



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη και σχεδιασμός πρωτοκόλλων ανίχνευσης γειτονικής
συσκευής σε δίκτυα LTE-Advanced**

Γιώργος Μ. Μελισσόπουλος

Επιβλέπων Λάζαρος Μεράκος , Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ

Νοέμβριος 2015

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη και σχεδιασμός πρωτοκόλλων ανίχνευσης γειτονικής συσκευής σε δίκτυα
LTE-Advanced

Γιώργος Μ. Μελισσόπουλος

A.M.: 1115200800204

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: Μεράκος Λάζαρος, Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις για τα σύγχρονα συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι η ενσωμάτωση απευθείας επικοινωνιών μεταξύ δύο συσκευών (Device-to-Device – D2D επικοινωνίες), η μετάδοση δηλαδή δεδομένων ή φωνής από μια συσκευή σε μία άλλη, η οποία βρίσκεται σε κοντινή της απόσταση, χωρίς την διαμεσολάβηση του σταθμού βάσης. Η απευθείας επικοινωνία είναι το όχημα για την σχεδίαση νέων υπηρεσιών και την υιοθέτηση νέων δυνατοτήτων για τα συστήματα κινητών επικοινωνιών. Παρόλα αυτά απαιτείται πρώτα η επίλυση μιας σειράς προκλήσεων, όπως η σχεδίαση των κατάλληλων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, η υιοθέτηση αξιόπιστων σχημάτων ανακάλυψης των γειτόνων μιας συσκευής, και η εφαρμογή αποδοτικών σχημάτων διαχείρισης του φάσματος και των παρεμβολών.

Αυτή η εργασία γίνεται με σκοπό την μελέτη του προβλήματος της ανεύρεσης αποδοτικής μεθόδου αναζήτησης γειτονικής συσκευής για D2D επικοινωνία σε δίκτυα Long Term Evolution - Advanced (LTE-A).

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ανίχνευση γειτονικών συσκευών, επικοινωνία συσκευής με συσκευή ,LTE Advanced

ABSTRACT

One of the most critical challenges in modern wireless mobile networks is the introduction of Device-to-Device (D2D) communications. As D2D communication we call the transmission of data or voice from one device to another directly and is the vehicle for the design of new services and adopt new opportunities for mobile communications systems.

This thesis studies the device discovery problem and describes an efficient solution applicable to Long Term Evolution networks - Advanced (LTE-A).

SUBJECT AREA: Wireless Communication Networks

KEYWORDS: peer discovery, device-to-device communication, LTE Advanced

Στους γονείς και τα αδέρφια μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου, διδάκτωρ κ. Δημήτριο Τσόλκα, για τη συνεργασία που είχαμε και την καταλυτική συμβολή του στην ολοκλήρωση της εργασίας. Επίσης τον υπεύθυνο καθηγητή κ. Μεράκο που μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με τον συγκεκριμένο τομέα των δικτύων και να μπορέσω να τον μελετήσω σε μεγαλύτερο βάθος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου για την υπομονή και την συμπαράσταση που έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια ώστε να καταφέρω να ολοκληρώσω το προπτυχιακό μου καθώς και την Αναστασία η οποία ήταν δίπλα μου σε όλη αυτή την επίπονη διαδικασία. Τέλος όλους τους φίλους και συμφοιτητές μου για την υποστήριξη και τις συμβουλές τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	12
1. Εισαγωγή	13
2. Το σύστημα Long Term Evolution (LTE).....	15
2.1 Η εξέλιξη των δικτύων κινητών επικοινωνιών	15
2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του LTE-A.....	17
2.3 Η αρχιτεκτονική του LTE-A.....	19
2.3.1 Το δίκτυο κορμού.....	19
2.3.2 Το δίκτυο πρόσβασης.....	20
2.3.3 Ο εξοπλισμός χρήστη	20
2.4 Δομή φυσικού επιπέδου του LTE-A	20
3. Τεχνολογίες Απευθείας Επικοινωνίας	22
3.1 UWB 802.15.3.....	22
3.2 Zigbee.....	23
3.3 Wi-Fi Direct	23
3.4 Bluetooth	24
3.5 Σύνοψη.....	26
4. Απευθείας επικοινωνία στο LTE-A	28
4.1 Κατηγορίες D2D δικτύων.....	30
4.2 Τα οφέλη της D2D επικοινωνίας.....	31
4.3 Βασικό σενάριο D2D επικοινωνίας	31
4.4 Διαχείριση των Παρεμβολών	32
4.5 Σύνοψη.....	33
5. Το πρόβλημα της Αναζήτησης συσκευής.....	34
5.1 Πόροι για τη λειτουργία της αναζήτησης συσκευής	34
5.2 Περιορισμοί κατά την αναζήτηση συσκευής	35
5.3 Τεχνικές αναζήτησης ομότιμων συσκευών	36
5.3.1 A-priori ανίχνευση συσκευής.....	36
5.3.2 A-posteriori ανίχνευση συσκευής.....	37
6. Το πρωτόκολλο FlashLinQ	39
6.1 Το πλαίσιο λειτουργίας	40

6.2	Εξοικονόμηση ενέργειας	41
6.3	Μεταπήδηση στις συχνότητες	41
6.4	Διανομή και διαχείριση των PDRIDs	42
6.5	Ακτίνα εμβέλειας	43
6.5.1	Εσωτερικού χώρου	43
6.5.2	Εξωτερικού χώρου.....	44
6.6	Η προσομοίωση του FlashLinQ	44
6.6.1	Η δομή του πειράματος	44
6.6.2	Μεταπήδηση στις συχνότητες.....	45
6.6.3	Απεικόνιση δικτύου σε γράφο.....	46
6.6.4	Κατώφλι σήματος προς παρεμβολή	48
6.6.5	Πιθανότητα sensing	48
6.6.6	Αποτελέσματα προσομοιώσεις.....	48
6.7	Συμπέρασμα	52
	ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	53
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	54

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1: Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	19
ΣΧΗΜΑ 2: ΜΠΛΟΚ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	35

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ LTE	16
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΔΙΚΤΥΟ ΑΠΟ ΒΛΥΕΤΟΟΤΗ ΣΥΣΚΕΥΕΣ[4].....	25
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ.	27
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΚΛΑΣΙΚΗ D2D ΕΠΟΙΚΙΝΩΝΙΑ.....	29
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΟΜΟΤΙΜΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ [15]	38
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ ΣΤΟ FLASHLINQ	42
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗ.....	45
ΕΙΚΟΝΑ 8: 50 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	46
ΕΙΚΟΝΑ 9: 100 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 10: 200 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 11: 500 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ SENSING ΜΕ 50 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	49
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ SENSING ΜΕ 150 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΓΡΑΦΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΧΡΟΝΟΥ	50
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ SIR THRESHOLD ΜΕ 50 ΚΙΝΗΤΑ	51
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ SIR THRESHOLD ΜΕ 150 ΚΙΝΗΤΑ	52

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ 3GPP RELEASES.....	16
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	27
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΑΚΡΩΝΥΜΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΑΞΗ ΤΟΥΣ	53

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών μου υποχρεώσεων για το τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών και έχει σαν στόχο να μελετήσουμε το πλαίσιο πάνω στο οποίο γίνεται η αναζήτηση γειτονικής συσκευής κατά την λειτουργία της απευθείας επικοινωνίας που μας προσφέρει το πρότυπο του Long Term Evolution - Advanced (LTE-A). Στο εισαγωγικό κεφάλαιο παρουσιάζεται από μια εξωτερική ματιά η αναγκαιότητα της ύπαρξης της D2D λειτουργίας πάντα σε συνάρτηση των αναγκών που έχει ο σημερινός κόσμος στον οποίο έχει κυριάρχηση η χρήση των κινητών συσκευών αλλά και των τεχνολογικών διευκολύνσεων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αποτελεί μια σύντομη επισκόπηση των κυριότερων χαρακτηριστικών της τεχνολογίας του LTE-A αλλά και μια περιγραφή της εξέλιξης και δημιουργίας του συστήματος πάνω στο οποίο λειτουργεί η απείθειας επικοινωνία συσκευής με συσκευή.

Το τρίτο μέρος της εργασίας προσπαθεί να συγκεντρώσει και να παρουσιάσει κάποιες από της μέχρι τώρα τεχνολογίες που υπάρχουν για να επιτύχουμε την απευθείας διασύνδεση συσκευών εξετάζοντας ποια είναι τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα μεταξύ τους.

Το κεφάλαιο 4 είναι αφιερωμένο στην απευθείας επικοινωνία συσκευής με συσκευή που μας παρέχει το πρωτόκολλο του LTE-A κάνοντας μια εκτενής μελέτη σε όλες τις κατηγορίες και τα χαρακτηριστικά που περιέχει. Το πρόβλημα της αναζήτησης γειτονικής συσκευής θα εξεταστεί ξεχωριστά στο επόμενο, πέμπτο κεφάλαιο της εργασίας, προσπαθώντας να βρούμε όλα αυτά τα προβλήματα που έχει να αντιμετωπίσει ένα πετυχημένο πρωτόκολλο εντοπισμού.

Τέλος το έκτο κεφάλαιο είναι μια παρουσίαση ενός από τα πιο αποδοτικά πρωτόκολλα που υπάρχουν μέχρι στιγμής στην επιστημονική κοινότητα, το πρωτόκολλο του FlashLinQ. Μελετώντας τον σχεδιασμό και την απόδοση του θα προσπαθήσουμε να καταλήξουμε σε κάποια άμεσα συμπεράσματα.

1. Εισαγωγή

Η αλματώδης εξέλιξη των ασύρματων επικοινωνιών έχει σαν αποτέλεσμα την άμεση αναδιάρθρωση των υπάρχοντων τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Βάση των στοιχείων που έδωσε η CISCO , το 2014 υπήρξε μια αύξηση την τάξεως του 69% στην παγκόσμια κινητικότητα των δεδομένων παράλληλα με μια αύξηση 497 εκατομμύρια νέων συσκευών και συνδέσεων. Η 4η γενιά επικοινωνιών (4G) , αντιπροσωπευόμενη κυρίως από την τεχνολογία Long Term Evolution -Advanced (LTE-A), μας δίνει αρκετές λύσεις υποστηρίζοντας μηχανισμούς ώστε η ποιότητα των υπηρεσιών να αυξηθεί και ταυτόχρονα να υποστηριχθεί όλος αυτός ο όγκος των χρηστών.

Ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία που προσφέρονται είναι η απευθείας επικοινωνία συσκευής με συσκευή (Device-to-Device Communication – D2D). Μέχρι πρόσφατα η λεγόμενη επικοινωνία μηχανής με μηχανή (M2M) μετρούσε περί τα 500 εκατομμύρια συνδέσεων ενώ μέχρι το 2019 ο αριθμός αυτός αναμένετε να φτάσει τα 3,2 δισεκατομμύρια συνδέσεις επιτάσσοντας τη γρήγορη και αποδοτική ανάπτυξη του μοντέλου επικοινωνίας από συσκευή σε συσκευή. Κάμερες παρακολούθησης, έξυπνα σπίτια, ευφυή ηλεκτρικά δίκτυα (smart grids) αλλά και πολύπλοκα δίκτυα αισθητήρων μπαίνουν με ραγδαίους ρυθμούς στην ζωή μας και μεγαλώνουν τις απαιτήσεις των χρηστών για ταχύτητα αλλά και αξιοπιστία καθώς όλες αυτές οι συσκευές έχουν ανάγκη την μεταφορά πληροφορίας.

Αρκετά είναι τα πρωτόκολλα τα οποία έχουν παρουσιαστεί στην επιστημονική κοινότητα μέχρι στιγμής για το πρόβλημα της αναζήτησης και του εντοπισμού γειτονικής συσκευής με κάποια από αυτά να ξεχωρίζουν. Όμως για να καταφέρουμε να φτάσουμε στο σημείο να μελετήσουμε τον μηχανισμό D2D και τα πρωτόκολλα αυτά, στα LTE-A δίκτυα, πρέπει να δούμε τι έχουμε μέχρι τώρα στην φαρέτρα μας για να πετυχαίνουμε την M2M διασύνδεση και τι πλεονεκτήματα μας δίνει το περιβάλλον του LTE-A στο οποίο και θα δουλέψουμε.

Το LTE-A από την φύση του είναι ένα σύστημα που ευνοεί την κατανομημένη λειτουργία και προσπαθεί να χρησιμοποιεί κάθε πτυχή του δικτύου ώστε να καταφέρει καλύτερες αποδόσεις και ταχύτερες συνδέσεις. Είναι σαφές ότι η νέα τεχνολογία του LTE-A όπως είναι και όλα τα συστήματα 4^{ης} γενιάς έχουν περιθώρια βελτίωσης και εξέλιξης και στόχος μας είναι να προσπαθήσουμε να τα εντοπίσουμε.

Φαίνεται πως είμαστε ακόμα στην αρχή μιας πολύ μεγάλης επανάστασης στις τηλεπικοινωνίες. Η εποχή της κινητής ευρυζωνικότητας και η χρήση των κυψελοτών δικτύων έχουν αρχίσει εδώ και κάποια χρόνια να κυριαρχούν στην αγορά. Οι οργανισμοί και οι επιστημονικές κοινότητες που υποστηρίζουν όλη αυτή την τεχνολογική εξέλιξη είναι υπεύθυνη στο να βελτιώσουν και να εμπλουτίσουν τις υπάρχουσες τηλεπικοινωνιακές υποδομές. Στα πλαίσια αυτά μια από τις βασικές προκλήσεις που έχουμε είναι η αναζήτηση και ο εντοπισμός των συσκευών μεταξύ τους σε ένα δίκτυο 4^{ης} γενιάς, με αποδοτικό τρόπο. Μέχρι το τέλος αυτής της εργασίας προσπαθούμε να μελετήσουμε και να συγκρίνουμε υπάρχουσες λύσεις για το πρόβλημα της ανακάλυψης/ανίχνευσης γειτονικής συσκευής (device discovery) αλλά και το πλαίσιο πάνω στο οποίο λειτουργεί.

2. Το σύστημα Long Term Evolution (LTE)

Οι συχνά αυξανόμενες απαιτήσεις που εμφανίζονται με το πέρασμα των χρόνων για καλύτερη ποιότητα και μεγαλύτερη ταχύτητας τηλεπικοινωνιακών δικτύων οδήγησαν στο σχεδιασμό ενός νέου συστήματος επικοινωνιών, του LTE (Long Term Evolution). Έχοντας μια σειρά από απαιτήσεις για το νέο δίκτυο όπως η ανάγκη για μια απλοποιημένη αρχιτεκτονική, η λογική κατανάλωση ισχύος των τερματικών, το μειωμένο κόστος ανά bit και η αυξημένη παροχή υπηρεσιών, που μεταφράζονταν σε περισσότερες υπηρεσίες χαμηλότερου κόστους και ευελιξίας στη χρήση των ζωνών συχνοτήτων, αναπτύχθηκε ένα σχέδιο το οποίο εξελίσσει το προκάτοχο δίκτυο UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) .

