπεδο γραμμής δεδομένων (PDUs) καλούνται τα πλαίσια, που χειρίζονται τα σφάλματα πλαισίου και ελέγχουν τη ροή των πλαισίων. Η βασική υπηρεσία που παρέχεται από το στρώμα ζεύξης δεδομένων κινείται σε ένα πλαίσιο από έναν κόμβο σε έναν γειτονικό κόμβο μέσω ενός συνδέσμου επικοινωνίας. Αυτό απαιτεί τη χρήση μιας μορφής διευθυνσιοδότησης και όταν πολλαπλοί κόμβοι πρέπει να μοιράζονται το φυσικό μέσο, ένας μηχανισμός για τον έλεγχο της πρόσβασης στο μέσο, αυτό τυπικά πραγματοποιείται από ένα πρωτόκολλο MAC. Το πρωταρχικό καθήκον του στρώματος του δικτύου είναι να καθορίσουν τις κατάλληλες διαδρομές μεταξύ έμμεσων συνδεδεμένων συσκευών. Ο αλγόριθμος που καθορίζει αυτά τα μονοπάτια καλείται καταλλήλως ως ένας αλγόριθμος δρομολόγησης και πραγματοποιείται από ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης. Για δίκτυα πρωτοκόλλων Internet (IP), το στρώμα - επίπεδο του δικτύου γίνεται με IP και τα σχετικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, όπως το Border Gateway Protocol (BGP) ή το Open Shortest Path First (OSPF) πρωτόκολλο. Για να διευκολυνθεί ο αλγόριθμος δρομολόγησης του πρωτοκόλλου του δικτύου της, ένα άλλο επίπεδο για την αντιμετώπιση συνήθως παρέχεται από το στρώμα δικτύου. Βρίσκεται μεταξύ της εφαρμογής και των στρωμάτων δικτύου, το στρώμα μεταφοράς παρέχει ένα άκρο σε άκρο λογική σύνδεση μεταξύ της πηγής και των κόμβων προορισμού. Όπως απεικονίζεται στην εικόνα 21, οι μεταφορές στρώματος λειτουργίας πρωτοκόλλων γίνονται στα τελικά συστήματα, στην πηγή και στους κόμβους προορισμού, αλλά όχι στους ενδιάμεσους κόμβους που εκτελούν τη δρομολόγηση στο επίπεδο δικτύου. Οι μεταφορές πρωτοκόλλων στρώματος μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία από άκρο σε άκρο επικοινωνία, αλλά αυτό δεν ισχύει πάντα. Για παράδειγμα, το User Datagram Protocol (UDP) παρέχει αξιόπιστη καλύτερη προσπάθεια χωρίς σύνδεση υπηρεσίας στο στρώμα εφαρμογής, ενώ το Transmission Control Protocol (TCP) παρέχει μια αξιόπιστη σύνδεση με προσανατολισμό εξυπηρέτησης. “Καθισμένο” επάνω σε αυτά τα στρώματα είναι το στρώμα εφαρμογής. Το στρώμα - επίπεδο εφαρμογής τρέχει τις διαδικασίες εφαρμογής, όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και τις υπηρεσίες web και παρέχει τη διεπαφή που παρουσιάζεται στο χρήστη.

#### 4.2 Πώς είναι η UWB Δικτύωση διαφορετική;

Με πολλούς τρόπους, τα πρωτόκολλα δικτύωσης που πρέπει να χρησιμοποιούνται για UWB δίκτυα είναι παρόμοια με εκείνα που είναι κατάλληλα για άλλα ασύρματα δίκτυα. Ωστόσο, οι ιδιότητες του φυσικού καναλιού UWB απαιτούν κάποιες αλλαγές, ιδίως σε πρωτόκολλα δεδομένων επιπέδου σύνδεσης. Επιπλέον, για να βελτιστοποιήσει την απόδοση του σχεδιασμού της σύνδεσης δεδομένων και τα πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου θα πρέπει να αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά των UWB φυσικών συνδέσεων και πιθανόν οι εφαρμογές και τα σενάρια ανάπτυξης για τα UWB δίκτυα. Για άμεσα συνδεδεμένους κόμβους, οι βασικές απαιτήσεις και στόχοι για τα δεδομένα πρωτόκολλα επιπέδου σύνδεσης δεν αλλάζουν με την εισαγωγή της τεχνολογίας UWB δηλαδή, εξασφαλίζοντας αξιόπιστες επικοινωνίες σε ένα σύνδεσμο, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα της απόψεως καναλιού, που παρέχει έλεγχο ροής και την παροχή αντιμετώπισης βασικών πληροφοριών. Ωστόσο, στο πλαίσιο των δεδομένων πρωτοκόλλων επιπέδου συνδέσμου, οι έννοιες από ένα κανάλι, οι μέθοδοι για την ανίχνευση δραστηριότητας μεταφοράς από άλλους κόμβους και οι αυτο - παρεμβολές, όλα επηρεάζονται από την επιλογή των παραμέτρων σύνδεσης, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων διαμόρφωσης.

Τα ειδικά συστήματα που χρησιμοποιούνται γι' αυτά τα πρωτόκολλα σε ένα δίκτυο UWB πρέπει να αντανakλά τις μοναδικές ιδιότητες των UWB συνδέσεων επικοινωνιών. Οι βασικές απαιτήσεις του επιπέδου δικτύου, επίσης, δεν αλλάζουν για το UWB. Τα UWB δίκτυα κατά πάσα πιθανότητα θα είναι συχνά ad hoc στη φύση. Υπάρχουν ευκαιρίες για να αξιοποιήσουν τα δύο χαρακτηριστικά ραδιοζεύξης, χρησιμοποιώντας cross-layer σχεδιασμό, την εφαρμογή και τις απαιτήσεις για τη βελτιστοποίηση δικτυακών πρωτοκόλλων. Για παράδειγμα, οι UWB συσκευές σε ένα δίκτυο ad hoc μπορούν οι ίδιες να αυτο-οργανώνονται σε ιεραρχικές ομάδες με τρόπους που θεωρούν αμοιβαία παρεμβολή τη διατήρηση ισχύος και τη εφαρμογή απαιτήσεων συνδεσιμότητας.

### 4.3 UWB σε Θέματα Φυσικού Επιπέδου

Το φυσικό επίπεδο μεταδίδει δυαδικά ψηφία δεδομένων σε έναν ή περισσότερους δέκτες και δέχεται δυαδικά ψηφία δεδομένων από έναν πομπό χρησιμοποιώντας κατάλληλα τη διαμόρφωση και τα σχέδια κωδικοποίησης σφαλμάτων για τη μεγιστοποίηση απόδοσης και την ελαχιστοποίηση του bit ή συμβόλου ποσοστό σφάλματος. Επειδή ένα σήμα UWB καταλαμβάνει ένα μεγάλο ποσό του εύρους ζώνης, τα ποσοστά δεδομένων σε ένα σύστημα UWB μπορεί να είναι πολύ υψηλά άνω των 100 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbps). Σε μια Impulse UWB (I-UWB) ή Άμεση Ακολουθία UWB (DS-UWB) του συστήματος ο παλμός είναι τόσο στενός, κάτω από 10 ns και πιο κοντά στο 1 ns σε ορισμένα συστήματα, όπου η σύγχρονη μετάδοση είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί η καλή υποδοχή. Επιπλέον, επειδή το εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται από ένα σύστημα UWB είναι τόσο μεγάλο (αρκετά GHzs του εύρους ζώνης), η Αμερικανική Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) έχει επιβάλλει αυστηρούς κανονισμούς για την ισχύ εκπομπής για UWB πομπούς. Ο περιορισμός αυτός περιορίζει τη μέγιστη αποτελεσματική εμβέλεια ασυρμάτου για τις περισσότερες συσκευές UWB να είναι περίπου 10 μέτρα για υψηλές ταχύτητες δεδομένων. Η σύγχρονη μετάδοση, οι υψηλές ταχύτητες δεδομένων και η μικρή εμβέλεια ασυρμάτου είναι τα μοναδικά χαρακτηριστικά του φυσικού επιπέδου που επηρεάζουν το σχεδιασμό των πρωτοκόλλων υψηλότερων επιπέδων, ειδικά το επίπεδο ζεύξης δεδομένων.

Αρκετά συστήματα διαμόρφωσης μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα φυσικό επίπεδο UWB. Για ένα μονής ζώνης σύστημα UWB, υπάρχουν πολλά συστήματα διαμόρφωσης για να επιλέξουν, όπως διαμόρφωση άμεσης κατανάλωσης ή απευθείας ακολουθία κωδικοποιημένη φάση. Το I-UWB χρησιμοποιεί κώδικες μεταπήδησης χρόνου για τη διαμόρφωση σήματος, ενώ το DS-UWB χρησιμοποιεί άμεσες αλληλουχίες για να διαδοθεί ένα σύμβολο κατά τη διάρκεια αρκετών παλμών UWB. Για τα συστήματα πολλαπλών καναλιών (MC) UWB, Ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) είναι ένα δυνατό σχήμα διαμόρφωσης. Ο σχεδιασμός ζεύξης δεδομένων εξαρτάται από το συγκεκριμένο σύστημα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα UWB. Συνεπώς, ο σχεδιασμός του επιπέδου ζεύξης δεδομένων πρέπει να διαφέρει από το σχήμα διαμόρφωσης.

### 4.4 Σχεδιασμός του Επιπέδου Ζεύξης Δεδομένων

Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων κινείται σ' ένα πλαίσιο από μια μετάδοση κόμβου σε έναν ή περισσότερους κόμβους υποδοχής που βρίσκονται εντός του φάσματος ραδιοσυχνότητας, όπως προσδιορίζεται από το φυσικό στρώμα. Το στρώμα ζεύξης δεδομένων ορίζεται συνήθως ως δύο υποστρώματα, ο έλεγχος συνδέσμου λογικού υποστρώματος (LLC) και το υπόστρωμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC). Το υπόστρωμα MAC επιτρέπει πολλαπλές συσκευές να μοιράζονται ένα μόνο μέσο, ενώ το LLC είναι υπεύθυνο για την πραγματοποίηση ενός σημείο προς σημείο σύνδεσης μεταξύ των τελικών σημείων και μπορεί προαιρετικά, να παρέχει ανίχνευση σφαλμάτων και λειτουργιών ελέγχου. Το MAC είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό συστατικό του επιπέδου ζεύξης δεδομένων, όπως είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον καθορισμό της απόδοσης της επικοινωνίας μεταξύ γειτονικών κόμβων. Οι MAC τεχνικές είναι γενικά καλά κατανοητές, αλλά η UWB εισάγει κάποιους νέους περιορισμούς και κάποιες αλλαγές υποκείμενων παραδοχών.



#### 4.4.1 Στόχοι του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων

Σε γενικές γραμμές, ένα επίπεδο ζεύξης δεδομένων θα πρέπει να πληρεί τους ακόλουθους τέσσερις βασικούς στόχους:

1. Αξιόπιστη παράδοση των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της αντιμετώπισης και της διαμόρφωσης μέσω ενός μεμονωμένου διαύλου επικοινωνίας, όπως προβλέπεται από το φυσικό στρώμα πρωτοκόλλου.
2. Σημείο προς σημείο έλεγχος ροής για την αποφυγή υπερχειλίσης μνήμης στο δέκτη.
3. Εξοικονόμηση ισχύος για να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ισχύος του αποστολέα και του δέκτη και να μειώσει την πιθανότητα παρεμβολών.
4. Δίκαιη και αποτελεσματική κατανομή των πόρων μεταξύ των συμμετεχόντων κόμβων.

##### 1. Αξιόπιστη παράδοση δεδομένων

Μια ασύρματη σύνδεση, UWB ή μη, είναι ένα αναξιόπιστο μέσο, έτσι ώστε τα ποσοστά σφάλματος πακέτου μπορεί να είναι πολύ υψηλότερα από ό, τι σε ενσύρματη σύνδεση. Αν το στρώμα ζεύξης δεδομένων δεν παρέχει μία αξιόπιστη υπηρεσία παράδοσης δεδομένων, τα λάθη ανιχνεύονται με βάση μόνο από άκρο προς άκρο, καθώς και τυχόν αλλοιωμένα πακέτα που πρέπει να αναμεταδοθούν με βάση από άκρο προς άκρο με το στρώμα μεταφοράς ή ίσως με το επίπεδο εφαρμογής. Αυτό είναι σαφώς αναποτελεσματικό εάν υπάρχει αρκετά μεγάλη πιθανότητα απώλειας πακέτων στη διαδρομή μεταξύ της πηγής και των κόμβων προορισμού. Η ανίχνευση σφαλμάτων και η αναμετάδοση των δεδομένων αποτελεσμάτων επιπέδου σύνδεσης σε κατεστραμμένα πακέτα μεταδίδονται πιο γρήγορα και πάνω από μία μόνο σύνδεση επικοινωνίας. Για ένα δίκτυο πολλαπλών hop με μία ή περισσότερες αναξιόπιστες συνδέσεις, όπως σε ένα ασύρματο δίκτυο, αναμετάδοση στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων και όχι στο επίπεδο μεταφοράς μπορεί να μειώσει σημαντικά τα γενικά έξοδα μιας επιχείρησης και να μειώσει μια λανθάνουσα κατάσταση με τη διόρθωση λαθών στο σύνδεσμο, όπου αυτά συμβαίνουν. Έτσι, το στρώμα ζεύξης δεδομένων σε ένα ασύρματο δίκτυο που έχει επαρκώς υψηλά ποσοστά σφάλματος πρέπει να παρέχει αξιόπιστη παράδοση των δεδομένων για την αποτελεσματική λειτουργία.

Αξιόπιστη παράδοση των δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας συστήματα αναγνώρισης, όπου ένας δέκτης στέλνει πίσω ένα πακέτο (ACK) επιβεβαίωσης προς τον αποστολέα να αναγνωρίσει την επιτυχή λήψη ενός ή περισσότερων πακέτων δεδομένων. Εάν δεν ληφθεί το ACK πριν από κάποιο χρονικό όριο λήξης του ή εάν μία αρνητική επιβεβαίωση (NAOK) έχει ληφθεί, ο αποστολέας αναμεταδίδει το χαμένο πακέτο ή πακέτων δεδομένων. Για ορισμένες εφαρμογές με αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης, όπως σε πραγματικό χρόνο ήχου ή βίντεο, ακόμα και η αναμετάδοση επιπέδου σύνδεσης εισάγει υπερβολικά λανθάνουσα κατάσταση και δεν πρέπει να χρησιμοποιείται. Εκτός από τα συστήματα αναγνώρισης, προς τα εμπρός διόρθωση σφαλμάτων (FEC) συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων ή στο φυσικό επίπεδο για τη μείωση του πραγματικού ποσοστού σφάλματος, όπως φαίνεται από τα πρωτόκολλα ανώτερων επιπέδων. Η FEC μπορεί να διορθώσει αξιόπιστα αλλοιωμένα δυαδικά ψηφία δεδομένων σε ένα πλαίσιο, ως ένα αριθμό δυαδικών ψηφίων που περιορίζεται από την συγκεκριμένη χρησιμοποιούμενη διόρθωση σφαλμάτων συστήματος κωδικοποίησης. Επειδή η FEC καταναλώνει την ικανότητα συνδέσεων μεταδίδοντας πλεονάζουσες πληροφορίες και αυξάνει την πολυπλοκότητα του πομπού και του δέκτη, μερικά στρώματα ζεύξης δεδομένων εφαρμογών δεν χρησιμοποιούν FEC μηχανισμούς.

## 2. Σημείο προς Σημείο Έλεγχος Ροής

Αν ένας αποστολέας μεταδίδει πλαίσια δεδομένων σε ένα σύνδεσμο γρηγορότερα από ό,τι ο δέκτης μπορεί να λαμβάνει και να τα επεξεργάζεται, ο δέκτης πρέπει να αποθηκεύει τα πλαίσια σε ένα ρυθμιστικό διάλυμα. Ένα Ρυθμιστικό διάλυμα μπορεί να φιλοξενήσει μια σύντομη έκρηξη όπου ο ρυθμός που πλαισιώνει αποστέλλεται, υπερβαίνοντας την ταχύτητα με την οποία τα πλαίσια μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία στο δέκτη. Ωστόσο, αν αυτή η κατάσταση επιμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα, τα ρυθμιστικά διαλύματα στο δέκτη γεμίζουν και προκύπτει η υπερχειλίση μνήμης, οδηγώντας έτσι στο να χάνονται πλαίσια. Σαν αποτέλεσμα των χαμένων πλαισίων έχουμε υποβάθμιση των επιδόσεων, ενδεχομένως εισάγοντας την αναμετάδοση στο σύνδεσμο δεδομένων, μεταφορών ή επίπεδου εφαρμογής. Για να αποφευχθεί η υπερχειλίση μνήμης, το επίπεδο σύνδεσης μπορεί να εισάγει τον έλεγχο της ροής από τον αποστολέα έτσι ώστε να μπορεί να στείλει τα πλαίσια δεδομένων όχι γρηγορότερα από τα πλαίσια που μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία στο δέκτη. Ο έλεγχος της ροής παρέχει ένα μηχανισμό ανατροφοδότησης για να κάνει τον αποστολέα να γνωρίζει πόσα επιπλέον πακέτα ο δέκτης μπορεί να χειριστεί. Ο έλεγχος της ροής είναι μια σχετικά απλή διαδικασία για μία προς μία συνδέσεις, αλλά είναι προβληματική για ένα προς πολλούς και πολλά προς ένα πρότυπα επικοινωνίας, διότι απαιτείται συντονισμό μεταξύ περισσότερων από δύο κόμβους.

## 3. Διατήρηση ενέργειας

Επειδή οι ασύρματοι κόμβοι τροφοδοτούνται συχνά με μπαταρία, η συσκευή και το δίκτυο είναι σε επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας για να παρατείνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, αυτή είναι μια σημαντική εξέταση του σχεδιασμού. Πολλά ασύρματα δεδομένα επιπέδου σύνδεσης προτύπων καθορίζουν την εξοικονόμηση ενέργειας "ύπνου" ή "αναβολής" τρόπων. Οι λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας επιτρέπουν έναν κόμβο να απενεργοποιήσει προσωρινά ορισμένα στοιχεία, όπως του πομπού και του δέκτη του όταν δεν συμμετέχουν ενεργά στην επικοινωνία.

## 4. Δίκαιη και αποτελεσματική κατανομή των πόρων

Η κύρια ευθύνη του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων μεσαίων υποεπιπέδων ελέγχου πρόσβασης είναι να διασφαλιστεί η δίκαιη και αποτελεσματική κατανομή των πόρων. Επειδή η ασύρματη σύνδεση είναι ουσιαστικά ένα μέσο μετάδοσης, την κατανομή των πόρων μεταξύ των ραδιοσυσκευών στο δίκτυο είναι ένα σημαντικό ζήτημα. Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες των μεσαίων συστημάτων ελέγχου πρόσβασης: ισχυρισμός με βάση τα πρωτόκολλα και σύγκρουση χωρίς πρωτόκολλα με χώρισμα καναλιού. Σε πρωτόκολλα με βάση τον ισχυρισμό, δεν υπάρχει κάποιος κεντρικός κόμβος ελέγχου που απαιτείται για την κατανομή των πόρων καναλιού σε άλλους κόμβους στο δίκτυο. Για να εκπέμψει, κάθε κόμβος πρέπει να διεκδικήσει πόρους ραδιοφώνου. Συγκρούσεις θα προκύψουν όταν περισσότερα από ένας κόμβος προσπαθεί να μεταδώσει την ίδια στιγμή. Για να επιλυθούν μόνιμα οι συγκρούσεις στη μετάδοση με βάση τον ισχυρισμό πρωτοκόλλων χρησιμοποιούν συχνά τυχαία συστήματα υποχώρησης μετά ( ή σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμη και πριν ) ανιχνευθούν συγκρούσεις. Επειδή κάθε κόμβος μεταδίδει κατά βούληση χωρίς το όφελος του παγκόσμιου συντονισμού, τον ισχυρισμό που με βάση τα πρωτόκολλα ονομάζεται επίσης τυχαία πρωτόκολλα πρόσβασης. Με τον όρο ισχυρισμό εδώ εννοούμε με βάση τα πρωτόκολλα για τη συνοχή. Παραδείγματα γνωστών ισχυρισμών με βάση τα πρωτόκολλα περιλαμβάνουν Aloha, Slotted Aloha, Carrier Sense Multiple Access με ανίχνευση σύγκρουσης ( CSMA / CD ), όπως χρησιμοποιείται στο Ethernet, Carrier Sense και Multiple Access με αποφυγή σύγκρουσης ( CSMA / CA ), όπως χρησιμοποιείται στο IEEE 802.11 του υποεπιπέδου της MAC.

Για την εξάλειψη των συγκρούσεων, η σύγκρουση χωρίς τα πρωτόκολλα αναθέτει αποκλειστικούς πόρους καναλιού σε κάθε κόμβο που επιθυμεί να επικοινωνήσει. Αυτό λειτουργεί καλά για συνεχή κίνηση bit rate, όπως η ασυμπιεστη φωνητική κίνηση. Ωστόσο, για τη μεταβλητή κίνηση bit rate, το οποίο είναι χαρακτηριστικό για εφαρμογές δεδομένων, το κανάλι πόρων θα πάνει χαμένο αν δεν υπάρχει πακέτο στην ουρά για μετάδοση. Ως εκ τούτου, η χρησιμοποίηση της παραγωγικής ικανότητας καναλιού μπορεί να είναι χαμηλή για εκρηκτική κίνηση δεδομένων. Παραδείγματα πρωτοκόλλων χωρίσματος καναλιού περιλαμβάνουν Time Division Multiple Access (TDMA), διαίρεσης συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (FDMA), και Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (CDMA).

Για ένα δίκτυο UWB, η αποφυγή παρεμβολών ή περιορισμού είναι ένας άλλος σημαντικός στόχος του σχεδιασμού. Επειδή ένα σήμα UWB καταλαμβάνει ένα σημαντικό εύρος ζώνης, μπορεί να παρεμβαίνει με άλλες ασύρματες συσκευές που καταλαμβάνει ένα μέρος του ίδιου συγκροτήματος, μειώνοντας έτσι αποτελεσματικά το εύρος ζώνης τους. Επιπλέον, άλλες ραδιοσυχνότητες (RF) μεταδόσεις που εμπίπτουν στη ζώνη συχνότητας ενός UWB πομπού μπορεί να αλλοιώσει τις επικοινωνίες σε ένα δίκτυο UWB. Ο περιορισμός των παρεμβολών μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μειωμένη ισχύ εκπομπής και ως εκ τούτου, μπορεί να βοηθήσει τους κόμβους να επιτύχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Αρκετοί μηχανισμοί περιορισμού των παρεμβολών έχουν προταθεί για το αναδυόμενο IEEE 802.15.3 πρότυπο. Για παράδειγμα, όταν ένα δίκτυο UWB ανιχνεύει είτε έναν παρεμβολέα είτε ένα μη IEEE 802.15.3 λειτουργίας του δικτύου στο τρέχον κανάλι του δικτύου ή της επικάλυψης με το τρέχον κανάλι, αυτό μπορεί να αλλάξει τα κανάλια είτε σε κενές ζώνες είτε να μειώσει τη μέγιστη ισχύ εκπομπής του δικτύου για την αποφυγή παρεμβολών. Εκτός από αυτά τα δύο καθεστάτα, ένα IEEE 802.15.3 δίκτυο μπορεί να συγχωνευθεί με ένα άλλο IEEE 802.15.3 δίκτυο, εάν εντοπίσει παρεμβολές που προέρχονται από το άλλο δίκτυο. Μια άλλη προτεινόμενη τεχνική θεωρείται η αποφυγή ή ο περιορισμός παρεμβολών κατά τη φάση της διαμόρφωσης του δικτύου. Αυτός ο ευρετικός αλγόριθμος συσταδοποίησης σχηματίζει συστάδες των κόμβων με τρόπο που να ελαχιστοποιεί τις παρεμβολές που υπόκεινται σε περιορισμούς σχετικά με την εμβέλεια ασυρμάτου και πολλαπλές δυνατότητες πρόσβασης. Ένα δίκτυο UWB μπορεί να χρησιμοποιεί μια παραλλαγή ή ένα συνδυασμό διαφορετικών συστημάτων πρόσβασης μέσου.

#### **4.4.2 Ισχυρισμός - Έλεγχος πρόσβασης με βάση το Μέσο**

Κατά τους ισχυρισμούς που βασίζονται ή τυχαίας προσπέλασης συστήματα MAC, οι κόμβοι ανεξάρτητα αποφασίζουν πότε να μεταδίδουν, έτσι ο ισχυρισμός να μπορεί να συμβεί, γεγονός που οδηγεί σε πλαίσιο συγκρούσεων. Ο απλούστερος βασισμένος σε ισχυρισμούς πρωτόκολλο MAC είναι καθαρά Aloha, το οποίο περιγράφεται στη συνέχεια. Το Slotted Aloha βελτιώνει την απόδοση του καθαρού Aloha συγχρονίζοντας τους πιθανούς χρόνους μετάδοσης για τους κόμβους όπου επίσης περιγράφεται στη συνέχεια και μειώνει την πιθανότητα των συγκρούσεων. Η Ανίχνευση Μεταφορέα όπως χρησιμοποιείται σε Carrier Sense Multiple Access (CSMA), δίνει ακόμη μεγαλύτερη βελτίωση, απαιτώντας από τους κόμβους να ανιχνεύσουν αν το κανάλι είναι αδρανές ή όχι (μέσω της αίσθησης του φορέα μεταφοράς) και να μην μεταδίδουν εάν ανιχνεύσουν ότι το κανάλι είναι σε χρήση. Η CSMA επεκτείνεται με προγράμματα για την περαιτέρω μείωση της πιθανότητας σύγκρουσης στο Carrier Sense Multiple Access με Αποφυγή Σύγκρουσης (CSMA/CA).

##### **Aloha**

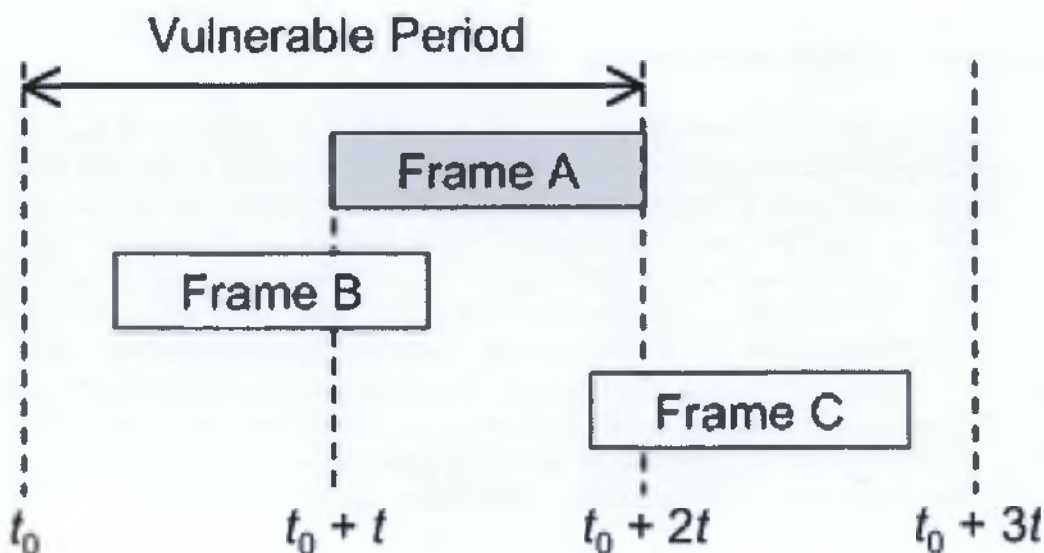
Η παλαιότερη άποψη που βασίζεται στο σύστημα πρόσβασης μέσου, κατάλληλα ονομάζεται Aloha, αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 από Abramson του Πανεπιστημίου της Χαβάης. Η βασική λειτουργία του Aloha είναι απλή, αλλά κομψή: σταθμοί μπορούν να μεταδίδουν κάθε φορά που έχουν ένα πακέτο που πρέπει να σταλεί.

Αν συμβεί σύγκρουση, το πακέτο δεδομένων είναι κατεστραμμένο. Ο δέκτης μπορεί να αναγνωρίσει την επιτυχή λήψη του πακέτου δεδομένων. Εάν ο αποστολέας δεν λάβει μια επιβεβαίωση εντός ορισμένης χρονικής περιόδου - αναχώρησης, ο αποστολέας υποθέτει ότι υπήρχε μια σύγκρουση. Ο αποστολέας στη συνέχεια περιμένει ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και στέλνει το πακέτο ξανά σε ένα άλλο πλαίσιο.

Εάν ένα ή περισσότερα άλλα πλαίσια αποστέλλονται κατά τη μετάδοση ενός πλαισίου, το πλαίσιο βιώνει μια σύγκρουση, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 22. Δεδομένου ότι ένας σταθμός θα μεταδίδει ένα πλαίσιο κάθε φορά που έχει ένα πακέτο να στείλει, δύο πλαίσια θα συγκρουστούν, εφόσον τα πακέτα που φθάνουν σε δύο ή περισσότερους σταθμούς κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος που είναι μικρότερος από το χρόνο για τη μετάδοση ενός πλαισίου. Η επιτυχία ή αποτυχία ενός πλαισίου μετάδοσης σε Aloha μπορεί να θεωρηθεί από την άποψη της μίας ευάλωτης περιόδου. Το  $t$  είναι ο χρόνος για να μεταδώσει ένα πλαίσιο. Η ευάλωτη περίοδο για ένα δεδομένο πλαίσιο αρχίζει σε χρόνο  $t$  πριν από την έναρξη της μετάδοσης του πλαισίου και εκτείνεται έως το τέλος του χρόνου για τη μετάδοση του πλαισίου.

Έτσι, η ευάλωτη περίοδος είναι  $2t$  μήκους. Κάθε πακέτο που φτάνει ή η αναμετάδοση που έχει προγραμματιστεί στο πλαίσιο της ευάλωτης περιόδου θα συγκρουστεί με το πλαίσιο. Όπως απεικονίζεται στην εικόνα 22, είτε πλαίσιο B, η οποία μεταδίδεται σε οποιοδήποτε χρόνο  $t$  πριν από την έναρξη της μετάδοσης του πλαισίου A, ή πλαίσιο C, το οποίο μεταδίδεται κατά τη διάρκεια της μετάδοσης του πλαισίου A, θα προκαλέσει μία σύγκρουση με το πλαίσιο A. Υποθέτοντας ότι όλα τα πλαίσια έχουν σταθερό μήκος και τα πακέτα που φθάνουν στο στρώμα ζεύξης δεδομένων σύμφωνα με μια διαδικασία Poisson, μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα ότι ένα πλαίσιο μεταδίδεται χωρίς σύγκρουση ως η πιθανότητα ότι ακριβώς ένα πλαίσιο μεταδίδεται κατά τη διάρκεια της περιόδου ευπάθειας. Εάν το  $G$  υποδηλώνει το προσφερόμενο φορτίο, δηλαδή, ο αριθμός των προσπαθειών μετάδοσης κατά τη διάρκεια κάθε μετάδοσης πλαισίου χρόνου  $t$ , η διακίνηση,  $S_{Aloha}$ , εκφραζόμενη ως το κλάσμα των χρόνων μεταδόσεως είναι η πιθανότητα ότι μία μετάδοση ακριβώς συμβαίνει κατά τη διάρκεια δύο φορές μετάδοσης πλαισίου.

$$(4.1) \quad S_{Aloha} = Ge^{-2G}$$

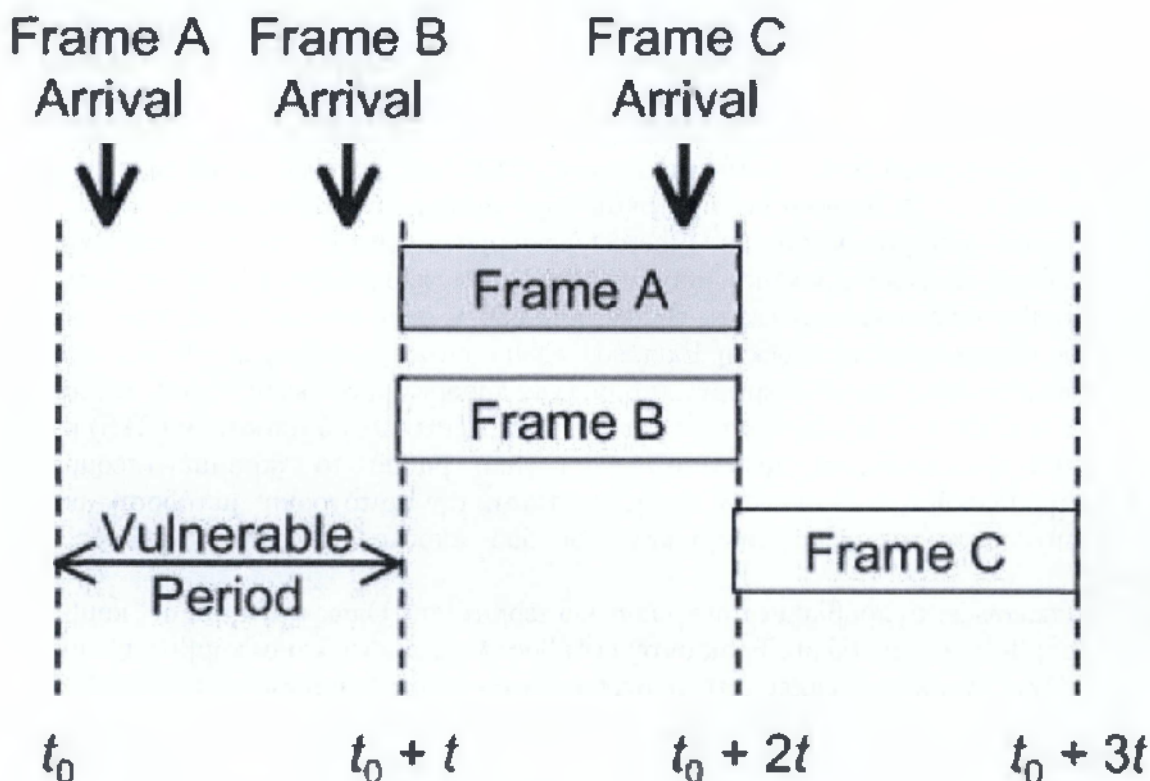


Εικόνα 22 : Ευάλωτη περίοδος για ένα πλαίσιο στο Aloha

## Slotted Aloha

Slotted Aloha, όπως υποδηλώνει και το όνομα, προσθέτει την έννοια των χρονικών θυρίδων σε Aloha. Οι κόμβοι συγχρονίζονται έτσι ώστε να εφαρμόσει διακριτές χρονικές σχισμές, με το μήκος της κάθε εγκοπής είναι ο χρόνος για τη μετάδοση ενός πλαισίου. Όταν ένας κόμβος έχει ένα ή περισσότερα πακέτα προς αποστολή, πρέπει να περιμένει για την αρχή της επόμενης χρονοθυρίδας να αρχίσει τη μετάδοση.