2.1 Η εξέλιξη των δικτύων κινητών επικοινωνιών

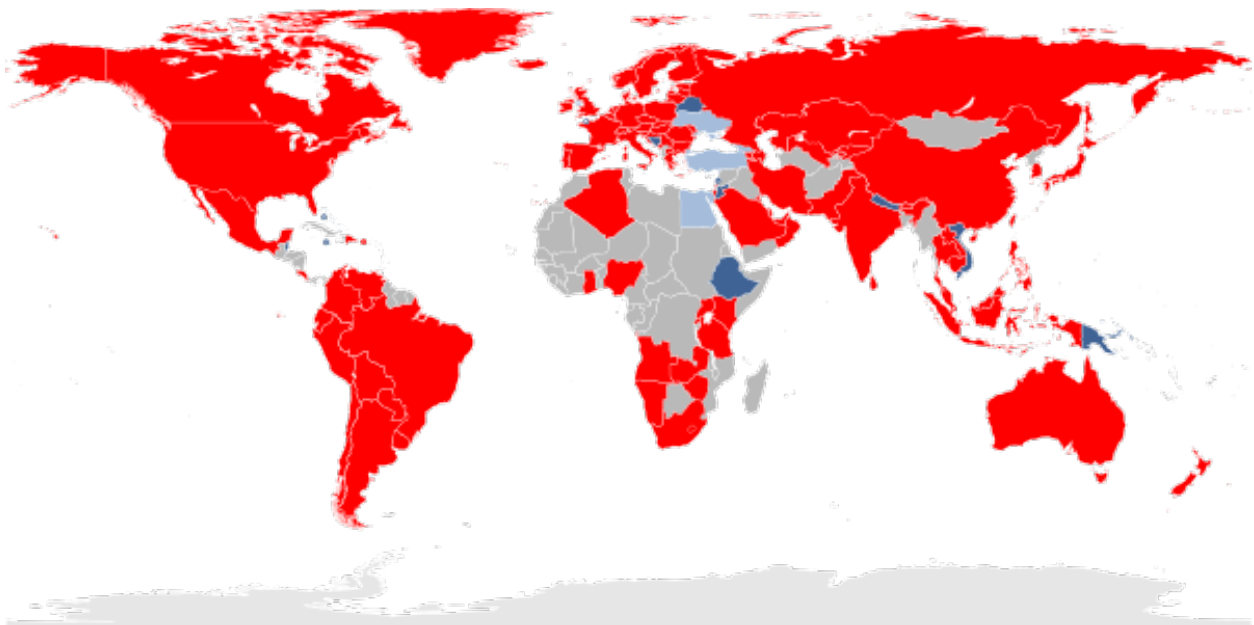
Η 3GPP το 2008 με την έκδοση Release 8 (Rel. 8) έθεσε τις βάσεις για ένα νέο υψηλών επιδόσεων πρότυπο, το οποίο προσφέρει υψηλές ταχύτητες δεδομένων στο χρήστη σε συνδυασμό με χαμηλό latency. Χρησιμοποιείται διαμόρφωση OFDMA (orthogonal frequency division multiple access) για τη καθοδική ζεύξη και SC-FDMA (single carrier orthogonal frequency division multiple access) για την ανοδική, εφαρμόζονται τεχνικές MIMO (multiple input multiple output) για χωρική πολυπλεξία και υποστηρίζεται η λειτουργία τόσο σε FDD όσο και σε TDD mode.

Έκδοση	Ονομασία	Χρονολογία
Release 99	W-CDMA	1999-2000
Release 4	LCR TDD	2000-2001
Release 5	HSDPA	2001-2002
Release 6	HSUPA, MBMS	2002-2005
Release 7	HSPDA+	2004-2007
Release 8	LTE	2006-2009
Release 9	LTE enhancements	2008-2010
Release 10	LTE-Advanced	2009-2012

Release 11-13	Further LTE enhancements	2010-2016
Release 14	The start of 5G	2014-.

Πίνακας 1: Η εξέλιξη των 3GPP releases

Το νέο αυτό πρότυπο δεν κάλυπτε τις απαιτήσεις που είχε θέσει η ITU-R ώστε να συμπεριληφθεί σε αυτό που λέμε δίκτυο 4ης γενιάς (4g). Το 2011 η 3GPP επανέρχεται με μια νέα έκδοση το Release 10 το οποίο εξελίσσει το LTE σε LTE-Advanced και το κάνει τεχνολογία 4η γενιάς. Οι αναβαθμίσεις του R10 περιλαμβάνουν την αύξηση του μέγιστου αριθμού χρησιμοποιούμενων κεραιών για MIMO μέχρι και 8X8 και την εκμετάλλευση αυξημένου εύρους ζώνης μέχρι και 100MHz με τη λειτουργία Carrier Aggregation καθώς και αρκετά άλλα χαρακτηριστικά. Από τότε μέχρι σήμερα πολλές προσπάθειες γίνονται ώστε οι επιστήμονες να καταφέρουν να βελτιώσουν τις ταχύτητες, τους χρόνους αλλά και την ενεργειακή κατανάλωση του LTE-A δικτύου και τις D2D διασύνδεσης που περιέχετε στο πρότυπο. Μέχρι και σήμερα όπως βλέπουμε στον πίνακα 1 η 3GPP έχει θεμελιώσει το Release 14 το οποίο είναι ακόμα ανοικτό και δεν έχει οριστεί ημερομηνία ολοκλήρωσης. Ο σχεδιασμός προβλέπει ότι μέχρι τον Δεκέμβριο του 2019 θα έχει θεμελιωθεί και το 16^ο Release .



Εικόνα 1: Παγκόσμιος χάρτης χρήσης LTE

Στην Εικόνα 1 βλέπουμε τον παγκόσμιο χάρτη χρωματισμένο αντίστοιχα με την χρήση του LTE μέχρι τον Δεκέμβριο του 2014. Με κόκκινο χρώμα δείχνει τις χώρες που υπάρχει εμπορικώς διακινούμενο προϊόν βασισμένο στο LTE, με σκούρο μπλε δείχνει τις χώρες στις οποίες τα προϊόντα LTE είναι υπό κατασκευή. Τέλος με γαλάζιο χρώμα βλέπουμε τις χώρες που γίνονται δοκιμές αναφορικά με την υιοθέτηση την τεχνολογίας.

Ο λόγος για τον οποίο συγκεκριμένες αγορές δεν είναι έτοιμες για να υιοθετήσουν την τεχνολογία είναι πως το LTE χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτου, αφού η δομή του βασίζεται στην αρχιτεκτονική του δικτύου IP. Οι τηλεφωνικές κλήσεις που πραγματοποιούνται στα δίκτυα GSM, UMTS και CDMA2000 αποτελούν μεταγωγή κυκλώματος. Έτσι οι πάροχοι θα πρέπει να επαναπροσδιορίσουν τη λειτουργία του δικτύου κατάλληλα για την πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων. Πάνω σε αυτό το θέμα αναπτύχθηκαν τρεις εναλλακτικές επιλογές. Αρχικώς, οι μεγάλοι χρηματοδότες του LTE, προώθησαν το VoLTE (Voice over LTE). Ωστόσο η έλλειψη στην υποστήριξη εφαρμογών τόσο στις συσκευές όσο και στον πυρήνα του δικτύου οδήγησαν στην προώθηση του VoLGA (Voice over LTE Generic Access) ως μια ενδιάμεση λύση η οποία όμως δεν έτυχε μεγάλης αναγνώρισης. Τελικώς, μια τρίτη λύση υπήρξε για άμεση χρήση, το CSFB (Circuit Switched FallBack), που βασίζεται στην ιδέα οι συσκευές να διεκπεραιώνουν τις κλήσεις με την χρήση του 2G ή 3G και τις υπόλοιπες λειτουργίες με το LTE .

2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του LTE-A

Το πρότυπο LTE εστιάζει στη βελτιστοποίηση της μετάδοσης δεδομένων με μεταγωγή πακέτων και οι βασικότερες απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί είναι:

- Εύρος Ζώνης: Κλιμακωτή χρήση φάσματος εύρους ζώνης της τάξης των 1.4, 3, 5, 10, 15 και 20 MHz.
- Ρυθμοί Μετάδοσης: Επίτευξη μέγιστων ρυθμών μετάδοσης της τάξης των 100 Mbps στο downlink και 50 Mbps στο uplink για εύρος ζώνης ίσο με 20 MHz.
- Αποδοτικότητα φάσματος: Επίτευξη 3-4 φορές μεγαλύτερης αποδοτικότητας φάσματος στο downlink σε σχέση με το HSDPA και αντίστοιχα 2-3 φορές μεγαλύτερης για το uplink συγκριτικά με το HSUPA.
- Καθυστερήση: Σημαντική μείωση του χρόνου Round-Trip Time (RTT) από το χρήστη έως το σταθμό βάσης στα 5 ms - 10 ms.

- Κινητικότητα: Το σύστημα είναι βελτιστοποιημένο για χαμηλές ταχύτητες κίνησης των χρηστών έως 15 km/h, αλλά παρέχεται και δυνατότητα υποστήριξης χρηστών που κινούνται σε πολύ υψηλές ταχύτητες έως και 350 km/h.
- Χωρητικότητα κυψέλης: Δυνατότητα εξυπηρέτησης έως και 200 ενεργών χρηστών ανά κυψέλη στα 5MHz.
- Γεωγραφική κάλυψη κυψέλης: Παροχή βέλτιστης εξυπηρέτησης στους χρήστες με μέγεθος κυψέλης έως τα 5 km, ενώ οι χρήστες μπορεί να παρουσιάζουν ανεκτή απόδοση για μέγεθος κυψέλης μέχρι 100 km.
- Διαλειτουργικότητα: Δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας με μη-3GPP πρότυπα επικοινωνιών καθώς και με τα υπάρχοντα UTRAN/GSM/EDGE Radio Access Network συστήματα κινητών επικοινωνιών. Επίσης, υποστήριξη δυνατότητας handover από και προς τα συστήματα αυτά .

Μετά από το Release10 και την εξέλιξη σε LTE-ADVANCED έχουμε τις εξής τροποποιήσεις

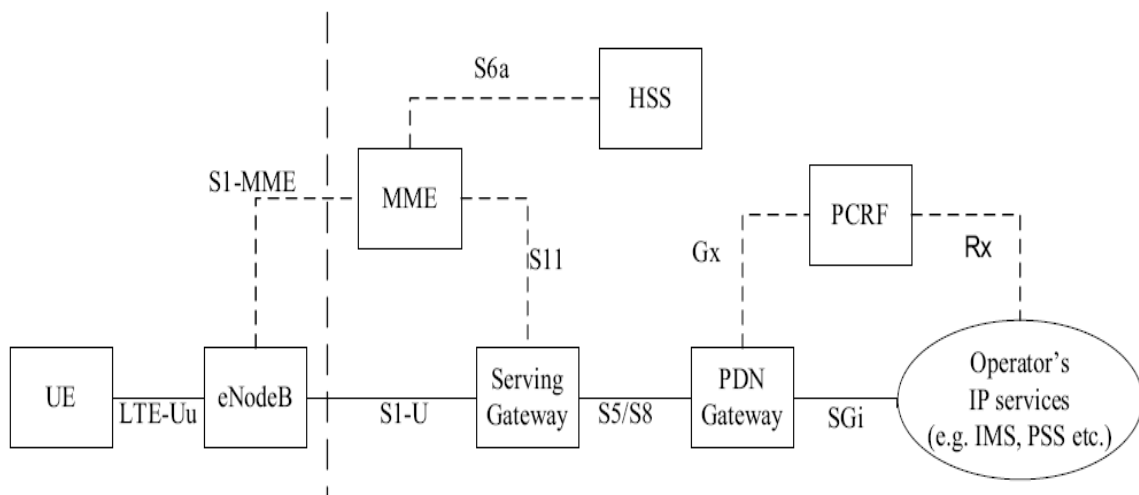
- Εύρος Ζώνης: Χρήση φάσματος συνολικού εύρους ζώνης της τάξης των 100 MHz, όπως προκύπτει από τη συνένωση πέντε φέροντων με εύρος ζώνης 20 MHz το καθένα. (λειτουργία carrier aggregation). Τα φέροντα μπορεί να έχουν συνεχόμενες συχνότητες και να βρίσκονται στην ίδια μπάντα συχνοτήτων (intra-band, contiguous), να μην έχουν συνεχόμενες συχνότητες αλλά να βρίσκονται στην ίδια μπάντα συχνοτήτων (intra-band, non contiguous), ή να μην έχουν συνεχόμενες συχνότητες και να μη βρίσκονται και στην ίδια μπάντα συχνοτήτων (inter-band, non contiguous)
- Ρυθμοί Μετάδοσης: Επίτευξη μέγιστων ρυθμών μετάδοσης της τάξης του 1 Gbps στο downlink και 500 Mbps στο uplink.
- Κινητικότητα: Ίδιες απαιτήσεις με το LTE
- Χωρητικότητα κυψέλης: Τριπλάσιες απαιτήσεις σε σχέση με το LTE
- Γεωγραφική κάλυψη κυψέλης: Ίδιες απαιτήσεις με το LTE

2.3 Η αρχιτεκτονική του LTE-A

Στην τεχνολογία του LTE-A υπάρχουν τρία βασικά μέρη που αποτελούν την αρχιτεκτονική του: το δίκτυο κορμού (core network), το δίκτυο πρόσβασης (E-UTRAN) και ο εξοπλισμός του κάθε χρήστη (User Equipment).

2.3.1 Το δίκτυο κορμού

Είναι ένα σύνολο λογικών οντοτήτων όπως φαίνεται και στο σχήμα 1 τα οποία συνδέονται μεταξύ τους. Τα βασικά στοιχεία του core network είναι το Packet Data Network Gateway(P-GW) και το Serving Gateway(S-GW) που εκτελούν διαδικασίες δρομολόγησης, το Mobility Management Entity (MME) που είναι ο βασικός κόμβος ελέγχου για την πρόσβαση στο LTE δίκτυο, το Policy and Charging Rules Function (PCRF) είναι το στοιχείο του δικτύου που είναι υπεύθυνο για την πολιτική και τον έλεγχο των χρεώσεων και τέλος το Home Subscription Server (HSS) που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των δεδομένων συνδρομής όλων των μόνιμων χρηστών. Όλα αυτά αποτελούν έναν πυρήνα που εκτελεί όλες τις υποστηρικτικές διαδικασίες ώστε να λειτουργεί το LTE-A δίκτυο .



Σχήμα 1: Η αρχιτεκτονική του δικτύου

2.3.2 Το δικτύου πρόσβασης

Στη πλευρά του δικτύου πρόσβασης (E-UTRAN) βρίσκουμε μόλις έναν κόμβο που είναι ο involved NodeB (eNodeB) δηλαδή ένας σταθμός βάσης που ελέγχει όλες τις ραδιο-λειτουργίες στο σταθερό μέρος του συστήματος. Τέτοιοι σταθμοί βάσης βρίσκονται διάσπαρτοι μέσα στην περιοχή κάλυψης του δικτύου εκτελώντας διάφορες λειτουργίες όπως κρυπτογράφηση των δεδομένων αλλά και συμπίεση των IP επικεφαλίδων για την βελτίωση της φασματικής απόδοσης. Ο eNodeB είναι επίσης υπεύθυνος για τη διαχείριση των πόρων του ασύρματου δικτύου (Radio Resource Management) κάνοντας ένα προγραμματισμό ως προς την κατανομή των πόρων και την ροή των δεδομένων.

2.3.3 Ο εξοπλισμός χρήστη

Ο εξοπλισμός χρήστη (User Equipment - UE) είναι οποιαδήποτε συσκευή προσφέρει στον χρήστη πρόσβαση στο δίκτυο του LTE, από ένα κινητό τελευταίας τεχνολογίας και ένα laptop μέχρι έναν αισθητήρα θερμοκρασίας. Ένα UE εκτελεί λειτουργίες διαχείρισης κινητικότητας και κάνει διάφορες αναφορές στον σταθμό βάσης για την γεωγραφική του θέση αλλά και την ποιότητα των υπηρεσιών του (QoS). Τα UE δεν είναι συνήθως σταθερά μέσα στον χώρο και μπορούν να χάνονται από την εμβέλεια άλλων UE.

2.4 Δομή φυσικού επιπέδου του LTE-A

Στα LTE-A η μετάδοση χωρίζεται σε δυο κανάλια, το ανοδικό και το καθοδικό, το καθένα από τα οποία λειτουργεί με δυο τεχνικές αμφιδρόμησης, την χρονική TDD (time division duplexing) και των συχνοτήτων FDD (frequency division multiplexing). Ο χρόνος και στα δυο μοντέλα σπάει σε πλαίσια των 10 ms. Κάθε πλαίσιο μετέπειτα χωρίζεται σε 10 υπο-πλαίσια στα οποία το κάθε υπο-πλαίσιο αποτελείται από 2 υποδοχές κάθε μια εκ των οποίων έχει κάποια resource blocks (RBs). Ένα RB είναι η βασική μονάδα κατανομής των πόρων για τη διαβίβαση των δεδομένων στο LTE-A. Κάθε RB αποτελείται από 7 σύμβολα OFDM στο πεδίο του χρόνου και 12 υποφέρων των 15-kHz στο πεδίο της συχνότητας. Ο αριθμός των RBs σε μια υποδοχή εξαρτάται από το εύρος ζώνης του LTE-A κυττάρου. Πάρτε ένα κύτταρο των 5-MHz ως παράδειγμα, τότε θα υπάρξουν 25 RBs σε μία υποδοχή.

Μέσα στο δίκτυο ένα eNB μπορεί να χρησιμοποιεί χρονοπρογραμματισμό ανά μετάδοση (per-TTI) ή ημι-επίμονο (SP) για την κατανομή των πόρων στις συσκευές.