Με τον περιορισμό του χρόνου έναρξης των μεταδόσεων πλαισίου, συγκρούσεις μπορούν να συμβούν μόνο όταν τα δύο πλαίσια μεταδίδονται στην ίδια χρονική υποδοχή, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 23. Μια σύγκρουση θα λάβει χώρα σε  $j$  υποδοχή αν τα πλαίσια είναι διαθέσιμα για μετάδοση σε δύο ή περισσότερους κόμβους κατά υποδοχή  $j$ 1. Έτσι, η ευάλωτη περίοδος με σχισμές Aloha είναι μία χρονοθυρίδα ή χρονικό πλαίσιο μετάδοσης, έναντι δύο χρόνων μετάδοσης πλαισίου, όπως στο Aloha.



Εικόνα 23 : Ευάλωτη περίοδος για ένα πλαίσιο στο Slotted Aloha

Επειδή η ευάλωτη περίοδος μειώνεται κατά ένα συντελεστή ένα μισό σε σύγκριση με Aloha, η πιθανότητα μιας σύγκρουσης στο Slotted Aloha μειώνεται κατά ένα συντελεστή του μισού και η διακίνηση,  $S_{\text{Slotted Aloha}}$ , διπλασιάζεται.

$$(4.2) \quad S_{\text{Slotted Aloha}} = Ge^{-G}$$

Ωστόσο, η απόδοση εξακολουθεί να έχει μια εκθετική εξάρτηση του προσφερόμενου φορτίου,  $G$ , έτσι μια μικρή αύξηση του προσφερόμενου φορτίου μπορεί να μειώσει δραματικά την απόδοση του συστήματος. Αυτή η μείωση της απόδοσης, κυρίως επειδή όλοι οι κόμβοι μεταδίδουν κατά βούληση χωρίς να λαμβάνουν υπόψη μεταδόσεις σε άλλους κόμβους.

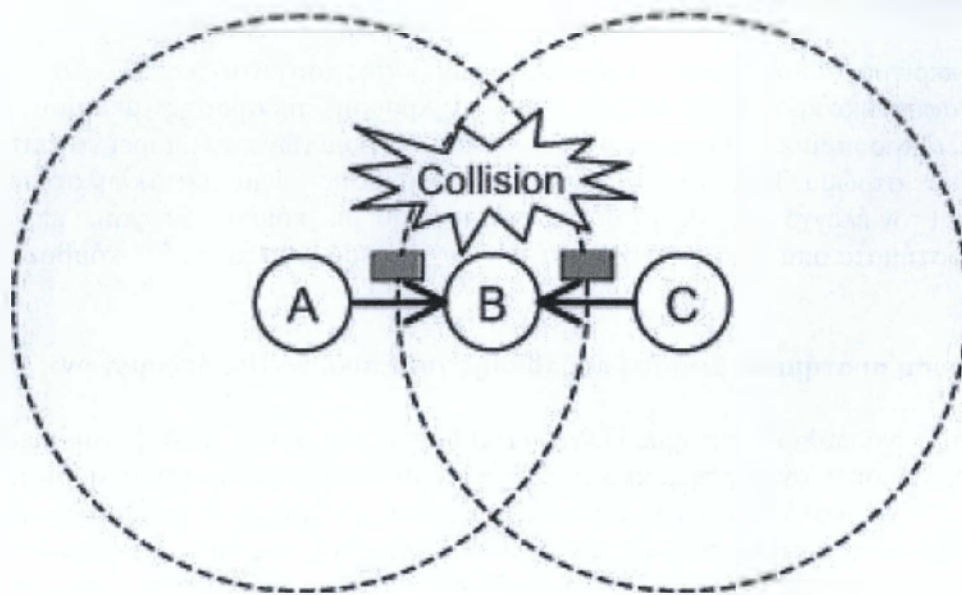
## Μεταφορέας Αίσθησης Πολλαπλών Πρόσβασης Πρωτόκολλα

Αν ένας κόμβος μπορεί να ανιχνεύσει κατά πόσο ή όχι άλλους κόμβους επί του παρόντος εκπέμπει, μπορεί να προσαρμόσει ανάλογα τη συμπεριφορά του. Ο μεταφορέας αίσθησης πολλαπλής πρόσβασης (CSMA) βασίζεται σε αυτή την ιδέα. Μια οικογένεια πρωτοκόλλων CSMA προτάθηκε το 1970 από τον Kleinrock και τον Tobagi. Η βασική ιδέα πίσω από ένα πρωτόκολλο CSMA είναι απλή: ένας κόμβος πρώτα ανιχνεύει το κανάλι για να βεβαιωθεί ότι είναι σε αδράνεια πριν από την έναρξη για να μεταδώσει ένα πλαίσιο. Αυτή η συμπεριφορά μερικές φορές ονομάζεται "ακούστε πριν μιλήσετε." Εάν το κανάλι δεν είναι απασχολημένο, ο κόμβος μπορεί να μεταδώσει. Αν το κανάλι είναι απασχολημένο, ο κόμβος θα αναβάλει τη μετάδοση. Η ακριβής συμπεριφορά ενός κόμβου που ανιχνεύει ένα πολυσύχναστο κανάλι οδηγεί σε διαφορετικές εκδόσεις του CSMA.

### CSMA / CA

Το CSMA / CA είναι ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται συνήθως σε ασύρματα τοπικά δίκτυα, συμπεριλαμβανομένου του IEEE 802.11 MAC πρότυπο. Το CSMA / CA αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα απόδοσης του CSMA, αλλά εκτείνεται το CSMA να μειωθεί η πιθανότητα μιας σύγκρουσης. Το CSMA / CA αποφεύγει τη χρήση της ανίχνευσης σύγκρουσης, όπως στο CSMA / CD, το οποίο χρησιμοποιείται σε Ethernet ενσύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής. Η ανίχνευση σύγκρουσης δεν είναι πρακτική σε ένα ασύρματο περιβάλλον επειδή η δική του μετάδοση ενός κόμβου θα επισκιάσει όλες τις τυπικές μεταδόσεις σε άλλους κόμβους που μπορεί να προκαλέσει μια σύγκρουση σε ένα δέκτη. Επιπλέον, είναι αδύνατο να εξασφαλισθεί ότι όλοι οι πομποί ανιχνεύουν μία σύγκρουση εάν εμφανίζεται σε έναν προοριζόμενο δέκτη, όπως απαιτείται στο CSMA / CD. Το CSMA / CA μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα αίτημα για αποστολή (RTS) και να στείλει σαφές (CTS) πρωτόκολλο για την αποφυγή σε μεγάλο βαθμό το "κρυμμένο τερματικό" πρόβλημα. Επειδή ραδιοκύματα εξασθενούν με την απόσταση, την ταυτόχρονη μετάδοση μπορεί να οδηγήσει σε συγκρούσεις στο δέκτη, ακόμη και αν οι δύο αποστολείς έχουν αισθανθεί ένα αδρανές κανάλι.

Στην εικόνα 24 απεικονίζει το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού. Όπως φαίνεται, οι κόμβοι A και C είναι εκτός εμβέλειας του άλλου. Έτσι, ούτε ο κόμβος A αλλά ούτε και ο κόμβος C μπορεί να ακούσει αν ο άλλος κόμβος εκπέμπει αυτή τη στιγμή. Αν ο κόμβος A μεταδίδει στον κόμβο B, ο C κόμβος μπορεί να εξακολουθεί να αισθάνεται ότι το κανάλι είναι αδρανές. Συνεπώς, ο κόμβος C αρχίζει τη μετάδοση πακέτων από τους κόμβους A και C που συγκρούονται στον κόμβο B. Ο κόμβος C είναι ένα κρυφό τερματικό σε σχέση με τον κόμβο A και αντιστρόφως. Ωστόσο, λόγω των τεχνικών δυσκολιών που συμμετέχουν σε φορέα ανίχνευσης σε UWB συστήματα, το CSMA δεν είναι μια αποτελεσματική επιλογή για μια τυχαία πρόσβασης MAC πρωτόκολλο. Αντ' αυτού, με σχισμές Aloha μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανταλλαγή πλαισίων ελέγχου και για σύνδεση κόμβου με ένα κεντρικό κόμβο ελέγχου. Ωστόσο, οι ανεπάρκειές της με σχισμές Aloha καθιστούν ακατάλληλο για την κανονική, υψηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων. Μια διαμέριση ή χωρίς σύγκρουση κανάλι σε ένα σύστημα MAC είναι καλύτερα προσαρμοσμένο για μεταφορά δεδομένων στα περισσότερα δίκτυα UWB.



Εικόνα 24 : Εικονογράφηση του προβλήματος του κρυμμένου τερματικού

#### 4.4.3 Κανάλι Μεσαίας κατανομής Ελέγχου Πρόσβασης

Το TDMA, το FDMA και το CDMA χρησιμοποιούνται συνήθως και ευρέως έχουν διερευνηθεί χωρίς σύγκρουση πρωτόκολλα ελέγχου μεσαίας πρόσβασης. Διαφέρουν ως προς τον τρόπο διαμέρισης φυσικών πόρων επίπεδο μεταξύ των κόμβων. Στην TDMA διαχώριση φυσικών διαύλων στρώματος εντός ενός συνόλου προκαθορισμένων χρονικών θυρίδων ( που ονομάζονται επίσης συχνά κανάλια) και εκχωρεί διαφορετικές χρονικές σχισμές σε διαφορετικούς κόμβους στο δίκτυο. Ενώ οι μεταδόσεις δεδομένων από διαφορετικούς κόμβους αποστέλλονται σε διαφορετικούς χρόνους, μοιράζονται τις ίδιες συχνότητες σε ένα σύστημα TDMA. Στην FDMA διαχώριση το διατιθέμενο εύρος ζώνης (συχνοτήτων) σε κανάλια και εκχωρεί αυτούς τους διαύλους σε κόμβους του δικτύου. Σε ένα σύστημα FDMA, οι μεταδόσεις δεδομένων συμβαίνουν σε διαφορετικές συχνότητες, αλλά μπορεί να συμβεί ταυτόχρονα. Ενώ το TDMA και το FDMA εκχωρούν υποδοχές χρόνου και κανάλια συχνότητας, αντίστοιχα, με κόμβους, το CDMA εκχωρεί διαφορετικούς κωδικούς εξάπλωσης σε διαφορετικούς κόμβους. Συνεπώς, το CDMA επιτρέπει ταυτόχρονες μεταδόσεις εντός της ίδιας ζώνης συχνοτήτων, με την προϋπόθεση ότι οι πομποί χρησιμοποιούν διαφορετικούς κωδικούς εξάπλωσης. Σημειώνεται ότι η κατανομή του χρόνου, συχνότητες, ή μήκη των κωδικών εξάπλωσης μπορεί να ελεγχθεί για να παρέχουν διάφορες ποιότητες της υπηρεσίας ( QoS ) σε επίπεδα TDMA, FDMA και CDMA αντίστοιχα.

Πομποί και δέκτες πρέπει να συγχρονιστούν στο I-UWB και στο DS-UWB για την αποτελεσματική επικοινωνία. Ως εκ τούτου, στο TDMA γίνεται μια φυσική επιλογή για το μέσο πρόσβασης στο σύστημα I-UWB και στα DS-UWB συστήματα. Για να χρησιμοποιήσετε το TDMA, UWB κόμβοι πρέπει να συγχρονιστούν με έναν κεντρικό κόμβο ελέγχου. Καλύτερος συγχρονισμός επιτυγχάνεται μέσω της ακολουθίας προοιμίου που μεταδίδεται μαζί με κάθε πακέτο δεδομένων. Το IEEE 802.15.3 πρότυπο ορίζει ένα TDMA σύστημα για τα δεδομένα των επικοινωνιών.

#### 4.4.4 Πρωτόκολλα Πολλαπλής Πρόσβασης

Αυτή η ενότητα περιγράφει πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης που είναι κατάλληλα για UWB δίκτυα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μια χωρίς σύγκρουση πρόσβασης μεσαίου σχήματος ελέγχου είναι καλά προσαρμοσμένη για τα υψηλά ποσοστά δεδομένων που μπορεί να επιτευχθεί με το UWB φυσικό στρώμα. Ένα τυχαίο σύστημα πρόσβασης είναι καταλληλότερο για τη σηματοδότηση και τον έλεγχο αρχικής σύνδεσης ενός κόμβου με κόμβο ελέγχου, επειδή χωρίς σύγκρουση τα συστήματα απαιτούν εκ των προτέρων συντονισμό μεταξύ ενός κόμβου και του κόμβου ελέγχου.

##### Χωρίς Σύγκρουση συστήματα μεσαίας πρόσβασης για Επικοινωνίες Δεδομένων

Στο IEEE 802.15.3, ένα καθαρό σύστημα TDMA ορίζεται για πολλαπλή πρόσβαση μεταξύ των κόμβων εντός ενός piconet, ανεξάρτητα από το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται. Ωστόσο, για διαφορετικά UWB φυσικά στρώματα, έχουν διαφορετικά συστήματα πολλαπλής πρόσβασης που έχουν προταθεί για να εκχωρήσει χωριστά κανάλια ταυτόχρονα για να λειτουργούν piconets που βρίσκονται σε στενή γειτνίαση. Τα Interpiconet κανάλια χωρίζονται από αναπήδηση συχνοτήτων κωδικούς για MC-UWB και διαδίδοντας κωδικούς για DS-UWB. Έτσι, οι τρέχουσες προτάσεις για το πρότυπο IEEE 802.15.3 χρήσης TDMA μέσα σε ένα piconet και CDMA μεταξύ των διαφορετικών piconets.

Ως εναλλακτική λύση για εξέταση, ένα υβριδικό TDMA / και CDMA πρόσβασης μεσαίου συστήματος ελέγχου μέσα σε ένα piconet μπορεί επίσης να είναι μια καλή επιλογή. Για παράδειγμα, η τρέχουσα 802.15.3a DS - UWB πρόταση καθορίζει έξι σύνολα κωδικών εξάπλωσης που επιτρέπουν έξι ανεξάρτητα piconets για να συνεγκατασταθεί εντός εμβέλειας παρέμβαση του άλλου. Σε περιπτώσεις όπου συνεγκατασταθούν λιγότερα από έξι piconets, αχρησιμοποίητα σύνολα κωδικών μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν υψηλότερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων μέσα σε ένα ή περισσότερα από τα piconets.

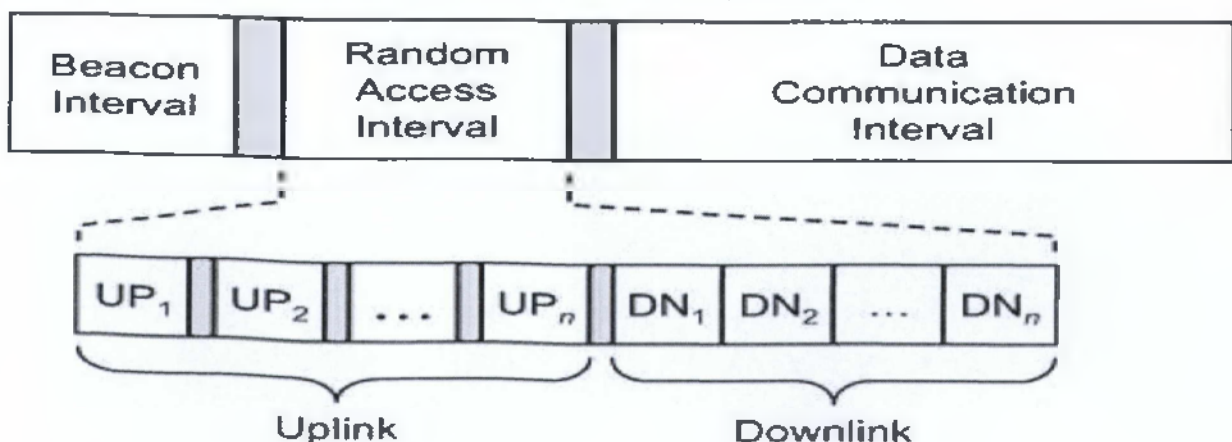
Τα κύρια πλεονεκτήματα ενός υβριδικού CDMA / TDMA συστήματος είναι η μεγαλύτερη ευελιξία και η αυξημένη προσαρμοστικότητα. Η ευελιξία επιτρέπει σε δίκτυα για να διαμορφωθεί με διαφορετικούς τρόπους, ενώ η προσαρμοστικότητα σημαίνει ότι το δίκτυο μπορεί να τροποποιήσει δυναμικά τη διαμόρφωση του για να φιλοξενήσει διαφορετικό κανάλι, δίκτυο, και περιβάλλοντα εφαρμογών. Ένα δίκτυο UWB είναι μια πιθανή επιλογή για multimedia ή άλλες εφαρμογές που έχουν υψηλές απαιτήσεις ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ή που απαιτούν διαφοροποιημένα QoS. Για να ανταποκρίνονται σε διαφορετικές απαιτήσεις QoS και να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τους πόρους καναλιού, το μεσαίο σύστημα ελέγχου πρόσβασης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ευέλικτο. Ένα καθαρό σύστημα CDMA εκχωρεί έναν ή περισσότερους κώδικες εξάπλωσης σε έναν μόνο χρήστη για τη διάρκεια της σύνδεσής του, ενώ ένα καθαρό σύστημα TDMA επιτρέπει μόνο έναν χρήστη να μεταδίδει κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Καθαρό CDMA ή καθαρό TDMA μπορεί να επιτύχει μόνο σε ένα "βαθμό ελευθερίας", εννοώντας ότι το κανάλι διαχωρισμού μπορεί να βασίζεται μόνο στην ανάθεση της εξάπλωσης κωδικών ή χρονοθυρίδων. Ένα υβριδικό καθαρό TDMA / CDMA σύστημα είναι πιο ευέλικτο, δεδομένου ότι μπορεί να επιτύχει δύο βαθμούς ελευθερίας. Αυτή η ευελιξία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσαρμογή σε διαφορετικές συνθήκες. Ένα υβριδικό TDMA / CDMA σύστημα μπορεί να εκχωρήσει κώδικες εξάπλωσης σε ένα χρήστη μόνο σε ορισμένους χρόνους, όπως όταν ο χρήστης έχει ουρά πακέτων, επιτρέποντας έτσι σε πολλαπλούς χρήστες να μεταδώσει κατά την ίδια χρονοθυρίδα. Ένας κεντρικός ελεγκτής δύναται να εκχωρήσει τον ίδιο κωδικό εξάπλωσης σε διαφορετικούς χρήστες σε διαφορετικές χρονοθυρίδες ή μπορεί να αναθέσει σε δυναμικά διαφορετικές χρονοθυρίδες για τους χρήστες, που εξασφαλίζει μεγάλη προσαρμοστικότητα.



Ο κεντρικός κόμβος ελέγχου μπορεί να μεταδώσει πληροφορίες σχετικά με την ανάθεση των χρονοθυρίδων και κωδικών σε άλλους κόμβους του δικτύου για να εξασφαλιστεί ο συντονισμός. Επίσης, διαφορετικά σύνολα εξάπλωσης ή αναπήδησης συχνοτήτων κωδικών, διαφορετικές χρονικές θυρίδες και διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων (για MC-UWB συστήματα) μπορεί να διατεθεί στα γειτονικά δίκτυα UWB για μείωση ή εξάλειψη παρεμβολών.

### Τυχαία Συστήματα Ελέγχου Πρόσβασης Σηματοδοσίας

Ενώ μια χωρίς σύγκρουση πολλαπλής συστήματος ελέγχου πρόσβασης είναι επιθυμητή για τη διαβίβαση των δεδομένων πλαίσιων, συνήθως δεν είναι εφικτή για κάποια σηματοδότηση ελέγχου. Πριν ένας κόμβος συνδεθεί με ένα κεντρικό κόμβο ελέγχου, δεν μπορεί να λάβει μία χρονοθυρίδα ή μια κατανομή κώδικα επειδή ο κεντρικός κόμβος ελέγχου δεν γνωρίζει την ύπαρξη του κόμβου. Ένα τυχαίο σύστημα πρόσβασης, όπως με σχισμές Aloha (Slotted Aloha), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτρέψει τον έλεγχο πλαίσιων να αποστέλλονται στην καθιέρωση σύνδεσης μεταξύ ενός κόμβου και του κόμβου ελέγχου. Τυχαία πρόσβαση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να "εκλέξει" έναν κόμβο ελέγχου όταν ένα νέο δίκτυο σχηματίζεται ή εάν η προηγούμενη οριστεί ως κόμβος ελέγχου και δεν μπορεί πλέον να εκτελέσει αυτή τη λειτουργία λόγω κόμβου ανεπάρκειας ή κίνηση κόμβου. Ο κεντρικός κόμβος ελέγχου ακούει κατά τη διάρκεια όλων των χρονοθυρίδων ανερχόμενης ζεύξης αποκλειστικά για τυχαία πρόσβαση, και εντοπίζει τα πλαίσια ελέγχου που αποστέλλονται με οποιοδήποτε κόμβο που θέλουν να συνδέσουν με τον κεντρικό κόμβο ελέγχου. Ένα κατάλληλο σύστημα για πολλές εφαρμογές είναι η χρήση σχισμών Aloha για τυχαία προσπέλαση στην ανερχόμενη ζεύξη ( πλαίσια αποστέλλονται στον ελεγκτή κόμβου ) και TDMA για την κατερχόμενη ζεύξη ( πλαίσια που αποστέλλονται από τον ελεγκτή κόμβου). Αυτό το σχήμα απεικονίζεται στην εικόνα 25. Το σύστημα χρησιμοποιεί ένα σήμα του αναγνωριστικού σήματος που παράγεται από τον κεντρικό κόμβο ελέγχου για να διαφημίσει την ύπαρξη του κόμβου ελέγχου και να συγχρονίσει άλλους κόμβους που επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν τον κόμβο ελέγχου. Το διάστημα του αναγνωριστικού σήματος ακολουθείται από το τυχαίο διάστημα πρόσβασης, το οποίο αποτελείται από πολλές χρονοθυρίδες ανερχόμενης ζεύξης (UPI) όπου οι κόμβοι χρησιμοποιούν Slotted Aloha για την αποστολή πλαίσιων στο κεντρικό κόμβο ελέγχου και τον ίδιο αριθμό εγκοπών κατερχόμενης ζεύξης (DNJ), όπου ο κεντρικός κόμβος ελέγχου χρησιμοποιεί TDMA για την αποστολή πλαίσιων προς τους άλλους κόμβους. Τα κανονικά πλαίσια δεδομένων που αποστέλλονται κατά τη διάρκεια του διαστήματος επικοινωνίας δεδομένων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα, ο υβριδικός TDMA / CDMA συστήματος. Οι χρόνοι Guard διαχωρίζουν τα τρία διαστήματα ώστε να αποφευχθούν επικαλύψεις στα διαστήματα που οφείλονται, για παράδειγμα, διαφορές συγχρονισμού μεταξύ των κόμβων.



Εικόνα 25 : Παράδειγμα Δομής Επικοινωνιών για ένα δίκτυο UWB

#### 4.4.5 Προς τα Εμπρός Διόρθωση Σφαλμάτων και Αυτόματη Αίτηση επανάληψης

Η αξιοπιστία του συνδέσμου είναι ένας σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό ενός ασύρματου δικτύου. Η ανάκτηση σφαλμάτων είναι μια κρίσιμη πτυχή του στρώματος ζεύξης δεδομένων. Δύο τύποι συστημάτων ανάκτησης σφαλμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν: προς τα εμπρός διόρθωση σφάλματος (FEC), όπου η κωδικοποίηση χρησιμοποιείται για να επιτρέψει στον δέκτη να εξάγει το σωστό πακέτο πληροφοριών από το πλαίσιο, ακόμη και στην περίπτωση ορισμένων λαθών δυαδικών ψηφίων και η αυτόματη αίτηση επανάληψης (ARQ), όπου οι συντεταγμένες του αποστολέα και του δέκτη συντονίζουν την αναμετάδοση των χαμένων πλαισίων ή πλαισίων που λαμβάνονται κατά λάθος. Ένα ασύρματο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει κωδικοποίηση διόρθωσης σφάλματος τόσο σε φυσικό στρώμα όσο και σε στρώμα ζεύξης δεδομένων για την ενίσχυση της δυνατότητας διόρθωσης σφάλματος. Ωστόσο, επειδή το FEC εισάγει πλεονασμό αναγκαστικά σε πακέτα δεδομένων, μπορεί να καταλήξει σε σπατάλη εύρους ζώνης, ειδικά όταν οι συνθήκες καναλιού ασύρματων είναι καλές και το ποσοστό σφάλματος των δεδομένων είναι χαμηλό. Σε σύγκριση με το FEC, το ARQ είναι ευκολότερο να εφαρμοστεί, και γενικά η αναμετάδοση προκύπτει μόνο όταν υπάρχει κάποιο σφάλμα. Η βασική ιδέα του ARQ είναι αρκετά απλή. Για κάθε ορθά λαμβανόμενο πακέτο, το στρώμα ζεύξης δεδομένων στην πλευρά του δέκτη στέλνει πίσω μια θετική επιβεβαίωση (ACK). Εάν το λαμβανόμενο πακέτο είναι διεφθαρμένο, μια αρνητική επιβεβαίωση (NAOK) στέλνεται πίσω, ή αν οι χρόνοι αναμονής του αποστολέα εξαντλήθηκαν για ένα ACK, και ο αποστολέας αναμεταδίδει το χαμένο πακέτο. Ωστόσο, όταν το ποσοστό σφάλματος είναι υψηλό, το ARQ μπορεί να εισάγει υπερβολική καθυστέρηση και το εύρος ζώνης των αποβλήτων.

Ένα καθαρό σύστημα ARQ μπορεί να είναι επαρκές για ένα μικρό δίκτυο UWB ή σημείο προς σημείο σύνδεση UWB λόγω της μικρής εμβέλειας, για την ευρωστία πολλαπλών διαδρομών, και ανθεκτικότητα σε RF παρεμβολές του UWB. Για ένα μεγαλύτερο δίκτυο UWB, ειδικά για ένα πολυαλματικό δίκτυο ad hoc, το FEC σε συνδυασμό με το ARQ είναι πιθανόν η καλύτερη επιλογή.

## Κεφάλαιο 5

### Συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία Υπερευρείας Ζώνης

#### 5.1 Εισαγωγή

Ενώ οι θεμελιώδεις αρχές της δικτύωσης είναι οι ίδιες, το UWB έχει μοναδικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τον τρόπο που έχουν σχεδιαστεί τα πρωτόκολλα σε ένα UWB σύστημα. Ένα δίκτυο UWB μπορεί να εκπροσωπείται από ένα μοντέλο πέντε στρωμάτων, συμβατό με την σουίτα πρωτοκόλλου TCP / IP, το οποίο περιλαμβάνει ένα UWB φυσικού στρώματος, που σχετίζεται με το επίπεδο ζεύξης δεδομένων, το επίπεδο δικτύου, το επίπεδο μεταφοράς, και το επίπεδο εφαρμογής. Κάθε στρώμα παρέχει υπηρεσίες στο στρώμα απ' ευθείας από πάνω και χρησιμοποιεί υπηρεσίες που παρέχονται από το στρώμα κάτω από αυτό. Τα μοναδικά χαρακτηριστικά του φυσικού στρώματος UWB έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στην σχεδίαση του στρώματος ζεύξης δεδομένων. Τα χαρακτηριστικά του φυσικού στρώματος και του σχεδιασμού της συνδεδεμένης και του επιπέδου ζεύξης δεδομένων μπορεί να επηρεάσει επίσης το σχεδιασμό του στρώματος δικτύου, το επίπεδο μεταφοράς ακόμη και το επίπεδο εφαρμογών, ειδικά αν σε ένα σχέδιο είναι να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση.

Ένα υβριδικό TDMA / CDMA σύστημα πρόσβασης μέσου έχει καλές ιδιότητες για ένα δίκτυο UWB λόγω της ευελιξίας της, που επιτρέπει, για παράδειγμα, διαφοροποιημένες υπηρεσίες και εκχώρηση καναλιών για την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών.

Μια ιεραρχική τοπολογία, παρά μια επίπεδη τοπολογία, έχει σημαντικά οφέλη για ένα δίκτυο UWB. Μια ιεραρχική τοπολογία υποστηρίζει μια υβριδική αρχιτεκτονική όπου ένας επιλεγμένος κόμβος σε ένα σύμπλεγμα, που ονομάζεται σύμπλεγμα επικεφαλής, μπορεί να συντονίσει την ανάθεση της εξάπλωσης κωδικών, ελέγχου ισχύος, και άλλες τοπικές λειτουργίες, ενώ συμμετέχει και σε μεγαλύτερο εύρος, πολλαπλά hop, βασικού δικτύου. Το Bluetooth scatternet μοντέλο χρησιμοποιεί μια τέτοια ιεραρχική τοπολογία και χρησιμεύει ως ένα καλό μοντέλο για πολλαπλά δίκτυα UWB hop. Σε μια scatternet, οι ομάδες συνδέονται μεταξύ τους με επικεφαλής σύμπλεγμα και με κόμβους πύλης εισόδου.

Υπάρχει μια ποικιλία από διαφορετικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, για πολλαπλά δίκτυα hop ad hoc. Επειδή κανένα πρωτόκολλο δρομολόγησης από μόνο του δεν είναι το καλύτερο για όλους τους τύπους των δικτύων, διαφορετικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικές καταστάσεις. Πέρα από το scatternet σχηματισμό και τη δρομολόγηση, υπάρχουν επιπλέον ζητήματα με δίκτυα που σχετίζονται με το δίκτυο UWB. Ειδικότερα, υπάρχουν αρκετοί μηχανισμοί για τη βελτίωση των επιδόσεων TCP μέσω ασύρματων ζεύξεων, συμπεριλαμβανομένων κρύβεται από απώλειες πακέτων TCP, χωρίζοντας μια από άκρο σε άκρο σύνδεση TCP σε δύο ξεχωριστές συνδέσεις, και χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες γνωστοποιήσεις απώλειας. Όλα και τα τρία καθεστώτα έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, καθώς και καμία από αυτές δεν έχει εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα. Ποιότητα των υπηρεσιών και τη διαχείριση QoS είναι επίσης πιθανά ζητήματα σε ένα δίκτυο UWB. Σε γενικές γραμμές, τα πρωτόκολλα δικτύου πρέπει να είναι σε θέση να προσαρμοστούν με βάση τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας, οι QoS περιορισμοί και τα προβλήματα σύνδεσης.

Επειδή η UWB δικτύωση είναι μια τέτοια νέα τεχνολογία, πολλοί πρόοδοι θα γίνουν για την βελτίωση του δικτύου-επιπέδου και σε επίπεδο εφαρμογής των επιδόσεων. Οι κόμβοι σε ένα σύστημα UWB που μπορούν να μοιραστούν είναι μια εξαιρετικά ακριβή κατανόηση του χρόνου με τους συνομηλίκους τους και μπορούν να καθορίσουν την απόσταση από τους γειτονικούς κόμβους.

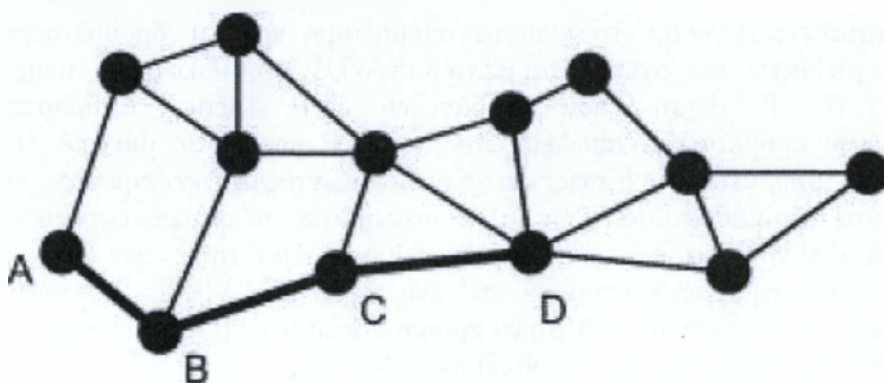
Κόμβοι που βρίσκονται σε ένα δίκτυο μπορεί επίσης να καθορίσει συνεργαζόμενα την θέση των άλλων κόμβων στο ίδιο δίκτυο. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν ενδεχομένως να χρησιμοποιηθούν για να αλλάξουν ριζικά τον τρόπο που κατανέμει τους πόρους δικτύων καναλιών και τη δρομολόγηση πακέτων, γεγονός που οδηγεί σε νέες αρχιτεκτονικές δικτύων και πρωτοκόλλων που εκμεταλλεύονται πλήρως τις δυνατότητες του UWB.

## 5.2 UWB Πολλαπλά Hop Ad Hoc Δίκτυα

Ένα δίκτυο οφείλει να επιτρέψει επικοινωνίες δεδομένων πέρα από το σύνδεσμο επικοινωνίας σημείο προς σημείο. Ορισμένα δίκτυα, ονομάζονται με βάση την υποδομή δικτύων, βασίζονται στην προϋπάρχουσα υποδομή που θα επιτρέψει την πολλαπλή επικοινωνία hop. Άλλα δίκτυα, ονομάζονται ad hoc δίκτυα, είναι αυτο-οργανωτικά, δεν απαιτούν υποδομές. Υπό πολλές περιπτώσεις, τα κινητά κόμβων σε ένα δίκτυο ad hoc δεν έχουν απευθείας φυσικές συνδέσεις με όλους τους άλλους κόμβους. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι όλοι οι κόμβοι που βρίσκονται εντός εμβέλειας από όλους τους άλλους κόμβους στο δίκτυο. Ένα πολλαπλό hop ad hoc δίκτυο δίνει τη δυνατότητα σε κόμβους χωρίς απευθείας φυσικές συνδέσεις να επικοινωνούν μέσω ενός ή περισσότερων ενδιάμεσων κόμβων. Επιπλέον, ένα πολλαπλό hop ad hoc δίκτυο μπορεί να επεκταθεί με ραδιοκάλυψη και να επιτρέψει την αποτελεσματική κατανομή των πόρων ραδιοφώνου.

Κατηγοριοποιείται η πολλαπλή hop ad hoc τοπολογία δικτύου σε δύο τύπους: τοπολογίες επιπέδου και ιεραρχικές τοπολογίες. Μια επίπεδη τοπολογία είναι αυστηρά peer-to-peer, πλήρως καταναμημένο δίκτυο, όπου κάθε κόμβος μπορεί να χρησιμεύσει τόσο ως ένα συνηθισμένο κόμβο (πηγή ή προορισμός) και ένα router. Ένας κόμβος ενεργεί ως δρομολογητής δηλαδή χρησιμεύει ως ενδιάμεσος κόμβος στο μονοπάτι μεταξύ της πηγής και των κόμβων προορισμού που δεν συνδέονται άμεσα στο φυσικό στρώμα.

Στην εικόνα 26 απεικονίζεται μια επίπεδη τοπολογία του δικτύου. Στην παρακάτω εικόνα, ένα μονοπάτι ξεκινά από την πηγή με κόμβο Α με προορισμό τον κόμβο D χρησιμοποιώντας τον κόμβο Β και τον κόμβο C ως ενδιάμεσους δρομολογητές.



Εικόνα 26 : Ένα επίπεδο Πολλαπλό Hop Ad Hoc Δίκτυο

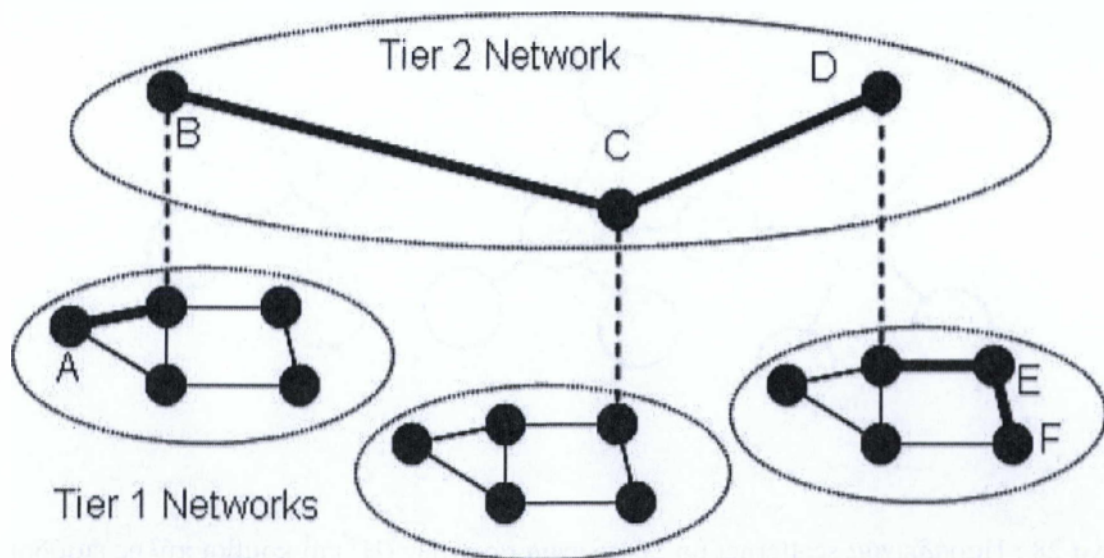
Μια ιεραρχική τοπολογία του δικτύου αποτελείται από ένα ή περισσότερα τοπικά δίκτυα ή συστάδες κόμβων που ονομάζεται βαθμίδα 1 του δικτύου και ένα ενιαίο βασικό δίκτυο που ονομάζεται βαθμίδα 2 του δικτύου, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 27. Όλοι οι κόμβοι σε ένα σύμπλεγμα μπορούν να συνδεθούν απευθείας ή όπως φαίνεται στην εικόνα, πολλαπλής δρομολόγησης λυκίσκου (hop) μπορεί να χρειάζεται για να επιτευχθεί σε όλους τους κόμβους σε ένα σύμπλεγμα. Μέσα σε ένα σύμπλεγμα, δηλαδή, μέσα σε ένα δίκτυο βαθμίδας 1, οι απλοί κόμβοι ελέγχονται από ένα επικεφαλές σύμπλεγμα που συμμετέχει σε ένα πολλαπλό hop βαθμίδας 2 του δικτύου.

Για παράδειγμα, μια διαδρομή από τον κόμβο A προς τον κόμβο F απεικονίζεται στην εικόνα. Η διαδρομή του παραδείγματος προχωράει από την πηγή του κόμβου A στον κόμβο B εντός ενός συμπλέγματος. Το μονοπάτι περνά από τον κόμβο B στον κόμβο C και στον κόμβο D του βασικού δικτύου. Από τον κόμβο D, η διαδρομή πηγαίνει στον κόμβο E και στη συνέχεια στον προορισμό του κόμβου F εντός ενός ενιαίου συμπλέγματος.

Μια πλήρως καταναμημένη επίπεδη τοπολογία προσφέρει μεγάλη ευελιξία και δικαιοσύνη μεταξύ όλων των κόμβων, ενώ μια ιεραρχική τοπολογία με ένα κεντρικό κόμβο ελέγχου σε κάθε συστάδα είναι συχνά πιο αποτελεσματική και πιο επεκτάσιμη. Σε μια επίπεδη τοπολογία, κάθε κόμβος ενεργεί από μόνος του, αλλά όλοι οι κόμβοι του δικτύου θα πρέπει να συμμετάσχουν σε διανομή λειτουργιών διαχείρισης, όπως η δρομολόγηση.

Σε μια ιεραρχική τοπολογία, ένας κόμβος σε κάθε ομάδα μπορεί να "εκλεγεί" ως κεντρικός κόμβος ελέγχου από άλλους κοντινούς κόμβους. Ένα δίκτυο με μια ιεραρχική τοπολογία μπορεί να χρησιμοποιήσει έναν κεντρικό κόμβο ελέγχου για τη διαχείριση κάθε συμπλέγματος, και να επικοινωνεί με έναν ή περισσότερους άλλους κόμβους του δικτύου βαθμίδας 1. Το Bluetooth, το οποίο έχει τυποποιηθεί ως IEEE 802.15.1, χρησιμοποιεί μια ιεραρχική τοπολογία, και βρίσκεται στην βαθμίδα 1 συμπλεγμάτων.

Το IEEE 802.15.3 υψηλής ταχύτητας ασύρματου προσωπικού δικτύου πρότυπο χρησιμοποιεί μια υβριδική τοπολογία σε συστάδες. Ο έλεγχος βρίσκεται σε κεντρική διαχείριση, αλλά διανέμονται τα δεδομένα των επικοινωνιών. Το UWB εξετάζεται ως επιλογή για το στρώμα PHY IEEE 802.15.3 και, συνεπώς, η ίδια υβριδική τοπολογία θα χρησιμοποιηθεί με ένα φυσικό στρώμα UWB.



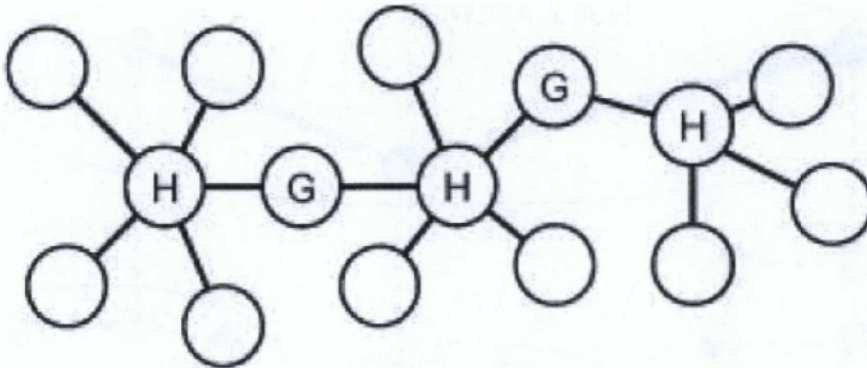
Εικόνα 27 : Ένα Ιεραρχικό Πολλαπλό Hop Ad Hoc Δίκτυο

### 5.2.1 Ιεραρχικό Δίκτυο Τοπολογίες

Για ένα UWB δίκτυο πολλαπλών hop, μια ιεραρχική τοπολογία μπορεί να είναι η κατάλληλη επιλογή, διότι μια μεγάλη τοπολογία διανέμεται εισάγοντας σημαντικό συγχρονισμό και γενικά επικοινωνίας. Η ιεραρχική τοπολογία επιτρέπει μια υβριδική αρχιτεκτονική. Οι κόμβοι έχουν αυτο-οργανωθεί σε ομάδες και ένα επικεφαλές σύμπλεγμα "εκλέγεται" για κάθε ομάδα.

Ο επικεφαλής συμπλέγματος μπορεί να συντονίσει τη διάδοση αναθέσεων κώδικα, έλεγχος ισχύος και άλλες τοπικές λειτουργίες στο σύμπλεγμα του. Το σύμπλεγμα ηγείται επίσης να συμμετάσχει σε μεγαλύτερο εύρος, πολλαπλά hop, κατανεμημένο βασικού δικτύου.

Μια scatternet στο Bluetooth, όπως δείχνεται στην εικόνα 28, είναι ένα παράδειγμα της ιεραρχικής τοπολογίας. Σε ένα Bluetooth scatternet, οι κόμβοι είναι οργανωμένοι σε ομάδες, που ονομάζονται piconets σε Bluetooth ορολογία. Υιοθετώντας μια ιεραρχική τοπολογία, κάποιοι κόμβοι γίνονται επικεφαλής συμπλέγματος των κόμβων ή πύλης εισόδου, ενώ οι άλλοι κόμβοι παραμένουν ως απλοί κόμβοι που στηρίζονται στους επικεφαλές και οι κόμβοι συμπλέγματος πύλης εισόδου για την επικοινωνία. Οι επικεφαλές του συμπλέγματος μερικές φορές ονομάζονται "αφέντες" (masters) και οι απλοί κόμβοι μερικές φορές ονομάζονται "σκλάβοι" (slaves). Ένας επικεφαλής συμπλέγματος, φέρει την ένδειξη "H" στην εικόνα 28, ελέγχει τους άλλους κόμβους στο ίδιο σύμπλεγμα και καθορίζει την κυκλοφορία εντός του συμπλέγματος. Ένας κόμβος πύλης εισόδου, φέρει την ένδειξη "G" στην εικόνα 28, των κέντρων πληροφόρησης και ελέγχου κατευθύνει τα δεδομένα κίνησης από το ένα στο άλλο σύμπλεγμα. Έτσι, τα πολλαπλά hop επικοινωνίας επιτυγχάνονται με τη σύνδεση των κύριων κόμβων και των κόμβων της πύλης εισόδου. Ακόμα κι αν οι επικεφαλές συμπλέγματος και οι πύλες εισόδου των κόμβων φέρουν μεγαλύτερη υπολογιστική και επικοινωνιακή επιβάρυνση από άλλους κόμβους και μπορεί να γίνει σημείο συμφόρησης, οι πληροφορίες δρομολόγησης διαδίδονται στο δίκτυο που μπορούν να μειωθούν, ειδικά για μεγάλης κλίμακας δίκτυα ad hoc. Αυτό συμβαίνει επειδή η λειτουργία δρομολόγησης πρέπει να εξετάσει μόνο δρομολόγηση σε συμπλέγματα και όχι σε κάθε επιμέρους κόμβο, όπως θα ήταν η περίπτωση σε μια επίπεδη τοπολογία.



Εικόνα 28 : Παράδειγμα scatternet με Σύμπλεγμα αρχηγών (H) και κόμβοι πύλης εισόδου (G)

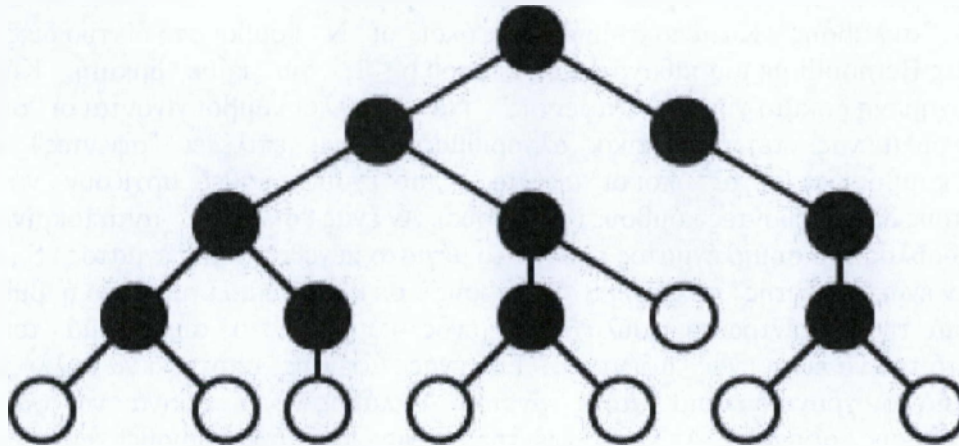
Αρχικά, όλοι οι κόμβοι στο δίκτυο απομονώνονται, δηλαδή, ένας κόμβος δεν γνωρίζει την ύπαρξη οποιονδήποτε από τους άλλους κόμβους. Ένας αλγόριθμος scatternet σχηματισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σύνδεση όλων ή των περισσότερων από των απομονωμένων κόμβων μαζί σε ένα δίκτυο πολλαπλών λυκίσκου. Οι αλγόριθμοι που ήδη υπάρχουν, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: α) αυτά που χρησιμοποιούν ένα "super-master" κόμβο, β) εκείνοι που κατασκευάζουν ένα scatternet να χωρέσει σ' ένα βασικό μοντέλο τοπολογίας, και γ) εκείνοι που χρησιμοποιούν τις βασικές τεχνικές ομαδοποίησης κόμβου.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει αλγόριθμους που βασίζονται σε μονής εκλογής "super-master" κόμβους για τη διασύνδεση των υπόλοιπων κόμβων. Ο "σούπερ-αφέντης" κόμβος πρέπει να αποκτήσει πληροφορίες από όλους τους άλλους κόμβους όπου διανέμονται μέσω μιας διαδικασίας. Υπάρχουν δύο στάδια κατανομής ομαδοποίησης αλγορίθμου τα οποία είναι: Το πρώτο στάδιο χρησιμοποιεί μια τυχαία κατανομή αλγορίθμου για να προσδιορίσει τους "αφέντες" και τους "σκλάβους". Κατά το στάδιο αυτό, όλοι οι  $N$  κόμβοι στο δίκτυο διεξάγουν  $T$  γύρους από δοκιμές Bernoulli με μία πιθανότητα  $p$ , όπου  $p \leq 1$ , για κάθε δοκιμή. Κόμβοι με ακριβώς μία επιτυχημένη δοκιμή γίνεται ο "αφέντης" και οι άλλοι κόμβοι γίνονται οι "σκλάβοι". Το δεύτερο στάδιο είναι ένας ντετερμινιστικός αλγόριθμος για να επιλέξει "αφέντες" και ένα "σούπερ-αφέντη" κόμβο. Κατ' αρχάς, όλοι οι "αφέντες" που έχουν ορισθεί αρχίζουν να ζητούν πληροφορίες για τους δευτερεύοντες κόμβους (σκλαβους). Αν ένας "σκλάβος" ανταποκρίνεται στο ερώτημα, γίνεται δούλος του συμπλέγματος εφόσον το μέγιστο μέγεθος συμπλέγματος,  $S$ , δεν θα το υπερβαίνει. Εάν ένας "αφέντης" συλλέγει  $S$  "σκλάβους" σε κάθε σύμπλεγμά του ή βιώνει ένα χρονικό όριο μετά τη συγκέντρωση τουλάχιστον ενός κόμβου στο σύμπλεγμά του, αυτό κηρύσσει τον εαυτό του να είναι ένας "αφέντης". Εάν ένας "αφέντης" αποτύχει να συλλέξει τυχόν απαντήσεις πριν από το χρονικό όριο, τότε γίνεται "σκλάβος" και ξεκινά να ψάχνει για πληροφορίες από άλλους "αφέντες". Αν ένας "αφέντης" ή ένας που έχει ορισθεί ως "αφέντης" συλλέξει έως το κατώτατο όριο των  $k$  απαντήσεων από τις άλλες ομάδες, γίνεται ο "σούπερ-αφέντης". Αφού ένας κόμβος δηλώσει τον εαυτό του ως "σούπερ-αφέντης", τότε ζητά πληροφορίες από όλες τις άλλες ομάδες. Μετά την απόκτηση των απαιτούμενων πληροφοριών, ο "σούπερ-αφέντης" χωρίζει το δίκτυο σε ακριβώς  $k$  ομάδες, με  $k-1$  ομάδες που έχουν  $S$  "σκλάβους" και μια συστάδα του μεγέθους  $N \bmod (S + 1)$ . Στη συνέχεια, ο "σούπερ-αφέντης" επιλέγει τους κατάλληλους κόμβους μέσα στις συστάδες για να χρησιμεύσουν ως πύλη εισόδου κόμβων. Όσο απλός και αν είναι αυτός ο αλγόριθμος, απαιτεί κάθε κόμβος να διαθέτει προηγούμενες πληροφορίες σχετικά με τον συνολικό αριθμό των κόμβων,  $N$ . Επιπλέον, ο αλγόριθμος αυτός χρειάζεται κάποιες προκαθορισμένες παραμέτρους, δηλαδή  $S$  και  $k$  των οποίων οι βέλτιστες τιμές μπορεί να μην είναι εύκολο να προσδιοριστούν πριν από την ανάπτυξη του δικτύου.

Η Τοπολογία Bluetooth πρωτόκολλου κατασκευής (BTCP) είναι ασύγχρονη, πλήρως καταναμημένος scatternet αλγόριθμος που αναπτύχθηκε από το σχηματισμό Salonidis. Το BTCP παρέχει ένα καλό παράδειγμα μιας προσέγγισης που μπορεί να είναι χρήσιμο για ένα δίκτυο UWB. Το BTCP έχει τρεις φάσεις: τη φάση εκλογής αρχηγού, τη φάση καθορισμού ρόλου, και τη φάση εγκατάστασης της σύνδεσης. Στη φάση εκλογής αρχηγού, μια ασύγχρονη διανομή εκλογής του συντονιστή ενός κόμβου εκτελείται. Στο τέλος της πρώτης φάσης, ο κόμβος ηγέτης έχει μια συνολική άποψη του δικτύου. Έτσι, στο δεύτερο στάδιο, ο κόμβος αρχηγός μπορεί να εκχωρήσει σε ρόλους τους υπόλοιπους κόμβους. Δηλαδή μερικοί από τους κόμβους που διάλεξε να είναι οι κόμβοι "αφέντες" και μερικοί που έχουν εκχωρηθεί να είναι σε κόμβους πύλης εισόδου. Το υπόλοιπο των κόμβων παραμένουν ως συνήθεις κόμβοι. Κατά την τελευταία φάση, όλοι οι κόμβοι που ορίζονται "αφέντες" απαιτούνται για τη σύνδεση με τους κόμβους πύλης εισόδου και τους απλούς κόμβους. Το σύστημα αυτό δεν απαιτεί τις εκ των προτέρων πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο. Ωστόσο, λειτουργεί μόνο για έναν αριθμό κόμβων μικρότερο από ή ίσο με 36, λόγω των επιθυμητών ιδιοτήτων του προκύπτοντος δικτύου.

Επειδή τα δύο στάδια κατανέμονται σε αλγόριθμο ομαδοποίησης και ΒΤCΡ, εξαρτώνται από ένα μόνο κόμβο για τον προσδιορισμό της scatternet τοπολογίας και ενημερώνει τους άλλους κόμβους. Αυτός ο ειδικός κόμβος χρειάζεται να αποκτήσει πληροφορίες από τους άλλους  $N-1$  κόμβους στο δίκτυο. Έτσι, και οι δύο αλγόριθμοι έχουν πολυπλοκότητα  $O(N)$  κατά τη φάση εκλογής αρχηγού.

Οι αλγόριθμοι στη δεύτερη κατηγορία κατασκευάζουν ένα scatternet που βασίζεται σε ένα συγκεκριμένο μοντέλο τοπολογίας, όπως μία τοπολογία γεννητικού δέντρου. Επειδή μια τοπολογία γεννητικού δέντρου είναι απλή να πραγματοποιηθεί και σχετικά αποτελεσματική για τη δρομολόγηση πακέτων, πολλοί scatternet σχηματισμοί αλγορίθμων βασίζονται πάνω στις δομές δέντρων. Στην εικόνα 29 παρουσιάζεται μια τοπολογία γεννητικού δέντρου με σκούρους κόμβους ως γονεϊκοί κόμβοι.



Εικόνα 29 : Μια Τοπολογία Γεννητικού Δέντρου

Η τοπολογία γεννητικού δέντρου τείνει να επιλέξει τον ελάχιστο δυνατό αριθμό των συνδέσεων για να σχηματίσουν ένα συνδεδεμένο scatternet. Να σημειωθεί ότι ο ελάχιστος αριθμός των συνδέσεων είναι μια ιδιότητα ενός γεννητικού δένδρου. Επιπλέον, ένα γεννητικό δένδρο είναι εύκολο να διατηρηθεί, λόγω της ιεραρχικής δομής του. Για παράδειγμα, κάθε κόμβος διατηρεί πίνακες δρομολόγησης μόνο για τα παιδιά του και τα εγγόνια των κόμβων του. Όταν ο προορισμός του πακέτου είναι στον πίνακα δρομολόγησης ενός κόμβου, ο κόμβος θα μεταδώσει το πακέτο με τα αντίστοιχα παιδιά. Διαφορετικά, το πακέτο προωθείται προς τα πάνω στο γονεϊκό του κόμβο. Ωστόσο, μια τοπολογία γεννητικού δέντρου έχει κάποιες ελλείψεις. Πρώτον, δεν διαθέτει αντοχή στα σφάλματα και μπορεί να προκαλέσει ένα μοναδικό σημείο σε αποτυχία. Μετά από μια αποτυχία γονεϊκού κόμβου, όλα τα παιδιά και τα εγγόνια των κόμβων του χωρίζονται από το υπόλοιπο του δικτύου. Δεύτερον, η δρομολόγηση σε μια τοπολογία δένδρου είναι λιγότερο αποτελεσματική σε σύγκριση με μια δρομολόγηση σε αρκετές άλλες τοπολογίες, όπως μία τοπολογία πλέγματος, επειδή τα δεδομένα μπορούν να κινηθούν μόνο μέσω ενός δέντρου σε ανοδική και σε καθοδική κατεύθυνση. Ως εκ τούτου, η διακίνηση ή η καθυστέρηση για έναν αλγόριθμο δρομολόγησης γεννητικού δέντρου μπορεί μερικές φορές να είναι πολύ χειρότερη από ό, τι για αλγόριθμους δρομολόγησης που βασίζονται σε άλλες τοπολογίες. Τρίτον, επειδή όλα τα μονοπάτια δρομολόγησης πάνε μέσω των γονεϊκών κόμβων, οι κόμβοι αυτοί, ειδικά αυτά που είναι υψηλότερα στην ιεραρχία, μπορεί να γίνει σε υψηλό φορτίο, αποτελώντας έτσι την απόδοση των σημείων συμφόρησης στο δίκτυο.



Το "Bluetree" είναι ένα απλό γεννητικό δέντρο βασισμένο σε έναν αλγόριθμο που αναπτύχθηκε από τον Zaguba. Οι παραδοχές γι' αυτό τον αλγόριθμο είναι ότι υπάρχει ένας προκαθορισμένος "blueroot" κόμβος στο δίκτυο, ότι κάθε κόμβος γνωρίζει την ταυτότητα των γειτόνων του, και ότι κάθε κόμβος γνωρίζει εάν ή όχι είναι ήδη μέρος ενός riconet.

Αφού τροφοδοτήθηκαν οι κόμβοι στο δίκτυο, ο "blueroot" κόμβος αρχίζει να σελιδοποιεί τους γείτονές του έναν προς έναν. Αν ένας κόμβος έχει σελιδοποιηθεί, αλλά δεν έχει ενταχθεί ακόμη σε ένα riconet, γίνεται "σκλάβος" του κόμβου σελιδοποίησης. Όταν ένας κόμβος έχει οριστεί ως "σκλάβος" σε ένα riconet, ξεκινά η μία προς μία σελιδοποίηση από όλους τους γείτονές του. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου αναδρομικά όλοι οι κόμβοι να έχουν εκχωρηθεί σε ένα riconet. Ένας δεύτερος αλγόριθμος προτείνεται από τον Zaguba, ο οποίος στο ίδιο έργο χαλαρώνει αυτές τις υποθέσεις. Δηλαδή αντί να έχουν έναν "blueroot" κόμβο για ολόκληρο το δίκτυο, κάθε κόμβος που έχει την υψηλότερη αναγνώριση (ID) μεταξύ των γειτόνων του μπορεί ο ίδιος να εκλέξει ως ρίζα και την κίνηση της "Bluetree" διαδικασίας. Το δίκτυο τότε εκτείνεται συνδέοντας μαζί ένα ασυνεχές πεδίο αλλά και γειτονικά δέντρα.

Οι αλγόριθμοι στην τρίτη κατηγορία δεν δεσμεύουν το συγκεκριμένο μοντέλο για την τοπολογία του δικτύου. Αντ' αυτού, κατασκευάζουν "πιο επίπεδες" αρχιτεκτονικές χρησιμοποιώντας βασικά συστήματα ομαδοποίησης. Το "Bluenet" και το "BlueStars" είναι παραδείγματα αυτής της κατηγορίας του αλγορίθμου.

Ο "Bluenet" αλγόριθμος, που αναπτύχθηκε από τον Wang έχει τρεις φάσεις:

Στην πρώτη φάση, οι απομονωμένες riconets σχηματίζονται με ομαδοποίηση. Μετά από αυτή τη φάση, κάποιοι κόμβοι που έχουν διαχωριστεί μπορεί να αφηθούν έξω από το δίκτυο. Στη δεύτερη φάση, αυτοί οι κόμβοι που διαχωρίστηκαν προσπαθούν να συνδεθούν με τουλάχιστον ένα riconet. Όταν η δεύτερη φάση ολοκληρωθεί, όλοι οι κόμβοι πρέπει να συνδεθούν με τουλάχιστον ένα riconet. Κατά τη διάρκεια της τρίτης φάσης, τα riconets συνδέονται για να σχηματίσουν ένα scatternet. Ωστόσο, το "Bluenet" δεν εγγυάται την συνδεσιμότητα του προκύπτοντος scatternet. Μια από τις σημαντικότερες συνεισφορές του Wang είναι ότι ορίζουμε δύο μετρήσεις για την αξιολόγηση της απόδοσης των scatternets, η μέση συντομότερη διαδρομή (ASP) και η μέγιστη ροή της κυκλοφορίας (MTF).

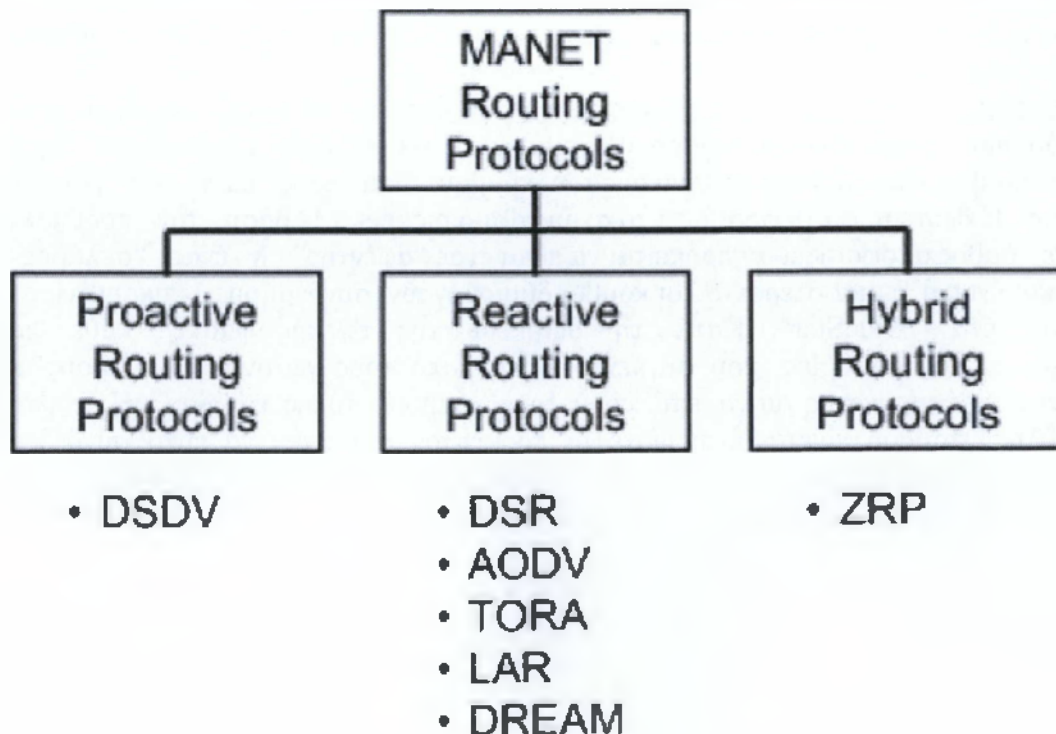
Το "BlueStars" πρωτόκολλο προχωρά επίσης σε τρεις φάσεις: την τοπολογία ανακάλυψη φάσης, τη φάση διαμόρφωσης riconet και το scatternet σχηματισμού φάσης. Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης, κάθε κόμβος ανακαλύπτει γειτονικούς του κόμβους και τους κάνει να γνωρίζουν την παρουσία του. Η δεύτερη φάση φροντίζει το σχηματισμό riconet. Με βάση τον προϋπολογιστικό βάρος, κάθε κόμβος αποφασίζει αν πρόκειται να είναι ένας "αφέντης" ή ένας "σκλάβος". Ένας "αφέντης" και ένας ή περισσότεροι άλλοι κόμβοι δημιουργούν συνδέσμους επικοινωνίας για να σχηματίσουν ένα "BlueStar". Κατά τη διάρκεια της τελικής φάσης, κάθε "αφέντης" χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν από τους γειτονικούς κόμβους κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης για να επιλέξουν τους κόμβους πύλης εισόδου. Η επιλογή των κόμβων πύλης εισόδου γίνεται έτσι ώστε το προκύπτον scatternet να είναι συνδεδεμένο. Το συμπληρωμένο scatternet είναι ένα πλέγμα που συνδέεται με πολλαπλά μονοπάτια μεταξύ κάθε ζεύγους των κόμβων, το οποίο εγγυάται την ανθεκτικότητα.

## 5.2.2 Επίπεδο Δίκτυο Τοπολογίες

Η πλειοψηφία των ερευνών σχετικά με τη δρομολόγηση σε πολλαπλά δίκτυα hop ad hoc προϋποθέτει μια επίπεδη τοπολογία και πλήρως κατανεμημένη αρχιτεκτονική. Ένα UWB δίκτυο ad hoc μερικές φορές ονομάζεται UWB δίκτυο πλέγματος. Ακόμα κι αν δικτύωση πλέγματος είναι ένας σχετικά νέος τομέας της έρευνας, έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για την έρευνα και την ανάπτυξη η οποία ήταν αφιερωμένη σε αυτήν. Τόσο το IEEE 802.15 όσο και το 802.11 πρότυπο IEEE ομάδων έχουν σχηματίσει υποομάδες για τη διερεύνηση προτύπων για ασύρματα δίκτυα πλέγματος. Επειδή κάθε κόμβος σε ένα δίκτυο μπορεί να λειτουργήσει ως router και η λειτουργία δρομολόγησης είναι πλήρως αποκεντρωμένη, δίκτυα πλέγματος προσφέρουν μεγάλη ευελιξία και μπορεί να εξασφαλίσει δικαιοσύνη μεταξύ των κόμβων. Σε ένα δίκτυο πλέγματος, οι κόμβοι συνεργάζονται για να διαβιβάσουν τα πακέτα από το ένα στο άλλο για να φθάσουν στον προορισμό που δεν είναι άμεσα εντός του εύρους μετάδοσης του κόμβου πηγής. Έτσι, οι ad hoc αλγόριθμοι δρομολόγησης που απαιτούνται για τη διασφάλιση της συνδεσιμότητας σε τέτοια δίκτυα, ιδίως όταν οι κόμβοι μπορούν να κινούνται, όπως είναι η περίπτωση των κινητών ad hoc δικτύων (MANETs).

### Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Στην εικόνα 30 καθορίζει τρεις κατηγορίες MANET πρωτόκολλα δρομολόγησης: τα προορατικά πρωτόκολλα, τα αντιδραστικά πρωτόκολλα, καθώς και τα υβριδικά πρωτόκολλα. Τα προορατικά πρωτόκολλα είναι συνήθως link-state (table-driven) πρωτόκολλα που διατηρούν ενημερωμένες πληροφορίες δρομολόγησης ανεξάρτητα από το αν υπάρχει αίτημα για μια συγκεκριμένη διαδρομή. Ο Προορισμός Αλληλουχίας του φορέα Απόστασης (DSDV) πρωτοκόλλου είναι ένα τυπικό πρωτόκολλο δρομολόγησης προορατικό.



Εικόνα 30 : Βασική Ταξινόμια για MANET πρωτόκολλα δρομολόγησης

Τα *αντιδραστικά πρωτόκολλα* ονομάζονται κατά παραγγελία ξεκίνημα πηγής πρωτόκολλα δρομολόγησης μετά την ανακάλυψη διαδρομής που γίνεται με επίκληση μόνο όταν ένας κόμβος πηγής έχει ένα πακέτο να στείλει, δηλαδή αυτό που χρειάζεται μια διαδρομή.