Στην περίπτωση του per-TTI προγραμματισμού ένα eNB δυναμικά ρυθμίζει τις μεταδώσεις στο ανοδικό κανάλι για κάθε UE. Κάνοντας το με αυτόν τον τρόπο ένα eNB μπορεί να βελτιστοποιήσει την αξιοποίηση των πόρων σε κάθε υπο-πλαίσιο στο ανοδικό κανάλι με βάση τους δείκτες ποιότητας καναλιού σε πραγματικό χρόνο (CQIs) που αναφέρθηκαν από τις συσκευές. Παρά το γεγονός ότι ο per-TTI προγραμματισμός θα μπορούσε δυνητικά να επιτύχει καλύτερη αξιοποίηση των πόρων, η δυναμική κατανομή απαιτεί συχνή ανταλλαγή αιτήσεων και απαντήσεων μεταξύ των συσκευών και των eNBs και ως εκ τούτου εισάγει περισσότερο φόρτο στο σύστημα. Στην περίπτωση του SP προγραμματισμού, ένα UE λαμβάνει ημι-στατική κατανομή των πόρων δηλαδή, η συσκευή αποκτά RBs στα επόμενα (δεν είναι απαραίτητο συνεχής) υποπλαίσια μετά την πραγματοποίηση ενός ενιαίου αιτήματος προγραμματισμού. Ο SP προγραμματισμός είναι χρήσιμος για ισόχρονη κίνηση, όπως η φωνή, χάρη στο ελαχιστοποιημένο overhead.

3. Τεχνολογίες Απευθείας Επικοινωνίας

Η απευθείας επικοινωνία συσκευών αποτελεί έναν ευρύ τομέα έρευνας και ανάπτυξης στις ασύρματες επικοινωνίες. Συσκευές όπως ο ασύρματος έχουν χρόνια τώρα άμεση χρήση στην καθημερινή ζωή. Η αποκέντρωση της λειτουργίας του δικτύου γίνεται χρόνο με το χρόνο ακόμα πιο σημαντική. Ο αριθμός των συσκευών και των χρηστών αυξάνει σε επίπεδο που το υπάρχον δίκτυο δεν μπορεί να το διαχειριστεί αποδοτικά. Η βασική λύση η οποία μπορεί να εφαρμοστεί είναι να δώσουμε στις συσκευές την δυνατότητα να επικοινωνήσουν χωρίς να επιβαρύνουν το τηλεπικοινωνιακό σύστημα και να μπορούν να έχουν την “ευφυΐα” να εντοπίζουν τον επιθυμητό συνομιλητή, να ανταλλάσσουν πληροφορία και όλα αυτά με ταχύτητα και αξιοπιστία.

Ήδη έχουν αναπτυχθεί πολλά συστήματα απευθείας επικοινωνίας συσκευών όπως τα λεγόμενα WPAN (wireless personal area networks) που περιλαμβάνουν τεχνολογίες σαν το Bluetooth, το NFC (Near Field Communication), το ZigBee, το HomeRF, κτλ αλλά και άλλες που είναι εξέλιξη παραδοσιακών πρωτοκόλλων επικοινωνιών όπως το Wi-Fi Direct. Στην ίδια κατηγορία μπορούμε να βάλουμε τα συστήματα PMR (Professional Mobile Radio) τα οποία περιλαμβάνουν τεχνολογίες όπως το TETRA, το DMR, το MPT-1327 και αρκετά ακόμη που χαρακτηρίζονται ως συστήματα για επικοινωνία φωνής μεταξύ συσκευών.

Ας δούμε λοιπόν λεπτομερώς κάποιες από τις υπάρχουσες τεχνολογίες των τελευταίων ετών με τις οποίες γίνεται η λεγόμενη μηχανή προς μηχανή επικοινωνία (M2M Communication) τομέας στον οποίο ανήκει και η D2D τεχνολογία.

3.1 UWB 802.15.3

Η τεχνολογία **Ultra Wideband Technology (UWB)** υπάρχει από τη δεκαετία του 1980, αλλά έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως από εφαρμογές βασισμένες σε ραντάρ. Είναι μια τεχνολογία που προσφέρει μικρής εμβέλειας αλλά μεγάλης ταχύτητας ασύρματες επικοινωνίες με χαρακτηριστικό ότι το εύρος ζώνης μπορεί να είναι πάνω από 110 Mbps (έως και 480 Mbps) ταχύτητα η οποία μπορεί να ικανοποιήσει τις περισσότερες οικιακές απαιτήσεις (μεταφορά δεδομένων, ασύρματες συσκευές κτλ.). Το UWB χρησιμοποιεί παλμούς πολύ μικρής διάρκειας (της τάξης των nanosecond), οι οποίοι έχουν μεγάλο φασματικό εύρος. Λόγω των πολύ στενών παλμών που χρησιμοποιούνται ονομάζουμε αυτού του είδους την επικοινωνία Impulse radio (IR). Στη

συνηθισμένη ασύρματη τεχνολογία η αποστολή πληροφορίας πραγματοποιείται με τη διαμόρφωση ημιτονικών κυμάτων, όπου η αύξηση του εύρους ζώνης πρέπει να συνοδεύεται και με αύξηση της συχνότητας του φέροντος σήματος. Το UWB μπορεί να θεωρηθεί σαν μια τεχνική απλωμένου φάσματος που χρησιμοποιεί πολύ ευρύ φάσμα ακόμη και με την απουσία διαμόρφωσης. Έτσι η ενέργεια του σήματος είναι πολύ απλωμένη και το φάσμα του UWB θυμίζει πολύ αυτό του θορύβου. Τα συστήματα UWB προσφέρουν ακρίβεια στο συγχρονισμό και τον προσδιορισμό θέσης, η οποία μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμη σε διάφορες εφαρμογές απευθείας επικοινωνίας .

3.2 Zigbee

Το Zigbee (802.15.4) είναι ένα πρότυπο που αναπτύχθηκε για να εξυπηρετεί χαμηλού ρυθμού ασύρματα προσωπικά δίκτυα (LR-WPAN) που έχουν συσκευές χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και λειτουργούν σε μια ακτίνα έως και 10 μέτρων. Υπάρχουν 2 ειδών συσκευές που συμμετέχουν σε αυτό το δίκτυο, οι πλήρως λειτουργικές (FFD) και οι μειωμένης λειτουργικότητας (RFD). Οι συσκευές που έχουν πλήρη λειτουργικότητα μπορούν να έχουν τρεις ρόλους. Του συντονιστή του δικτύου, του απλού συντονιστή και της συσκευής. Οι FFDs μπορούν να επικοινωνούν με άλλες συσκευές είτε FFDs είτε RFDs ενώ οι συσκευές μειωμένης λειτουργικότητας έχουν την ικανότητα να επικοινωνούν μόνο με άλλες FFDs. Οι RFDs συσκευές μας χρησιμεύουν για εφαρμογές οι οποίες έχουν απλότητα όπως ένας διακόπτης λάμπας ή ένας απλός αισθητήρας, δηλαδή συσκευές που δεν χρειάζονται ανταλλαγή όγκου δεδομένων και δεν έχουν απαιτήσεις για πολύπλοκες συνδέσεις με πολλές άλλες συσκευές. Κατά συνέπεια, η RFD μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας ελάχιστους πόρους και μνήμη. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των ραδιοσυσκευών του πρότυπου Zigbee είναι ότι είναι πιο φτηνές και απαιτούν περίπου το 50% του κώδικα που χρειάζεται μία συσκευή Bluetooth για τον έλεγχό τους (συνεπώς καταλαμβάνει λιγότερο χώρο στη μνήμη της φορητής συσκευής – γεγονός σημαντικό για τις μικρές μνήμες). Οι κατασκευαστές του ZigBee έχουν προσανατολιστεί σε εφαρμογές και προϊόντα που αφορούν το σπίτι και την ασφάλεια. [3],[4]

3.3 Wi-Fi Direct

Περισσότερο από μια δεκαπενταετία έχει περάσει από τον αρχικό σχεδιασμό του προτύπου IEEE 802.11 και πλέον έχει γίνει ο πιο κοινός τρόπος για την ασύρματη διασύνδεση με το διαδίκτυο παγκοσμίως. Όλα αυτά τα χρόνια η τεχνολογία του Wi-Fi

εξελιίσεται και προσπαθεί να αντιμετωπίζει όλες τις νέες ανάγκες που προκύπτουν. Με δεδομένη την ευρεία αποδοχή από όλη την κοινότητα των κατασκευαστών ηλεκτρονικών συσκευών το Wi-Fi προσπαθεί να επεκταθεί και στον χώρο την άμεσης ασύρματης διασύνδεσης δυο συσκευών δηλαδή χωρίς την ανάγκη ύπαρξης κάποιου Access Point (AP) που παραδοσιακά υπάρχει στην τεχνολογία του Wi-Fi. Αυτός λοιπόν είναι και ο σκοπός του Wi-Fi Direct που αναπτύχθηκε από την Wi-Fi Alliance .

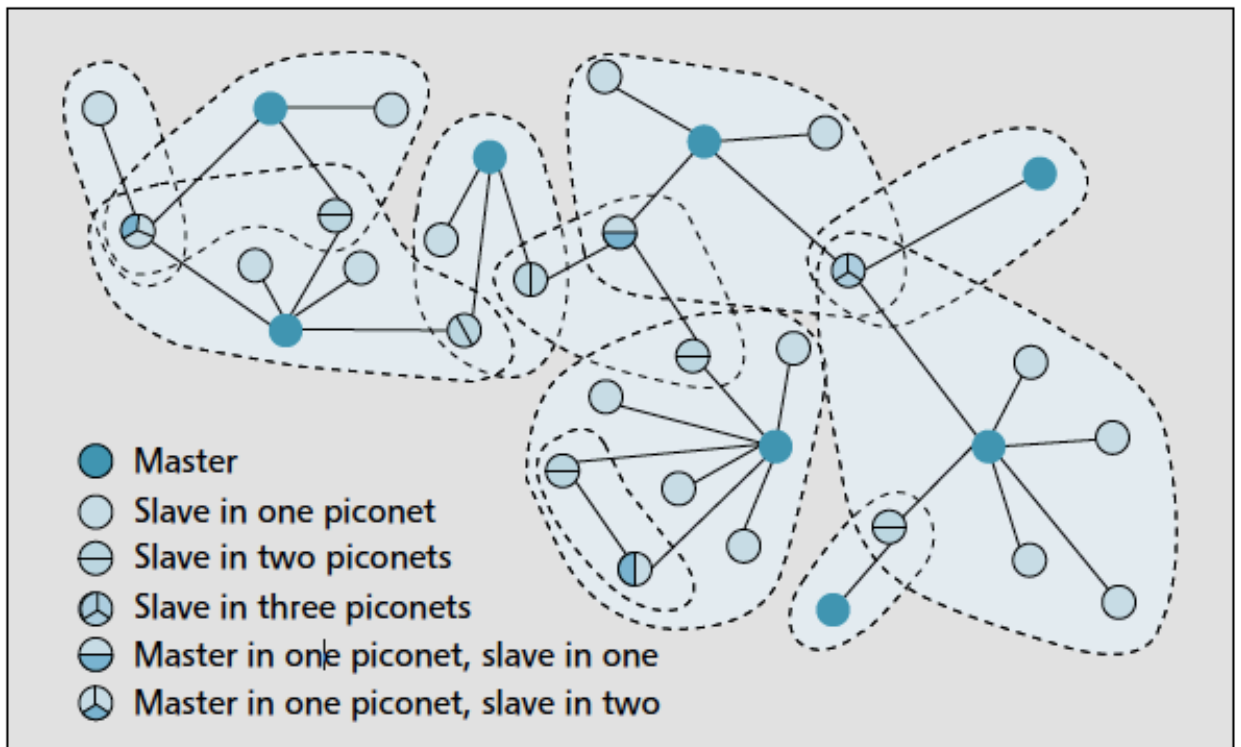
Η απευθείας επικοινωνία συσκευών ήταν ήδη δυνατή στο αρχικό πρότυπο IEEE 802.11, μέσω της ad hoc λειτουργίας του, ωστόσο αυτό δεν έγινε ποτέ ευρέως διαδεδομένο στην αγορά και ως εκ τούτου παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα όταν αντιμετωπίζει τις απαιτήσεις των σημερινών συσκευών και πρωτοκόλλων π.χ. έλλειψη αποτελεσματικής εξοικονόμησης ενέργειας , υπηρεσίες QoS , κτλ

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες τεχνολογίες, η τεχνολογία Wi-Fi Direct έχει μια διαφορετική προσέγγιση για την M2M επικοινωνία. Έχει χτιστεί πάνω στην ίδια φιλοσοφία του Wi-Fi και αφήνει τις συσκευές να αποφασίσουν ποια από αυτές θα κάνει την δουλειά του AP. Επίσης υποστηρίζονται και κρυπτογραφημένα κανάλια επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών, τα ίδια με αυτά που παρέχονται σε μία συμβατική σύνδεση σε Wi-Fi (WPA,WPA2,WEP). [5]

3.4 Bluetooth

Το Bluetooth είναι ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας που σχεδιάστηκε για κοντινές αποστάσεις και φτηνές συσκευές ώστε να αντικαταστήσουν τα καλώδια σε περιφερειακές συσκευές όπως για παράδειγμα τα ποντίκια, τα πληκτρολόγια, τους εκτυπωτές και με το πέρασμα των χρόνων βρήκε μεγάλη χρήση για μεταφορά δεδομένων και φωνής. Το πρότυπο Bluetooth αναπτύχθηκε από το Bluetooth Special Interest Group και υιοθετήθηκε στη συνέχεια από την IEEE ως το πρότυπο 802.15 για WPAN. Είναι κατάλληλο για εφαρμογές χαμηλής κατανάλωσης και χαμηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων. Ανήκει στην κατηγορία των WPAN (wireless personal area network) και μπορούμε να διακρίνουμε δυο κατηγορίες τυπολογικής σύνδεσης , το piconet και το scatternet. Στο πρώτο μοντέλο υπάρχει μια συσκευή Bluetooth στο WPAN δίκτυο η οποία λειτουργεί σαν “αφέντης” του δικτύου και μια ή περισσότερες που είναι οι “σκλάβοι”. Κάθε piconet ορίζεται από ένα κανάλι αναπήδησης συχνότητας με βάση τη διεύθυνση του “αφέντη” και όλες οι συσκευές που συμμετέχουν σε αυτήν την επικοινωνία συναγωνίζονται βάση του ρολογιού του “αφέντη”. Οι “σκλάβοι” μπορούν να

επικοινωνούν μόνο με τον “αφέντη” τους ενώ αντίθετα ο “αφέντης” μπορεί να μιλά ένας με έναν ή και ένας με πολλούς “σκλάβους” .



Εικόνα 2: Δίκτυο από Bluetooth συσκευές[4]

Για να μπορούμε να έχουμε μειωμένες καταναλώσεις ενέργειας μια συσκευή “σκλάβος” μπορεί να μπαίνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα από ενεργή κατάσταση σε κατάσταση αναμονής. Το scatternet σχήμα είναι ουσιαστικά ένα σύνολο από piconet δίκτυα τα οποία συνδυάζονται μεταξύ τους σε ένα ad hoc δίκτυο. Μια συσκευή Bluetooth μπορεί να συμμετέχει σε αρκετά piconets ταυτόχρονα, έτσι μια πληροφορία θα μπορούσε να “ρέει” έξω από ένα piconet δίκτυο σε ένα άλλο που βρίσκετε στο ίδιο scatternet. Τέλος, μια συσκευή Bluetooth μπορεί να είναι σκλάβος σε πολλά διαφορετικά piconets αλλά “αφέντης” μόνο σε ένα .

Ένα πρόβλημα των προδιαγραφών του Bluetooth είναι ότι λόγω της μετάδοσης στην ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων των 2,4 GHz, οι συσκευές που το υποστηρίζουν αδυνατούν να χρησιμοποιήσουν ταυτόχρονα τα περισσότερα πρωτόκολλα της οικογένειας IEEE 802.11, καθώς τότε θα εμφανίζονταν σοβαρά προβλήματα παρεμβολών.