Παραδείγματα των αντιδραστικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης περιλαμβάνουν την Δυναμική Πηγή δρομολόγησης ( Dynamic Source Routing, DSR ), το Ad hoc κατά παραγγελία φορέα Απόστασης δρομολόγηση ( Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing, AODV ), την χρονικώς Αριθμημένη δρομολόγηση αλγορίθμου ( Temporally Ordered Routing Algorithm, TORA ), Τοποθεσία με την Βοήθεια δρομολόγησης ( Location Aided Routing, LAR ) και εξ Αποστάσεως Αλγόριθμος δρομολόγησης Επίδρασης για την κινητικότητα ( Distance Routing Effect Algorithm for Mobility, DREAM ).

Τα *Υβριδικά πρωτόκολλα* δρομολόγησης συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των αντιδραστικών καθώς και των προορατικών πρωτοκόλλων. Η Ζώνη πρωτοκόλλου δρομολόγησης ( Zone Routing Protocol, ZRP ) είναι ένα τέτοιο υβριδικό πρωτόκολλο.

### **Προορισμός αλληλουχίας του φορέα Απόστασης Πρωτοκόλλου (DSDV)**

Το DSDV είναι ένας πίνακας με γνώμονα το προορατικό πρωτόκολλο δρομολόγησης με βάση το κλασικό Bellman-Ford αλγόριθμο δρομολόγησης. Μία από τις διαφορετικές συνεισφορές του DSDV είναι ότι αποφεύγει τους βρόχους δρομολόγησης που συχνά δημιουργούνται από τον βασικό Bellman-Ford αλγόριθμο. Κάθε κόμβος στο δίκτυο διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης που καταγράφει όλους τους προσβάσιμους προορισμούς και τον αριθμό της δρομολόγησης του λυκίσκου (hop). Η μέθοδος για την κατασκευή αυτών των πινάκων δρομολόγησης είναι η ίδια όπως το σύστημα που χρησιμοποιείται στον Bellman-Ford αλγόριθμο. Ο Bellman - Ford είναι ένας κατανεμημένος αλγόριθμος, που σημαίνει ότι κάθε κόμβος εκτελεί τον αλγόριθμο ταυτόχρονα με κάθε άλλο κόμβο. Ο Bellman - Ford αλγόριθμος δεν υποθέτει ότι ένας κόμβος γνωρίζει τις λεπτομέρειες της τοπολογίας του δικτύου. Αντ' αυτού, θεωρεί ότι ένας κόμβος ξέρει αρχικά μόνο το μήκος ( ή κόστος ) των εξερχόμενων συνδέσεων του και την ταυτότητα του κάθε προορισμού, που είναι άμεσα συνδεδεμένος. Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που παρέχονται από τους γείτονές του , κάθε κόμβος υπολογίζει την μικρότερη απόσταση (ή χαμηλότερο κόστος) σε κάθε άλλο κόμβο στο δίκτυο και κάθε κόμβος πληροφόρησης σχετικά με μετοχές της συντομότερης ( ή ελάχιστο κόστος ) μονοπατιών με τους γείτονές του. Επειδή ο κόμβος πηγής ενημερώνεται με αύξοντα αριθμό κάθε φορά που στέλνει ένα αίτημα διαδρομής, ενδιάμεσοι κόμβοι μπορούν να διακρίνουν εκτός - ημερομηνίας, ή «μπαγιάτικα», μηνύματα ενημέρωσης διαδρομής από τα νέα μηνύματα ενημέρωσης. Συσχετίζοντας έναν αριθμό ακολουθίας με το αίτημα διαδρομής, το DSDV αποφεύγει την εισαγωγή οποιονδήποτε βρόχων.

### **Δυναμική Πηγή δρομολόγησης (DSR)**

Όπως υποδηλώνει το όνομα, το DSR βασίζεται στον κόμβο πηγή που προσδιορίζει και καθορίζει μια διαδρομή προς τον προορισμό. Το πρωτόκολλο DSR αποτελείται από δύο φάσεις: την ανακάλυψη διαδρομής και τη συντήρηση διαδρομής.

Επειδή κατ' απαίτηση πρωτόκολλα δρομολόγησης δημιουργούν διαδρομές μόνο όταν αυτό είναι επιθυμητό από τον κόμβο πηγή, όλοι έχουν τυπικά αυτές τις δύο φάσεις. Η φάση ανακάλυψης διαδρομής ξεκινά μόνο όταν ένας κόμβος πηγής πρέπει να στείλει ένα ή περισσότερα πακέτα σε έναν προορισμό στον οποίο η πηγή δεν έχει την ημερομηνία διαδρομής. Όταν μια διαδρομή έχει καθιερωθεί, θα συντηρείται από μια διαδικασία συντήρησης διαδρομής μέχρι την λήξη της διαδρομής.

Αν ένας κόμβος έχει πακέτο να στείλει, θα ελέγξει πρώτα τη δική του κρυφή μνήμη δρομολόγησης για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει μία που δεν έχει λήξει διαδρομή προς τον προορισμό. Εάν καμία από τις ισχύουσες διαδρομές δεν βρεθεί, ο κόμβος πηγή ξεκινά μια διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής με την αποστολή ενός μηνύματος *Αίτηση διαδρομής* που περιέχει διευθύνσεις της πηγής και του προορισμού και ένα μοναδικό αναγνωριστικό αίτημα. Κάθε κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα *Αίτηση διαδρομής* ελέγχει αν γνωρίζει μία διαδρομή που δεν έχει λήξει προς τον προορισμό. Εάν δεν βρεθεί η διαδρομή, ο κόμβος προσθέτει τη δική του διεύθυνση στο πακέτο *Αίτησης διαδρομής* και αναμεταδίδει το πακέτο στους γείτονές του. Αν ένας ενδιάμεσος κόμβος γνωρίζει έναν που δεν έχει λήξει η διαδρομή προς τον προορισμό ή ο κόμβος είναι ο κόμβος προορισμού, ένα μήνυμα *Απάντηση διαδρομής* δημιουργείται. Εάν υποτεθεί συμμετρικές συνδέσεις, ο κόμβος μπορεί να αντιστρέψει απλά τη διαδρομή στο αρχείο διαδρομής του μηνύματος *Αίτηση διαδρομής* για να στείλει μια απάντηση πίσω στην πηγή. Αν οι συμμετρικές συνδέσεις δεν μπορούν να θεωρηθούν, ένας κόμβος δημιουργίας ενός μηνύματος *Απάντηση διαδρομής* μπορεί να χρειαστεί να ξεκινήσει τη δική του διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής.

Σε ένα κινητό περιβάλλον, οι σύνδεσμοι μπορεί να μην οφείλονται στην εξασθένιση, στις παρεμβολές, ή στις μετακινήσεις κόμβων. Ως εκ τούτου, η συντήρηση διαδρομής είναι μια κρίσιμη διαδικασία σε πρωτόκολλα δρομολόγησης για MANETs. Στο πρωτόκολλο DSR, η συντήρηση διαδρομής επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης των αναγνωρίσεων και τα μηνύματα λάθους διαδρομής. Αναγνωρίσεις χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση της ορθής λειτουργίας των συνδέσεων σε ένα μονοπάτι από την πηγή στον προορισμό. Ένα μήνυμα λάθους διαδρομής αποστέλλεται στον αρχικό αποστολέα του πακέτου δεδομένων όταν αποτύχει η σύνδεση. Μόλις λάβει ένα μήνυμα σφάλματος διαδρομής, ο αποστολέας αφαιρεί την αποτυχημένη σύνδεση από την προσωρινή μνήμη της διαδρομής. Αυτό μπορεί να προκαλέσει μια νέα διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής. Ως ένα κατά παραγγελία πρωτόκολλο δρομολόγησης, το DSR είναι πολύ ευέλικτο. Ωστόσο, το DSR παρουσιάζει μεγάλη επιβάρυνση δρομολόγησης και δεν κλιμακώνεται καλά για χρήση σε μεγάλα δίκτυα, διότι όλες οι πληροφορίες δρομολόγησης πρέπει να μεταφέρονται σε επικεφαλίδες των πακέτων.

#### **Ad hoc κατά παραγγελία φορέας Απόσταση δρομολόγησης (AODV)**

Το AODV είναι, στην ουσία, ένας συνδυασμός του DSR και του DSDV. Ωστόσο, το AODV κάνει βελτιώσεις σε σχέση με τα δύο πρωτόκολλα. Με έναν τρόπο παρόμοιο με το DSR, το AODV χρησιμοποιεί επίσης δύο φάσεις: την ανακάλυψη διαδρομής και την απάντηση διαδρομής. Ένας κόμβος ξεκινά μια ανακάλυψη διαδρομής με τη μετάδοση μιας *Αίτησης διαδρομής (RREQ)*, όταν το μήνυμα έχει πακέτα για ένα κόμβο προορισμού για τον οποίο δεν έχει έγκυρη διαδρομή. Κάθε κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα *RREQ* ενημερώνει με επόμενη καταχώρηση στον πίνακα του λυκίσκου σε σχέση με τον προηγούμενο κόμβο στη διαδρομή πίσω στην πηγή, ώστε να δημιουργηθεί μια αντίστροφη πορεία πίσω στον ιδρυτή του *RREQ* μηνύματος. Αν ένας κόμβος δεν έχει μια διαδρομή προς τον κόμβο προορισμού, αναμεταδίδει το μήνυμα *RREQ* στους γείτονές του.

Αν ένας κόμβος ξέρει μια διαδρομή που δεν έχει λήξει προς τον προορισμό ή ο κόμβος είναι ο κόμβος προορισμού, μια *Απάντηση διαδρομής (RREP)* μηνύματος δημιουργείται και αποστέλλεται με μοναδική διανομή πίσω στην πηγή. Με την παραλαβή του *RREP* μηνύματος, κάθε κόμβος κατά μήκος της διαδρομής πίσω στις ενημερωμένες εκδόσεις της πηγής, η επόμενη καταχώρηση στον πίνακα του λυκίσκου σε σχέση με το γειτονικό κόμβο κατά μήκος της διαδρομής προς τον κόμβο προορισμού. Επειδή το *RREP* μήνυμα προωθείται κατά μήκος της αντίστροφης διαδρομής θεσπίστηκε με το *RREQ* μήνυμα, το AODV απαιτεί συμμετρικές συνδέσεις.

Σε αντίθεση με το DSR, το AODV δεν περιλαμβάνει πληροφορίες διαδρομής σε κάθε επικεφαλίδα του πακέτου δεδομένων ή ελέγχου, το οποίο μειώνει την επιβάρυνση. Το AODV έχει επίσης μικρότερη επιβάρυνση από τη δρομολόγηση DSDV γιατί μπορεί να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των απαιτούμενων μεταδόσεων με τη δημιουργία διαδρομών μ' ένα κατά παραγγελία τρόπο.

### **Χρονικώς Αριθμημένη δρομολόγηση αλγορίθμου (TORA)**

Το TORA είναι μια εξαιρετικά προσαρμοστική αντίδραση πρωτόκολλο δρομολόγησης. Εγγυάται διαδρομές ελεύθερων βρόχων και μπορούν να παρέχουν συνήθως πολλαπλές διαδρομές για κάθε ζεύγος κόμβων πηγής και προορισμού. Επίσης, διανέμονται υπό την έννοια ότι οι κόμβοι χρειάζονται μόνο να διατηρούν πληροφοριακά στοιχεία σχετικά με τους παρακείμενους γείτονές τους. Ένα άλλο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι ότι η αντίδραση του πρωτοκόλλου TORA για την αποτυχία σύνδεσης, τυπικά περιλαμβάνει μόνο ένα εντοπισμένο "μονό πέρασμα" από την διανομή αλγορίθμου για να διορθωθεί μια αποτυχημένη σύνδεση.

Το TORA έχει τρεις φάσεις: τη δημιουργία διαδρομής, τη συντήρηση διαδρομής, και τη διαγραφή διαδρομής. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής η δημιουργία και η συντήρηση φάσεων διαδρομής, είναι μια διαδικασία απάντησης ερωτημάτων και χρησιμοποιείται για την κατασκευή ενός κατευθυνόμενου γράφου άκυκλα (DAG) ριζωμένη στον κόμβο προορισμού. Σε κάθε κόμβο, ένα ξεχωριστό αντίγραφο του TORA εκτελείται για κάθε προορισμό. Για ένα δεδομένο κόμβο προορισμού, κάθε συμμετέχον κόμβος λαμβάνει ένα "ύψος". Δεν υπάρχουν δύο κόμβοι που να μπορούν να έχουν το ίδιο "ύψος", δηλαδή, η δέσμη των "υψών" είναι εντελώς ταξινομημένη. Κάθε σύνδεσμος έχει εκχωρηθεί σε μια κατεύθυνση προηγούμενων ή επόμενων σταδίων, με βάση το σχετικό "ύψος" των γειτονικών κόμβων. Ο συγχρονισμός είναι ένας σημαντικός παράγοντας στο TORA πρωτόκολλο επειδή το "ύψος" βασίζεται στο λογικό χρόνο μιας αποτυχίας συνδέσμου. Έτσι, το TORA προϋποθέτει ότι όλοι οι κόμβοι στο δίκτυο να είναι συγχρονισμένοι (τουλάχιστον χοντροκομμένα). Τα δεδομένα πακέτων μπορούν να δρομολογηθούν από τους κόμβους με μεγαλύτερο "ύψος" σε κόμβους με χαμηλότερο "ύψος", όπως ακριβώς και το νερό μπορεί να ρέει μόνο από ένα μεγαλύτερο υψόμετρο σε ένα χαμηλότερο υψόμετρο. Το TORA διατηρεί ένα σύνολο από εντελώς ταξινομημένα "ύψη" ανά πάσα στιγμή.

Όταν ένας κόμβος χρειάζεται μια διαδρομή σε ένα δεδομένο προορισμό, μεταδίδει ένα μήνυμα *Ερωτήματος* που περιέχει την διεύθυνση του προορισμού για το οποίο απαιτείται μια διαδρομή. Το μήνυμα *Ερωτήματος* ταξιδεύει μέσω του δικτύου μέχρι να φτάσει στον προορισμό ή ένα ενδιάμεσο κόμβο που έχει μια διαδρομή προς τον κόμβο προορισμού. Αυτός ο κόμβος μεταδίδει τότε ένα μήνυμα *Ενημέρωσης* καταχωρώντας το ύψος του σε σχέση με τον προορισμό. Καθώς το μήνυμα *Ενημέρωσης* διαδίδεται μέσω του δικτύου, κάθε κόμβος ενημερώνει το ύψος του σε μία τιμή μεγαλύτερη από το ύψος του γείτονα από το οποίο λαμβάνει την ενημέρωση. Αυτό οδηγεί σε μια σειρά από συνδέσμους που κατευθύνεται από τον κόμβο που προήλθε το *Ερώτημα* για τον κόμβο προορισμού. Έτσι, ο βρόχος χωρίς πολλαπλών διαδρομών δρομολόγησης προς τον προορισμό μπορεί να δημιουργηθεί.

Αν ένας κόμβος ανακαλύψει έναν προορισμό ότι είναι απρόσιτος, θέτει μια τοπική μέγιστη τιμή του ύψους για τον προορισμό αυτό. Σε περίπτωση που ο κόμβος δεν μπορεί να βρει κανένα γείτονα που έχει πεπερασμένο ύψος σε σχέση με αυτόν τον προορισμό, προσπαθεί να βρει μια νέα διαδρομή. Εάν μια σύνδεση χωρισμάτων αποτύχει στο δίκτυο, τότε ο κόμβος μεταδίδει ένα σαφές μήνυμα ότι μηδενίζει όλες τις καταστάσεις δρομολόγησης και αφαιρεί τα άκυρα δρομολόγια από το δίκτυο.

## **Ζώνη πρωτοκόλλου δρομολόγησης (ZRP)**

Το ZRP είναι ένα υβριδικό προορατικό και αντιδραστικό πρωτόκολλο δρομολόγησης. Μια ζώνη δρομολόγησης ορίζεται για κάθε κόμβο στο δίκτυο. Η ακτίνα της ζώνης είναι μια προκαθορισμένη παράμετρος, η οποία ορίζει τη ζώνη από την άποψη του ελάχιστου αριθμού των μετρήσεων του λυκίσκου ( αριθμός των δεσμών που πρέπει να διασχίσει ) από τον κεντρικό κόμβο. Όλοι οι γειτονικοί κόμβοι εντός της ακτίνας της ζώνης θεωρούνται κόμβοι στη ζώνη δρομολόγησης. Εάν το ελάχιστο όριο αλμάτων ενός κόμβου από τον κεντρικό κόμβο είναι ακριβώς η ίδια με την ακτίνα της ζώνης, τότε ο κόμβος αυτός ονομάζεται ένας κόμβος συνόρου.

Κάθε κόμβος στο δίκτυο διατηρεί ενεργά τη δική του ζώνη δρομολόγησης, χρησιμοποιώντας ένα προορατικό πρωτόκολλο δρομολόγησης, όπως το DSDV. Συνεπώς, ο κάθε κόμβος στη ζώνη ξέρει πώς να φτάσει σε κάθε άλλο κόμβο στην ίδια ζώνη, ανά πάσα στιγμή. Αν ένας κόμβος θέλει να στείλει ένα πακέτο, ελέγχει πρώτα αν ο κόμβος προορισμού είναι στην ίδια ζώνη. Αν ο προορισμός είναι στην ίδια ζώνη, μπορεί να στείλει το πακέτο απευθείας στον προορισμό επειδή τα προορατικά πρωτόκολλα δρομολόγησης διατηρούν πάντα τις ενημερωμένες πληροφορίες δρομολόγησης. Αν ο προορισμός δεν είναι στην ίδια ζώνη, ο αποστολέας ξεκινά ένα αντιδραστικό πρωτόκολλο δρομολόγησης, όπως το DSR.

Για να μειωθεί ο αριθμός των μηνυμάτων αναζήτησης διαδρομής που μεταδίδονται, ένας κόμβος χρειάζεται μόνο να μεταδώσει πακέτα Ερωτήματος διαδρομής στους κόμβους των συνόρων μιας ζώνης. Αυτή η λειτουργία ονομάζεται "bordercasting". Όταν οι κόμβοι των συνόρων λαμβάνουν το πακέτο ερωτήματος, θα επαναλάβει την ίδια διαδικασία σε μια δική τους ζώνη έως ότου ο κόμβος προορισμού επιτευχθεί. Η ακτίνα της ζώνης είναι μια παράμετρος που μπορεί να συντονίζεται ώστε να ταιριάζει σε διαφορετικές απαιτήσεις του δικτύου. Στο ZRP γίνεται καθαρά το προορατικό πρωτόκολλο δρομολόγησης, εάν η ακτίνα ζώνης ρυθμίζεται ώστε να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από τη διάμετρο του δικτύου ( ο μέγιστος αριθμός των αλμάτων μεταξύ δύο οποιονδήποτε κόμβων του δικτύου ) ή εάν η ακτίνα ζώνης έχει οριστεί σε ένα.

## **Τοποθεσία με την Βοήθεια δρομολόγησης (LAR)**

Επειδή το UWB μπορεί να παρέχει ακριβή εμβέλεια και συνεργασία κόμβων, μπορεί να προσδιορίσει τη θέση μέσα στο χρόνο από την άφιξη ( TOA ) ή την διαφορά του χρόνου από την άφιξη ( TDOA ) τεχνικών, τα συστήματα LAR μπορεί να παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τα δίκτυα UWB. Τα LAR συστήματα εισήχθησαν για να περιορίζουν το εύρος του αιτήματος πλημμύρων διαδρομής. Οι βασικές ιδέες πίσω από διαφορετικές εκδόσεις των συστημάτων LAR είναι παρόμοιες. Εάν ένας κόμβος πηγής γνωρίζει κατά προσέγγιση όπου ο κόμβος προορισμού βρίσκεται, μπορεί να περιορίσει την εξάπλωση των μηνυμάτων αίτησης διαδρομής μόνο σε αυτή την κατεύθυνση, μειώνοντας σημαντικά τα γενικά έξοδα διαδρομής για την ανακάλυψη. Το LAR ορίζει δύο ζώνες: η αναμενόμενη ζώνη και η ζώνη αιτήματος. Η αναμενόμενη ζώνη ορίζεται ως η περιοχή που αναμένεται να συγκρατεί την τρέχουσα θέση του κόμβου προορισμού. Η ζώνη του αιτήματος ορίζει μια περιοχή με βάση τη θέση του κόμβου πηγής και την αναμενόμενη ζώνη. Μόνο ενδιάμεσοι κόμβοι που βρίσκονται στη ζώνη αιτήματος μπορούν να διαβιβάσουν μηνύματα αιτήματος διαδρομής. Πρώτον, ο κόμβος πηγής προσδιορίζει μία αναμενόμενη ζώνη με βάση κάποια προηγούμενη γνώση της θέσης και την εκτιμώμενη ταχύτητα του κόμβου προορισμού. Στη συνέχεια, ο κόμβος πηγής υπολογίζει μία ζώνη αιτήματος που περιέχει την αναμενόμενη ζώνη και μια δική της θέση. Η ζώνη αιτήματος ρητά ορίζεται στην αίτηση διαδρομής. Μόνο οι κόμβοι εντός της ζώνης αιτήματος μπορούν να διαβιβάσουν το μήνυμα αιτήματος διαδρομής. Αν μια λειτουργία ανακάλυψης διαδρομής αποτυγχάνει να βρει μια διαδρομή λόγω "μπαγιάτικης" πληροφορίας θέσης ή εσφαλμένες εκτιμήσεις της ταχύτητας κόμβου, μία μεγαλύτερη περιοχή αιτήματος χρησιμοποιείται για την επόμενη λειτουργία ανακάλυψης διαδρομής. Αυτή η νέα ζώνη αιτήματος μπορεί να περιλαμβάνει ολόκληρο το δίκτυο, η οποία οδηγεί σε ένα αίτημα πλημμύρων διαδρομής σε ολόκληρο το δίκτυο.

## Εξ Αποστάσεως Αλγόριθμος δρομολόγησης Επίδρασης για την Κινητικότητα (DREAM)

Το DREAM είναι ένας άλλος αλγόριθμος δρομολόγησης που χρησιμοποιεί πληροφορίες τοποθεσίας. Το DREAM υποθέτει επίσης, ότι οι κόμβοι γνωρίζουν τη φυσική θέση τους και μπορούν να εκτιμούν τις ταχύτητές τους. Ωστόσο, σε αντίθεση με το LAR ότι χρησιμοποιεί πακέτα ελέγχου για την ανακάλυψη διαδρομής, το DREAM χρησιμοποιεί την πλημμύρα των πακέτων δεδομένων, όπως ένα μηχανισμό δρομολόγησης. Επιπλέον, το DREAM παίρνει το αποτέλεσμα της απόστασης υπόψη κατά την ενημέρωση των διαδρομών. Με βάση την παρατήρηση ότι οι πολύ μακρινοί κόμβοι φαίνονται να κινούνται σε χαμηλότερη γωνιακή ταχύτητα σε σύγκριση με τους κοντινούς κόμβους, το DREAM χρησιμοποιεί ένα time - to - live ( TTL ) πεδίο όπου ενημερώνει τη θέση για να ελέγχουν κατά πόσο μακριά οι πληροφορίες μπορούν να μεταδοθούν. Η τιμή TTL υπολογίζεται με εκτίμηση της απόστασης μεταξύ της πηγής και των κόμβων προορισμού από την άποψη του αριθμού του λυκίσκου. Οι κόμβοι ενημερώνουν περιοδικά τις πληροφορίες για τη θέση τους. Λόγω της τιμής TTL, όσοι βρίσκονται σε κοντινή απόσταση κόμβοι ενημερώνονται πιο συχνά από ό, τι οι πιο μακρινοί κόμβοι. Αυτό μπορεί να μειώσει την επιβάρυνση για τη δρομολόγηση ενημερώσεων.

Επειδή τόσο το Dream όσο και το LAR είναι αλγόριθμοι οι οποίοι χρησιμοποιούν τις πληροφορίες θέσης, αυτοί μπορούν να περιορίσουν την έκταση της πλημμύρας αιτήματος διαδρομής και ενδεχομένως να μειώσουν την επιβάρυνση που σχετίζεται με την ανακάλυψη διαδρομής. Ωστόσο, και οι δύο αλγόριθμοι απαιτούν ότι οι κόμβοι πρέπει να γνωρίζουν τη φυσική θέση τους και να έχουν πληροφορίες για την ταχύτητα τους, έτσι ώστε αυτά τα δύο πρωτόκολλα δρομολόγησης, να μην μπορούν να λειτουργήσουν καλά για ένα δίκτυο, όπου οι κόμβοι έχουν περιορισμένες δυνατότητες ή ένα ετερογενές δίκτυο με ορισμένους κόμβους που δεν έχουν γνώση της θέσης τους ή της ταχύτητά τους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι κανένα από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν είναι το καλύτερο υπό όλες τις συνθήκες. Διαφορετικά πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικές συνθήκες του δικτύου, συμπεριλαμβανομένης της τοπολογίας διαφορετικών χαρακτηριστικών, διαφορετικών υποθέσεων σχετικά με την κινητικότητα, καθώς και διαφορετικά φορτία κυκλοφορίας και τα πρότυπα επικοινωνίας.

### 5.3 Άλλα θέματα δικτύωσης

Εκτός από τη σύνδεση στρώματος και τα θέματα στρώματος του δικτύου, πρωτόκολλα υψηλότερων επιπέδων και ζητήματα του συστήματος πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό και την ανάλυση του κάθε δικτύου, συμπεριλαμβανομένου ενός δικτύου UWB. Εδώ, θεωρούμε ότι τα ζητήματα που σχετίζονται με την απόδοση του Transmission Control Protocol (TCP), μεταφορά στρώματος-επιπέδου πρωτοκόλλου και QoS, το οποίο είναι ένα πρόβλημα του συστήματος.

#### 5.3.1 TCP Απόδοση σε ένα Ασύρματο Περιβάλλον

Παρόμοια με άλλους τύπους ασύρματων ζεύξεων, τα φυσικά χαρακτηριστικά του UWB φυσικού στρώματος - επιπέδου μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση που πραγματοποιήθηκε από το στρώμα μεταφοράς, ειδικά το TCP.

Παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων οπουδήποτε στην μεγάλη ποσότητα του εύρους ζώνης που καταλαμβάνεται από ένα σύστημα UWB μπορεί να οδηγήσει σε αποικοδόμηση και σηματοδοτούν, επομένως, δυαδικών ψηφίων και πλαισίων σφάλματα. Αν και οι τεχνικές περιορισμού των παρεμβολών μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις φυσικές και δεδομένων στιβάδες σύνδεσης, ορισμένα πακέτα δεδομένων μπορούν ακόμη να χαθούν.

Για παράδειγμα, με προσαρμοστικές τεχνικές χρειάζεται χρόνος για να αισθάνονται και να αντιδρούν σε αλλαγές στις συνθήκες του διαύλου. Το TCP ανταποκρίνεται ιδιαίτερα καλά για την απώλεια πακέτων, διότι έχει σχεδιαστεί για να μεταχειριστεί την απώλεια πακέτων ως ένδειξη της συμφόρησης. Αυτή είναι μια λογική υπόθεση σε τυπικά ενσύρματα δίκτυα, αλλά δεν ισχύει συχνά για ασύρματες συνδέσεις. Πολλαπλές απώλειες πακέτων TCP προκαλούν σε χρόνο πριν από την αναμετάδοση χαμένων πακέτων. Το TCP μπορεί να μειώσει το παράθυρο της κυκλοφοριακής συμφόρησης του πρωτοκόλλου του, τόσο λίγο όσο ο αριθμός των bytes σε ένα μέγιστο μέγεθος τμήματος (MSS). Αυτό περιορίζει άσκοπα από άκρο σε άκρο απόδοση, επειδή ο αποστολέας πρέπει να στείλει πακέτα με πιο αργούς ρυθμούς. Μετά από μηχανισμούς περιορισμού των παρεμβολών παράγει αποτελέσματα σε ένα σύστημα UWB, ο λόγος σήματος προς παρεμβολή (SIR) μπορεί να επιστρέψει σε ένα επιθυμητό επίπεδο. Ωστόσο, επειδή το μέγεθος του παραθύρου συμφόρησης TCP είναι μειωμένο, ένας αποστολέας UWB μπορεί να στείλει μόνο πακέτα σε μειωμένο ρυθμό δεδομένων για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, γεγονός που οδηγεί σε σπατάλη του εύρους ζώνης.

### **Τρόποι βελτίωσης της απόδοσης TCP σε δίκτυα UWB**

Πολλές βελτιώσεις μπορούν να γίνουν για να βελτιώσει την απόδοση TCP σε δίκτυα UWB. Ένας προφανής τρόπος είναι να κρύψουν τα λάθη πακέτων από το TCP. Αν τα λάθη των πακέτων μπορούν να ληφθούν σύμφωνα με τη φυσική και / ή τα στρώματα ζεύξης δεδομένων, το TCP δεν θα γνωρίζει τα λάθη και ως εκ τούτου, δεν θα επικαλεστεί τον έλεγχο της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ωστόσο, η αναμετάδοση στο στρώμα ζεύξης δεδομένων δημιουργεί ένα άλλο πρόβλημα. Το TCP υπολογίζει την διάρκεια διαδρομής (Round-Trip Time, RTT) ενός συγκεκριμένου πακέτου με βάση τα προηγούμενα δείγματα του RTT. Η αξία του χρονοδιακόπτη TCP, που ονομάζεται η αναμετάδοση του χρονικού ορίου (time-out) (RTO) διαστήματος, υπολογίζεται με βάση την εκτιμώμενη αξία του RTT. Επειδή τα λάθη σε ένα ασύρματο κανάλι τείνουν να είναι εκρηκτικά, η εκτιμώμενη RTT μπορεί να μην είναι μια καλή δήλωση για μια ξαφνική αύξηση στο RTT λόγω αναμεταδόσεων σε ένα στρώμα ζεύξης δεδομένων που χρησιμοποιεί ένα ARQ (Automatic Repeat Request) σύστημα για την ανάκτηση σφάλματος. Σε ένα ενσύρματο δίκτυο, μια ξαφνική αύξηση στην τιμή του RTT είναι πολύ πιθανό να οφείλεται στην κυκλοφοριακή συμφόρηση στους ενδιάμεσους δρομολογητές. Ως εκ τούτου, είναι λογικό για το TCP να ενεργήσει αναλόγως, ειδικά με τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στο μέγεθος του παραθύρου. Ωστόσο, σε ένα ασύρματο δίκτυο, η ξαφνική υποβάθμιση καναλιού που προκαλείται από το ξεθώριασμα ή παρεμβολή μπορεί να οδηγήσει σε αναμεταδόσεις στο στρώμα ζεύξης δεδομένων, η οποία επηρεάζει τις εκτιμήσεις της αξίας RTT από το TCP. Εάν τα σφάλματα αυτά δεν είναι συχνά, η αξία του RTO δεν θα αντιπροσωπεύει τις RTT παραλλαγές λόγω αναμεταδόσεων στο στρώμα ζεύξης δεδομένων. Μη γνωρίζοντας τι πραγματικά συμβαίνει στα χαμηλότερα στρώματα, το TCP μπορεί να επικαλεστεί λόγο ελέγχου συμφόρησης μετά από ένα χρονικό όριο. Εάν το RTO έχει οριστεί σε μια μικρή τιμή, η αναμετάδοση πακέτων στο στρώμα ζεύξης δεδομένων μπορεί να προκαλέσει τον έλεγχο της συμφόρησης στο TCP. Ρύθμιση του χρονικού ορίου TCP σε μια μεγαλύτερη αξία, ωστόσο, μπορεί να οδηγήσει σε αργή αντίδραση, που οδηγεί στην συμφόρηση του δικτύου και συνεπώς, αργή ανάκαμψη από απώλειες λόγω συμφόρησης. Επομένως, η αξία του RTO σε ένα ασύρματο περιβάλλον θα πρέπει να υπολογίζεται προσεκτικά για να αντιπροσωπεύουν δύο απώλειες των παρεμβολών και της συμφόρησης. Ο δεύτερος τρόπος για να βελτιώσει την απόδοση TCP είναι να χωριστεί το κάθε άκρο προς άκρο σύνδεση TCP σε δύο ή περισσότερες χωριστές συνδέσεις παράλληλες. Επειδή ένα δίκτυο UWB είναι πιθανόν να περιορίζεται σε μία μικρή περιοχή, μία ραδιοζεύξη UWB είναι πιθανό να είναι η τελευταία (ή πρώτη) λυκίσκου σε ένα μονοπάτι από άκρο σε άκρο από τον αποστολέα στον δέκτη. Έτσι, για ένα δίκτυο UWB, μια ενιαία σύνδεση TCP μπορεί να χωριστεί σε δύο συνδέσεις παράλληλα, το ένα σχετικά με το ενσύρματο τμήμα της διαδρομής και το άλλο πάνω στο ασύρματο τμήμα.



Με το διαχωρισμό μιας μόνο σύνδεσης TCP σε δύο ξεχωριστές συνδέσεις, το καθένα μπορεί να έχει διαφορετικό έλεγχο ροής και μηχανισμοί ελέγχου συμφόρησης. Επίσης, το μέγιστο μέγεθος πακέτων και του χρονικού ορίου ( time-out ) οι τιμές μπορεί να είναι διαφορετικές. Ως εκ τούτου, η εφαρμογή του πρωτοκόλλου TCP ή κάποιο άλλο πρωτόκολλο μεταφοράς μέσω της ασύρματης σύνδεσης μπορούν να συντονιστούν ώστε να αποδίδουν καλά σε ένα ασύρματο περιβάλλον. Επιπλέον, η ανάκτηση λάθους μπορεί να είναι πολύ ταχύτερη, λόγω της σχετικά σύντομης RTT επί της ασύρματης ζεύξης. Ωστόσο, το σύστημα αυτό μπορεί να απαιτήσει τροποποιήσεις στο πρωτόκολλο TCP, η οποία συχνά δεν είναι επιθυμητή ή εφικτή.

Το τρίτο σχέδιο είναι να χρησιμοποιηθεί ρητή ειδοποίηση. Ένα μεγάλο μέρος ερευνών έχουν επικεντρωθεί στην βελτίωση της απόδοσης του πρωτοκόλλου TCP χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες ανακοινώσεις. Αν ένας κόμβος διαπιστώσει ότι η απώλεια πακέτων οφείλεται σε σφάλμα μετάδοσης αντί της συμφόρησης του δικτύου, ο κόμβος μπορεί να ενημερώσει τον αποστολέα με ρητή ειδοποίηση. Έτσι, ο αποστολέας αναμεταδίδει απλώς το πακέτο χωρίς να επικαλείται τον έλεγχο συμφόρησης.

Όλα αυτά τα συστήματα απαιτούν τροποποιήσεις στο συμβατικό στρώμα ζεύξης δεδομένων ή σε πρωτόκολλο TCP. Επειδή τέτοια τροποποίηση των βασικών πρωτοκόλλων δικτύου απαιτεί ενημερωμένες εκδόσεις των σταθμών βάσης και / ή δρομολογητές, και τα τρία προγράμματα που αναφέρονται δεν έχουν ακόμη εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα.

### 5.3.2 Ποιότητα της Υπηρεσίας Διαχείρισης ( Quality of Service Management, QoS )

Ένα δίκτυο UWB μπορεί να σχεδιαστεί για να φέρει διαφορετικούς τύπους κίνησης δεδομένων με διαφορετικές απαιτήσεις QoS. Σε επίπεδο εφαρμογής, το QoS είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί, επειδή αναφέρεται γενικά στην ποιότητα εφαρμογής όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από το χρήστη. Για παράδειγμα, την οπτική ποιότητα και / ή την ποιότητα του ήχου του βίντεο συνεχούς ροής περιεχομένου. Το QoS παρέχει σε επίπεδο εφαρμογής χαρτών όπου απαιτείται QoS σε ένα μοναδικό σύνολο του δικτύου σε επίπεδο παραμέτρων ή μετρήσεων QoS. Συμβατικές μετρήσεις QoS περιλαμβάνουν απόδοση, ρυθμός απώλειας πακέτων, από άκρο σε άκρο καθυστέρηση και jitter καθυστέρηση. Οι QoS μετρήσεις για κινητά ασύρματα δίκτυα μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερες παραμέτρους, όπως η κατανάλωση ενέργειας και η κάλυψη δικτύου. Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι σημαντική, επειδή ένα δίκτυο χρησιμοποιώντας συσκευές με μπαταρία δεν θα είναι σε θέση να παρέχει οποιαδήποτε υπηρεσία, εφόσον έχουν εξαντληθεί οι μπαταρίες. Ομοίως, ένα δίκτυο ad hoc μπορεί να θέλει να επεκτείνει την κάλυψη του όσο το δυνατόν περισσότερο για τη διασύνδεση συσκευών. Το επίπεδο δικτύου παραμέτρων QoS έχουν συνήθως ποσοτικές αξίες ή φράγματα που μπορούν να προσδιοριστούν από τις τεχνικές προδιαγραφές της εφαρμογής ή από πειράματα.

Σε ενσύρματα δίκτυα, τα είδη των υπηρεσιών του δικτύου μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Η καλύτερη εξυπηρέτηση προσπάθειας δεν παρέχει καμία εγγύηση απόδοσης, καθώς και το σύστημα χειρίζεται όλη την κίνηση εξίσου.
2. Η καλύτερη από τις καλύτερες υπηρεσίες προσπάθειας δεν έχει ντετερμινιστικές εγγυήσεις, αλλά κάνει μια καλύτερη προσπάθεια για να στηρίξει τις ζητούμενες απαιτήσεις QoS. Για παράδειγμα, μια εφαρμογή που ανήκει σε μια ανώτερη κατηγορία προτεραιότητας θα λάβει την καλύτερη εξυπηρέτηση από μια εφαρμογή που ανήκει σε μια χαμηλότερη κατηγορία προτεραιότητας. Οι Διαχωριζόμενες Υπηρεσίες ( DiffServ ) παρέχουν μια τέτοια καλύτερη από τις καλύτερες υπηρεσίες προσπάθειας.
3. Η εγγυημένη υπηρεσία προσφέρει την υψηλότερη ποιότητα υπηρεσιών καθώς και εγγυάται μετρήσεις απόδοσης του δικτύου σε ντετερμινιστικούς ή στατιστικούς όρους.

Για παράδειγμα, το δίκτυο μπορεί να εγγυηθεί ένα συγκεκριμένο ελάχιστο εύρος ζώνης που παρέχεται σε μια εφαρμογή ή να εγγυηθεί μια καθυστέρηση μέσα σε μια συγκεκριμένη αξία. Μία Ολοκληρωμένη Υπηρεσία ( IntServ ) παρέχει εγγυημένες υπηρεσίες.

Ένα καλό σύστημα διαχείρισης QoS δεν θα πρέπει να παρέχει μόνο QoS, αλλά θα πρέπει επίσης να προσπαθήσει να μεγιστοποιήσει την αξιοποίηση των πόρων του καναλιού. Η Ποιότητα υπηρεσίας συστημάτων διαχείρισης υποστηρίζει QoS λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες πτυχές ενός δικτύου, όπως η κράτηση των πόρων, τον έλεγχο εισόδου, την QoS δρομολόγηση και τον προγραμματισμό πακέτων. Ακόμα κι αν η ποιότητα υπηρεσίας έχει πολλές στρατηγικές διαχειρίσεις που έχουν προταθεί για ασύρματα δίκτυα, μπορεί να μην είναι κατάλληλο για χρήση σε ασύρματο δίκτυο, λόγω των προκλήσεων που θέτει το ασύρματο περιβάλλον. Λόγω της εγγενούς αναξιπιστίας ενός ασύρματου συνδέσμου, θα είναι αδύνατο να εγγυηθεί οποιαδήποτε στιγμή την εκπλήρωση των απαιτήσεων της QoS στο φυσικό στρώμα. Υπό αυτόν τον όρο, οι μηχανισμοί προσαρμογής πρέπει να εφαρμοστούν στο στρώμα ζεύξης δεδομένων ή ενδεχομένως και σε υψηλότερα επίπεδα για τη μείωση των επιπτώσεων ενός αναξιόπιστου φυσικού επιπέδου σχετικά με την QoS όσο το δυνατόν περισσότερο. Παρά αυτούς τους μηχανισμούς, τις απαιτήσεις της QoS ακόμα δεν μπορεί να εγγυηθεί ντετερμινιστικά σε ένα ασύρματο περιβάλλον. Αντ' αυτού, το QoS κατά πάσα πιθανότητα θα πρέπει να παρέχεται σε εφαρμογές με ένα ποιοτικό τρόπο, όπου οι εφαρμογές με μεγαλύτερη προτεραιότητα έχουν γενικά καλύτερη εξυπηρέτηση από τις εφαρμογές με χαμηλότερη προτεραιότητα. Εναλλακτικά, η απόδοση του δικτύου θα μπορούσε να εγγυηθεί με ένα στατιστικό τρόπο. Για παράδειγμα, σε μακροπρόθεσμη βάση και υπό ορισμένες προϋποθέσεις καναλιού, πακέτα σε πραγματικό χρόνο εφαρμογής πολυμέσων μπορεί να ανταποκριθεί στις προθεσμίες τους με μια ορισμένη πιθανότητα.

Για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις QoS, όλα τα στρώματα πρωτοκόλλου και των συνιστωσών του δικτύου πρέπει να συνεργαστούν. Ωστόσο, στην πράξη, η εισαγωγή του QoS στο επίπεδο εφαρμογής τοποθετεί τις περισσότερες απαιτήσεις για τη σύνδεση δεδομένων και στρώματα δικτύου. Για να καλυφθεί μία δεδομένη απαίτηση QoS, το MAC υπόστρωμα πρέπει να λύσει το πρόβλημα του μεσαίου ισχυρισμού και να παρέχουν προσαρμοστικό προγραμματισμό και την κατανομή των πόρων, ενώ το υπόστρωμα LLC πρέπει να παρέχει αξιόπιστη επικοινωνία πάνω από το σύνδεσμο που μπορεί να αντισταθμίσει τις βλάβες στο φυσικό επίπεδο. Πολλά πρωτόκολλα MAC με βάση CSMA συστήματα έχουν προταθεί για την παροχή QoS σε ένα καταναμημένο ασύρματο δίκτυο. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν την Κατανομή ομάδας πολλαπλής πρόσβασης με το Packet-Sensing ( GAMA-PS ) πρωτόκολλο και το Black-Burst ( BB ) μηχανισμό ισχυρισμού. Σύμφωνα με το τρέχον IEEE 802.15.3 πρότυπο σχεδίου, ένα piconet συντονιστής (PNC) ενεργεί ως κεντρικός ελεγκτής και διαχειρίζεται τις QoS απαιτήσεις εντός του piconet.

Συγκεντρωτικά συστήματα ελέγχου συνήθως έχουν καλύτερες επιδόσεις από καταναμημένα συστήματα, επειδή ο κεντρικός κόμβος ελέγχου έχει μια συνολική εικόνα του δικτύου. Αυτός ο τύπος αρχιτεκτονικής του piconet είναι παρόμοια με εκείνη ενός παραδοσιακού κυψελοειδούς δικτύου όπου ένας σταθμός βάσης διαχειρίζεται τον προγραμματισμό και την κράτηση των πόρων σε ένα κύτταρο. Ωστόσο, υπάρχει μια σημαντική διαφορά μεταξύ ενός piconet UWB και ενός κυττάρου σε ένα κυψελοειδές δίκτυο. Σε ένα UWB piconet, ένα PNC παρέχει μόνο τις λειτουργίες ελέγχου και δεν αναμεταδίδει την κίνηση δεδομένων για τις συσκευές, ενώ ένας σταθμός βάσης σε ένα κυψελωτό σύστημα με τον προγραμματισμό των ελέγχων και την κατανομή των πόρων αναμεταδίδει την κίνηση για κινητά τερματικά. Λόγω αυτής της μεγάλης διαφοράς, ο προγραμματισμός και τα πρωτόκολλα κατανομής πόρων για UWB piconet μπορεί να είναι αρκετά διαφορετικές από εκείνες που έχουν σχεδιαστεί για δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Για παράδειγμα, το Giancola, διερευνώνται δυναμικά συστήματα κατανομής των πόρων για τα δίκτυα UWB.

Το στρώμα του δικτύου θα πρέπει να είναι προσαρμοστικά αρκετό για να φιλοξενήσει διαφορετικά χαρακτηριστικά της κίνησης δεδομένων και τις απαιτήσεις QoS. Αρκετοί QoS αλγόριθμοι δρομολόγησης έχουν προταθεί με μια ποικιλία από απαιτήσεις QoS και των περιορισμένων πόρων. Μερικά παραδείγματα περιλαμβάνουν CEDAR, Location-Based Routing της QoS και Μεταφρασμένη QoS δρομολόγηση. Παρ' όλα αυτά, η QoS δρομολόγηση παραμένει ένα δύσκολο πρόβλημα. Η QoS δρομολόγηση απαιτεί συχνές ενημερώσεις των πληροφοριών κατάστασης σύνδεσης, όπως η καθυστέρηση, το διαθέσιμο εύρος ζώνης και ο ρυθμός απώλειας να λαμβάνουν αποφάσεις πολιτικής. Οι συχνές ενημερώσεις μπορεί να οδηγήσει σε απαγορευτικά υψηλού κόστους του ελέγχου για ένα δίκτυο ad hoc με περιορισμένο εύρος ζώνης. Επιπλέον, η δυναμική φύση των ασύρματων ad hoc δικτύων καθιστά τη διατήρηση ακριβείς και συνεπείς πληροφορίας κατάστασης σύνδεσης εξαιρετικά δύσκολη.

Η γενική υποστήριξη QoS με ένα multihop δίκτυο ad hoc είναι δύσκολο, αν όχι αδύνατο, ειδικά εάν οι κόμβοι είναι κινητοί ή το ασύρματο περιβάλλον είναι ιδιαίτερα δυναμικό. Τα πρωτόκολλα που προκύπτουν είναι συχνά περίπλοκα και η πρακτική εφαρμογή είναι δύσκολη ή ακόμα και αδύνατη. Μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση βασίζεται σε ένα προσαρμοστικό μοντέλο QoS, το οποίο απαιτεί εφαρμογές για να προσαρμοστούν στους χρονικά μεταβαλλόμενους πόρους που παρέχονται από το δίκτυο. Το Kumwilaisak πρότεινε μια αρχιτεκτονική QoS χαρτογράφησης, όπου οι απαιτήσεις QoS είναι προσαρμοσμένες σε ασύρματες διαφοροποιήσεις συνδέσμων. Επιπλέον, οι QoS απαιτήσεις στο στρώμα εφαρμογής μπορεί να μεταβάλλονται σύμφωνα με άλλους δείκτες από το δίκτυο, όπως τα επίπεδα συμφόρησης ανιχνεύονται στο στρώμα ζεύξης ή στο στρώμα δικτύου.

#### 5.4 Ασύρματο Δίκτυο Σωματικής Περιοχής (WBAN)

Ένα WBAN αποτελείται από μικρογραφικούς, χαμηλής ισχύος και μη επεμβατικούς ασύρματους βιοαισθητήρες, οι οποίοι άνογα τοποθετούνται ή εμφυτεύονται στο ανθρώπινο σώμα, ώστε να παρέχουν ένα έξυπνο και προσαρμόσιμο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης. Κάθε μικροσκοπικός βιοαισθητήρας είναι ικανός να επεξεργαστεί τη δική του αποστολή και επικοινωνεί με τον συντονιστή του δικτύου ή ένα PDA. Ο συντονιστής του δικτύου στέλνει τις πληροφορίες του ασθενούς σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή για τη διάγνωση και την ιατρική συνταγή. Ένα WBAN απαιτεί την επίλυση πολλών τεχνικών θεμάτων και προκλήσεων, όπως η διαλειτουργικότητα, η επεκτασιμότητα, ο σχεδιασμός των διαδραμών δεδομένων χαμηλής ισχύος RF, η προστασία της ιδιωτικής ζωής και της ασφάλειας, η χαμηλή ισχύς του πρωτοκόλλου επικοινωνίας, των υποδομών πληροφοριών και της ακεραιότητας των δεδομένων του ιατρικού φακέλου του ασθενούς. Η μέση κατανάλωση ενέργειας μιας ραδιοφωνικής διεπαφής σε WBAN πρέπει να μειωθεί κάτω από 100 W. Επιπλέον, ένα WBAN είναι μία one – hop τοπολογία αστεριού όπου η δύναμη του προϋπολογισμού των μικρογραφικών αισθητήρων κόμβων είναι περιορισμένη, ενώ ο συντονιστής του δικτύου έχει αρκετή δύναμη προϋπολογισμού. Επιπλέον, το μεγαλύτερο μέρος της πολυπλοκότητας μετατοπίζεται στο συντονιστή του δικτύου λόγω της ικανότητάς του να διαθέτει άφθονο προϋπολογισμό ισχύος. Η αναδυόμενη τεχνολογία UWB υπόσχεται να ικανοποιήσει την απαίτηση της μέσης κατανάλωσης ενέργειας της ραδιοφωνικής διεπαφής (100 W), η οποία δεν μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση στενής επικοινωνίας ραδιοφώνου και αυξάνει τη λειτουργική περίοδο των αισθητήρων.

Στο σύστημα UWB, η σημαντική πολυπλοκότητα στην πλευρά του δέκτη επιτρέπει την ανάπτυξη της εξαιρετικά χαμηλής ισχύος και του χαμηλού συμπλέγματος UWB πομπών για ανερχόμενης ζεύξης ( uplink ) επικοινωνίας, καθιστώντας έτσι το UWB τον τέλειο υποψήφιο για WBAN<sup>[10]</sup>. Η δυσκολία στην ανίχνευση θορύβου, όπως η συμπεριφορά και η ευρωστία των UWB σημάτων προσφέρει υψηλή ασφάλεια και αξιοπιστία για ιατρικές εφαρμογές.

## 5.5 Τεχνολογία UWB για WSN Εφαρμογές

Η εξαιρετικά ευρείας ζώνης (UWB) τεχνολογία έχει αναγνωριστεί ως μια εφικτή τεχνολογία για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων εφαρμογών (ΑΔΑ) που οφείλεται σε μια πολύ καλή ανάλυση στο πεδίο του χρόνου που επιτρέπει την ακριβή τοποθεσία, την παρακολούθηση, τη συνύπαρξη με τα υφιστάμενα συστήματα στενής ζώνης (λόγω της εξαιρετικά χαμηλής φασματικής ενέργειας της πυκνότητας) με χαμηλή ισχύς και χαμηλού κόστους πάνω στο τσιπ εγκατάστασης της εφαρμογής. Οι κόμβοι αισθητήρων (SN), που χτίζει τη ραχοκοκαλιά των δικτύων αυτών είναι συνήθως μικρο-ελεγκτές που βασίζονται σε μικρές συσκευές. Όπως οι μπαταρίες παρέχουν κανονικά τις εξουσίες γι' αυτούς τους κόμβους που μπορούν να παρέχουν μόνο σχετικά μικρές και περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας. Ως αποτέλεσμα, εδώ το UWB βασίζεται σε έννοιες δικτύου αισθητήρων που έχουν αναπτυχθεί τόσο στο βιομηχανικό τομέα όσο και στην κυβέρνηση. Για UWB συσκευές, υπάρχουν τρεις ανεξάρτητες ζώνες, δηλαδή την υπο-ζώνη gigahertz (250 - 750 MHz), τη χαμηλή ζώνη (3.1 - 5 GHz) και την υψηλή ζώνη (6 - 10.6 GHz). Κάθε ζώνη UWB έχει ένα ενιαίο υποχρεωτικό κανάλι και οι συσκευές λειτουργούν ανεξάρτητα από την άλλη ζώνη. Εδώ, η έμφαση δίνεται στη χαμηλή ζώνη του UWB (3.244 - 4.742 GHz) που βασίζεται στην τεχνική φάσματος για τις εφαρμογές WSN.

Το κύριο χαρακτηριστικό του συστήματος είναι η απλότητα του σχεδιασμού που έχει το πλεονέκτημα της χρήσης απλής τεχνικής διαμόρφωσης δυαδικό και μη-συνεκτικό σχήμα ανίχνευσης. Ο κωδικοποιητής επανάλιψης παλμών έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση, καθώς και τον έλεγχο των τιμών των δεδομένων και την αξιόπιστη υποδοχή. Επιπλέον, τα δεδομένα επιτυχώς ανακτώνται με μία μέθοδο ανίχνευσης της ενέργειας (ανίχνευση και αποφυγή), το οποίο διευκολύνει την απλότητα του σχεδιασμού στο δέκτη με την αποφυγή παλμών συγχρονισμού και τη συνεκτική ανίχνευση.

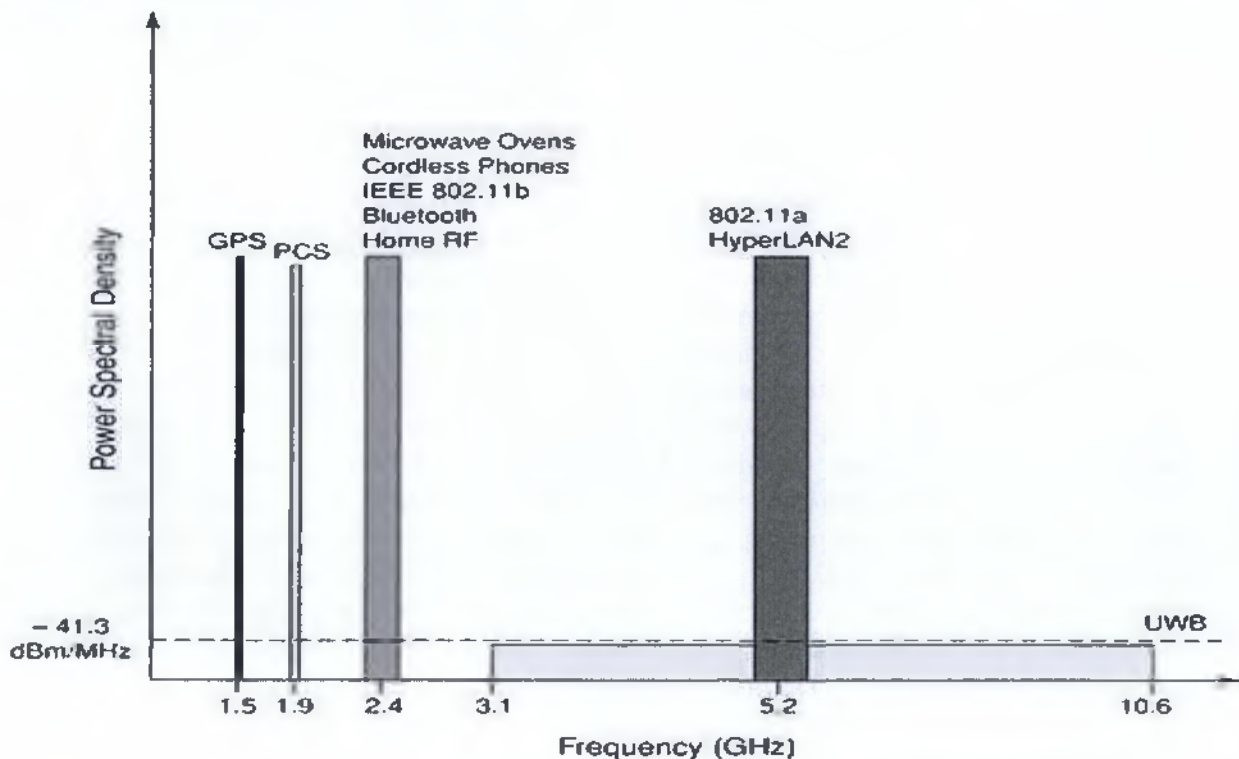
### 5.5.1 WSN Φυσικό Επίπεδο και τη Σκοπιμότητα του UWB

Το 2004, η IEEE θέσπισε τη τυποποίηση ομάδας IEEE 802.15.4a, με την εντολή να αναπτύξει ένα νέο φυσικό στρώμα (PHY) για εφαρμογές όπως δίκτυα αισθητήρων. Αυτό το UWB PHY παρέχει μεταβλητούς ρυθμούς δεδομένων, όπως: 110 kb/s, 1.70 Mb/s, 6.81 Mb/s, 27.24 Mb/s. Το 2005 η Reed ανέφερε ότι η UWB τεχνολογία θα μπορούσε να προσφέρει ένα μεγάλο όγκο δεδομένων με χαμηλή πυκνότητα φάσματος ισχύος (PSD), λόγω της διαφοροποίησης των εξαιρετικά στενών παλμών. Η σύντομη διάρκεια των UWB παλμών διαδίδει την ενέργειά τους σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων και αυτό το μοιράζεται με τις υπάρχουσες υπηρεσίες ραδιοφώνου.

Στην εικόνα 31 απεικονίζει την επικάλυψη των UWB συσκευών με ορισμένες υπάρχουσες υπηρεσίες ραδιοφώνου, με βάση τα όρια εκπομπών κατά τη FCC έγκριση για UWB σήματα.

[10]: Περιοχή του δικτύου σώματος (BAN), ασύρματο δίκτυο σωματικής περιοχής (WBAN) ή το σώμα δικτύου αισθητήρων (BSN) είναι όροι που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την εφαρμογή των φορετών υπολογιστικών συσκευών. Αυτό θα επιτρέψει την ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των διάφορων μονάδων του αισθητήρα μικρογραφικών σώματος (BSU) και μια κεντρική μονάδα απλού σώματος (BCU) που φοριέται στο ανθρώπινο σώμα. Ένα σύστημα WBAN μπορεί να χρησιμοποιήσει WPAN ασύρματες τεχνολογίες ως πύλες πληροφόρησης για να φτάσουν μεγαλύτερες αποστάσεις.

Το σήμα UWB μπορεί να θεωρηθεί ως τυχαίος θόρυβος στο IEEE 802.11 WLAN σήμα του οποίου το εύρος ζώνης είναι 22 MHz. Το εύρος ζώνης του σήματος παρεμβολής WLAN είναι μόνο ένα μικρό κλάσμα του UWB εύρος ζώνης του σήματος που σημαίνει ότι το UWB σύστημα έχει ισχυρές επιδόσεις θορύβου. Η μεταδιδόμενη μέση ισχύς του σήματος UWB είναι εξαιρετικά χαμηλή. Ως εκ τούτου τα WLAN και WPAN συστήματα μπορούν να συνυπάρχουν στην ίδια ζώνη 2.4 GHz ISM. Πρόσφατα, τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων που επικαλούνται στενής ζώνης συστήματα μετάδοσης, όπως η άμεση ή η ακολουθία μεταπήδησης συχνοτήτων, μαζί με τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης. Σε σύγκριση με τα συστήματα στενής ζώνης, το UWB έχει αρκετά πλεονεκτήματα. Το UWB απλώνει το σήμα εκπομπής σε ένα πολύ μεγάλο εύρος ζώνης ( συνήθως 500 MHz ή περισσότερο ). Λόγω του συνδυασμού της ευρείας ζώνης και της χαμηλής ισχύος, τα UWB σήματα έχουν μια χαμηλή πιθανότητα εγκατάσταση ανίχνευσης. Επιπλέον, το μεγάλο εύρος ζώνης UWB δίνει εξαιρετική ανοσία σε παρεμβολές από συστήματα στενής ζώνης, καθώς και από multi-path αποτελέσματα. Οι FCC κανονισμοί περιορίζουν τις UWB συσκευές χαμηλής μέσης ισχύος, ώστε να ελαχιστοποιήσει τις παρεμβολές που επιτρέπει το UWB να συνυπάρχει με τα συστήματα στενής ζώνης.



**Εικόνα 31 :** UWB φάσματα με ορισμένες υπάρχουσες ραδιοφωνικές υπηρεσίες

Το PHY είναι ένα ουσιαστικό συστατικό σε οποιοδήποτε δίκτυο υπολογιστών. Γενικά χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων και τη λήψη, το κανάλι ανίχνευσης του προσδιορισμού της ποιότητας σύνδεσης, την επιλογή καναλιών κλπ. Η επιλογή UWB PHY ήταν ειδικά σχεδιασμένη για να παρέχει αυξημένη στιβαρότητα για LR - WPAN εφαρμογές όπως το WSN. Η IEEE 802.15 προδιαγραφή LR - WPAN (2007) έχει σχεδιαστεί για να παρέχει μια ισχυρή απόδοση των δεδομένων και ένα σύστημα επικοινωνίας, ενώ αξιοποιώντας τη μοναδική ικανότητα των UWB κυματομορφών για την υποστήριξη ακρίβειας που κυμαίνεται μεταξύ συσκευών. Ο UWB PHY σχεδιασμός έχει ως στόχο να κάνουν χρήση τις ευρείες ζώνες του ραδιοφάσματος για τη λειτουργία UWB σε όλο τον κόσμο. Το LR - WPAN μπορεί να λειτουργήσει σε πολλαπλές ανεξάρτητες χωρίς άδεια ζώνες και μπορεί να εφαρμοστεί σε μία απλή λωρίδα ή πολλαπλές λωρίδες. Τον Αύγουστο του 2007, το IEEE 802.15.4a κυκλοφόρησε την επέκταση των τεσσάρων PHYs, συμπεριλαμβανομένου ενός PHY χρησιμοποιώντας την Απευθείας Ακολουθία UWB και την Εξάπλωση Φάσματος Chirp ( CSS ).

Το UWB PHY κατανέμεται σε συχνότητες των τριών ζωνών κάτω από 1 GHz, μεταξύ 3 έως 5 GHz και μεταξύ 6 έως 10 GHz. Το CSS PHY κατανέμεται στο ραδιοφάσμα με ζώνη 2450 MHz ISM. Το πρότυπο αυτό ορίζει το πρωτόκολλο και είναι συμβατό για διασύνδεση συσκευών επικοινωνίας δεδομένων με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, χαμηλής ισχύος και χαμηλής πολυπλοκότητας, καθώς και μικρής εμβέλειας ραδιοσυχνοτήτων (RF) μεταδόσεις στο πλαίσιο των WPAN. Το DS-UWB είναι αποδοτικό φασματικά και έχει ακρίβεια που κυμαίνεται στην ικανότητα. Το CSS PHY προστέθηκε στο πρότυπο επειδή υποστηρίζει επικοινωνίες σε συσκευές που κινούνται σε υψηλές ταχύτητες και σε μεγαλύτερες αποστάσεις από ό, τι οποιοδήποτε από τα άλλα PHYs στο IEEE 802.15.4 πρότυπο.

Βασικά και στα δύο νέα PHYs προστέθηκε η επεκτασιμότητα σε ταχύτητες δεδομένων, μεγαλύτερες αποστάσεις και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας στο πρότυπο και ως εκ τούτου, πληρούν την πρόθεση του IEEE 802.15 προτύπου να τονίσει το πολύ χαμηλό κόστος του συστήματος επικοινωνίας. Στο 802.15.4a, το UWB PHY στρώμα, το οποίο περιλαμβάνει διαμόρφωση, κωδικοποίηση και πολλά συστήματα πρόσβασης, έχει σχεδιαστεί για να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση για εφαρμογές WSN. Προς το παρόν, η Zigbee τεχνολογία χρησιμοποιείται ως πρότυπο επικοινωνίας για ασύρματα προσωπικά δίκτυα, όπως το δίκτυο αισθητήρων. Η UWB τεχνολογία είναι πιο κατάλληλη για WSN επειδή συνιστάται από το IEEE 802.15.4 πρότυπο του χαμηλού Ρυθμού Ασύρματης σύνδεσης προσωπικού δικτύου περιοχής (LR – WPANs) που παρέχει χαμηλή πολυπλοκότητα, χαμηλό κόστος και χαμηλή ισχύ ασύρματης συνδεσιμότητας μεταξύ φθηνών συσκευών.

Η Ομάδα Εργασίας IEEE 802.15.4a έχει αναπτύξει ένα πρότυπο που βασίζεται στο UWB PHY για μικρής εμβέλειας δίκτυα με ακρίβεια που κυμαίνεται στην ικανότητα που έχει βελτιστοποιηθεί για την εφαρμογή χαμηλής ταχύτητας δεδομένων. Ως εκ τούτου, σε σύγκριση με τα στενά σήματα ζώνης, το UWB σήμα έχει το πλεονέκτημα της υψηλής απόδοσης, της ανάλυσης δεδομένων λεπτού φάσματος που επιτρέπει τη τοποθεσία με επίγνωση ασύρματης δικτύωσης. Επιπλέον, το UWB σύστημα επικοινωνίας είναι εγγενώς ασφαλές. Δεδομένου ότι η πυκνότητα ισχύος των UWB σημάτων είναι συνήθως κάτω από το περιβαλλοντικό θόρυβο λόγω ορίου της FCC εκπομπής δηλαδή -41 dBm και με DSSS διαμόρφωση συστήματος, η ενέργεια σήματος γίνεται πολύ χαμηλή, γεγονός το οποίο διευκολύνει την χαμηλή πιθανότητα ανίχνευσης καθώς και την παρεμβολή με άλλα λειτουργικά ραδιόφωνα στην ίδια ζώνη συχνοτήτων τα οποία είναι αμελητέα. Το UWB ραδιόφωνο άμεσης κατανάλωσης είναι λιγότερο, έτσι ώστε να έχει βάση μόνο η επεξεργασία ζώνης και καμία ενδιάμεση συχνότητα (IF) επεξεργασίας. Το γεγονός αυτό καθιστά τις συσκευές ραδιοεκπομπών άμεσης κατανάλωσης πολύ φθηνότερες από ό, τι άλλες συσκευές επικοινωνίας.

## 5.6 UWB Γνωστικά Ραδιόφωνα

Γνωστικό ραδιόφωνο είναι το έξυπνο ραδιόφωνο που θα μπορούσε να υιοθετήσει από την ανίχνευση και την εκμάθηση του περιβάλλοντος ραδιοφώνου και τη βελτιστοποίηση των στρατηγικών μετάδοσής του για να μεγιστοποιήσει την αξιοποίηση των περιορισμένων πόρων ραδιοφώνου όπως το ραδιοφάσμα. Αυτό έχει ως κίνητρο τους ραδιοφωνικούς ρυθμιστικούς φορείς σε όλο τον κόσμο, έτσι ώστε να αξιοποιήσει αχρησιμοποίητο ραδιοφάσμα γνωστό ως λευκός χώρος στο χωρο-χρονικό πεδίο. Τα τελευταία χρόνια η UWB επικοινωνία έχει αναδειχθεί ως πιθανός υποψήφιος για την τεχνολογία CR (Cognitive Radios) χάρη στην ικανότητά του να μοιραστεί το φάσμα με άλλες για σύντομες επικοινωνίες ασύρματης εμβέλειας. Στο πλαίσιο αυτό παρουσιάζουμε μερικές πιθανές εφαρμογές για τη χρήση του UWB με βάση τα γνωστικά ραδιόφωνα που προέρχονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση, έργα που χρηματοδοτούνται από το EUWB (EUWB, 2008) το οποίο είναι ένα από τα μεγαλύτερα έργα UWB που ο κόσμος έχει δει μέχρι τώρα και το έργο C2POWER (C2POWER, 2010) το οποίο σχετίζεται με την ενεργειακή απόδοση σε σύντομη ασύρματη επικοινωνία φάσματος με τη χρήση των γνωστικών ραδιοφώνων.

### 5.6.1 Σενάρια και εφαρμογές για UWB με βάση το CR

Παρουσιάζουμε κάποια σενάρια εφαρμογών για τη χρήση του UWB με βάση τη γνωστική ραδιοφωνία. Τα σενάρια που παρουσιάζονται εδώ προέρχονται από τα δύο προγράμματα της ΕΕ το C2POWER (C2POWER, 2010) και το EUWB (EUWB, 2008). Τα σενάρια που παρέχουμε είναι για τη δυναμική πρόσβαση φάσματος (EUWB σενάρια), καθώς και για την ενεργειακή απόδοση των επικοινωνιών (C2POWER σενάριο).

1<sup>ο</sup> Σενάριο: Το UWB με βάση τη γνωστική ραδιοφωνία θεωρείται για την ψυχαγωγία στο σπίτι, όπου με βάση τις UWB συσκευές πολυμέσων, όπως ένα σύστημα hi-fi περιβάλλοντος ήχου με ήχο / βίντεο μεταδόσεις, θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει τις τεχνικές DAA. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον οι συσκευές UWB πρέπει να γνωρίζουν τα 5 GHz ζώνης ISM συσκευές, οι συσκευές WiMAX είναι στα 3.6 GHz.

2<sup>ο</sup> Σενάριο: Το UWB με βάση τη γνωστική ραδιοφωνία θεωρείται για εναέρια εν πτήση μεταδόσεις όπως για ήχο / βίντεο παράδοση στους επιβάτες. Σε τέτοια σενάρια τα ραδιόφωνα UWB πρέπει να είναι ενήμερα για τυχόν κατασκευές προσαρμοσμένων ραδιοφώνων εντός της UWB ζώνης συχνοτήτων για πτήσεις συγκεκριμένων εφαρμογών καθώς και για τυχόν δορυφορικούς δέκτες στο UWB φάσμα συχνοτήτων.