Το Bluetooth χρησιμοποιείται κατά κόρων στις σύγχρονες συσκευές καθώς οι υπηρεσίες του προσφέρονται σε κινητά τηλέφωνα, περιφεριακές συσκευές

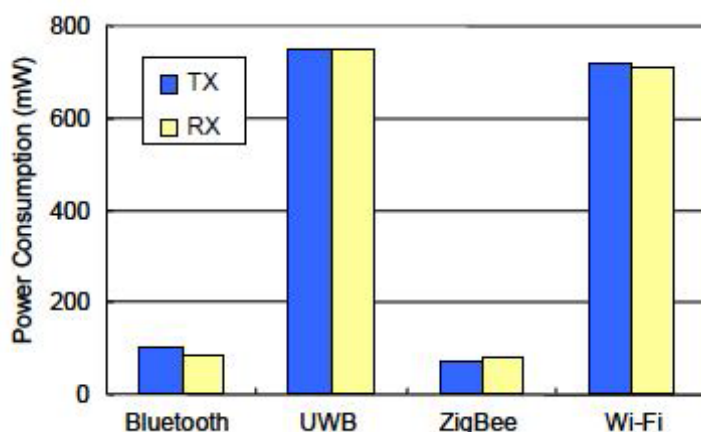
υπολογιστών (ασύρματα ηλεκτρολόγια, ακουστικά, ποντίκια κ.τ.λ) και σε ακόμα περισσότερα τεχνολογικά εργαλεία που απαιτούν μια κοντινή ασύρματη διασύνδεση χωρίς μεγάλη κατανάλωση και αξιοπιστία.

3.5 Σύνοψη

Όλες οι τεχνολογίες που είδαμε παραπάνω χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα με μεγάλη επιτυχία για να ανταπεξέλθουν στις μεγάλες απαιτήσεις των M2M επικοινωνιών. Από αυτά το Wi-Fi και το Bluetooth είναι τα πιο διάσημα πρωτόκολλα καθώς βρήκαν χιλιάδες εφαρμογές σε κινητές συσκευές αλλά και συστήματα που χρησιμοποιούμε καθημερινά. Ολοκληρώνοντας, ακολουθεί ένας συγκριτικός πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών D2D, Wi-Fi Direct , NFC, ZigBee, Bluetooth 4.0, UWB καθώς και ένα διάγραμμα που δείχνει την μεταξύ τους κατανάλωση ενέργειας από κάθε ένα από τα παραπάνω πρωτόκολλα.

Name	D2D	Wi-Fi Direct	NFC	ZigBee	Bluetooth 4.0	UWB
Standardization	3GPP LTE-A	802.11	ISO 13157	802.15.4	Bluetooth SIG	802.15.3a
Frequency band	Licensed band for LTE-A	2.4 Ghz, 5 GHz	13.56 MHz	868/915 MHz ,2.4 GHz	2.4 GHz	3.1-10.6
Maximum transmission distance	10-1000 m	200 m	0.2 m	10-100 m	10-100 m	10 m
Max. data rate	1 Gb/s	250 Mb/s	424 kb/s	250 kb/s	24 Mb/s	480 Mb/s
Device discovery	BS coordination	ID broadcast and embed soft access point	Radio-frequency identification	ID broadcast or coordination assistant	Manual pairing	Manual pairing
Uniformity of service provision	Yes	No	No	No	No	No
Application	Public safety, content sharing ,local advertising ,cellular relay	Content sharing, group gaming ,device connection	Contactless payment system ,data transfer	Home entertainment and control, environmental monitoring	Object exchange ,peripherals connection	Wireless USB ,high-definition video, precision location and tracking system ,auto radar

Πίνακας 2: Συγκριτικός πίνακας τεχνολογιών απευθείας επικοινωνίας



Εικόνα 3: Σύγκριση της κανονικοποιημένης κατανάλωσης ενέργειας για κάθε πρωτόκολλο.

4. Απευθείας επικοινωνία στο LTE-A

Όλες οι τεχνολογίες που είδαμε προηγουμένως υποστηρίζουν υπηρεσίες επικοινωνίας και εντοπισμού όπου τις χρησιμοποιούμε μέχρι και σήμερα για να έχουμε απευθείας επικοινωνία. Οι περισσότερες από αυτές τις τεχνολογίες είναι βασισμένες σε ασύγχρονα πρωτόκολλα που τρέχουν στο μη αδειοδοτημένο (unlicensed) φάσμα και έχουν προβλήματα στην διαχείριση της ενέργειας όταν προσπαθούμε να κάνουμε αναζήτηση συσκευής σε μια πολύ μεγάλη ακτίνα. Σε αντίθεση το D2D του LTE-A το οποίο είναι ένα πρωτόκολλο βασισμένο στο σύστημα του OFDMA και σε αδειοδοτημένο φάσμα γεγονός που μας δίνει πολλά πλεονεκτήματα που θα μελετήσουμε στα επόμενα κεφάλαια.

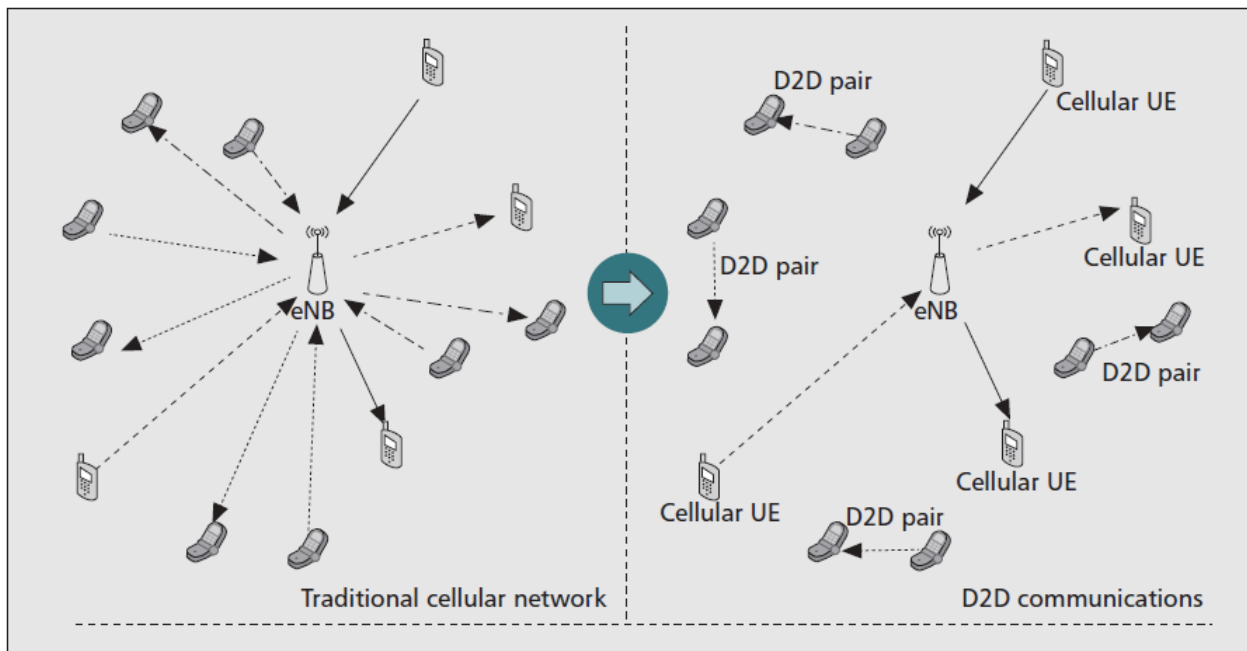
Ένα ακόμα στοιχείο που προστέθηκε στην αρχιτεκτονική του LTE-A είναι και η απευθείας επικοινωνία συσκευής με συσκευή (D2D), με την οποία και θα ασχοληθούμε σε αυτήν την εργασία. Στο μέλλον των επικοινωνιών μηχανής με μηχανή (M2M) ένας μεγάλος αριθμός από συσκευές θα θέλει να επικοινωνήσει μεταξύ τους για αμέτρητες εφαρμογές. Όλη αυτή η κινητικότητα αν βρεθεί στο LTE-A θα συντρίψει το ραδιοφωνικό δίκτυο και θα υποβαθμίσει την απόδοση των υφιστάμενων ανθρώπινων επικοινωνιών. Με την βοήθεια του D2D οι συσκευές θα επικοινωνούν η μια με την άλλη απευθείας μειώνοντας έτσι τις επιπτώσεις τους στην υποδομή του δικτύου. Επίσης με αυτό τον τρόπο επωφελούμαστε και σε άλλους τομείς όπως για παράδειγμα μπορούν να επιτευχθούν υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων λόγω της καλύτερης ποιότητας του καναλιού.

Με αυτή την προσθήκη πλέον τα δεδομένα δεν είναι αναγκαίο να κατευθύνονται μέσα από το δίκτυο κορμού ή από τα eNB όπως περιγράψαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο αλλά μπορούν να επικοινωνούν άμεσα η μια συσκευή με την άλλη. Λόγω της μικρής ακτίνας στην επικοινωνία το D2D μας δίνει την δυνατότητα να πετύχουμε καλύτερες ενεργειακές καταναλώσεις σε εφαρμογές που επιχειρούν μεταφορά δεδομένων όπως video και φωτογραφίες μεταξύ συσκευών, την διασύνδεση σε συσκευές gaming, σύνδεση συσκευών παρακολούθησης και άλλες εκατομμύρια ασύρματες διασυνδέσεις που η σύγχρονη τεχνολογία μας έχει προσφέρει .

Ένα σύγχρονο κινητό μπορεί να έχει πολλές τεχνολογίες ασύρματης σύνδεσης ταυτόχρονα, στην ίδια συσκευή, όπως για παράδειγμα κάποια τεχνολογία κυψελωτού δικτύου (3G,4G), Wi-Fi, Bluetooth και άλλα. Το LTE-A μας δίνει όλο το πακέτο της

επικοινωνίας μέσω των δυνατοτήτων του στο αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων που μπορεί να πετύχει καλύτερες αποδώσεις μέσω μιας κεντρικής διαχείρισης.

Η D2D τεχνολογία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένας συνδυασμός αποκεντρωμένου δικτύου που βρίσκετε όμως υπό την επίβλεψη της αρχιτεκτονικής του LTE-A κρατώντας έτσι σημαντικά πλεονεκτήματα και από τις δυο πλευρές. Ο εντοπισμός της συσκευής είναι καλό να γίνεται αποκεντρωμένα και με ευθύνη των κινητών για τις διαδικασίες αλλά είναι απαραίτητη η συνδρομή του eNodeB για πληροφορίες που θα κάνουν όλη αυτή την διαδικασία πολύ πιο γρήγορη. Ακόμα και αν το D2D μας επιτρέπει την απευθείας επικοινωνία των συσκευών όλη η διαδικασία πρέπει να γίνει υπό την αιγίδα των eNBs ώστε να βρισκόμαστε στο πρότυπο της αρχιτεκτονικής LTE-A .



Εικόνα 4: Κλασική D2D επικοινωνία

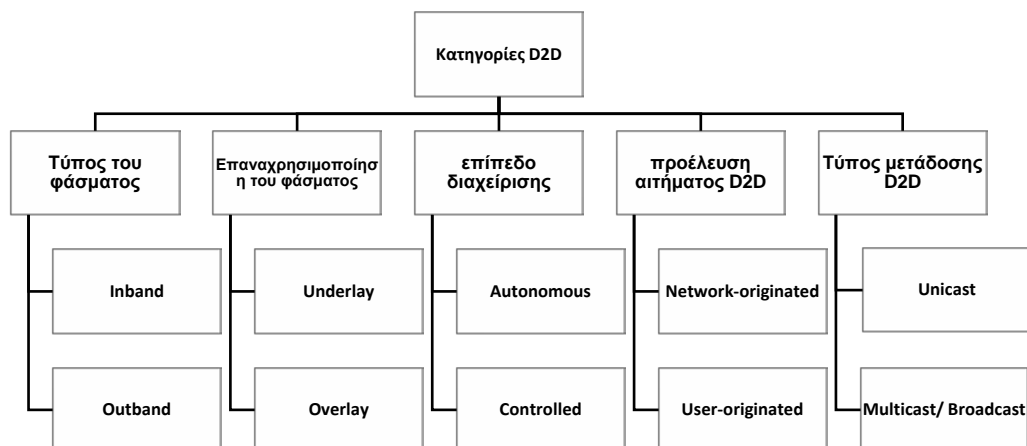
Ένα γενικό σχήμα που πρέπει να ακολουθεί μια D2D επικοινωνία περιλαμβάνει κάποια αναγκαία βήματα με πρώτο από αυτά οι συσκευές να εντοπίζουν η μια την άλλη. Στο υπάρχον LTE-A δίκτυο μια συσκευή μπορεί να εντοπίσει κοντινά eNBs μέσω ενός σήματος συγχρονισμού (PSS/SSS) και διαδικασίας τυχαίας πρόσβασης. Η έλλειψη ενημέρωσης στις συσκευές μας αναγκάζει να βρούμε ένα μηχανισμό ανεύρεσης γειτονικής συσκευής. Όταν αυτή η διαδικασία ολοκληρωθεί, μπλοκ πόρων (RBs) στο ανοδικό και στο καθοδικό κανάλι πρέπει να δεσμευτούν. Στη συνέχεια, τα UEs πρέπει να εκτιμήσουν την ποιότητα της σύνδεσης και να καθορίσουν τις κατάλληλες

διαμορφώσεις και κωδικοποιήσεις (MCS). Τέλος όταν ξεκινήσει η απευθείας μετάδοση είναι αναγκαία μια ανταλλαγή πληροφορίας για την εφαρμογή του HARQ (hybrid automatic repeat request) για την αξιόπιστη μετάδοση.

Για το LTE-A δίκτυο δημιουργούνται πρωτόκολλα που είναι βασισμένα σε ένα συγχρονισμένο φυσικό επίπεδο (synchronous physical layer) σε αντίθεση με τα ad hoc δίκτυα που λειτουργούν ασύγχρονα. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι για να μπορέσουμε να συγχρονίσουμε όλες τις συσκευές σε ένα μεγάλο εύρος (μια γειτονία) σε ένα σύστημα που λειτουργεί στο μη αδειοδοτημένο φάσμα είναι πολύ πιο απαιτητικό σε υπολογιστικούς πόρους, στην χρήση περισσότερων φυσικών πόρων και μεγαλύτερης κατανάλωσης ενέργειας .

4.1 Κατηγορίες D2D δικτύων

Μπορούμε να διακρίνουμε λοιπόν σε αυτό το σημείο δύο κατηγορίες D2D μηχανισμών ανάλογα με το φάσμα στο οποίο λειτουργούν, σε inband και σε outband D2D τα οποία αντιστοιχούν σε λειτουργία μέσα στο αδειοδοτημένο ή μη φάσμα. Όσον αφορά το επίπεδο της διαχείρισης της διαδικασίας το D2D χωρίζεται σε σχήματα που είναι είτε αυτόνομα είτε ελεγχόμενα από τον εξωτερικό χρήστη. Στον τομέα της εγκαθίδρυσης της D2D επικοινωνίας έχουμε δυο επιλογές να ακολουθήσουμε, μπορούν οι αιτήσεις για D2D διασύνδεση να γίνονται κατά την διάρκεια της επικοινωνίας και να αλλάζουν την λειτουργία του από cellular σε D2D στον τελικό χρήστη, ή από την αρχή ρητά ο χρήστης να λειτουργεί σε κατάσταση απευθείας επικοινωνίας ή όχι. Τέλος οι μεταδώσεις μπορεί να είναι unicast ή multicast/broadcast όπου στην πρώτη περίπτωση περιγράφουμε μια διασύνδεση μεταξύ ομότιμων συσκευών ενώ στην δεύτερη γίνεται μια πολυεκπομπή στον χώρο η οποία βρίσκει χρήση σε κοινωνικές και εμπορικές εφαρμογές όπως Facebook, Linked-in, Foursquare , κτλ



Σχήμα 2: Κατηγορίες του D2D

4.2 Τα οφέλη της D2D επικοινωνίας

Η ανάπτυξη των D2D επικοινωνιών αναμένεται να προσφέρει σημαντικά οφέλη τόσο στους παρόχους δικτύων και υπηρεσιών, όσο και στους χρήστες, τα οποία θα αποτελέσουν και τα κίνητρα για την υιοθέτηση αυτής της νέας τεχνολογίας. Συνοπτικά, κίνητρα για τη χρήση D2D επικοινωνιών θα αποτελέσουν:

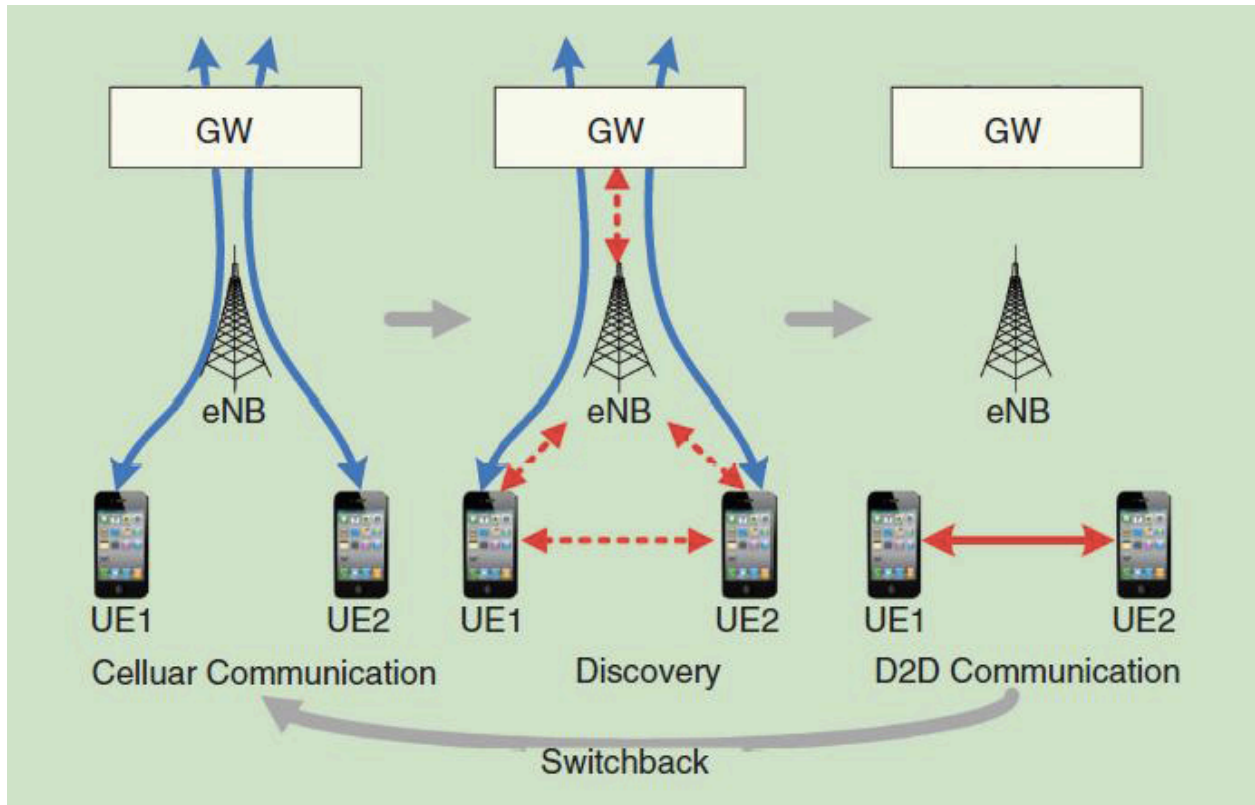
- η παρεχόμενη ασφάλεια και ποιότητα υπηρεσίας (QoS)
- η καλύτερη διαχείριση της ταυτότητας των χρηστών
- η δυνατότητα επεκτασιμότητας
- η βελτίωση του δικτύου, μέσω της αποσυμφόρησης των eNB και του δικτύου κορμού, της αύξησης της χωρητικότητας και της κάλυψης του δικτύου
- η παροχή πληθώρας νέων εφαρμογών στους χρήστες
- η χρήση των νέων αυτών εφαρμογών ως μια νέα πηγή εσόδων για τους παρόχους

4.3 Βασικό σενάριο D2D επικοινωνίας

Έστω ότι έχουμε δυο κινητές συσκευές UE1 και UE2 οι οποίες αρχικά επικοινωνούν μέσω του eNB και την υποδομή του δικτύου κορμού χωρίς να έχουν ζητήσει να επικοινωνήσουν απευθείας. Ένας πίνακας δρομολόγησης και οι διαδρομές των IP διατηρούνται στον P-GW με τους κατάλληλους eNBs να εξυπηρετούν τις συσκευές. Το δίκτυο μπορεί να αντιληφθεί ότι οι δύο συσκευές είναι αρκετά κοντά, ώστε να μπορούν να μιλούν απευθείας, και έτσι να μην απασχολούν το ασύρματο δίκτυο. Τότε μια εντολή, για να αρχίσει μια διαδικασία εντοπισμού, φεύγει προς τις δύο συσκευές. Με λίγα λόγια όταν οι συσκευές UE1 και UE2 έρθουν σε κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους και η κάθε μία ανιχνεύει την άλλη μεταβαίνουν από κυψελωτή συνεδρία σε απευθείας επικοινωνία όπως ακριβώς βλέπουμε και στην Εικόνα 3.

Η υπόλοιπη επικοινωνία πλέον των συσκευών γίνεται ανεξάρτητη από το LTE-A δίκτυο αλλά πάντα υπό την εποπτεία του. Όποια στιγμή τα δυο κινητά θελήσουν,

μπορούν να μεταβούν στην προηγούμενη κατάσταση και να επικοινωνούν μέσω ενός eNB είτε με δική τους πρωτοβουλία να ζητήσουν να βρουν όλες τις γειτονικές συσκευές



Εικόνα 3: Επικοινωνία κινητών

4.4 Διαχείριση των Παρεμβολών

Ένα από τα βασικά ζητήματα που έχουμε να αντιμετωπίσουμε και να χειριστούμε στις ασύρματες επικοινωνίες είναι οι παρεμβολές. Το LTE δίκτυο πρέπει να λειτουργεί ανεπηρέαστα από τις υπόλοιπες εκπομπές και οι λειτουργίες του όπως η αναζήτηση γειτονικής συσκευής πρέπει να πραγματοποιείται έχοντας στους αλγορίθμους που να συμπεριλαμβάνουν τα επίπεδα των παρεμβολών από άλλες πηγές. Οι βασικές δυσκολίες για την διαχείριση των παρεμβολών άπτονται στο γεγονός ότι οι συσκευές του LTE έχουν μια τυχαιότητα στις κινήσεις τους όπως και τα κανάλια των συχνοτήτων που χρησιμοποιούν αλλά και την πολυπλοκότητα στον διαμορισμό αυτών των συχνοτήτων και των κυψελών. Βασική μονάδα μέτρησης την παρεμβολής είναι το SINR (signal to interference plus noise ratio) και αναφέρετε στον λόγο του χρήσιμου σήματος προς τον θόρυβο από το περιβάλλον συν την παρεμβολή. Τους αλγορίθμους που διαχειρίζονται αυτό το φαινόμενο μπορούμε να τους κατηγοριοποιήσουμε σε καταναμημένους και κεντρικοποιημένους.

4.5 Σύνοψη

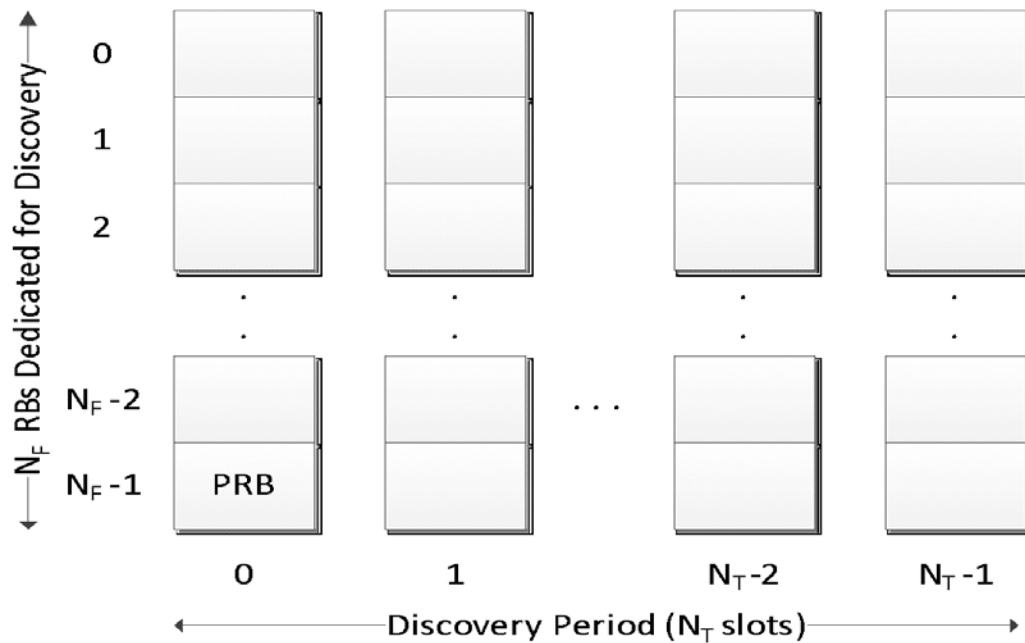
Όπως είδαμε και παραπάνω τα οφέλη που αποκομίζουμε από την χρήση της απευθείας επικοινωνίας είναι πολλά και αξίζουν περαιτέρω ανάπτυξη και ανάλυση των υπάρχοντων δομών. Το D2D σαν κομμάτι του LTE-A θεωρείται ένα πολύ σημαντικό συστατικό της 4ης γενιάς δικτύων και μια τεχνολογία που θα παίξει ρυθμιστικό ρόλο στην μετάβαση στην 5η γενιά ασύρματων δικτύων. Ακρογωνιαίος λίθος για μια επιτυχημένη απευθείας επικοινωνία αποτελεί ο αποτελεσματικός εντοπισμός των συσκευών μεταξύ τους. Στα επόμενα κεφάλαια θα προσπαθήσουμε να δούμε από μια πιο κοντινή ματιά αυτό το πρόβλημα και να το μελετήσουμε ώστε να δώσουμε ολοκληρωμένες λύσεις.

5. Το πρόβλημα της Αναζήτησης συσκευής

Το πρώτο βήμα για να έχουμε μια επικοινωνία δυο συσκευών είναι ο επιτυχημένος εντοπισμός μεταξύ τους. Η δομή ενός αποκεντρωμένου δικτύου μας δυσκολεύει στο να κρατάμε και να καταγράφουμε τις θέσεις των κινητών στον χώρο αλλά και στο φάσμα των συχνοτήτων. Η όλη αρχιτεκτονική του εντοπισμού των συσκευών περιγράφεται από τους σχεδιαστές του LTE-A και θα προσπαθήσουμε να την αναλύσουμε. Η αναζήτηση αυτή χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, τα κινητά να μεταδίδουν ένα σήμα εντοπισμού (beacon) ή όχι. Στην περίπτωση που δεν γίνεται μετάδοση του beacon θα πρέπει η αναζήτηση να γίνει με την βοήθεια των eNB's ή του πυρήνα του δικτύου. Η χρήση όμως του beacon μας βοηθά να έχουμε μια πιο γρήγορη και αποκεντρωμένη αναζήτηση που δεν απασχολεί το δίκτυο του LTE-A και προτιμάτε. Τέτοιου είδους beacon αποτελούν οι ακολουθίες συγχρονισμού στο LTE ή οι γνωστές ακολουθίες FHS (Frequency Hopping Sequences) και τα πακέτα FHS στο Bluetooth. Ανεξάρτητα από τις λεπτομέρειες υλοποίησης της κάθε τεχνολογίας, το θεμελιώδες πρόβλημα της ανακάλυψης συσκευής είναι το γεγονός ότι τουλάχιστον δυο συσκευές πρέπει να βρεθούν στον χώρο, τον χρόνο και την συχνότητα. Όλη η προσπάθεια βρίσκεται πλέον στο πως θα διαχειριστούμε και θα εκμεταλλευτούμε αυτά τα σήματα εντοπισμού με τρόπο τέτοιο ώστε να βελτιστοποιήσουμε αυτή την διαδικασία και να προτείνουμε ένα κατάλληλο πρωτόκολλο το οποίο θα συγχρονίσει αυτή την συνάντηση των συσκευών.

5.1 Πόροι για τη λειτουργία της αναζήτησης συσκευής

Υιοθετώντας τις βασικές αρχές του LTE-Direct μπορούμε να θεωρήσουμε ότι στο ανοδικό κανάλι (Up link) ένα κομμάτι του φάσματος χωρίζεται σε μορφή μπλοκ χρόνου-συχνοτήτων και παραχωρείται για την αναζήτηση των συσκευών από το σύστημα. Αυτά τα μπλοκ τα ονομάζουμε Resource Blocks (RBs) όπως περιγράφονται στο σχήμα 2. Στα RBs στον ένα άξονα εκτίνετε το φάσμα πάνω από 180 KHz και χωρίζεται σε κανάλια ενώ στον άλλο ο χρόνος χωρίζεται σε κομμάτια (slots) των 0,5 ms χωρίς όμως να είναι απαραίτητα συνεχόμενα μεταξύ τους. Τα μπλοκ που ορίζουμε από αυτούς τους άξονες μπορεί να φιλοξενούν ένα σήμα αναζήτησης κάθε φορά. Το πλήθος αυτών των μπλοκ είναι ανάλογο του σχεδιασμού του εκάστοτε πρωτοκόλλου αλλά και των διαθέσιμων πόρων που έχει το σύστημα για εντοπισμό. Η όλη διαδικασία εκτείνεται στον χρόνο και για να μπορέσουμε να την βελτιώσουμε πρέπει να καταλάβουμε κάποιους από τους βασικούς περιορισμούς που εμφανίζονται από το συγκεκριμένο σχήμα αλλά και η φύση των σημάτων.



Σχήμα 2: Μπλοκ ραδιοπόρων κατά την ανίχνευση συσκευών

5.2 Περιορισμοί κατά την αναζήτηση συσκευής

Αρκετοί περιορισμοί υπεισέρχονται κατά την εκμετάλλευση των ράδιο-πόρων για την μετάδοση των σημάτων ανίχνευσης. Ο μεγαλύτερος εξ αυτών είναι το λεγόμενο half-duplex constraint και αναφέρετε στην ανικανότητα ενός ραδιοφωνικού πομποδέκτη να μεταδίδει και να λαμβάνει την ίδια ώρα. Αυτό σημαίνει ότι ανεξάρτητα με τον αριθμό των καναλιών που έχουμε διαθέσιμα, μια συσκευή μετάδοσης δεν μπορεί να ανακαλύψει άλλες συσκευές την ίδια στιγμή που αυτή εκπέμπει το δικό της σήμα σε κάποιο RB. Επιπλέον ένα ακόμα εμπόδιο που συναντάμε είναι ότι ο κάθε δέκτης δεν μπορεί να καταλαβαίνει ένα σήμα με πολύ μικρή ισχύ αν δέχεται ταυτόχρονα και ένα άλλο σήμα με μεγαλύτερη ισχύ σε άλλη συχνότητα λόγω του πεπερασμένου δυναμικού εύρους του πομποδέκτη. Τόσο για το πρόβλημα του half-duplex όσο και για το πρόβλημα του πεπερασμένου δυναμικού εύρους μια αποτελεσματική τεχνική για να τα αντιμετωπίσουμε είναι η μεταπήδηση στις συχνότητες.

Ένα ακόμα πρόβλημα που προκύπτει είναι η αδυναμία συγχρονισμού μεταξύ των συσκευών κατά την διάρκεια του χρόνου αλλά και στις συχνότητες. Για τα συστήματα ανακάλυψης συσκευής χρησιμοποιούμε τεχνικές OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), που χρησιμοποιούν ένα διευρυμένο κυκλικό πρόθεμα (CP) για να μπορέσουν να πετύχουν αυτόν τον συγχρονισμό.

Πέραν όμως των πρακτικών προβλημάτων που μας δημιουργούνται από τους πομποδέκτες βλέπουμε ότι και το ασύρματο περιβάλλον μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον εντοπισμό των συσκευών. Έστω ότι μια κινητή συσκευή εντοπίζει μια άλλη στον χώρο, θα πρέπει να αποφασίσουμε αν αυτό είναι αρκετό για να υπάρξει μια αμφίδρομη επικοινωνία D2D ή πρέπει να γίνει το ίδιο από την άλλη συσκευή. Στην επιστημονική βιβλιογραφία που υπάρχει για τις ασύρματες επικοινωνίες και τους μηχανισμούς εντοπισμού, αυτή η συμμετρία, του να αρκεί ο ένας μόνο να εντοπίσει τον άλλο, για να έχουμε μια επιτυχημένη επικοινωνία είναι κοινή παραδοχή και χρησιμοποιείται ώστε να μας βοηθά στον σχεδιασμό του πρωτοκόλλου και στην ανάλυσή του.