3<sup>ο</sup> Σενάριο: Το UWB με βάση τη γνωστική ραδιοφωνία θεωρείται για οδικές επικοινωνίες, όπως μεταξύ των αισθητήρων και της κεντρικής μονάδας. Σε τέτοιες περιπτώσεις, τα UWB ραδιόφωνα πρέπει να γνωρίζουν τα γύρω ραδιόφωνα για την αποφυγή παρεμβολών και την ίδια στιγμή να βεβαιωθούν ότι είναι περιορισμένης χρονικής διάρκειας, για μεταδόσεις που επίσης δεν παρενέβησαν.

4<sup>ο</sup> Σενάριο: Τα UWB ραδιόφωνα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την εξοικονόμηση ενέργειας σε μικρής εμβέλειας ασύρματης επικοινωνίας. Λαμβάνοντας υπόψη τις ευνοϊκές συνθήκες του καναλιού, ένας κόμβος πηγής μπορεί να επιλέξει να κοινοποιήσει τον προορισμό του μέσω ενός κόμβου αναμετάδοσης για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (C2POWER, 2010). Σε ένα τέτοιο πλαίσιο της UWB ραδιοφωνίας με τη νοημοσύνη (δηλαδή το UWB με βάση των γνωστικών ραδιοφώνων) μπορεί να διαδραματίσει εξέχοντα ρόλο.

## 5.7 Υψηλής Ταχύτητας Ασύρματων Επικοινωνιών

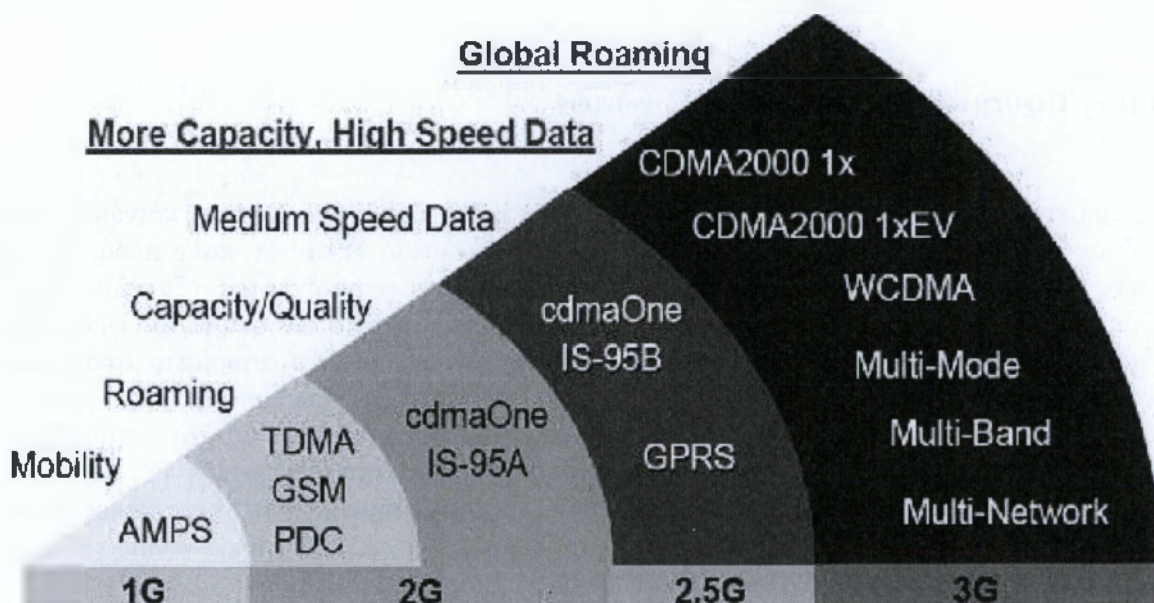
Ασύρματες επικοινωνίες και υπηρεσίες διαδικτύου έχουν διεισδύσει στην κοινωνία μας και επηρεάζουν την καθημερινή ζωή μας ριζικά κατά την τελευταία δεκαετία, πολύ πέρα από τις προηγούμενες προσδοκίες. Επιπλέον, η ζήτηση για ασύρματες επικοινωνίες εξακολουθεί να αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς και έχουν ασύρματα συστήματα τα οποία υποστηρίζουν φωνητικές επικοινωνίες όπου έχουν ήδη αναπτυχθεί με μεγάλη επιτυχία. Περαιτέρω ασύρματα συστήματα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών αναμένεται να υποστηρίξει μια ποικιλία από υψηλής ταχύτητας υπηρεσίες πολυμέσων, όπως internet υψηλής ταχύτητας, υψηλής ποιότητας μετάδοση βίντεο και ούτω καθεξής. Για να ικανοποιηθεί η ζήτηση για υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας δεδομένων σε ασύρματα ευρυζωνικά συστήματα, διάφορα συστήματα και τεχνολογίες έχουν προταθεί, όπως είναι η υπερευρείας ζώνης (UWB) συστήματος, η εξέλιξη τρίτης γενιάς (3G) και τέταρτης γενιάς (4G) συστημάτων κινητών επικοινωνιών.

### 5.7.1 Ιστορική Εξέλιξη

Στις μέρες μας η “βιομηχανία” των ασύρματων κινητών τηλεπικοινωνιών βρίσκεται σε μια διαρκή μεταβολή και ενσωματώνει διαρκώς όλο και μεγαλύτερο αριθμό υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες αυτές προσφέρονται από διαρκώς αυξανόμενους σε πλήθος παρόχους, ενώ εκρηκτική είναι και η αύξηση του αριθμού των συνδρομητών. Τα σημαντικότερα αίτια είναι η γεωγραφική εξάπλωση των σχετικών υποδομών, η σημαντική μείωση του κόστους αλλά και η βελτίωση της ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών. Η κινητή τηλεφωνία στον Ευρωπαϊκό χώρο ξεκίνησε στη Γερμανία το 1958 με το αναλογικό δίκτυο A - Netz χρησιμοποιώντας τη συχνότητα των 160 MHz. Το 1972 το προηγούμενο δίκτυο εξελίχθηκε σε B - Netz χρησιμοποιώντας την ίδια συχνότητα. Οι συσκευές (πομπός και δέκτης), λόγω του βάρους τους ήταν συνήθως εγκατεστημένες μέσα σε κάποιο αυτοκίνητο. Το ίδιο διάστημα στις Βόρειες Ευρωπαϊκές χώρες (Δανία, Νορβηγία, Φιλανδία και Σουηδία) αναπτύχθηκε το αναλογικό σύστημα NMT (Nordic Mobile Telephone) στη συχνότητα των 450 MHz. Αρκετά ακόμη αναλογικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας αναπτύχθηκαν μέχρι το 1980 στον Ευρωπαϊκό χώρο, τα οποία όμως χρησιμοποιούσαν τελείως διαφορετικά και ασύμβατα πρότυπα. Τα παραπάνω συστήματα είναι γνωστά ως η 1<sup>η</sup> γενιά κινητών επικοινωνιών (1G).

#### Μειονεκτήματα του 1G :

- Κακή ποιότητα φωνής
- Κακή διάρκεια ζωής της μπαταρίας
- Μεγάλο μέγεθος τηλεφώνου
- Περιορισμένη ικανότητα και κακή αξιοπιστία μεταβίβασης



Εικόνα 32 : Εξέλιξη των ασύρματων κινητών επικοινωνιών



Οι Ευρωπαϊκές χώρες συμφώνησαν να αναπτύξουν ένα πανευρωπαϊκό σύστημα ή ένα πρότυπο κινητής τηλεφωνίας το 1982. Το νέο σύστημα χρησιμοποίησε το νέο φάσμα των 900 MHz και επέτρεψε τη μεταγωγή κλήσεων μεταξύ των Ευρωπαϊκών χωρών. Επιπλέον, χρησιμοποίησε ψηφιακή διαμόρφωση για βελτιωμένη ποιότητα ήχου, καθώς παρέχει φωνή και περιορισμένες υπηρεσίες δεδομένων. Το αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας κατέληξε στο σύστημα **δεύτερης γενιάς κινητών επικοινωνιών (2G)** ευρύτερα γνωστό ως GSM (Global System for Mobile Communication). Το GSM βασίζεται στην τεχνολογία Time Division Multiple Access (TDMA), λειτουργεί στις συχνότητες των 900 και 1800 MHz και ξεκίνησε τη λειτουργία του το έτος 1991. Τα συστήματα 2G πρόσφεραν και συνεχίζουν να προσφέρουν μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου, χαμηλότερα κόστη στους παρόχους, ενώ χαμηλού ρυθμού υπηρεσίες δεδομένων προστέθηκαν στις φωνητικές υπηρεσίες. Ένα άλλο πλεονέκτημα των συστημάτων GSM είναι η ευρεία σε όλο σχεδόν τον πλανήτη δυνατότητα περιαγωγής. Άλλα συστήματα 2G, εκτός του GSM, είναι τα TDMA, Personal Digital Cellular (PDC) και cdmaOne. Το PDC χρησιμοποιείται στην Ιαπωνία, ενώ όλα τα υπόλοιπα συμπεριλαμβανομένου και του GSM λειτουργούν στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η εξέλιξη των συστημάτων 2G όπου συμπεριλαμβάνουν τις υπηρεσίες δεδομένων έγινε γνωστή και ως 2.5 γενιά κινητών επικοινωνιών (2.5G).

Στα συστήματα GSM η υπηρεσία δεδομένων ονομάζεται General Packet Radio Service (GPRS). Θεωρητικά, το GPRS μπορεί να προσφέρει ρυθμούς δεδομένων που φτάνουν τα 140.8 kbit/s, αν και τυπικά η απόδοσή του δεν ξεπερνά τα 56 kbit/s, περίπου 20 kbit/s για κάθε χρονοθυρίδα. Συμπληρωματικά, η τεχνολογία E-GPRS ή Enhanced Data rates for Global Evolution (EDGE) αποτελεί μια εξέλιξη του GPRS που βασίζεται σε νέα εξελιγμένα σχήματα κωδικοποίησης. Με την τεχνολογία αυτή οι πραγματικοί ρυθμοί μετάδοσης μπορούν να φτάσουν στην πράξη τα 180 kbit/s. Τα συστήματα EDGE συχνά αναφέρονται ως συστήματα 2.75 G. Έτσι, ικανοποιεί τις απαιτήσεις για τα ακόλουθα : το φαξ, τα σύντομα μηνύματα και τη μετάδοση δεδομένων να πηγαίνει ταχύτατα.

### **Μειονεκτήματα του 2G :**

Το GSM είναι ένα κύκλωμα μεταγωγής προσανατολισμένο σε σύνδεση της τεχνολογίας, όπου τα τερματικά συστήματα είναι αφωτισμένα για το σύνολο της συνόδου. Αυτό προκάλεσε αναποτελεσματικότητα στη χρήση για το εύρος ζώνης και των πόρων.

Τάσεις προς μεγαλύτερη χωρητικότητα για κινητούς δέκτες, νέες υπηρεσίες πολυμέσων, νέες συχνότητες και νέες τεχνολογίες έχουν το κίνητρο για την ιδέα των συστημάτων 3G. Είχε ως στόχο ένα μοναδικό διεθνές πρότυπο όπου αναφέρεται ως Διεθνείς κινητές τηλεπικοινωνίες 2000 (IMT-2000), πραγματοποιώντας μια νέα γενιά τεχνολογίας κινητών επικοινωνιών για έναν κόσμο στον οποίο οι προσωπικές υπηρεσίες επικοινωνιών θα κυριαρχήσουν. Οι στόχοι των προτύπων τρίτης γενιάς, δηλαδή WCDMA / UMTS, HSDPA, HSUPA, και CDMA-2000 πήγε πολύ πέρα από τα συστήματα δεύτερης γενιάς, ιδίως όσον αφορά:

- α) Το ευρύ φάσμα υπηρεσιών πολυμέσων ( ομιλία, ήχο, εικόνα, βίντεο, δεδομένα ) και ρυθμοί μετάδοσης bit ( έως 14,4 Mbit/s για εσωτερικό και ενεργό σημείο εφαρμογής ).
- β) Η υψηλή ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών ( καλύτερη ομιλία / ποιότητα εικόνας, λιγότερο ποσοστό σφάλματος bit ( BER ), αύξηση του αριθμού των ενεργών χρηστών ).
- γ) Λειτουργία σε μικτά σενάρια κυττάρων ( macro, micro, pico ).
- δ) Λειτουργία σε διαφορετικά περιβάλλοντα ( εσωτερικά / εξωτερικά, επιχειρήσεων / εγχώρια, κινητά / ασύρματα ).
- ε) Η ευελιξία στη συχνότητα ( μεταβλητό εύρος ζώνης ), σε ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ( μεταβλητό ), καθώς και στη διαχείριση των πόρων ραδιοφώνου ( μεταβλητή δύναμη / κανάλι κατανομής ).

Συνήθως χρησιμοποιούνται πολλαπλά συστήματα πρόσβασης για δεύτερης και τρίτης γενιάς ασύρματων κινητών συστημάτων επικοινωνίας που βασίζεται είτε σε διαίρεσης χρόνου πολλαπλής πρόσβασης (TDMA) ή πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (CDMA) ή τα συνδυασμένα συστήματα πρόσβασης σε συνδυασμό με ένα πρόσθετο διαίρεσης συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (FDMA) συστατικό.

Το 1992 η Ευρωπαϊκή Ένωση συμφώνησε στην ανάπτυξη του συστήματος **τρίτης γενιάς (3G)** με το όνομα UMTS ( Universal Mobile Telecommunications System ) ως Ευρωπαϊκή και Ιαπωνική πρόταση στη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU ( International Telecommunication Union ) για το IMT-2000 ( ITU-R 2000 ). Τα συστήματα 3G αναπτύσσονται και προτυποποιούνται από δύο μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς γνωστούς ως 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP) ( www.3gpp.org ) και 3GPP2 ( www.3gpp2.org ).

Ο πρώτος οργανισμός ξεκινώντας το 1998 ασχολείται με την εξέλιξη των συστημάτων GSM, ενώ ο δεύτερος με την εξέλιξη του συστήματος cdmaOne. Κοινός στόχος και των δύο οργανισμών είναι η εξέλιξη των δικτύων των παρόχων ώστε να βασίζονται αποκλειστικά στο πρωτόκολλο IP ( all-IP ). Τα 3G δίκτυα μπορούν να λειτουργήσουν στις ζώνες συχνοτήτων 1885 - 2025 MHz και 2110 - 2200 MHz. Ειδικότερα, τα 3GPP δίκτυα εκμεταλλεύονται τις περιοχές συχνοτήτων 1920 - 1980 MHz και 2110 - 2170 MHz όπου βασίζονται στην τεχνολογία Wideband CDMA ( W-CDMA ). Το πρώτο μεγάλης κλίμακας εμπορικό UMTS δίκτυο ξεκίνησε τη λειτουργία του στην Ιαπωνία το 2001. Περίπου δύο χρόνια μετά στην Ευρωπαϊκή ήπειρο το πρώτο UMTS σύστημα λειτούργησε στην Αυστρία το Δεκέμβριο του 2003 από την T - Mobile. Σήμερα, περισσότερα από εξήντα 3G/UMTS δίκτυα που χρησιμοποιούν την W-CDMA τεχνολογία λειτουργούν σε 25 χώρες, ενώ ήδη έχουν διανεμηθεί πάνω από 120 άδειες λειτουργίας.

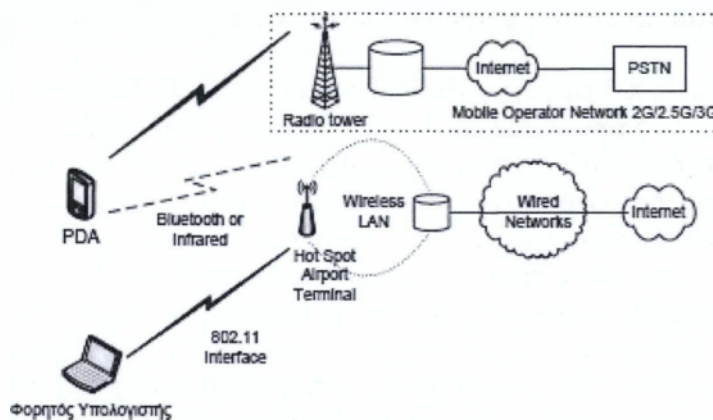
Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι στην Ιαπωνία βρίσκονται ήδη σε φάση προετοιμασίας αναβαθμίσεων του συστήματος στα 3 Mbit/s. Εκτιμάται δε ότι στο μέλλον θα υπάρξει περαιτέρω αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων. Ήδη, ο 3GPP έχει θέσει σαν πρότυπα δύο νέες τεχνολογίες. Πρόκειται για το High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) γνωστό και ως 3.5G και το High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) αντίστοιχα.

Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες ουσιαστικά αποτελούν εξέλιξη του UMTS, αφού υπόσχονται ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων έως και 14.4 Mbit/s στο downlink και 5.8 Mbit/s στο uplink.

### **Μειονέκτημα της τεχνολογίας 3G:**

1. Το μεγαλύτερο πρόβλημα που συνδέεται με τη χρήση αυτής της τεχνολογίας είναι το κόστος. Η διατήρηση αυτής της τεχνολογίας είναι υψηλότερες από τις προηγούμενες τεχνολογίες.
2. Για πρόσβαση πλήρους ισχύος των σημάτων σταθμού βάσης πρέπει να βρίσκεται όσο πιο πλησιέστερα στο χρήστη γίνεται.
3. Ο πάροχος υπηρεσιών πρέπει να πληρώσει υψηλό ποσό για την χορήγηση αδειών για το 3G και τις συμφωνίες.
4. Υψηλή κατανάλωση ενέργειας.

Τα συστήματα ασύρματων κινητών επικοινωνιών αντιμετωπίζουν περισσότερες απειλές σε σχέση με τα ενσύρματα. Επίσης, τα συστήματα 3G θα είναι βασισμένα αποκλειστικά στο πρωτόκολλο IP (all-IP). Παράλληλα, σε εξέλιξη βρίσκονται ερευνητικές προσπάθειες για την πλήρη ενοποίηση όλων των ασύρματων και ενσύρματων συστημάτων διαφορετικών (ετερογενών) τεχνολογιών σε ένα κοινό περιβάλλον, με στόχο την παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών στους συνδρομητές ανεξάρτητα από τη γεωγραφική περιοχή που αυτοί θα κινούνται. Αυτή η προοπτική εξέλιξης προς την ενοποίηση των συστημάτων επικοινωνίας είναι γνωστή ως η 4<sup>η</sup> γενιά κινητών επικοινωνιών (4G). Ταυτόχρονα όμως, η ανάπτυξη και η εξέλιξη των συστημάτων 3G σε αυτά της τέταρτης γενιάς (4G) αναμένεται να οξύνει πολύ περισσότερο αυτή την κατάσταση. Οι μελετητές της ασφάλειας των συστημάτων αυτών τονίζουν την ανάγκη για νέες ή βελτιωμένες τεχνικές και μεθόδους προστασίας, αναγνωρίζοντας τις επικείμενες απειλές.



**Εικόνα 33 :** Ένα παράδειγμα ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας 2G/ 2.5G/ 3G

Οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών, όπως η NTT DoCoMo από την Ιαπωνία και η Sprint Nextel δημιούργησαν επίσης, την ανάπτυξη ασύρματων τεχνολογιών 4G από τις αρχές του 2006 μαζί με 3G κινητών τεχνολογιών. Η ευελιξία των τεχνολογιών 4G για να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το GSM και το CDMA παρείχε ένα πλεονέκτημα σε σχέση με άλλες τεχνολογίες. Ο λόγος είναι ότι η υψηλή ικανότητα της ευρυζωνικής 4G όχι μόνο αυξάνει δεδομένα συνεχούς ροής για σταθερούς χρήστες αλλά και για τους χρήστες κινητών. Το 4G μπορεί να είναι αποτελεσματικό σε συνδυασμό με κυτταρικές τεχνολογίες για να κάνουν συνεπή χρήση των έξυπνων τηλεφώνων. Οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές που συνδέονται σε έξυπνα τηλέφωνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία βίντεο blogs σε διάσπαρτες γεωγραφικές περιοχές. Αυτό δίνει στους κατασκευαστές την ευκαιρία να παράγουν πιο προσιτές - φιλικές προς το χρήστη 4G συμβατές συσκευές. Το διάσημο iPod είναι μια τέτοια συσκευή που υποστηρίζει τη λειτουργία των βίντεο blogs. Ως εκ τούτου, το 4G είναι σε θέση να προσφέρει νέους ορίζοντες ευκαιριών και για τις δύο υφιστάμενες και νέες εταιρείες τηλεφωνίας.

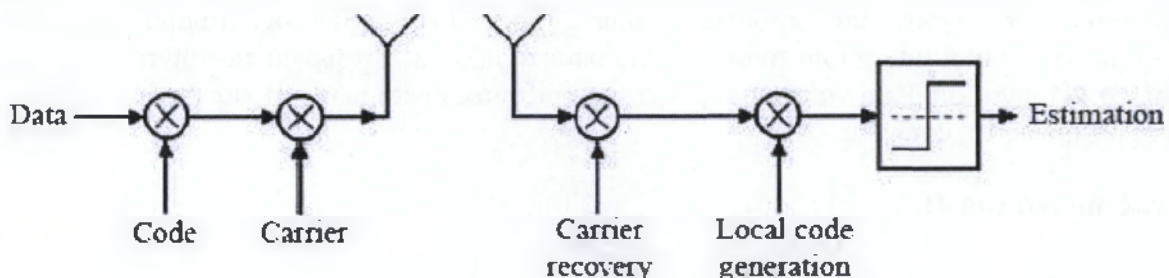
#### **Μειονεκτήματα του 4G :**

- Η χρήση της μπαταρίας είναι μεγαλύτερη.
- Δύσκολο να το εφαρμόσουν.
- Χρειάζεται πολύπλοκο υλικό.

## 5.7.2 Πολυκαναλικά - CDMA με βάση το UWB

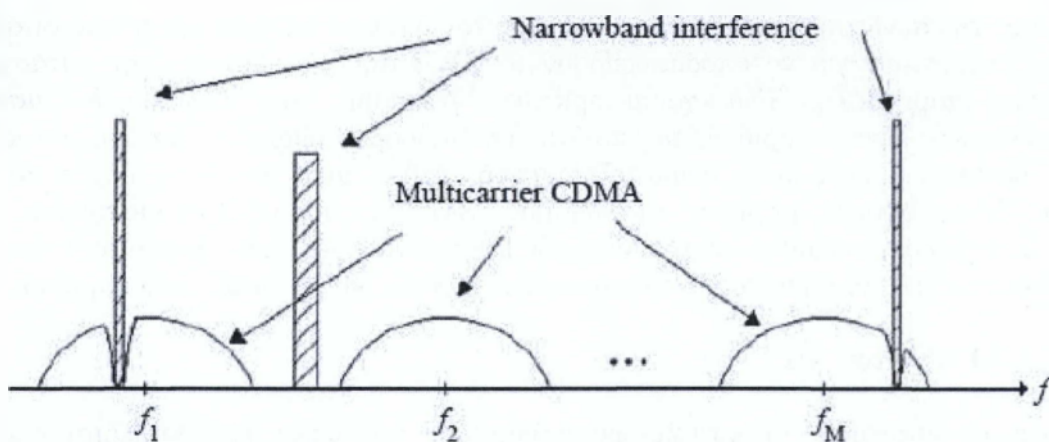
Κατά την εξέταση της επικάλυψης, της μείωσης παρεμβολών και της καταστολής παρεμβολών είναι τα βασικά ζητήματα για την κατανομή του φάσματος σε αρμονία μεταξύ των καθιερωμένων συστημάτων στενής ζώνης και την υπέρθεση του συστήματος UWB. Ο τρόπος με τον οποίο οι πόροι που διατίθενται μοιράζονται μεταξύ των UWB συσκευών και ο πλούσιος αριθμός των πολλαπλών διαδρομών που χρησιμοποιούνται είναι επίσης σημαντικά ζητήματα. Το σχέδιο πολλαπλής πρόσβασης είναι το κλειδί για την επικοινωνία των UWB ασύρματων από το σύστημα που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε μικρής εμβέλειας, υποστηρίζοντας πολλούς χρήστες, συσκευές ή υπηρεσίες. Ο Κώδικας Πολυπλεξίας Διαίρεσης προτείνεται να είναι ένα κατάλληλο σύστημα για UWB συστήματα πάνω από την πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας (το κλασματικό εύρος ζώνης απαίτησης δεν μπορεί να ικανοποιηθεί), το χρόνο πολυπλεξίας διαίρεσης (συγχρονισμός μεταξύ όλων των χρηστών του συστήματος είναι απαραίτητη) ή το φορέα πολλαπλής πρόσβασης (αναποτελεσματική ανίχνευση καναλιών και εκτός υποστήριξης λόγω της σύγκρουσης).

Ο κώδικας απευθείας ακολουθίας πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης (DS-CDMA) είναι μια ευρέως τεχνική διαμόρφωση φάσματος. Στην εικόνα 34 απεικονίζει τις βασικές συνιστώσες ενός DS-CDMA συστήματος. Κάτω από αυτό το σχήμα διαμορφώσεως στον πομπό, το σήμα δεδομένων μεταδίδεται από ένα υψηλότερο ποσοστό τυχαίο κωδικό για να δώσει το σήμα εξάπλωσης, το οποίο στη συνέχεια διοχετεύεται στο διαμορφωτή RF, όπου το φάσμα σήματος μετατοπίζεται προς την δοθείσα θέση συχνότητας. Το προκύπτον σήμα ενισχύεται και μεταδίδεται. Στο δέκτη, το σήμα RF έχει αποδιαμορφωθεί από το φορέα αναφοράς και από το ανασυνταγμένου τοπικά παραγόμενου κώδικα για να ανακτήσει τα δεδομένα. Η εξάπλωση και η σύμπτυξη διεργασιών καταλήγουν σε ελκυστικά χαρακτηριστικά του DS-CDMA συστήματος: η πολλαπλή πρόσβαση και οι δυνατότητες ανάλυσης πολλαπλής διαδρομής, καθώς και οι ικανότητες των αντι-εμπλοκών και αντι-παρεμβολών, ενώ δεκαετίες προσπαθειών και πείρας έχει αποδειχθεί ότι το CDMA αποτελεί αποτελεσματικός τρόπος για την ασύρματη επικοινωνία, καθώς και ένα κατάλληλο υποψήφιο για σκοπούς διακινούμενης πληροφορίας. Όλα αυτά είναι αναγκαία για το περιβάλλον επικοινωνίας UWB. Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά, το DS-CDMA έχει ένα πιθανό σχήμα πολλαπλής πρόσβασης αλλά είναι λιγότερο εφικτό όταν εφαρμόζεται απευθείας σε UWB επικοινωνίες, επειδή το εξαιρετικά μεγάλο εύρος ζώνης απαιτεί κύκλωμα με ένα εξαιρετικά γρήγορο ρυθμό δειγματοληψίας και αναλογική σε ψηφιακή μετατροπή στοιχείων με μια πολύ μεγάλη δυναμική περιοχή που απαιτείται λόγω του γεγονότος ότι το ληφθέν σήμα εμφανίζει μεγάλη διακύμανση. Επιπλέον ένα απλό DS-CDMA σύστημα υιοθετήθηκε, έτσι το σύστημα UWB θα πρέπει να αντιμετωπίσει τις αρνητικές επιπτώσεις της και όλα τα καθιερωμένα συστήματα στενής ζώνης σκέδασης κατά μήκος του εύρους ζώνης που διατίθενται. Ως αποτέλεσμα, το υβριδικό των περιστασιακών DS-CDMA - πολυκαναλικών CDMA είναι μια πολλά υποσχόμενη επιλογή.



Εικόνα 34 : Σχηματικό διάγραμμα του περιστασιακού DS-CDMA συστήματος

Σύμφωνα με τα πολυκαναλικά CDMA, αφού το σήμα δεδομένων μεταδίδεται από ένα υψηλότερο ποσοστό τυχαίο κωδικό, το προκύπτον σήμα στη συνέχεια διαμορφώνεται σε πολλαπλούς μεταφορείς. Τα πολυκαναλικά CDMA προσφέρουν τα εξής πλεονεκτήματα : Πρώτον, ο ρυθμός επεξεργασίας σήματος δεν είναι πλέον άμεσος με όλα τα κατεχόμενα φάσματα, δεδομένου ότι η υπερευρείας ζώνης τεμαχίζεται σε έναν αριθμό τμημάτων ευρείας ζώνης, έτσι ώστε οι κάτω μονάδες ταχύτητας να μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Δεύτερον, τα φάσματα των σημάτων των διαφόρων μεταφορέων μπορούν να είναι ασυνεχείς το ένα από το άλλο και μπορούν να μετατοπίζονται σε μία κατάλληλη περιοχή συχνότητας με την ενίσχυση της ζώνης περιορισμού τεχνικές, έτσι ώστε τα σημαντικά φάσματα, όπως ζώνες ISM ή εκείνα που προορίζονται για χρήση έκτακτης ανάγκης να μπορούν εύκολα να αποφευχθούν. Η κατανομή των πόρων μπορεί να είναι ευέλικτη, όπου ανταλλάσσει μεταξύ του συνολικού ρυθμού μετάδοσης και την ποιότητα των υπηρεσιών από την ποικιλομορφία συχνότητας ώστε να είναι επιτρεπτή. Τρίτον, διάφορες τεχνικές που αναπτύχθηκαν για DS - CDMA επεξεργασία σήματος μπορούν να εφαρμοστούν. Τα UWB συστήματα επικαλύπτονται με τις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες διάσπαρτα πάνω από το εύρος ζώνης λειτουργίας. Για να μοιραστούν τον πόρο αρμονικά, η ιδέα του φιλτραρίσματος στον πομπό έχει προταθεί στο οποίο εγχοπές τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις συχνότητας έτσι ώστε η ισχύ εκπομπής του συστήματος UWB να καταστέλλεται πάνω από τα φάσματα που καταλαμβάνεται από τα καθιερωμένα συστήματα (Εικόνα 35), προκειμένου να ικανοποιηθεί η απαίτηση αποφυγής παρεμβολών. Η εγχοπή φιλτραρίσματος που χρησιμοποιείται αρχικά για την καταστολή εμπλοκών σήματος στο δέκτη και η σχετική τεχνολογία, έχει καλά διερευνηθεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες και μπορεί να επιτευχθεί με τη διέλευση του κώδικα διασποράς μέσω ενός εγκάρσιου φίλτρου πριν το σήμα εξάπλωσης πραγματοποιηθεί.



Εικόνα 35 : Φάσμα πολυκαναλικών CDMA συστήματος UWB

Η περιορισμένη πολυπλοκότητα είναι ένα ελκυστικό χαρακτηριστικό του εγκάρσιου φίλτρου και η σύνδεση της προσαρμογής βαρών του φίλτρου μπορεί να βασίζεται είτε στις διαθέσιμες πληροφορίες εκ των προτέρων για τη σταθερή εκχώρηση φάσματος σε συστήματα στενής ζώνης, η οποία βασίζεται ή γίνεται ανατροφοδότηση των στατιστικών στοιχείων από την παραλαβή τέλους των UWB συσκευών σε μια παρατήρηση του σήματος που κατέλαβε για μια εντελώς άγνωστη κατάσταση. Δεδομένου ότι η υπέρθεση συστήματος UWB δεν θα πρέπει να διαταράξει τις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες, αλλά δεν υπάρχει συντονισμός με τα συστήματα αυτά, αυτού του είδους η παθητική προσέγγιση αποφυγής είναι κατάλληλο για UWB σενάρια λειτουργίας. Εναλλακτικά, μια βολική μέθοδος για την εισαγωγή εγκοπής φιλτραρίσματος στον πομπό μπορεί να γίνει με τσιπ τροποποίησης σχήματος. Το τσιπ σχήματος χρησιμοποιείται για τη ζώνη-περιορισμού του μεταδιδόμενου σήματος και την τροποποίησή του για άλλους σκοπούς καταστολής παρεμβολών. Η τροποποίηση του φάσματος του εκπεμπόμενου σήματος τσιπ χρησιμοποιείται για την αποφυγή παρεμβολής με ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες. Το σήμα UWB μπορεί να καταστραφεί από πολύ ισχυρή παρεμβολή στενής ζώνης από τις υπάρχουσες στενής ζώνης χρήστες και μπορεί επίσης να στρεβλωθεί από την απόκριση διαύλου, η οποία οδηγεί σε ένα μεγάλο αριθμό των πολλαπλών διαδρομών διάδοσης. Σε ένα συμβατικό σύστημα Rake για εξερεύνηση πολλαπλών διαδρομών ποικιλομορφίας, ο δέκτης αξιοποιεί μια γραμμή καθυστέρησης με βάση τη σύνδεση που σχηματίζει τον κώδικα διασποράς, ενώ ο διαχωρισμός του χρόνου μεταξύ των συνδέσεων είναι το τσιπ διαστήματος του κωδικού. Ο δέκτης συλλέγει τα διαχωρίσιμα μονοπάτια και συνδυάζει τα στατιστικά στοιχεία με συνέπεια για να δώσει την εκτίμηση των δεδομένων. Ωστόσο, η απολαβή επεξεργασίας του DS-CDMA συστήματος μπορεί να ανεχθεί μόνο ένα ορισμένο επίπεδο του σήματος εμπλοκών. Καθώς η ισχύ εκπομπής ενός συστήματος UWB είναι εξαιρετικά χαμηλή σε σύγκριση με εκείνες των καθιερωμένων υπηρεσιών, το σύστημα UWB θα δυσλειτουργεί κάτω από ένα εξαιρετικά ισχυρό σήμα εμπλοκών. Η περαιτέρω αύξηση του κέρδους επεξεργασίας δεν είναι η κατάλληλη λύση και ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων θυσιάζεται, ενώ απλά απορρίπτετε ένας υπο-μεταφορέας που αντιμετωπίζει παρεμβολές στενής ζώνης που είναι επίσης πολύ αναποτελεσματικός.

Η χρήση ενός προσαρμοζόμενου Rake μπορεί να είναι μια καλύτερη επιλογή, όπου ο προσδιορισμός της σύνδεσης παίρνει την κατάσταση του διαύλου υπόψη και τελικά οι συνδέσεις μπορούν να ρυθμιστούν για να αποδιασπείρουν το UWB σήμα, καθώς και την καταστολή της στενής ζώνης παρεμβολή. Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα των εσωτερικών ασύρματων επικοινωνιών είναι ο μεγάλος αριθμός των πολλαπλών διαδρομών διάδοσης. Συνδυάζοντας όλες τις διαθέσιμες διαδρομές είναι πολύ αναποτελεσματική, καθώς αυτό κάνει το δέκτη πάρα πολύ πολύπλοκο. Ο επιλεκτικός μέγιστος συνδυασμός (SMC) επομένως χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό κατά τον οποίο λαμβάνονται υπόψη μόνο οι συνεισφορές από σημαντικά μονοπάτια, τα οποία είναι συνήθως τα σήματα από τα μονοπάτια LOS και NLOS που είναι αρκετά ισχυρά.

### 5.7.3 Η ΜΑΓΕΙΑ του 4G

Το 4G είναι η τέταρτη γενιά κυψελωτών ασύρματων προτύπων και βασίζεται στο δίκτυο μεταγωγής πακέτων. Το δίκτυο 4G αποτελείται από ένα σύνολο διαφόρων δικτύων IP χρησιμοποιώντας ως ένα κοινό πρωτόκολλο. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες :  
α) να επιλέξουν οποιοδήποτε σύστημα ανά πάσα στιγμή και οπουδήποτε και  
β) να χρησιμοποιήσουν ένα πολλαπλό σύστημα ταυτόχρονα.

Ο όρος 4G χρησιμοποιείται ευρέως ώστε να περιλαμβάνει αρκετούς τύπους ευρυζωνικής επικοινωνίας ασύρματης πρόσβασης όχι μόνο κυψελοειδές τηλεφωνικό σύστημα και έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογής χρησιμοποιώντας μόνο ένα ολοκληρωμένο 4g τερματικό.

Η τεχνολογία αυτή αναμένεται να φτιάξει τις ελλείψεις της 3G τεχνολογίας όσον αφορά την ταχύτητα και την ποιότητα. Το 4G μπορεί να περιγραφεί καλύτερα με μια λέξη "MAGIC" (ΜΑΓΕΙΑ).

## MAGIC :

- **Mobile multimedia** ( Κινητό πολυμέσων )
- **Anytime anywhere** ( Οποτεδήποτε οπουδήποτε )
- **Global mobility support** ( Παγκόσμια υποστήριξη της κινητικότητας )
- **Integrated wireless solution** ( Ολοκληρωμένη ασύρματη λύση )
- **Customized personal service** ( Προσαρμοσμένη προσωπική εξυπηρέτηση )

Μέχρι στιγμής δεν έχει υπάρξει συγκεκριμένος ορισμός γι' αυτό το διάδοχο των 2G και 3G. Ωστόσο, έχει χρησιμοποιηθεί συχνά για να υποδηλώσει μια γρήγορη πρόσβαση στο Internet για τους χρήστες κινητών τηλεφώνων. Πιο πάνω από το χαρακτηριστικό της υψηλής συνεχούς ροής πολυμέσων και από άκρο σε άκρο IP διαμόρφωση κρίνεται ότι είναι η γοητεία του. Το 4G μπορεί να προβλέψει σε μεγάλο βαθμό στην εξέλιξη και την προώθηση του κυρίαρχου υπολογισμού. Ο στόχος του κυρίαρχου υπολογισμού είναι να συνδεθεί με κάθε δυνατό χώρο, έτσι ώστε τα ανθρώπινα όντα να παραμένουν ανέπαφα με την ασύρματη τεχνολογία. Ως εκ τούτου, το 4G θα είναι σε θέση να συνδέει διάφορα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων μαζί, το οποίο θα επιτρέπει σε κάθε έναν από εμάς να μεταφέρει ψηφιακές συσκευές, ακόμη και σε διασκορπισμένα σημεία. Οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων σε όλο τον κόσμο θα είναι σε θέση να αναπτύξουν ασύρματα δίκτυα πλέγματος και να κάνουν χρήση της τεχνολογίας γνωστικών ραδιοφώνων για την ευρεία κάλυψη και πρόσβαση.

### Πως γίνεται το 4G ταχύτερο:

Ασύρματες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε 4G:

- **OFDM ( Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας ) :**  
Το OFDM μεταδίδει μεγάλες ποσότητες ψηφιακών δεδομένων πάνω από ένα κύμα ραδιοφωνικό. Διανέμει τα δεδομένα πάνω από ένα μεγάλο αριθμό φορέων που απέχουν μεταξύ τους σε συγκεκριμένες συχνότητες και παρέχει την "ορθογωνικότητα" σε αυτή την τεχνική.
- **UWB ( Εξαιρετικά Υψηλή Ευρεία Ζώνη ) :**  
Μια προηγμένη τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην τεχνολογία 4G. Μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε τμήμα του φάσματος συχνοτήτων, το οποίο σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιήσει συχνότητες που είναι σήμερα σε χρήση από άλλες συσκευές ραδιοσυχνοτήτων. Χρησιμοποιεί μια συχνότητα από 3.1 έως 10.6 GHz και ειδικές κεραίες που απαιτούνται για να συντονιστούν και να επιδιώκουν το σήμα.
- **Έξυπνη Κεραία :**  
Η έξυπνη κεραία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βρει το συντονισμό και να αυξήσει τις πληροφορίες σήματος. Επίσης, μπορεί να στείλει σήμα πίσω στην ίδια κατεύθυνση απ' όπου προέρχεται. Η δέσμη ραδιοφωνικού σήματος πηγαίνει απευθείας σε έναν χρήστη για να ακολουθήσει τον χρήστη καθώς κινείται. Αφήνει την ίδια ραδιοσυχνότητα που πρέπει για να χρησιμοποιηθεί για άλλους χρήστες χωρίς ανησυχία των παρεμβολών και δεν μπορεί να συμβαδίσει σε ταχύτητες μετάδοσης ενώ η συσκευή κινείται γρήγορα ( δηλαδή σε ένα αυτοκίνητο ).
- **IPv6.0 ( Πρωτόκολλο Διαδικτύου Έκδοσης 6 ) :**  
Το Internet Protocol (IP), Πρωτόκολλο Διαδικτύου είναι η μέθοδος ή το πρωτόκολλο το οποίο τα δεδομένα του αποστέλλονται από τον έναν υπολογιστή στον άλλο μέσω του διαδικτύου. Περιλαμβάνει 128 bits, το οποίο είναι 4 φορές μεγαλύτερο από ότι 32 bit IP διεύθυνσης του IPv4.

- *SDR ( Λογισμικό που ορίζεται μέσω Ραδιοφώνου ) :*

Ένα λογισμικό που ορίζεται μέσω ραδιοφώνου είναι εκείνο που μπορεί να ρυθμιστεί για οποιαδήποτε ραδιοφωνική ή τυπική συχνότητα μέσω της χρήσης του λογισμικού. Το τηλέφωνο θα πρέπει να μεταβεί αυτόματα από συχνότητα CDMA σε συχνότητα TDMA και η περιαγωγή μπορεί να είναι ένα ζήτημα με διαφορετικά πρότυπα. Το λογισμικό που ορίζεται μέσω ραδιοφώνου (SDR) αναφέρεται στην τεχνολογία, όπου στις ενότητες το λογισμικό εκτελείται σε μια γενική πλατφόρμα υλικού που αποτελείται από DSPs. Ο γενικός σκοπός των μικροεπεξεργαστών είναι ότι χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση λειτουργιών ραδιοφώνου.

### **Πιο αναλυτικά όσον αφορά το UWB στην τεχνολογία 4G :**

Ένας πομπός UWB εξαπλώνει το σήμα του σε ένα ευρύ τμήμα του φάσματος RF, γενικά 1 GHz ευρεία ή περισσότερο, πάνω από 3.1 GHz. Η FCC έχει επιλέξει τις UWB συχνότητες για την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών σε άλλες συσκευές που χρησιμοποιούνται συνήθως, όπως τηλεοράσεις και ραδιόφωνα. Αυτό το φάσμα συχνοτήτων βάζει επίσης τις UWB συσκευές πάνω από το 2.4 GHz εύρος των φούρνων μικροκυμάτων και τα σύγχρονα ασύρματα τηλέφωνα, αλλά κάτω από το 802.11a ασύρματο Ethernet το οποίο λειτουργεί στα 5 GHz.

Ο UWB εξοπλισμός εκπέμπει πολύ στενούς RF παλμούς χαμηλής ισχύος και σύντομου χρονικού διαστήματος παλμών που σημαίνει ότι το σήμα, αν και έχει μεγάλο εύρος ζώνης, πέφτει κάτω από το όριο ανίχνευσης των πλέον RF δεκτών. Ο παραδοσιακός εξοπλισμός RF χρησιμοποιεί έναν φορέα RF για τη μετάδοση ενός διαμορφωμένου σήματος στο πεδίο των συχνοτήτων, μετακινώντας το σήμα από μία βασική ζώνη σε μια φέρουσα συχνότητα που χρησιμοποιεί ο πομπός. Το UWB είναι "ελεύθερος-φορέας", δεδομένου ότι η τεχνολογία λειτουργεί με διαμόρφωση ενός παλμού της τάξεως των δεκάδων microwatts, με αποτέλεσμα μια κυματομορφή να καταλαμβάνει μια περιοχή συχνοτήτων μεγάλης ευρείας. Το μεγάλο εύρος ζώνης ενός σήματος UWB είναι ένα "δίκοπο μαχαίρι".

Το σήμα είναι σχετικά ασφαλές από παρεμβολές και έχει τη δυνατότητα για πολύ υψηλό ποσοστό ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης και ταχύτητας. Από την άλλη πλευρά, το σήμα έχει επίσης τη δυνατότητα να παρεμβαίνει με άλλες ασύρματες μεταδόσεις. Επιπλέον, η χαμηλής ισχύος περιορισμοί που επιβάλλονται στο UWB από την FCC, λόγω της πιθανής παρεμβολής με άλλα σήματα RF περιορίζει σημαντικά το εύρος του εξοπλισμού UWB ( αλλά εξακολουθεί να το κάνει μια βιώσιμη τεχνολογία LAN ).

Ένα πλεονέκτημα του UWB είναι η ασυλία των πολλαπλών διαδρομών διαστρέβλωσης και παρεμβολών. Το πολλαπλό μονοπάτι διάδοσης προκύπτει όταν ένα μεταδιδόμενο σήμα παίρνει διαφορετικά μονοπάτια όταν πολλαπλασιάζεται από την πηγή στον προορισμό. Τα διάφορα μονοπάτια που προκαλούνται από το σήμα αναπηδούν από τα αντικείμενα μεταξύ του πομπού και του δέκτη για παράδειγμα, τα έπιπλα και τους τοίχους σε ένα σπίτι ή τα δέντρα και τα κτίρια σε ένα υπαίθριο περιβάλλον. Ένα μέρος του σήματος μπορεί να πάει απευθείας στο δέκτη ενώ ένα άλλο προεξέχον τμήμα θα συναντήσει καθυστέρηση και θα χρειαστεί περισσότερο χρόνο για να φθάσει στον δέκτη. Το πολλαπλό μονοπάτι καθυστέρησης αναγκάζει τα σύμβολα πληροφοριών στο σήμα να επικαλύπτονται συγχέοντας το δέκτη, αυτό είναι γνωστό ως διασυμβολική παρεμβολή (ISI). Επειδή το σχήμα του σήματος μεταφέρει πληροφορίες που διαβιβάζονται, ο δέκτης θα κάνει λάθη όταν αποδιαμορφώσει τις πληροφορίες στο σήμα.



Αν υπάρχουν για αρκετό καιρό καθυστερήσεις, τα σφάλματα δυαδικών ψηφίων στο πακέτο θα συμβαίνουν μέχρις ότου ο δέκτης δεν μπορεί να διακρίνει τα σύμβολα και να ερμηνεύσει σωστά τα αντίστοιχα bits. Το σύντομο χρονικό διάστημα των UWB κυματομορφών (συνήθως από εκατοντάδες πικοδευτερόλεπτα σε μερικά νανοδευτερόλεπτα ) σημαίνει ότι οι καθυστερήσεις που προκαλούνται από το εκπεμπόμενο σήμα αναπηδούν από τα αντικείμενα που είναι πολύ μεγαλύτερα από το πλάτος του αρχικού παλμού UWB σχεδόν εξαλείφοντας την διασυμβολική παρεμβολή (ISI) από τα επικαλυπτόμενα σήματα. Το γεγονός αυτό καθιστά την τεχνολογία UWB ιδιαίτερα χρήσιμη για την ενδο-κατασκευή και των εφαρμογών κινητών επικοινωνιών ελαχιστοποιώντας έτσι, το S / N και τη μείωση των σφαλμάτων bit.

## Κεφάλαιο 6

### Υψηλής Ταχύτητας Ασύρματη Σύνδεση Προσωπικών Δικτύων Περιοχής

#### 6.1 Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα

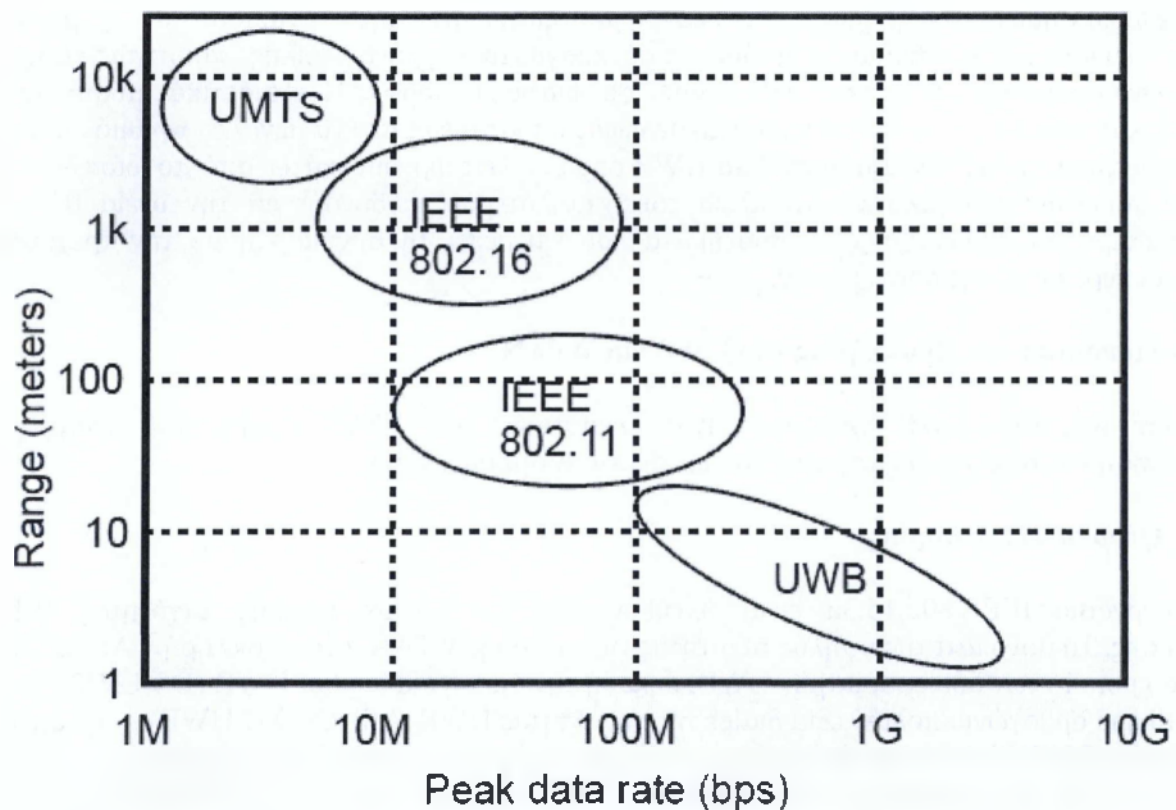
Οι πιο πρόσφατες εφαρμογές έχουν επικεντρωθεί σε ασύρματα προσωπικά δίκτυα ( WPANs ), που συνδέουν έναν περιορισμένο αριθμό συσκευών σε μια μικρή περιοχή κάλυψης (σε απόσταση 10 μ). Τρέχουσα UWB ραδιόφωνα για WPANs πρέπει να πληρούν τα όρια ισχύος της FCC. Ως εκ τούτου, θα εκπέμψει πολύ λιγότερη ενέργεια από ότι τα προηγούμενα συστήματα. Εκμεταλλευόμενη πλήρως το υψηλό ποσοστό των δεδομένων του UWB, οι προσπάθειες του IEEE 802.15.3a προτύπου για τον καθορισμό μεσαίας πρόσβασης και τα φυσικά στρώματα με το υψηλότερο ποσοστό στοιχείων είναι δυνατόν για WPAN εφαρμογές. Το UWB υπόσχεται να παραδώσει εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες δεδομένων (έως Gbps εύρος) για εφαρμογές πολυμέσων και γρήγορη λήψη χρόνων για μεγάλα αρχεία δεδομένων. Για να υποστηρίξει αυτές τις εφαρμογές, το UWB φυσικού στρώματος για IEEE 802.15.3a προσφέρει ταχύτητες δεδομένων από 110 Mbps στα 10 μέτρα, 200 Mbps στα 4 μέτρα και προαιρετικά 480 Mbps ή υψηλότερες σε μικρότερη απόσταση. Αυτά τα ποσοστά των δεδομένων επιτρέπουν πολυμέσα υψηλής ποιότητας υπηρεσίες και άνετη λήψη χρόνων ( δευτερόλεπτα, σε αντίθεση με λεπτά ) για μεγάλα αρχεία πολυμέσων. Στον πίνακα 4 αντιπροσωπεύει τα πρότυπα και τις τάσεις της τεχνολογίας των τεχνολογιών WPAN.Ο πίνακας 5 συνοψίζει τα βασικά χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων και η εικόνα 36 δείχνει το εύρος κατά μέγιστο ρυθμό δεδομένων των διαφόρων ασύρματων δικτύων.

WPAN (IEEE)	Τεχνολογία	Ταχύτητα Δεδομένων	Απόσταση
IEEE 802.15.1	Bluetooth	1 Mbps	10 m (Κατηγορία 3) 100 m (Κατηγορία 1)
IEEE 802.15.2	Μηχανισμοί Συνύπαρξης μεταξύ WLAN και WPAN		
IEEE 802.15.3	Υψηλό ποσοστό WPAN (UWB)	22, 33, 44, 55, Mbps	30 – 50 m
IEEE 802.15.3a	Αναπληρωματικό 15.3 PHY	> 100 Mbps	10 m
IEEE 802.15.4	Χαμηλό ποσοστό WPAN (ZigBee)	250 Kbps	1 – 100 m
IEEE 802.15.4a	Χαμηλό ποσοστό Εναλλακτικού PHY του 802.15.4 (UWB)	5 Mbps	< 1000 m
IEEE 802.15.4b	Αναθεωρήσεις και βελτιώσεις του IEEE 802.15.4		

Πίνακας 4

Ταξινόμηση	Εύρος Επικοινωνίας	Παραδείγματα	Τρέχουσες Κύριες Εφαρμογές
WWAN	> 10 χλμ	GSM, UMTS	Κινητή πρόσβαση στο Διαδίκτυο
WMAN	< 10 χλμ	IEEE 802.16	Ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο
WLAN	< 100 χλμ	IEEE 802.11a/b/g/n	Πρόσβαση στο Διαδίκτυο, κοινή χρήση αρχείων
WPAN	< 10 μ	IEEE 802.15	Κοινή χρήση αρχείων, ακουστικού
WBAN	< 1 μ	IEEE 802.15	Ασύρματο Δίκτυο σωματικής περιοχής

Πίνακας 5



Εικόνα 36 : Εμβέλεια Επικοινωνίας έναντι του ρυθμού μεταφοράς δεδομένων

Ασύρματη δικτύωση προϊόντων απολαμβάνουν μεγάλη επιτυχία και υψηλής ταχύτητας WPANs που υποβάλλονται σε ταχεία ανάπτυξη. Καινοτόμες εφαρμογές όπως η μικρή εμβέλεια ροής του βίντεο υψηλής ευκρίνειας είναι πλέον δυνατή. Το κεφάλαιο αυτό αναφέρει τις τελευταίες εξελίξεις και την πρόοδο της τυποποίησης της υψηλής ταχύτητας WPANs. Παρά το γεγονός ότι η ομάδα εργασίας IEEE 802.15.3a διαλύθηκε το 2006, οι δραστηριότητες της έρευνας και της ανάπτυξης με βάση το UWB και τα WPANs εξακολουθούν να ασκούνται. Ωστόσο, η έγκριση από ρυθμιστικές οργανώσεις παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην επιτυχία των WPANs. Το σύνθετο μείγμα των προτύπων και των τεχνολογιών θέτει εμπόδια στην τυποποίηση υψηλής ταχύτητας WPANs. Όταν το UWB εισήχθη για πρώτη φορά, τα προτεινόμενα ποσοστά δεδομένων ήταν ελκυστικά (εκατοντάδες Mbps). Ωστόσο, δεδομένου ότι ορισμένες περιφερειακές ρυθμιστικές αρχές είχαν αναρτηθεί, οι περιορισμοί σχετικά με τη χρήση του UWB στη ζώνη των 3.1 έως 10 GHz, εμπόδισαν τα προϊόντα να γίνουν διαθέσιμα στην αγορά, μ' αποτέλεσμα να περάσει πολύς καιρός ώστε να βγουν στο εμπόριο. Όταν τα εμπορικά προϊόντα UWB ήταν διαθέσιμα (π.χ. το WUSB στα μέσα του 2007), τα δεδομένα των ποσοστών τους δεν ήταν πλέον σημαντικά υψηλότερα από ό, τι άλλες τεχνολογίες συμπλήρωσης, όπως το IEEE 802.11n. Προφανώς, οι απαιτήσεις της αγοράς είναι η κύρια κινητήρια δύναμη για γρήγορη ασύρματη συνδεσιμότητα, ειδικά σε WPAN. Η υψηλής ταχύτητας ασύρματη δικτύωση θα είναι μια σημαντική κατεύθυνση της έρευνας στον τομέα των τηλεπικοινωνιών.

## **6.2 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας UWB εφαρμογών για WPAN**

Λόγω του μεγάλου εύρους ζώνης και τα χαρακτηριστικά υψηλής ανάλυσης χρόνου, τα UWB σήματα είναι πολύ πιο ισχυρά με τις παρεμβολές και της πολυοδικής εξασθένισης στρέβλωσης σε σχέση με άλλα σήματα στενής ζώνης. Επιπλέον, η μεγάλη χωρητικότητα καναλιού και η μεγάλη προσφορά εύρους ζώνης ασύρματης μετάδοσης σε πραγματικό χρόνο υψηλής ποιότητας αρχεία πολυμέσων (ακόμα και ασυμπιεστο HD βίντεο σε διάφορα Gbps). Η εξαιρετικά μικρή ισχύ εκπομπής και το πολύ μικρό αποτέλεσμα επικοινωνίας αποστάσεως σε ένα μεγάλο αριθμό άλλων πλεονεκτημάτων για WPAN εφαρμογές. Τα UWB σήματα λειτουργούν κάτω από το δάπεδο του θορύβου, παρέχουν τη μεγαλύτερη ασφάλεια, τους χαμηλότερους κινδύνους για την υγεία RF και τις χαμηλότερες παρεμβολές σε άλλα συστήματα που επιτρέπει τη συνύπαρξη με την τρέχουσα στενής και ευρείας ζώνης συστημάτων.

## **6.3 Τυποποίηση και Προκλήσεις του UWB για WPAN**

Παρά το γεγονός ότι οι UWB τεχνολογίες είναι ελκυστικές για WPAN εφαρμογές, υπάρχουν η τυποποίηση και τα τεχνικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

### **6.3.1 Θέματα Τυποποίησης**

Η ομάδα εργασίας IEEE 802.15.3a είναι υπεύθυνη για το WPAN υψηλής ταχύτητας PHY τυποποίησης. Το μονοπάτι της υψηλής ταχύτητας τυποποίησης WPAN είναι σκληρή. Λόγω του αδιεξόδου μεταξύ των δύο εφαρμογών UWB, δηλαδή την άμεση ακολουθία UWB (DS-UWB) και την multiband ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας UWB (MB-OFDM UWB), η ομάδα εργασίας IEEE 802.15.3a επίσημα διαλύθηκε το 2006. Από τότε, ένα σίγουρο πρότυπο για υψηλής ταχύτητας WPAN έχει προκύψει με τη μορφή της UWB WiMedia Συμμαχίας (WiMedia 2009). Ωστόσο, η WiMedia Συμμαχία ανακοίνωσε το Μάρτιο του 2009 ότι όλες οι προδιαγραφές που αφορούν τη UWB WiMedia Συμμαχία θα μεταφερθούν στην Bluetooth Ομάδα Ειδικού Ενδιαφέροντος (SIG), στο Wireless Group Διοργανωτή USB και στη θύρα USB υλοποίησης Forum. Μια τέτοια κίνηση έχει μεγάλες επιπτώσεις για τις προδιαγραφές και την εγκατάσταση του ασύρματου USB, του Bluetooth και τα άλλα συστήματα WPAN.

Παρά το γεγονός ότι η τυποποίηση από UWB τεχνολογία αντιμετωπίζει πάρα πολλά προβλήματα (συμπεριλαμβανομένης της Intel που έχει σταματήσει την ανάπτυξη από UWB, που λείπει από την τεχνολογία UWB σε Bluetooth 3.0/4.0, ο έντονος ανταγωνισμός από άλλες WPANs που δραστηριοποιούνται στα 60 GHz χωρίς άδεια ζώνης κλπ), το UWB έχει αποδειχθεί ότι είναι μια αποτελεσματική τεχνολογία για μικρής εμβέλειας μετάδοση υψηλής ταχύτητας δεδομένων μεταξύ συσκευών.

### **6.3.2 Προκλήσεις**

#### **6.3.2.1 Σχεδιασμός του Συστήματος**

Όταν το MB-OFDM UWB χρησιμοποιείται (π.χ. UWB WiMedia Συμμαχία), η συνολική ισχύς μετάδοσης του σήματος UWB κατανέμεται επί πολλά εξαρτήματα πολλών τροχιών. Αυτά τα στοιχεία είναι διαφορετικά και πολλαπλασιαστικά τα οποία πάσχουν από διαφορετική συχνότητα επιλεκτική εξασθένιση στρεβλώσεις. Για να εξαλειφθεί αποτελεσματικά η επίδραση της εξασθένισης πολλαπλών διαδρομών, η ακριβής εκτίμηση καναλιού και ο συγχρονισμός είναι απαραίτητα. Η επιλογή των τεχνικών διαμόρφωσης για το UWB επηρεάζει επίσης, τη μετάδοση και τη λήψη ρεύματος, το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και το bit error rate. Δημοφιλείς τεχνικές διαμόρφωσης για UWB περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση παλμών θέσης (PPM) και τη διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (PSK). Τελευταίο, αλλά όχι λιγότερο σημαντικό, οι επιπτώσεις της παρεμβολής πολλαπλών χρηστών (MAI) στην απόδοση του συστήματος.

#### **6.3.2.2 Ευρείας Ζώνης Σχεδιασμοί RF**

Οι Διακριτικές κεραιές που μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά κάτω από διαφορετικές συνθήκες διάδοσης αναμένονται σε όλα τα εμπορικά συστήματα UWB. Λόγω της φύσης των UWB σημάτων (πολύ μεγάλο εύρος ζώνης), ο σχεδιασμός και η υλοποίηση των ευρυζωνικών συστημάτων RF (π.χ. κεραία και ενισχυτή) είναι πολύ δύσκολο. Ζητήματα που σχετίζονται με το σχεδιασμό RF περιλαμβάνουν αντιστοίχιση με σύνθετης αντίστασης, διαγράμματα ακτινοβολίας, ενεργειακή απόδοση, το κόστος και το μέγεθος. Πρόσφατα, η χρήση των πολλαπλών εισόδων και των πολλαπλών εξόδων (MIMO) σε χαμηλού κόστους καταναλωτικά προϊόντα (π.χ. IEEE 802.11n πρότυπο Wi-Fi) έχει λάβει πολλή προσοχή. Η χρήση της τεχνολογίας MIMO σε UWB μπορεί να αυξήσει περαιτέρω την ταχύτητα δεδομένων και να ενισχύσει την ικανότητα απόρριψης παρεμβολών.

#### **6.3.2.3 Κατανάλωση Ενέργειας και Διάρκεια Ζωής της μπαταρίας**

Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι σημαντικοί παράμετροι για όλες τις φορητές ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία (ειδικά για τα καταναλωτικά προϊόντα). Ωστόσο, το υλικό και η πολυπλοκότητα του λογισμικού παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση ενέργειας. Μία σύνθεση κωδικοποίησης και τεχνικές διαμόρφωσης απαιτούν γρήγορη επεξεργαστική ισχύ του σήματος, η οποία μπορεί να αυξήσει την κατανάλωση ενέργειας των συσκευών. Παρά το γεγονός αυτό, οι UWB συσκευές έχουν τη δυνατότητα που μπορεί να επιτύχουν ακόμα και τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας (ανά Mbps).

Ο πίνακας 6 συγκρίνει τα χαρακτηριστικά ισχύος των IEEE 802.11g, IEEE 802.11n και UWB WiMedia Συμμαχίας για συσκευές (Aiello 2008).

Τεχνολογία	Εμβέλεια	Διεκπεραιωτικότητα	Ισχύς
IEEE 802.11g	> 50 m	20 - 30 Mbps	15 - 20 mW/Mbps
IEEE 802.11n	> 50 m	> 100 Mbps	6 - 7 mW/ Mbps
WiMedia Alliance's UWB	< 10 m	> 100 Mbps	1 mW/ Mbps

Πίνακας 6

## 6.4 Η πιο πρόσφατη Ανάπτυξη Υψηλών Ταχυτήτων WPANs

### 6.4.1 Ασύρματα USB ( WUSB )

Η Θύρα ενιαίου σειριακού διαύλου ( Universal Serial Bus , USB ) σχεδιάστηκε αρχικά για τους προσωπικούς υπολογιστές, αλλά τώρα έχει γίνει το πιο δημοφιλές εκ των πραγμάτων πρότυπο για τη σύνδεση περιφερειακών ή συσκευές ( π.χ. ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, σαρωτές, εξωτερικοί σκληροί δίσκοι, κ.λπ). Μετά τη σύσταση του Ομίλου Διοργανωτή Wireless USB τον Φεβρουάριο του 2004 , η πιστοποιημένη για Ασύρματα USB ( WUSB ) προδιαγραφή 1.0 κυκλοφόρησε τον Μάιο του 2005. Το WUSB μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ασύρματο USB όπου η εφαρμογή του έχει σχεδιαστεί για να παρέχει υψηλής ταχύτητας ασύρματες συνδέσεις μεταξύ των συσκευών και η επίτευξη του ρυθμού των δεδομένων των 110 Mbps (έως 10 μέτρα) και 480 Mbps (μέχρι 3 μέτρα). Το WUSB είναι συμβατό με το ενσύρματο USB. Παρά το γεγονός ότι ο Όμιλος Διοργανωτής Wireless USB προτιμά να χρησιμοποιεί «πιστοποιημένα για Wireless USB» με τον όρο να διακρίνει άλλες ασύρματες εφαρμογές του USB, πιστοποιημένα για Ασύρματα USB συχνά αναφέρεται ως Wireless USB ή WUSB. Τα Εμπορικά WUSB προϊόντα 1.0 είναι διαθέσιμα στην αγορά από το 2007. Ο πίνακας 7 συνοψίζει την ταχύτητα δεδομένων των μεγάλων προτύπων USB.

Προδιαγραφές USB	Ημερομηνία έκδοσης	Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων
USB 1.0	Ιανουάριος 1996	1.5 Mbps (χαμηλή ταχύτητα) 12 Mbps (υψηλή ταχύτητα)
USB 1.1	Σεπτέμβριος 1998	
USB 2.0 (Hi-Speed USB)	Απρίλιος 2000	480 Mbps
USB 3.0 (Super-Speed USB)	Νοέμβριος 2008	5 Gbps
Wireless USB 1.0	Μάιος 2005	480 Mbps (μέχρι 2 μέτρα) 110 Mbps (μέχρι 10 μέτρα)
Wireless USB 1.1	Σεπτέμβριος 2010	

Πίνακας 7: Σημαντικά πρότυπα USB

Το WUSB βασίζεται στην MB-OFDM UWB πλατφόρμα ραδιοφώνου της WiMedia Συμμαχίας UWB και έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί στη ζώνη από 3.1 έως 10.6 GHz συχνότητας. Η προδιαγραφή WUSB 1.1 κυκλοφόρησε τον Σεπτέμβριο του 2010 και έχει επεκτείνει την υποστήριξη UWB ανώτερης ζώνης για συχνότητες από 6 GHz και πάνω ( WUSB 2010 ).

## 6.4.2 Bluetooth

Το Bluetooth v1.0 ανακοινώθηκε από την Bluetooth Ομάδα Ειδικού Ενδιαφέροντος (SIG) το Μάιο του 1998. Το Bluetooth έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί στη ζώνη των 2.4 GHz ISM, αντί για τη ζώνη του UWB. Το Bluetooth v1.1 και v1.2 κυρώθηκαν ως IEEE 802.15.1 - 2002 και IEEE 802.15.1 - 2005, αντίστοιχα. Το Bluetooth v2.1 που εγκρίθηκε το 2007 προβλέπει ένα ρυθμό δεδομένων των 2.1 Mbps. Ο πίνακας 8 συνοψίζει τις βασικές προδιαγραφές που εγκρίθηκαν στο Bluetooth (Bluetooth 2010).