Τέλος ένα ακόμα πρόβλημα που προκύπτει από αυτό τον μηχανισμό ανακάλυψης είναι η διακύμανση που έχει το σήμα εντοπισμού που οφείλετε στο φαινόμενο της διάλειψης ή αλλιώς *multipath fading* και της κινητικότητας της συσκευής. Με άλλα λόγια όταν ένα κινητό βρίσκεται σε ένα φυσικό περιβάλλον το σήμα του δεν φτάνει στον δέκτη όπως ακριβώς περιμένουμε αλλά αντανακλά πάνω σε επιφάνειες ή παρεμποδίζεται από εμπόδια και το αποτέλεσμα στον δέκτη είναι διαφορετικό από το αναμενόμενο. Αυτές οι διακυμάνσεις στο σήμα μπορούν εύκολα να οδηγήσουν σε αδυναμία εντοπισμού ή και λάθος στην εκτίμηση της θέσης της συσκευής, καταλήγοντας σε καταστάσεις όπου το κινητό είτε δεν μπορεί να «μεταφράσει» τα σήματα που δέχθηκε είτε αν και έχει εντοπίσει την γειτονική συσκευή η D2D ζεύξη δε μπορεί να υλοποιηθεί.

5.3 Τεχνικές αναζήτησης ομότιμων συσκευών

Όπως είδαμε και στην ενότητα 4.3 υπάρχουν διάφοροι τρόποι που η D2D διασύνδεση να υλοποιηθεί και αντίστοιχα και η διαδικασία ανακάλυψης. Μπορούμε να διακρίνουμε δυο σχήματα με τα οποία λειτουργεί μια διαδικασία ανακάλυψης ομότιμων συσκευών, το *a-priori* και το *a-posteriori* τα οποία θα αναλύσουμε όπως περιγράφονται στην Εικόνα 4.

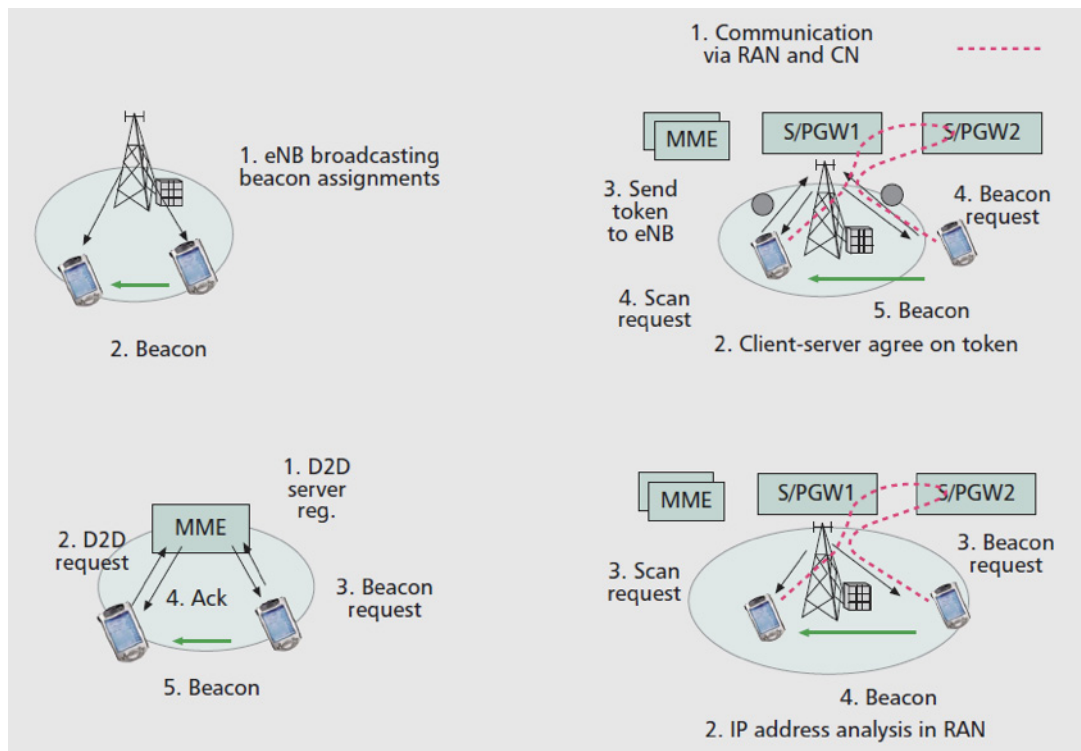
5.3.1 A-priori ανίχνευση συσκευής

Σαν *a-priori* ονομάζουμε το σύστημα στο οποίο το δίκτυο (και/ή οι ίδιες οι συσκευές) εντοπίζουν τους υποψήφιους για ζεύξη ομότιμους πριν από την έναρξη μια συνόδου επικοινωνίας. Υπάρχουν περιπτώσεις (Εικόνα 4 πάνω αριστερά), το δίκτυο να μην συμμετέχει ενεργά στην διαδικασία ανακάλυψης, εκτός από την ανάθεση πόρων για

εκπομπή beacon στις συσκευές. Οι συσκευές servers (που μεταδίδουν beacon) και οι συσκευές clients (που ανιχνεύουν το beacon) πρέπει να ακολουθούν ένα πρωτόκολλο στις εκπομπές τους ώστε να εντοπίζουν η μια την άλλη. Μια ακόμα εναλλακτική του a-priori (Εικόνα 4 κάτω αριστερά) θέλει ο Server να συνδέετε πρώτα στο δίκτυο και η συσκευή που επιθυμεί να συμμετάσχει σε D2D επικοινωνία να στέλνει ένα αίτημα προς το δίκτυο που να περιέχει την ταυτότητα της, μια λίστα φίλων ή μια λίστα με τις ζητούμενες/προσφερόμενες υπηρεσίες[15].

5.3.2 A-posteriori ανίχνευση συσκευής

Ο eNB του δικτύου παρακολουθεί την γεωγραφική δομή του δικτύου και όταν αντιληφθεί ότι δυο συσκευές βρίσκονται σε εγγύτητα η μια από την άλλη, αρά είναι υποψήφιος για D2D διασύνδεση, ενώ γίνεται επικοινωνία σε κυψελωτή λειτουργία παίρνετε απόφαση να μεταβεί σε D2D κατάσταση. Αυτό αποτελεί ένα a-posteriori σύστημα στο οποίο υπάρχουν διάφορες περιπτώσεις. Στην περίπτωση a-posteriori ανακάλυψης με τη βοήθεια της συσκευής (Εικόνα 4 - πάνω δεξιά) οι συσκευές συμφωνούν σε ένα διακριτικό (token) που είναι μοναδικό για την εν εξελίξει συνοδό επικοινωνίας. Καθώς η διαδρομή επικοινωνίας περνάει συνηθώς μέσα από διαφορετικά S-GW/P-GW, ο εντοπισμός των D2D υποψήφιων δεν μπορεί να βασιστεί μόνο σε ένα φυσικό GW. Μόλις εγκατασταθεί το token, οι συσκευές καταχωρούν το token στον eNB που τις εξυπηρετεί, ο οποίος μπορεί εύκολα να αναγνωρίσει τις δυο συσκευές ως υποψήφιος για D2D. Εναλλακτικά, στην περίπτωση a-posteriori εντοπισμού βασισμένου στο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (Εικόνα 4 - κάτω δεξιά), ο eNB αναλύει τα IP (Internet Protocol) πακέτα και ιδίως τις IP διευθύνσεις προέλευσης και προορισμού, για να εντοπίσει D2D ζεύγη επικοινωνίας μέσα στην ίδια κυψέλη/τομέα.



Εικόνα 5: Τεχνικές αναζήτησης ομότιμων συσκευών [15]

6. Το πρωτόκολλο FlashLinQ

Ένα από τα πιο αποτελεσματικά πρωτόκολλα που έχουμε αυτή την στιγμή για την απευθείας επικοινωνία των συσκευών σε LTE-A δίκτυα είναι το λεγόμενο FlashLinQ. Είναι μια αρχιτεκτονική η οποία αξιοποιεί την πρόσβαση που μας δίνει το OFDM κανάλι δίνοντας μεγάλη προτεραιότητα στην ισορρόπηση της ενέργειας. Χρησιμοποιεί για τον προγραμματισμό και την διανομή των RBs ένα distributed σύστημα με βάση τον λόγο σήματος προς παρεμβολές (SIR) και την κατάσταση του καναλιού αντλώντας σημαντικά οφέλη. Η αρχιτεκτονική είναι βασισμένη πάνω σε ένα CSMA/CA σύστημα που χρησιμοποιεί RTS/CTS μηχανισμούς για την αποφυγή συμφόρησης .

Κατά την υλοποίηση του μηχανισμού οι ερευνητές έθεσαν τρεις βασικούς πυλώνες πάνω στους οποίους έχτισαν το πρωτόκολλο του FlashLinQ:

1. Μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας: Οι κινητές συσκευές θα πρέπει να έχουν μια μεγάλη διάρκεια αναμονής (μερικές μέρες με της κλασικές μπαταρίες που υπάρχουν στην αγορά).
2. Μεγάλη ακτίνα αναζήτησης: Σε εξωτερικό περιβάλλον η συσκευή θα πρέπει να εντοπίζει άλλες σε ακτίνα ενός χιλιομέτρου και σε πλήθος πάνω από μερικές χιλιάδες.
3. Χαμηλή χρήση του καναλιού του δικτύου: Το πρωτόκολλο θα πρέπει να χρησιμοποιεί ένα μικρό ποσοστό του συνολικού εύρους του καναλιού έτσι ώστε το υπόλοιπο να δίνεται για τις υπόλοιπες λειτουργίες του D2D (μεταφορά δεδομένων, φωνής, κτλ).

Από εξωτερική σκοπιά παρατηρούμε ότι είναι μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική που περιέχει τέσσερις άξονες λειτουργίας: (i) συγχρονισμό στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας, (ii) εντοπισμό γειτονικής συσκευής (iii) διαχείριση του καναλιού και τέλος (iv) διαχείριση ενέργειας, ρυθμού και σύνδεσης. Το FlashLinQ έχει υλοποιηθεί για λειτουργία πάνω σε αδειοδοτημένο φάσμα (licensed spectrum) των 5 MHz χωρισμένο με TDD σε DSP/FPGA πλατφόρμες. Το μεγάλο κέρδος που έχουμε από το αδειοδοτημένο φάσμα που λειτουργεί το FlashLinQ είναι ότι μπορούμε να συγχρονίσουμε την διαδικασία πολύ πιο αποτελεσματικά και με μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση από ότι σε ένα μη αδειοδοτημένο φάσμα και ας έχουμε μια λειτουργία που είναι καθαρά κατανεμημένη στις κινητές συσκευές.

Το FlashLinQ είναι ένα σύστημα συγχρονισμένης απευθείας επικοινωνίας με πολύ εντυπωσιακά χαρακτηριστικά όπως το γεγονός ότι μπορεί να εντοπίσει μια συσκευή σε ακτίνα περισσότερου του ενός χιλιομέτρου και χρειάζεται λιγότερο από 8 δευτερόλεπτα για να βρεθούν μεταξύ τους μερικές χιλιάδες συσκευές. Η αρχιτεκτονική του είναι εντελώς επίπεδη με την έννοια ότι δεν υπάρχει κάποιος κεντρικός κόμβος που να διαχειρίζεται την διασύνδεση ούτε κάποια συσκευή σε μεγαλύτερη ιεραρχία από τις υπόλοιπες .

6.1 Το πλαίσιο λειτουργίας

Όπως περιγράψαμε και στην παράγραφο 5.1 τα πρωτόκολλα αναζήτησης συσκευής διαχειρίζονται και προγραμματίζουν τις μεταδόσεις που γίνονται μέσα σε ένα αυστηρό πλαίσιο που αποτελείται από τα λεγόμενα Resource Blocks. Το FlashLinQ δίνει το 2% του χρόνου για αναζήτηση συσκευής, δηλαδή ένα πλαίσιο των 20 milliseconds αναζήτησης για κάθε 1 δευτερόλεπτο λειτουργίας. Οι συσκευές που δεν έχουν να κάνουν κάποια άλλη δουλειά μπορούν να μπουν σε κατάσταση ύπνου το υπόλοιπο 98% του χρόνου κάνοντας μεγάλη ενεργειακή εξοικονόμηση. Κάθε πλαίσιο αναζήτησης μετέπειτα μπορεί να υποδιαιρεθεί σε άλλα υποπλαίσια. Κάθε 8 δευτερόλεπτα θεωρούμε ότι ολοκληρώνετε μια περίοδο αναζήτησης η οποία αποτελείται από N_T υποπλαίσια και τέλος το φάσμα των 5Mhz σπάει σε N_F παράλληλα κανάλια χρησιμοποιώντας OFDMA σχήμα.

Κάθε ένα από αυτά τα RBs που δημιουργούνται όπως περιγράφεται στο σχήμα 2 αντιπροσωπεύεται από έναν μοναδικό κωδικό που ονομάζεται PDRID (Peer Discovery Resource ID) και αποτελεί την βασική μονάδα πόρου που έχει στην διάθεση του ένα κινητό για να αποστείλει το σήμα εντοπισμού του. Όλα τα PDRIDs μπορούμε να τα αναπαριστούμε από εδώ και πέρα σε ένα ενιαίο πίνακα μεγέθους $N_F \times N_T$ τον οποίο και θα χρησιμοποιήσουμε για να ολοκληρώσουμε την μελέτη μας .

Το FlashLinQ ορίζει τις τιμές $N_T=64$, $N_F=56$ ενώ κάθε μπλοκ πόρου το αποτελούν 70 διαδοχικά OFDM σύμβολα. Κάθε συσκευή διαλέγει ,μέσα από μια διαδικασία που θα περιγράψουμε αργότερα, ένα από τα διαθέσιμα PDRIDs για να μεταδώσει το σήμα της και στα υπόλοιπα περιμένει να “ακούσει” κάποια άλλη μετάδοση από τα γειτονικά κινητά. Κάθε ένα από αυτά τα σήματα εντοπισμού μεταφέρουν 70 bits πληροφορίας χρησιμοποιώντας convolutional κώδικα με ρυθμό 1/2 και QPSK διαμόρφωση ώστε να μεταφέρουν την απαραίτητη πληροφορία για τον εντοπισμό.

6.2 Εξοικονόμηση ενέργειας

Μια από τις διαχρονικές ανησυχίες σχετικά με την ανακάλυψη από ομότιμους σε ad hoc ασύρματα δίκτυα είναι η ενεργειακή αποδοτικότητα της διαδικασίας. Χρησιμοποιούμε τον συγχρονισμό για να δεσμεύσουμε μικρές χρονοθυρίδες για την ανακάλυψη ομότιμου (περίπου 20ms αν δευτερόλεπτο). Αυτή η χρονοθυρίδα χρησιμοποιείται για την μετάδοση καθώς και την λήψη πληροφοριών παρουσίας προς και από τους κοντινούς κόμβους. Στο σύστημα μας αυτό ισοδυναμεί με το 2% ενός ενεργού κύκλου το οποίο αφήνει έναν αποδεκτό χρόνο στην συσκευή για αναμονή. Όλες οι συσκευές συμμετέχουν στην αναζήτηση ακόμα και αν δεν είναι σε επικοινωνία με άλλες συσκευές .

Μελέτες έχουν δείξει [14] ότι ένα κινητό που διαθέτει μια 1400 mA-Hr μπαταρία και τρέχει το πρωτόκολλο του FlashLinQ τότε θα καταναλώνει ενέργεια με ρυθμό 7 mA-Sec οπότε θα μπορεί να είναι σε αναμονή για 8,33 μέρες σε αντίθεση με το πρωτόκολλο του Wi-Fi που καταναλώνει 202 mA-Sec και χρόνο αναμονής 0,29 μέρες.

6.3 Μεταπήδηση στις συχνότητες

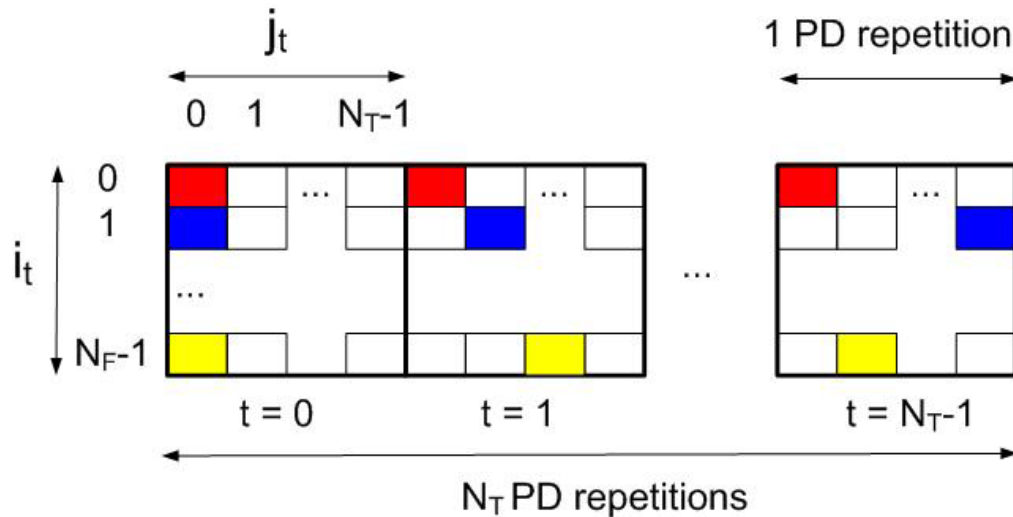
Για να αντιμετωπίσει τα προβλήματα του half-duplex όσο και για το πρόβλημα του πεπερασμένου δυναμικού εύρους που είδαμε στην ενότητα 5.2 το FlashLinQ εναλλάσσει στις συσκευές την ανάθεση των PDRIDs με μια ψευδοτυχαία διαδικασία. Κατά την εκκίνηση του συστήματος κάθε συσκευή παίρνει ένα PDRID στο οποίο θα στείλει το σήμα εντοπισμού της και θα πρέπει να μπορεί να ανιχνεύει την παρουσία άλλων σημάτων. Καθώς περνά ο χρόνος στο σύστημά μας διάφορες συγκρούσεις και παρεμβολές συμβαίνουν στα PDRIDs από άλλες κοντινές συσκευές και είναι ευθύνη του πρωτοκόλλου να αντιμετωπίσει αυτά τα προβλήματα και να επιτρέψει την ομαλή λειτουργία.

Το FlashLinQ για να καταφέρει να βελτιστοποιήσει την απόδοση του διαλέγει συγκεκριμένες τιμές για τα N_T, N_F που πρέπει να υπακούν σε κάποιους κανόνες. Πρώτον, το N_T πρέπει να είναι δύναμη ενός πρώτου αριθμού και να ανήκει σε ένα πεπερασμένο σώμα $GF(N_T)$ (Galois field) επίσης πρέπει το $N_T > N_F$. Για να ορίσουμε αυτή την ψευδοτυχαία ακολουθία με την οποία αλλάζει στον άξονα του χρόνου η θέση του PDRID έχουμε την εξής αντιστοιχία

$$i(t) = I$$

$$j(t) = J \otimes (I \oplus t)$$

όπου t είναι ο δείκτης για την περίοδο που βρισκόμαστε ($t = 0, 1, 2, \dots, N_T - 1$), (I, J) είναι το ζεύγος που μας δίνει την θέση του PDRID μέσα στον πίνακα $N_T \times N_F$ ενώ \otimes και \oplus υποδηλώνουν τις πράξεις του πολλαπλασιασμού και της πρόσθεσης μέσα στο $GF(N_T)$.



Εικόνα 6: Παράδειγμα μεταπήδησης στο FlashLinQ

6.4 Διανομή και διαχείριση των PDRIDs

Μπορούμε να διακρίνουμε δυο τρόπους για να διανείμουμε τους ράδιο-πόρους στο σύστημα έχοντας πάντα κατανεμημένη αυτή την δουλειά στις κινητές συσκευές. Με τον πρώτο τρόπο κάθε συσκευή μπορεί να διαλέγει τυχαία οποιοδήποτε πόρο μέσα από τα $N_F \times N_T$ PDRID του συστήματος. Μία άλλη μέθοδος θα ήταν να ελέγξουμε πρώτα ποιοι πόροι έχουν δεσμευτεί από άλλους χρήστες και να διαλέξουμε κάποιον από τους διαθέσιμους. Τον πρώτο τρόπο τον ονομάζουμε *τυχαιοκρατικό* ενώ τον δεύτερο *άπληστο*.

Στην περίπτωση όμως που έχουμε περισσότερους χρήστες από ότι διαθέσιμους πόρους, κατά τον έλεγχο που θα κάνει ο άπληστος αλγόριθμος δεν θα βρει κάποια διαθέσιμη θέση ώστε να αποστείλει σήμα η συσκευή. Αυτό το πρόβλημα μπορούμε να το επιλύσουμε αν στείλουμε δυο διαφορετικές ή και περισσότερες συσκευές να χρησιμοποιήσουν τον ίδιο πόρο με την προϋπόθεση να μην αλληλοεπηρεάζονται τα εκάστοτε σήματα. Με λίγα λόγια ο άπληστος αλγόριθμος πρέπει να αναθέτει για μετάδοση σε κάθε κινητό τον πόρο με την μικρότερη συμφόρηση ως προς αυτόν. Με

αυτόν τον τρόπο μπορούμε να πετύχουμε επαναχρησιμοποίηση των PDRIDs στην ίδια περίοδο αναζήτησης και να μεγαλώσουμε την απόδοση του συστήματος.

Από τις δύο τεχνικές που είδαμε μπορούμε να πούμε ότι η τεχνική του άπληστου αλγορίθμου που λειτουργεί με την προσθήκη, να καταλαβαίνει πιο μπλοκ είχε την λιγότερη συμφόρηση, είναι το αποδοτικότερο και είναι αυτό που θα χρησιμοποιήσουμε. Τα πλεονεκτήματα είναι πάρα πολλά αφού μπορούμε να ανακαλύψουμε ταυτόχρονα πάρα πολλούς γειτονικούς χρήστες χωρίς όμως να έχουμε τους απαραίτητους πόρους μέσω της παράλληλης χρήσης των μπλοκ καθώς επίσης δεν σπαταλάμε ενέργεια και χρόνο για να περιμένουμε να βρεθούν κάποια κινητά μεταξύ τους και μετά να έρθει η ώρα κάποιου αλλού να στείλει. Το μειονέκτημα είναι ότι προφανώς ανεβαίνει το υπολογιστικό κόστος καθώς οι συσκευές (UEs) πρέπει να επεξεργάζονται το κάθε μπλοκ και να διακρίνουν τα σήματα που βρίσκονται μέσα σε αυτό.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που παρατηρήσαμε είναι ότι με την χρήση του άπληστου αλγορίθμου στην πράξη όταν τα κινητά διαλέγουν ταυτόχρονα, και όχι με την σειρά, πιο PDRID θέλουν για μετάδοση υπάρχει σοβαρή πιθανότητα να μην αντιληφθεί το ένα την ύπαρξη του άλλου αν επιλέξουν το ίδιο ακριβώς PDRID. Αυτό το φαινόμενο το ονομάζουμε *τοπική σύγκρουση (local collision)*. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου θα αναθεωρήσουμε τον άπληστο αλγόριθμο προσθέτοντας μια συνθήκη κατά την επιλογή του πόρου για μετάδοση. Πλέον θα λέμε ότι κάθε χρήστης θα επιλέγει ένα PDRID το οποίο ανήκει στο 5% των PDRIDs του έχουν την λιγότερη ενέργεια.

6.5 Ακτίνα εμβέλειας

Το FlashLinQ χρησιμοποιεί την προσέγγιση του FDM για την διαχείριση της συχνότητας του σήματος που έχει τυπικά ενέργεια μετάδοσης 23 dBm και εκτείνεται σε μεγάλο μήκος στον χρόνο. Μπορούμε να θεωρήσουμε δυο σενάρια στα οποία βρίσκονται τα κινητά στον χώρο για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τις επιδόσεις του.

6.5.1 Εσωτερικού χώρου

Το πρώτο σενάριο θέλει τις συσκευές μας να βρίσκονται σε έναν εσωτερικό χώρο που έχει μελετηθεί με την βοήθεια του μοντέλου των Keenan-Motley το οποίο προσομοιώνει την απώλεια του σήματος σε σπίτι με εσωτερικούς τοίχους και έπιπλα. Έχοντας παραμέτρους $p_{in} = 4$, $W_{in} = \frac{d}{10}$, $k = 2$, $F = 15$ στα 2.4 Ghz βλέπουμε ότι το

σήμα θα μπορεί να φτάσει έως και 79 m μακριά σε αντίθεση με το Wi-Fi που καλύπτει 31m σε αντίστοιχες καταστάσεις .

6.5.2 Εξωτερικού χώρου

Στο δεύτερο σενάριο για να προσομοιώσουμε την απώλεια σήματος σε έναν εξωτερικό χώρο θα χρησιμοποιήσουμε την πρόταση της ITU-R P.1411 [11] με παραμέτρους $h_{m1}, h_{m2} = 1,5m$ στα 2.4 Ghz. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μια συσκευή που τρέχει το FlashLinQ μπορεί να εντοπίσει μια άλλη σε απόσταση 1200 m που σε αντιστοιχία με την τεχνολογία Wi-Fi θα είχαμε ακτίνα μόλις 237 m.

6.6 Η προσομοίωση του FlashLinQ

Για να μελετήσουμε το πρότυπο του FlashLinQ έχει δημιουργηθεί προσομοίωση της λειτουργίας του στο περιβάλλον της γλώσσας προγραμματισμού MATLAB με το οποίο θα μελετήσουμε την συμπεριφορά και την αποδοτικότητα του. Η προσομοίωση βασίζεται στο πρωτόκολλο που περιγράψαμε προηγουμένως ώστε να μελετήσουμε με πειραματικό τρόπο την λειτουργία του πρωτοκόλλου.

6.6.1 Η δομή του πειράματος

Ο αλγόριθμος προσομοιάζει την λειτουργία των κινητών πάνω σε έναν συνδεδεμένο γράφο όπου κάθε ακμή συμβολίζει την δυνατή ζεύξη δυο κινητών συσκευών. Σαν παραμέτρους έχουμε ορίσει 7 κανάλια στις συχνότητες και 13 slots στον χρόνο για κάθε περίοδο αναζήτησης. Η επίσημη τιμή που έχει αποφασιστεί από τους ερευνητές του FlashLinQ είναι $N_T=64$, $N_F=56$ το οποίο δεν θα ακολουθήσουμε σε αυτή την προσομοίωση γιατί σκοπός της εργασίας είναι να δούμε το πρωτόκολλο πως συμπεριφέρεται σε συνθήκες όπου οι χρήστες είναι περισσότεροι από τα διαθέσιμα PDRIDs και έτσι βάση της αρχής του περιστερώνα τουλάχιστον ένα RB θα φιλοξενεί περισσότερες από μια συσκευές, πράγμα που σημαίνει ότι θα έπρεπε να λειτουργήσουμε με ένα πλήθος μεγαλύτερο από 3584 κινητές συσκευές ανεβάζοντας σημαντικά το υπολογιστικό κόστος της προσομοίωσης. Όσον αφορά το σήμα η ισχύς του είναι 23 dBm στη συχνότητα των 2.6 Ghz. Τέλος, θεωρούμε ότι είμαστε σε ένα εξωτερικό χώρο που έχει εμβαδό $4000 \times 4000 = 16.000.000$ τετραγωνικά μέτρα στον οποίο υπάρχουν τα κινητά. Το σήμα καθώς ταξιδεύει μέσα στον χώρο αποδυναμώνεται και σταδιακά χάνετε οπότε στην προσομοίωση μας έχουμε το μοντέλο που προτείνει η ITU-R [11].

Τύπος	Τιμή
Κανάλια συχνοτήτων ανά περίοδο	7
Slots ανά περίοδο	13
Ισχύς σήματος	23 dBm
Συχνότητα σήματος	2.6 GHz
Γεωγραφικός χώρος προσομοίωσης	4000m X 4000m
Κινητές συσκευές	50/150
Κατώφλι απόστασης	700m
Κατώφλι SIR	-20dB έως 20dB

Πίνακας 3 Παράμετροι πειράματος

6.6.2 Μεταπήδηση στις συχνότητες

Η μεταπήδηση στις συχνότητες γίνεται με τον τρόπο που περιγράψαμε στην ενότητα 6.2. Για να κρατάμε τις νέες θέσεις στους άξονες του χρόνου και του καναλιού χρησιμοποιήσαμε δυο πίνακες και υπολογίσαμε τις θέσεις βάση του προτεινόμενου αλγόριθμου όπως βλέπουμε στην Εικόνα 3.

```

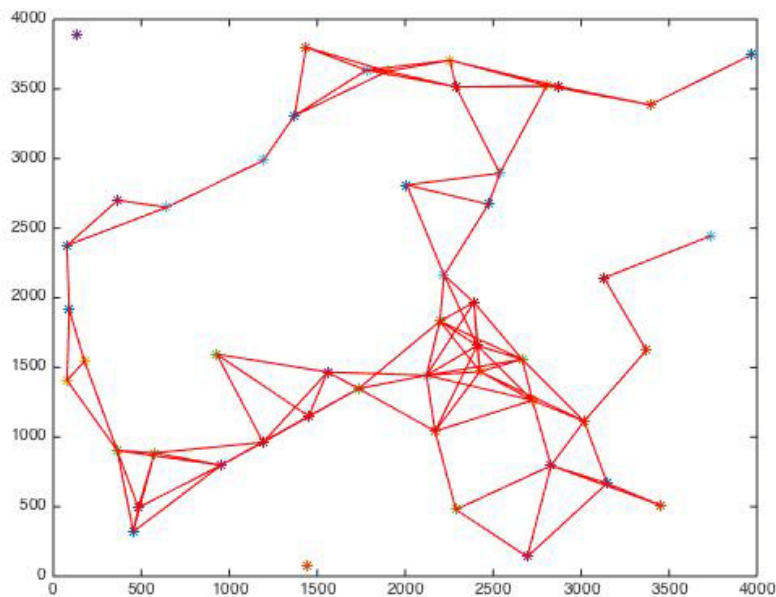
for t=0:1:p-1
  PosisionF(t+1)=I;
  PosisionT(t+1)=mod(J+(I-1)*t,p);
  if PosisionT(t+1)==0
    PosisionT(t+1)=p;
  end
end
end

```

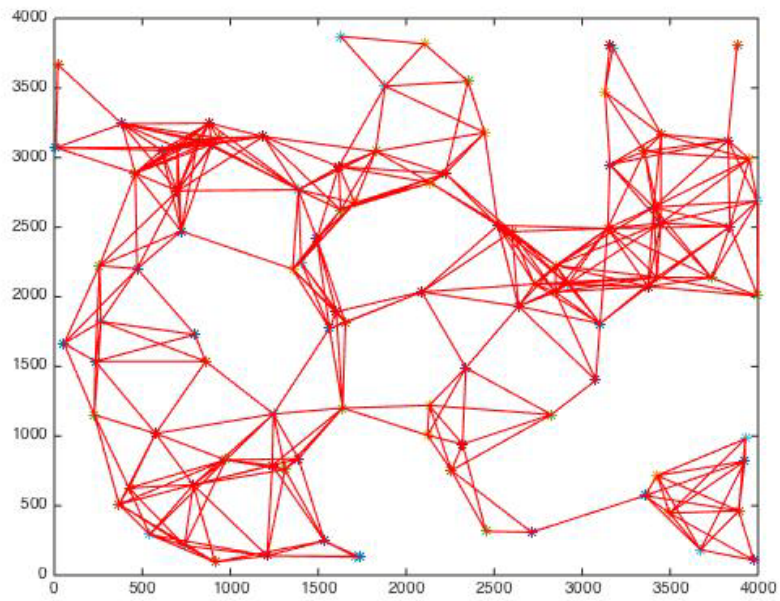
Εικόνα 7: κώδικας της προσομοίωσης για μεταπήδηση

6.6.3 Απεικόνιση δικτύου σε γράφο

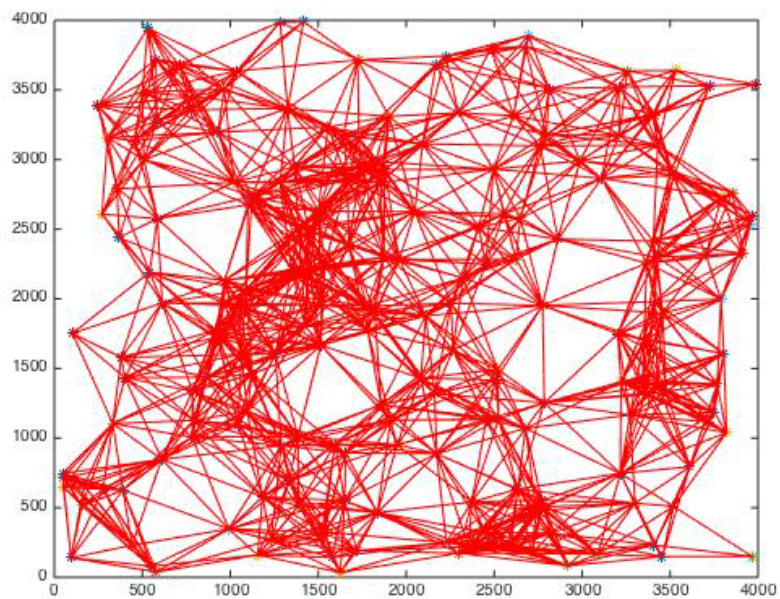
Οι θέσεις (κόμβοι) των κινητών κάθε φορά στην προσομοίωση υπολογίζονται τυχαία στον χώρο βάση των διαστάσεων του και οι μεταξύ τους συνδέσεις (ακμές) χρησιμοποιώντας τον λόγο του σήματος προς παρεμβολή SIR. Έτσι παίρνουμε σαν αποτέλεσμα ένα γράφο στον οποίο υπάρχουν οι κινητές συσκευές σε ένα στιγμιότυπο τους και μεταξύ αυτών, με κόκκινο χρώμα, ακμές που συνδέουν τα κινητά για τα οποία μπορούν να πετύχουν D2D διασύνδεση όπως βλέπουμε στις Εικόνες 8 έως 11. Μια ακόμα παράμετρος που παίζει ρόλο στον σχηματισμό του γράφου είναι μια τιμή που θέτουμε εμείς στην προσομοίωση στο Distance Threshold (κατώφλι απόστασης) και το χρησιμοποιούμε για να μπορέσουμε να έχουμε την επιθυμητή πυκνότητα ακμών στον γράφο μας. Με μια μεγάλη τιμή για το Distance Threshold, αναλογικά με τον χώρο και τις συσκευές που έχουμε, ο γράφος που παίρνουμε είναι πυκνός και σχεδόν πλήρως συνδεδεμένος. Με μια αρκετά μικρή τιμή ο γράφος έχει πολύ λιγότερες ακμές άρα η προσομοίωση ζητά λιγότερες διασυνδέσεις.