Προδιαγραφές Bluetooth	Ημερομηνία έκδοσης	Ταχύτητα δεδομένων
Bluetooth v1.0a	26 Ιούλιος 1999	721.2 kbps
Bluetooth v1.0B	01 Δεκέμβριος 1999	
Bluetooth v1.1 (IEEE 802.15.1-2002)	22 Φεβρουάριος 2001	
Bluetooth v1.2 (IEEE 802.15.1-2005)	05 Νοέμβριος 2003	
Bluetooth v2.0 + EDR	04 Νοέμβριος 2004	2.1 Mbps
Bluetooth v2.1 + EDR	26 Ιούλιος 2007	
Bluetooth v3.0 + HS	21 Απρίλιος 2009	24 Mbps
Bluetooth v4.0	30 Ιούνιος 2010	

Πίνακας 8 : Έγκριση προδιαγραφών του πυρήνα Bluetooth

Τον Μάρτιο του 2006, το Bluetooth SIG ανακοίνωσε την επιλογή της UWB τεχνολογίας της WiMedia Συμμαχίας για την ένταξη με την ασύρματη τεχνολογία Bluetooth. Η πιο σημαντική βελτίωση στις αρχικά προγραμματιζόμενες προδιαγραφές Bluetooth v3.0 ήταν η υιοθέτηση της MB-OFDM UWB τεχνολογίας της WiMedia Συμμαχίας που παρέχει ένα μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων των 480 Mbps. Δυστυχώς, η UWB τεχνολογία λείπει από την τελική προδιαγραφή 3.0 που κυκλοφόρησε τον Απρίλιο του 2009, λόγω της μεταφοράς της τεχνολογίας WiMedia σε άλλες SIGs. Το τελικό Bluetooth v3.0 παρέχει ένα μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 24 Mbps μέσω της χρήσης μιας νέας υψηλής ταχύτητας τεχνολογία. Τον Ιούνιο του 2010, το Bluetooth SIG κυκλοφόρησε, επίσης, τις προδιαγραφές Bluetooth v4.0. Δύο μορφές της ασύρματης τεχνολογίας συστημάτων εγκρίθηκε στο Bluetooth v4.0, δηλαδή του Βασικού Ρυθμού (BR) και της Χαμηλής Ενέργειας (LE). Το σύστημα περιλαμβάνει προαιρετικά BR Ενισχυμένο Ρυθμό δεδομένων (EDR) Αναπληρωματικό MAC στρώμα PHY επεκτάσεων. Το σύστημα BR παρέχει τρεις διαφορετικές ταχύτητες δεδομένων 721.2 kbps (BR), 2.1 Mbps (EDR) και έως 24 Mbps (υψηλής ταχύτητας, HS). Η τεχνολογία HS παρέχει την καλύτερη βελτιστοποίηση δύναμης, την καλύτερη ασφάλεια, τον βελτιωμένο έλεγχο ενέργειας και το χαμηλότερο ποσοστό λανθάνουσας κατάστασης. Το σύστημα LE είναι σχεδιασμένο για τα προϊόντα που απαιτούν χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, χαμηλότερη πολυπλοκότητα, χαμηλότερα ποσοστά δεδομένων, χαμηλότεροι κύκλοι λειτουργίας και χαμηλότερο κόστος από το BR / EDR. Σύμφωνα με τη μέγιστη ισχύ, οι συσκευές Bluetooth χωρίζονται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες, όπως απεικονίζεται στον πίνακα 9 (Bluetooth 2010).

Κατηγορία Ισχύος	Μέγιστη Ισχύς	Εύρος Επικοινωνίας
1	100 mW ( 20 dBm )	~ 100 meters
2	2.5 mW ( 4 dBm )	~ 10 meters
3	1 mW ( 0 dBm )	~ 1 meter

Πίνακας 9 : Ισχύς κατηγοριών των συσκευών Bluetooth

### 6.4.3 TransferJet

Το TransferJet είναι μια άμεση εγγύτητα ασύρματη τεχνολογία μεταφοράς που αναπτύχθηκε από τη Sony και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στο σόου Consumer Electronics το 2008 στο Λας Βέγκας (TransferJet 2008). Η τεχνολογία TransferJet είναι πολύ διαφορετική από τις άλλες τεχνολογίες WPAN που απασχολούν ηλεκτρο - μαγνητικό πεδίο ακτινοβολίας (π.χ. της UWB WiMedia Συμμαχίας). Το TransferJet, από την άλλη πλευρά, έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με διαμήκη επαγωγής ηλεκτρικά πεδία (TransferJet 2010). Είναι λειτουργικό στην UWB ζώνη και μπορεί να επιτύχει μια ταχύτητα δεδομένων των 560 Mbps (μέχρι 3 cm) με μία ισχύς μετάδοσης κάτω από -70 dBm / MHz. Βασισμένο σε συνθήκες καναλιού, το TransferJet είναι σε θέση να καθορίζει και να λαμβάνει την πιο κατάλληλη ταχύτητα δεδομένων για μετάδοση από μόνη της. Η Sony έχει επίσης αναπτύξει ένα νέο στοιχείο κεραίας για το TransferJet ονομάζεται "TransferJet Coupler" που αποτελείται από ένα ηλεκτρόδιο ζεύξης, ένα συντονιζόμενο απόκομμα και τη γείωση. Δεδομένου ότι το TransferJet είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί σε εγγύς πεδίο, το οποίο είναι ένα μη-πολωμένο πεδίο, οι συσκευές δεν απαιτούνται να είναι επακριβώς προσανατολισμένες για την αρχικοποίηση των επικοινωνιών (TransferJet 2008). Η μεταφορά δεδομένων μπορεί να αρχικοποιηθεί απλά αγγίζοντας την συσκευή μετάδοσης με τη συσκευή λήψης.

Υπάρχει ένας αριθμός πλεονεκτημάτων από πολύ μικρή απόσταση επικοινωνίας ( μέσα σε λίγα εκατοστά ) σε TransferJet. Πρώτον, η πολύ μικρή απόσταση επικοινωνίας σχεδόν εξαλείφει τις επιπτώσεις των πολλαπλών εξασθενίσεων και της σκίασης που συνήθως υπάρχουν σε άλλες WPANs. Επίσης, μειώνει την παρεμβολή με άλλα συστήματα και την ευκαιρία για την μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε TransferJet συσκευές με δυνατότητα. Επιπλέον, η μικρή απαίτηση ισχύος μπορεί να παρατείνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.



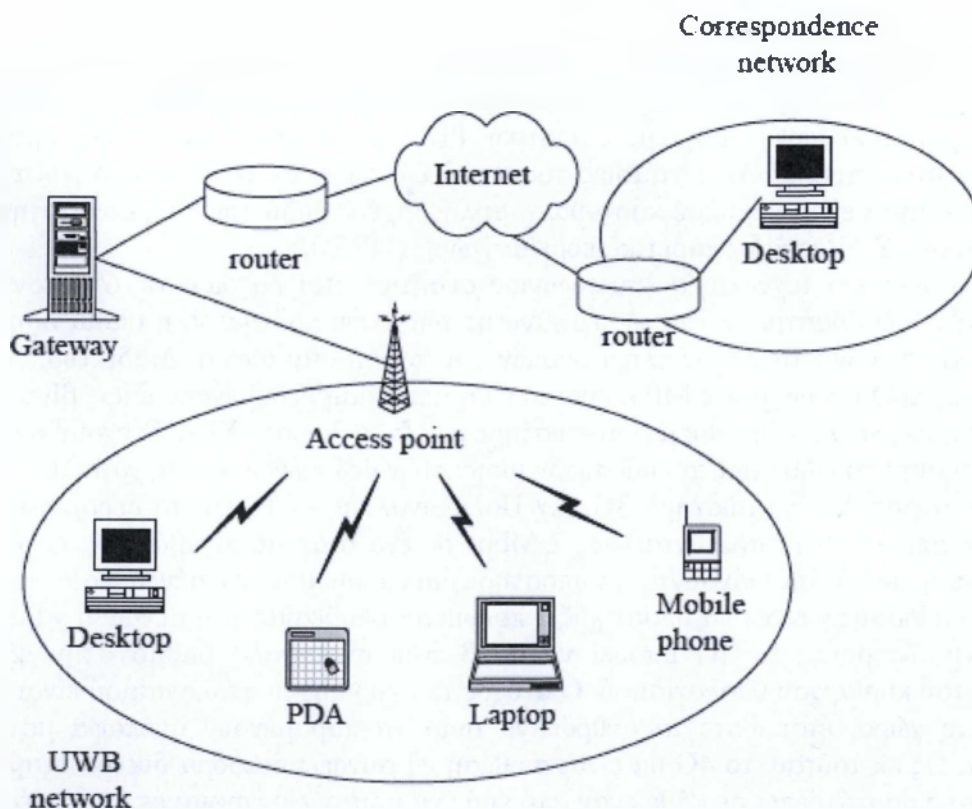
## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι να εξεταστούν οι εμπλεκόμενες τεχνικές παράμετροι στον σχεδιασμό των συστημάτων κινητής επικοινωνίας, οι οποίες υιοθετούν την τεχνολογία Ultra wideband καθώς και τη μελέτη και την εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής.

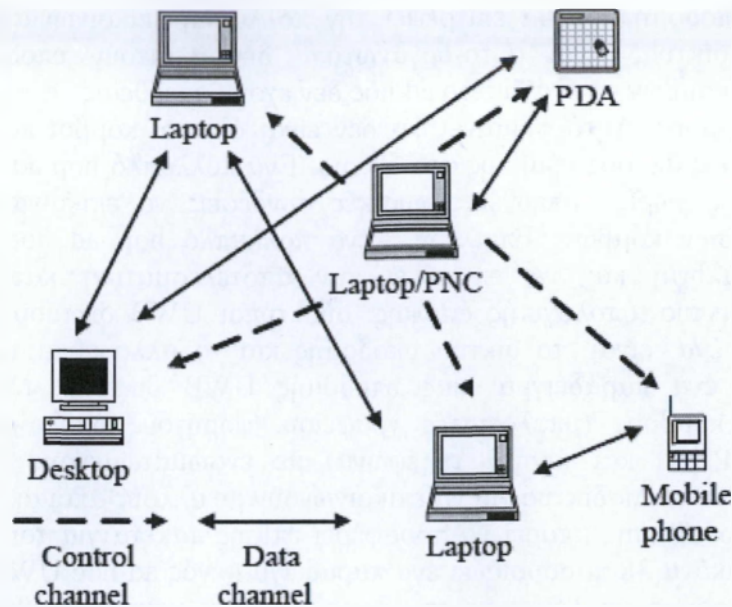
Η τεχνική για την παραγωγή μιας εξαιρετικά ευρείας ζώνης (UWB) σήματος έχει υπάρξει για περισσότερο από τρεις δεκαετίες, η οποία είναι περισσότερο γνωστή για την κοινότητα ραντάρ ως φορέας βασικής ζώνης λιγότερο σύντομων παλμών. Ένας κλασικός τρόπος για να παράγει ένα σήμα UWB είναι να διαδώσει τα δεδομένα μ' έναν κωδικό για ένα πολύ μεγάλο κέρδος επεξεργασίας, δηλαδή 50 έως 60 dB, με αποτέλεσμα σ' ένα εύρος ζώνης να μεταδίδεται αρκετά GHz. Καθώς η φασματική πυκνότητα ισχύος του σήματος UWB είναι εξαιρετικά χαμηλή, το μεταδιδόμενο σήμα εμφανίζεται ως αμελητέος λευκός θόρυβος για άλλα συστήματα. Με όλο το φάσμα γεμάτο, η διαβίβαση των δεδομένων ως ένα θόρυβο σαν σήμα μπορεί να θεωρηθεί ένα βασικό πλεονέκτημα για τα συστήματα UWB. Επιπλέον, ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του μεγάλου εύρους ζώνης για τους UWB παλμούς είναι η βελτιωμένη χωρητικότητα καναλιού. Όπως προκύπτει από την εξίσωση των Hartley-Shannon, η χωρητικότητα καναλιού C αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση του εύρους ζώνης B. Συνεπώς, με μερικά GHz εύρους ζώνης διαθέσιμα για UWB σήματα, αναμένεται ένας ρυθμός δεδομένων της τάξης των gigabits ανά δευτερόλεπτο (Gbps). Ωστόσο, λόγω του πρόσφατου περιορισμού εκπομπής UWB σημάτων από την FCC, αυτός ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων επιτυγχάνεται σε μικρή εμβέλεια, έως 10 m. Αυτό καθιστά τα UWB συστήματα τέλειους υποψήφιους για μικρής εμβέλειας υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων ασύρματες εφαρμογές, όπως τα WPANs (Wireless Personal Area Networks). Η εξίσωση των Hartley-Shannon για τη μέγιστη χωρητικότητα καναλιού δείχνει επίσης ότι η χωρητικότητα καναλιού εξαρτάται μόνο λογαριθμικά από τη σηματοθορυβική σχέση ( SNR ). Επομένως, τα UWB τηλεπικοινωνιακά συστήματα ενδέχονται να λειτουργούν σε κανάλια με χαμηλό SNR και παρόλα αυτά να προσφέρουν υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ως αποτέλεσμα του μεγάλου εύρους ζώνης τους. Με τόσο χαμηλή ισχύ εκπομπής, ο “ωτακουστής” πρέπει να βρίσκεται πολύ κοντά στον πομπό (περίπου 1 m) για να μπορεί να ανιχνεύσει τη μεταδιδόμενη πληροφορία. Επιπλέον, οι UWB παλμοί διαμορφώνονται στο χρόνο με κώδικες μοναδικούς για κάθε ζεύγος πομπού / δέκτη. Η χρονική διαμόρφωση εξαιρετικά στενών παλμών προσδίδει περισσότερη ασφάλεια στην UWB εκπομπή, αφού η ανίχνευση παλμών διάρκειας της τάξης των picoseconds χωρίς να γνωρίζουμε πότε θα φτάσουν είναι σχεδόν αδύνατη. Επομένως, τα UWB συστήματα υπόσχονται την επίτευξη υψηλής ασφάλειας επικοινωνιών με μικρή πιθανότητα παρεμπόδισης και ανίχνευσης (low probability of intercept and detection, LPI/D). Το φαινόμενο των πολλαπλών οδεύσεων είναι αναπόφευκτο σε ασύρματα τηλεπικοινωνιακά κανάλια. Προκαλείται από τις πολλαπλές ανακλάσεις του εκπεμπόμενου σήματος σε διάφορες επιφάνειες, όπως κτίρια, δέντρα και ανθρώπους. Παρόλο που η μικρή διάρκεια των UWB παλμών, τους καθιστά λιγότερο ευαίσθητους στις επιδράσεις του φαινομένου των πολλαπλών οδεύσεων συγκριτικά με τους παλμούς στενής ζώνης, αυτό δε σημαίνει ότι οι UWB επικοινωνίες είναι απολύτως ασφαλείς από την παραμόρφωση λόγω των πολλαπλών διαδρομών. Σε αντίθεση με τα στενής ζώνης, τα UWB συστήματα μπορούν να διεισδύουν αποτελεσματικά σε διάφορα υλικά. Οι χαμηλές συχνότητες που περιλαμβάνονται στο ευρύ UWB φάσμα αντιστοιχούν σε μεγάλα μήκη κύματος, κάτι που επιτρέπει στα UWB σήματα να διεισδύουν σε πολλά υλικά συμπεριλαμβανομένων και τοίχων. Αυτή η ιδιότητα κάνει την UWB τεχνολογία κατάλληλη για επικοινωνίες διά μέσου τοίχων ( through - the - wall communications ) και για ραντάρ διείσδυσης στο έδαφος (ground -penetrating radars, GPR). Ωστόσο, η ιδιότητα διεισδυτικότητας των UWB σημάτων είναι χρήσιμη μόνο όταν επιτρέπεται να εκπέμπονται στις χαμηλές συχνότητες του ραδιοφάσματος. Η απαίτηση ισχύος της FCC στα  $-41.3$  dBm/MHz ή ισοδύναμα στα  $75$  nW/MHz για τα UWB συστήματα, τα κατατάσει στην κατηγορία των αυθόρμητων ακτινοβολητών (unintentional radiators), όπως π.χ. οι τηλεοράσεις.

Αυτός ο περιορισμός ισχύος επιτρέπει στα UWB σήματα να παραμένουν κάτω από το επίπεδο θορύβου ενός τυπικού δέκτη στενής ζώνης και τους δίνει τη δυνατότητα να συνυπάρχουν με τα ήδη υπάρχοντα ραδιοσήματα με ελάχιστη ή καθόλου μεταξύ τους παρεμβολή. Βεβαίως, όλα αυτά εξαρτώνται από τον τύπο της διαμόρφωσης ( modulation ) που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων σ' ένα UWB σύστημα. Η UWB εκπομπή γίνεται χωρίς τη χρήση φέροντος, που σημαίνει ότι τα δεδομένα δε διαμορφώνουν κάποια συνεχή κυματομορφή με συγκεκριμένη συχνότητα φέροντος, όπως στις στενής και ευρείας ζώνης τεχνολογίες. Η απαλλαγμένη φέροντος εκπομπή προϋποθέτει λιγότερες RF συνιστώσες απ' ότι η εκπομπή με χρήση φέροντος. Γι' αυτό το λόγο, η δομή του UWB ζεύγους πομπού/ δέκτη είναι σημαντικά πιο απλή και επομένως φθηνότερη. Μερικές από τις σημαντικότερες δυσκολίες των UWB επικοινωνιών αναφέρθηκαν επίσης, στην παρούσα πτυχιακή εργασία. Τα χαρακτηριστικά εκπομπής των UWB παλμών είναι πιο σύνθετα από τα αντίστοιχα των συνεχών στενής ζώνης ημιτονοειδών κυματομορφών. Ένα στενής ζώνης σήμα παραμένει ημιτονοειδές συνεχώς στο κανάλι μετάδοσης. Αντίθετα, οι ασθενείς και χαμηλής ισχύος UWB παλμοί μπορούν να παραμορφωθούν σημαντικά. Στα στενής ζώνης σήματα, η αλλαγή της συχνότητας ελάχιστα μεταβάλλει τη λαμβανόμενη ισχύ και έτσι, μπορεί να παραβλεφθεί. Όμως, λόγω του μεγάλου εύρους συχνοτήτων που καταλαμβάνεται από το UWB φάσμα, η λαμβανόμενη ισχύς αλλάζει δραματικά με αποτέλεσμα να παραμορφώνει το σχήμα του παλμού. Αυτό περιορίζει τη λειτουργία των UWB δεκτών που συσχετίζουν το λαμβανόμενο παλμό με μια προκαθορισμένη μορφή όπως ένα τυπικό προσαρμοσμένο φίλτρο. Ο συγχρονισμός στο χρόνο είναι μια πλούσια περιοχή έρευνας στα UWB τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Όπως με οποιοδήποτε άλλο τηλεπικοινωνιακό σύστημα, ο συγχρονισμός στο χρόνο μεταξύ πομπού και δέκτη είναι επιτακτικός στα UWB συστήματα. Όμως, η δειγματοληψία και ο συγχρονισμός παλμών διάρκειας των nanoseconds θέτει σοβαρό περιορισμό στο σχεδιασμό των UWB συστημάτων. Προκειμένου να δειγματοληψήσουμε αυτούς τους στενούς παλμούς, χρειάζονται πολύ γρήγορες μετατροπές αναλογικού σε ψηφιακό ( της τάξης των gigahertz ). Επιπλέον, οι αυστηροί περιορισμοί ισχύος και η μικρή χρονική διάρκεια των παλμών καθιστούν τη λειτουργία των UWB συστημάτων εξαιρετικά ευαίσθητη σε λάθη συγχρονισμού. Αυτό αποτελεί κρίσιμο θέμα για την επιτυχία των δεκτών διαμόρφωσης θέσης παλμών ( pulse-position modulation, PPM), που βασίζονται στην ανίχνευση της ακριβούς θέσης του λαμβανόμενου σήματος. Η εκτίμηση καναλιού είναι βασικό θέμα για τη σχεδίαση του δέκτη στα ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Επειδή είναι αδύνατη η μέτρηση κάθε ασύρματου καναλιού στο χώρο, είναι σημαντικό να χρησιμοποιήσουμε πιλοτικές αλληλουχίες για την εκτίμηση των παραμέτρων του καναλιού, π.χ. εξασθενήσεις και καθυστερήσεις της διαδρομής διάδοσης. Δεδομένου ότι οι περισσότεροι UWB δέκτες συσχετίζουν το λαμβανόμενο σήμα με ένα σήμα προκαθορισμένης μορφής, η εκ των προτέρων γνώση των παραμέτρων του ασύρματου καναλιού είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη της μορφής του προκαθορισμένου σήματος που προσαρμόζεται στο λαμβανόμενο. Ωστόσο, ως αποτέλεσμα του μεγάλου εύρους ζώνης και της μειωμένης ισχύος του σήματος, οι UWB παλμοί υφίστανται σοβαρή παραμόρφωση. Έτσι, η εκτίμηση καναλιού στα UWB τηλεπικοινωνιακά συστήματα γίνεται πολύ περίπλοκη. Σε ένα πολλαπλών χρηστών ( multiuser ) ή πολλαπλής πρόσβασης τηλεπικοινωνιακό σύστημα, διάφοροι χρήστες ή συσκευές αποστέλλουν πληροφορία ανεξάρτητα και ταυτόχρονα σε ένα κοινό μέσο διάδοσης ( όπως ο αέρας στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες ). Στο σημείο λήψης, ένας ή περισσότεροι δέκτες πρέπει να είναι σε θέση να ξεχωρίζουν τους χρήστες και να ανιχνεύουν την πληροφορία από τον κατάλληλο χρήστη. Η παρεμβολή από άλλους χρήστες αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τη χωρητικότητα του καναλιού και τη λειτουργία τέτοιων δεκτών. Η πρόσθεση της παρεμβολής πολλαπλής πρόσβασης στον αναπόφευκτο θόρυβο καναλιού και στην παρεμβολή στενής ζώνης μπορεί να υποβαθμίσει σημαντικά της χαμηλής ισχύος UWB παλμούς και να κάνει τη διαδικασία ανίχνευσης πολύ δύσκολη.

Ένα δίκτυο οφείλει να επιτρέψει επικοινωνίες δεδομένων πέρα από το σύνδεσμο επικοινωνίας σημείο προς σημείο. Ορισμένα δίκτυα, ονομάζονται με βάση την υποδομή δικτύων, βασίζονται στην προϋπάρχουσα υποδομή που θα επιτρέψει την πολλαπλή επικοινωνία hop. Άλλα δίκτυα, ονομάζονται ad hoc δίκτυα, είναι αυτο-οργανωτικά, δεν απαιτούν υποδομές. Υπό πολλές περιπτώσεις, τα κινητά κόμβων σε ένα δίκτυο ad hoc δεν έχουν απευθείας φυσικές συνδέσεις με όλους τους άλλους κόμβους. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι όλοι οι κόμβοι που βρίσκονται εντός εμβέλειας από όλους τους άλλους κόμβους στο δίκτυο. Ένα πολλαπλό hop ad hoc δίκτυο δίνει τη δυνατότητα σε κόμβους χωρίς απευθείας φυσικές συνδέσεις να επικοινωνούν μέσω ενός ή περισσότερων ενδιάμεσων κόμβων. Επιπλέον, ένα πολλαπλό hop ad hoc δίκτυο μπορεί να επεκταθεί με ραδιοκάλυψη και να επιτρέψει την αποτελεσματική κατανομή των πόρων ραδιοφώνου. Από ένα δίκτυο τοπολογικής άποψης, δύο τύποι UWB δικτύου γενικά θεωρούνται πρακτικά σενάρια. Το ένα είναι το δίκτυο υποδομής και το άλλο είναι το δίκτυο ad hoc. Η Εικόνα 37 δείχνει ένα παράδειγμα μιας υποδομής UWB δικτύου. Μέσω ενός σημείου πρόσβασης, κινητούς κόμβους (υπολογιστές γραφείου, φορητούς υπολογιστές, προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (PDA) και κινητά τηλέφωνα) με ενσωματωμένους UWB πομποδέκτες μπορούν να συνδεθούν με το Διαδίκτυο για να επικοινωνούν με άλλους απομακρυσμένους χρήστες. Επιπλέον, το σημείο πρόσβασης μπορεί να προσφέρει επίσης πακέτα για τους κόμβους στο ίδιο δίκτυο UWB. Ενώ η Εικόνα 38 παρουσιάζει ένα παράδειγμα ενός ad hoc UWB δικτύου. Από ένα ad hoc δίκτυο θα μπορούσε να λειτουργήσει χωρίς να θέτει κανένα σταθμό βάσης ή σημείο πρόσβασης εκ των προτέρων, οι άνθρωποι είναι σε θέση να μοιραστούν τα μεγάλα αρχεία ή να έχουν υψηλής ποιότητας βίντεο εύκολα σε μια μικρή περιοχή.



Εικόνα 37 : Ένα παράδειγμα μιας υποδομής UWB δικτύου



Εικόνα 38 : Ένα παράδειγμα ενός ad hoc δικτύου UWB

Τα δίκτυα αυτά προορίζονται κατά κύριο λόγο για να αντικαταστήσουν τις άβολες ενσύρματες συνδέσεις με ασύρματες συνδέσεις. Έτσι, η ανάγκη για καλώδια και τις αντίστοιχες συνδέσεις μεταξύ κινητών τηλεφώνων, μόντεμ, ακουστικά, PDA, υπολογιστές, εκτυπωτές, προβολείς, σημεία πρόσβασης στο δίκτυο και άλλες τέτοιες συσκευές εξαλείφονται. Οι κύριοι οδηγοί της τεχνολογίας για τα δίκτυα αυτά είναι χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος ραδιόφωνα με δυνατότητες δικτύωσης, όπως Bluetooth, ZigBee και εξαιρετικά ευρείας ζώνης (UWB).

Σήμερα, η ασύρματη τεχνολογία επικοινωνίας αναπτύσσεται ραγδαία σε όλο τον κόσμο και το τοπίο της αλλάζει δραστικά λόγω της εμφάνισης των νέων προτύπων, η οποία οδηγείται από την ταχεία ανάπτυξη των υπηρεσιών πληροφοριών που παρέχονται από το Διαδίκτυο, για παράδειγμα, οι εφαρμογές πολυμέσων όπως MP3, ευρυζωνική μετάδοση δεδομένων, ιδίως βίντεο. Μερικά ήδη υπάρχοντα ή υπό ανάπτυξη ασύρματων συστημάτων (π.χ. 3G και WLAN) έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίξει αυτό το είδος των πολυμεσικών υπηρεσιών δεδομένων και τη χαμηλή μετάδοση βίντεο υψηλής ποιότητας. Σε ένα σύστημα 3G, π.χ. Πολυκαναλικά – CDMA, τα δεδομένα των ποσοστών του χρήστη μπορούν να παρέχονται έως 2 Mbps σε ένα στάσιμο περιβάλλον, ενώ στο εξωτερικό ενός κτιρίου ή ειδικά όταν κινούνται οι υποστηριζόμενοι ρυθμοί δεδομένων θα είναι μικρότεροι. Η ικανότητα απόδοσης μπορεί να υποστηρίξει πολυμέσα υπηρεσίας δεδομένων ή χαμηλής ποιότητας βίντεο συνεχούς ροής. Το 4G μπορεί να προβλέψει σε μεγάλο βαθμό στην εξέλιξη και την προώθηση του κυρίαρχου υπολογισμού. Ο στόχος του κυρίαρχου υπολογισμού είναι να συνδεθεί με κάθε δυνατό χώρο, έτσι ώστε τα ανθρώπινα όντα να παραμένουν ανέπαφα με την ασύρματη τεχνολογία. Ως εκ τούτου, το 4G θα είναι σε θέση να συνδέει διάφορα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων μαζί, το οποίο θα επιτρέπει σε κάθε έναν από εμάς να μεταφέρει ψηφιακές συσκευές, ακόμη και σε διασκορπισμένα σημεία. Οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων σε όλο τον κόσμο θα είναι σε θέση να αναπτύξουν ασύρματα δίκτυα πλέγματος και να κάνουν χρήση της τεχνολογίας γνωστικών ραδιοφώνων για την ευρεία κάλυψη και πρόσβαση.

Παρά το γεγονός ότι οι UWB τεχνολογίες είναι ελκυστικές για WPAN εφαρμογές, υπάρχουν κάποια τεχνικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Όταν η multiband ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας UWB χρησιμοποιείται (π.χ. UWB WiMedia Συμμαχία), η συνολική ισχύς μετάδοσης του σήματος UWB κατανέμεται επί πολλά εξαρτήματα πολλών τροχιών. Αυτά τα στοιχεία είναι διαφορετικά και πολλαπλασιαστικά τα οποία πάσχουν από διαφορετική συχνότητα επιλεκτική εξασθένηση στρεβλώσεις. Για να εξαλειφθεί αποτελεσματικά η επίδραση της εξασθένησης πολλαπλών διαδρομών, η ακριβής εκτίμηση καναλιού και ο συγχρονισμός είναι απαραίτητα. Η επιλογή των τεχνικών διαμόρφωσης για το UWB επηρεάζει επίσης, τη μετάδοση και τη λήψη ρεύματος, το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και το bit error rate. Δημοφιλής τεχνικές διαμόρφωσης για UWB περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση παλμών θέσης (PPM) και τη διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (PSK). Τελευταίο, αλλά όχι λιγότερο σημαντικό, οι επιπτώσεις της παρεμβολής πολλαπλών χρηστών ( MAI ) στην απόδοση του συστήματος. Οι Διακριτικές κεραίες που μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά κάτω από διαφορετικές συνθήκες διάδοσης αναμένονται σε όλα τα εμπορικά συστήματα UWB. Λόγω της φύσης των UWB σημάτων ( πολύ μεγάλο εύρος ζώνης ), ο σχεδιασμός και η υλοποίηση των ευρυζωνικών συστημάτων RF (π.χ. κεραία και ενισχυτή) είναι πολύ δύσκολο. Ζητήματα που σχετίζονται με το σχεδιασμό RF περιλαμβάνουν αντιστοίχιση με σύνθετης αντίστασης, διαγράμματα ακτινοβολίας, ενεργειακή απόδοση, το κόστος και το μέγεθος. Πρόσφατα, η χρήση των πολλαπλών εισόδων και των πολλαπλών εξόδων (MIMO) σε χαμηλού κόστους καταναλωτικά προϊόντα ( π.χ. IEEE 802.11n πρότυπο Wi-Fi ) έχει λάβει πολλή προσοχή. Η χρήση της τεχνολογίας MIMO σε UWB μπορεί να αυξήσει περαιτέρω την ταχύτητα δεδομένων και να ενισχύσει την ικανότητα απόρριψης παρεμβολών. Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι σημαντικοί παράμετροι για όλες τις φορητές ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία ( ειδικά για τα καταναλωτικά προϊόντα ). Ωστόσο, το υλικό και η πολυπλοκότητα του λογισμικού παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση ενέργειας. Μία σύνθεση κωδικοποίησης και τεχνικές διαμόρφωσης απαιτούν γρήγορη επεξεργαστική ισχύ του σήματος, η οποία μπορεί να αυξήσει την κατανάλωση ενέργειας των συσκευών. Παρά το γεγονός αυτό, οι UWB συσκευές έχουν τη δυνατότητα που μπορεί να επιτύχουν ακόμα και τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας (ανά Mbps).

Τέλος, όπως βλέπουμε από την εργασία, το μέλλον του UWB λοιπόν είναι πολλά υποσχόμενο, αλλά το πόσο θα εξελιχθεί η τεχνολογία αυτή θα εξαρτηθεί τελικά από την επιτροπή της Αμερικανικής Ομοσπονδιακής Επιτροπής Επικοινωνιών (FCC) και τις αποφάσεις της σχετικά με την τεχνολογία. Εάν η FCC συνεχίζει να επιτρέπει την πρόοδο του UWB, αυτό θα αποτελέσει το μέλλον της αγοράς ασύρματων τεχνολογιών. Έχει ήδη μπει στην καθημερινότητά μας, όπως για παράδειγμα είναι το WUSB και το 4G, γιατί ο καθένας ψάχνει σήμερα έναν γρηγορότερο και αποδοτικότερο τρόπο μετάδοσης δεδομένων, βίντεο ή φωνής. Η τεχνολογία UWB έχει τη δυνατότητα να αντικαταστήσει όλες τις συνδεδεμένες με καλώδιο και ασύρματες εφαρμογές που έχουμε σήμερα με μια γρηγορότερη και πιο αποτελεσματική ασύρματη τεχνολογία. Είναι εν ολίγοις, η απάντηση στην ασύρματη τεχνολογία του μέλλοντος.

## **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. W. Pam Siritwongpairat , K . J. Ray Liu , Wiley and Sons : “Ultra Wideband Communication Systems”, December 2007.
2. Jeffrey H. Reed Prentice Hall : “An Introduction to Ultra Wideband Communication Systems”, April 2005.
3. K. Fazel and S. Kaiser : “Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems From OFDM and MC- CDMA to LTE and WiMAX”, Second Edition 2008.
4. Jiangzhou Wang : “High-Speed Wireless Communications Ultra-wideband, 3G Long-Term Evolution, and 4G Mobile Systems”, 2008.
5. Kartik Patel, Zarna Padia and Darshan Modi : “4G Mobile Communication system”, International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 3, Issue 7, July 2012.
6. Article of INTEL : “Ultra-Wideband (UWB) Technology”, Enabling high-speed wireless personal area networks, 2005.
7. Sana Ullah, Murad Ali, Md. Asdaque Hussain, and Kyung Sup Kwak : “Applications of UWB Technology”, July 2010.
8. Boris I. Lembrikov : “Novel applications of the UWB technologies”, July 2011.
9. Andrea Goldsmith : “Wireless Communications”, August 2005.
10. Faranak Nekoogar : “Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications”, 2005.
11. Hailiang Mei : “Modeling and Performance Evaluation of a BPPM UWB System”, Philips Research Laboratories Eindhoven.
12. Moe Z. Win, Robert A. Scholtz : ”Ultra-Wide Bandwidth Time-Hopping Spread- Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple-Access Communications”, IEEE Fourth International Symposium on Spread-Spectrum Techniques and Applications, 1996.
13. M. Ghavami, L.B. Michael, R. Kohno : “Ultra Wideband signals and systems in communication engineering”, Second Edition, 2007.
14. Edited by Xuemin (Sherman) Shen, University of Waterloo, Canada, Moshen Guizani, Western Michigan University, USA, Robert Caiming Qiu, Tennessee Technological University, USA, Tho Le-Ngoc, McGill University, Canada, John Wiley & Sons : “Ultra-Wideband Wireless Communications and Networks”, 2006.
15. <http://www.authorstream.com>

16. <http://www.wifinotes.com>

17. <http://www.networkworld.com>

18. <http://www.wikipedia.com>

19. <http://google.com>