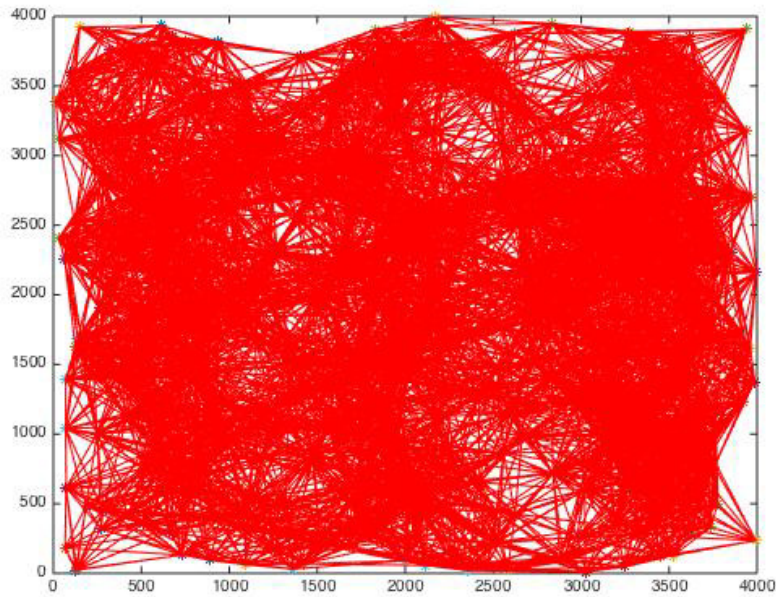
Εικόνα 8: 50 συσκευές στο σύστημα



Εικόνα 9: 100 συσκευές στο σύστημα



Εικόνα 10: 200 συσκευές στο σύστημα



Εικόνα 11: 500 συσκευές στο σύστημα

6.6.4 Κατώφλι σήματος προς παρεμβολή

Μια ακόμα πολύ σημαντική παράμετρος που έχουμε στην προσομοίωση μας είναι το SIR Threshold (κατώφλι SIR) και ορίζεται ως η κατώτερη τιμή για την οποία ένα κινητό θεωρεί ανεκτή την τιμή του SIR (σε dB) ώστε να μπορεί να μεταδώσει μέσα σε ένα ήδη χρησιμοποιημένο πόρο. Με λίγα λόγια είναι η ευαισθησία που έχει ένα κινητό σε σχέση με τις εξωτερικές παρεμβολές. Μεγάλες τιμές του SIR Threshold μπορούν να κάνουν την επαναχρησιμοποίηση των PDRID πολύ δύσκολη ενώ μικρότερες τιμές επιτρέπουν πολλά κινητά να χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους.

6.6.5 Πιθανότητα sensing

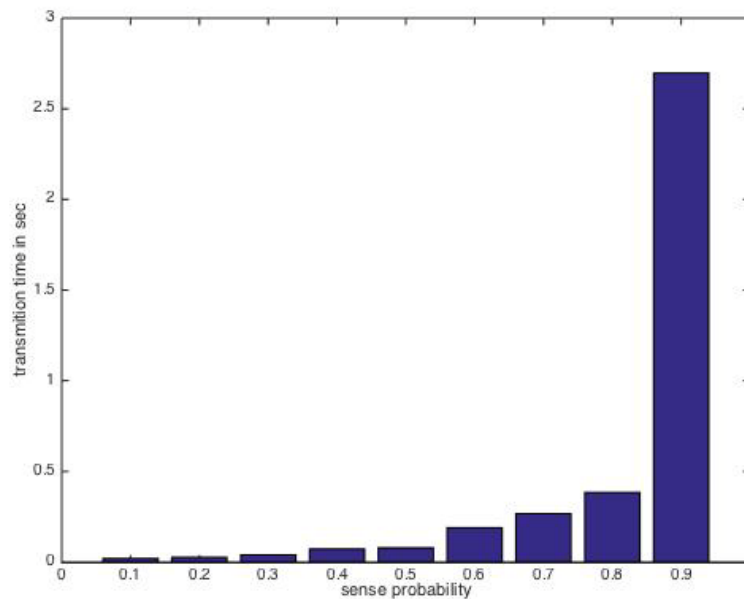
Η πιθανότητα μια συσκευή να λειτουργήσει ως ανιχνευτής του επιπέδου ενέργειας σε ένα συγκεκριμένο PDRID την ονομάζουμε πιθανότητα sensing. Στις προσομοιώσεις προσπαθήσαμε να δούμε τον αντίκτυπο αυτής της παραμέτρου στον χρόνο που απαιτείται για την ανίχνευση όλων των γειτονικών συσκευών .

6.6.6 Αποτελέσματα προσομοιώσεις

Για να καταφέρουμε να δείξουμε την αποτελεσματικότητα του πρωτοκόλλου θα θεωρήσουμε δυο βασικά σενάρια. Στο πρώτο οι χρήστες θα είναι 50, δηλαδή λιγότεροι από την τα διαθέσιμα RBs, ενώ ένα δεύτερο σενάριο θα έχει 150 χρήστες, δηλαδή

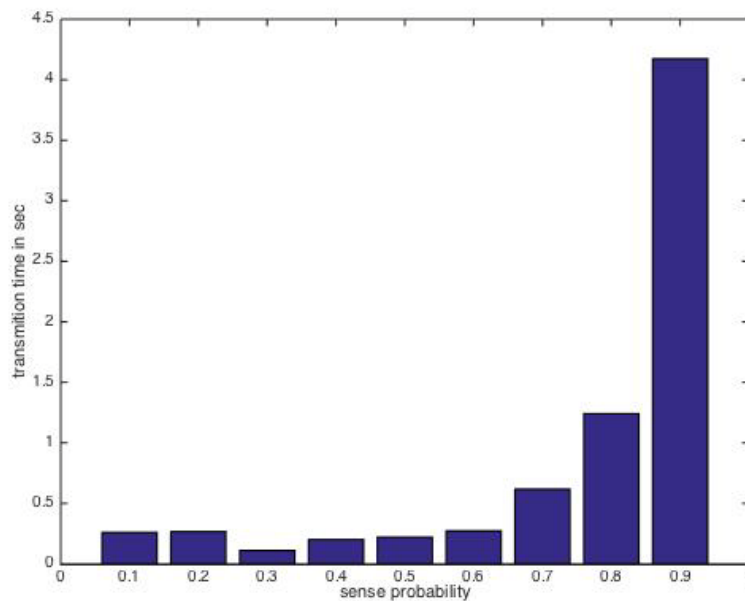
περισσότερους από τα διαθέσιμα RBs. Για κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια θα μεταβάλουμε κάθε φορά μια από τις δύο βασικές παραμέτρους, το κατώφλι του SIR και την πιθανότητα sensing.

Για 50 χρήστες στο σύστημα και κατώφλι SIR να είναι 0 παίρνουμε το παρακάτω γράφημα όπου στον άξονα των x έχουμε την πιθανότητα sensing μεταξύ 0,1 και 0,9 ενώ στον άξονα των y έχουμε τον απαραίτητο χρόνο μετάδοσης των κινητών μέχρι να εντοπιστούν όλα μεταξύ τους (Εικόνα 12).



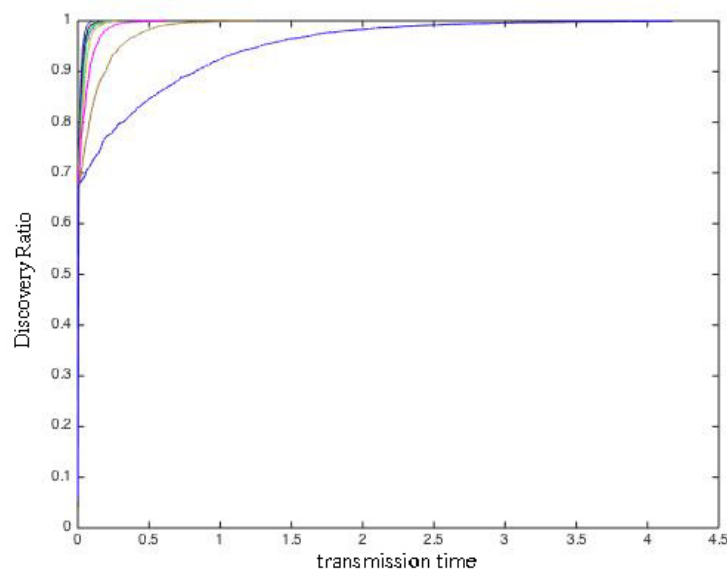
Εικόνα 12: Μεταβολή πιθανότητας sensing με 50 συσκευές στο σύστημα

Βλέπουμε ότι χρειαζόμαστε από 19.5 ms, δηλαδή 39 μεταδώσεις συνολικά, για την πιθανότητα 0.1 και φτάνουμε μέχρι και τα 2697.5 ms (5395 μεταδόσεις) για πιθανότητα 0,9 έχοντας αυξητική συμπεριφορά. Σε αντίθεση με το αν βάλουμε 150 χρήστες στο σύστημα οι οποίοι όλοι θέλουν επικοινωνήσουν μεταξύ τους περνούμε το εξής γράφημα (Εικόνα 13).



Εικόνα 13: Μεταβολή πιθανότητας sensing με 150 συσκευές στο σύστημα

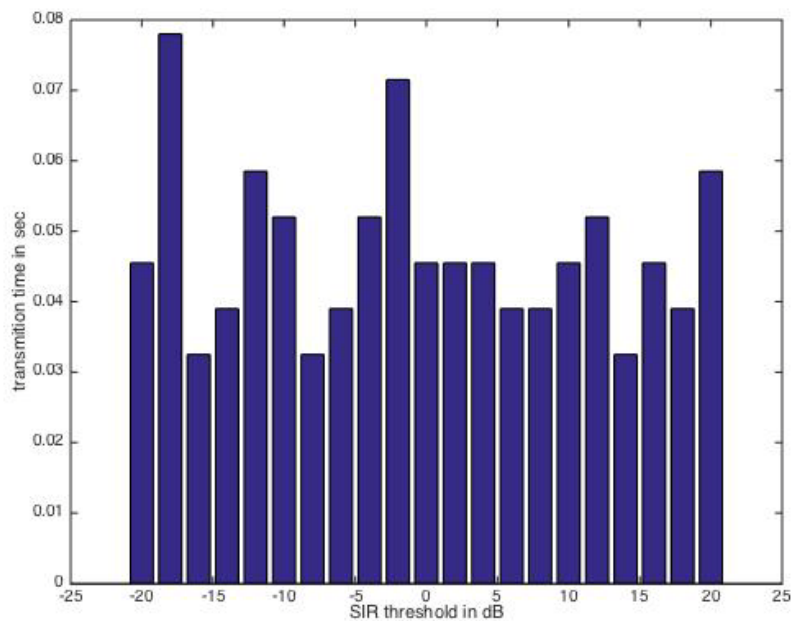
Παρατηρούμε ότι για την τιμή 0,3 η διαδικασία γίνεται βέλτιστη κάνοντας μόλις 110,5 ms (221 μεταδόσεις) για να εντοπιστούν τα 150 κινητά στον χώρο ενώ πολύ χαρακτηριστική είναι και η Εικόνα 14 που μας δείχνει τον ρυθμό με τον οποίο ανακαλύπτονται τα κινητά παρατηρώντας με μπλε γραμμή το πείραμα που είχε πιθανότητα sensing ίση με 0,9 να αυξάνει με μικρότερο ρυθμό από την γραμμή της πιθανότητας 0,3 η οποία είναι πολύ κοντά στον άξονα των y.



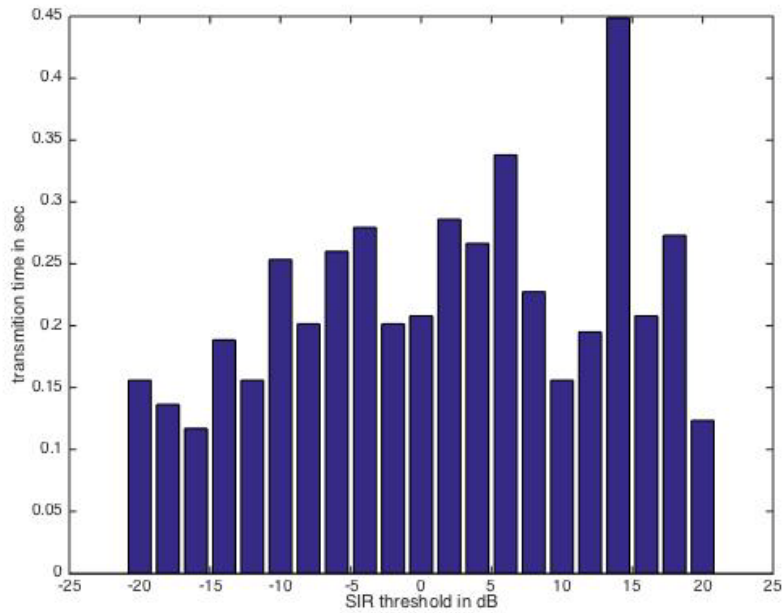
Εικόνα 14: Γράφημα εντοπισμού συσκευών χρόνου

Τα αποτελέσματα που πήραμε είναι λογικά καθώς βάση του [9] η βέλτιστη τιμή της πιθανότητας sensing εξαρτάται από τον εκάστοτε γράφο και τα κινητά που βρίσκονται σε αυτόν.

Τέλος με σταθερή την πιθανότητα sensing στο 0,3 και μεταβάλλοντας το κατώφλι του SIR από -20 dB έως και 20 dB βλέπουμε στην Εικόνα 15 το αποτέλεσμα για 50 κινητά όπου δεν βλέπουμε μεγάλες αλλαγές στην απόδοση του πρωτοκόλλου όπως επίσης για τα 150 κινητά στην εικόνα 16. Παρατηρούμε ότι λόγω της τυχαιότητας του αλγορίθμου και της διαδικασίας μεταπήδησης στον χρόνο το πρωτόκολλο δεν έχει μεγάλες μεταβολές ακόμα και αν είναι αρκετά ευαίσθητοι οι κινητοί κόμβοι που συμμετέχουν στην αναζήτηση.



Εικόνα 15: Μεταβλητό SIR Threshold με 50 κινητά



Εικόνα 16: Μεταβλητό SIR Threshold με 150 κινητά

6.7 Συμπέρασμα

Το FlashLinQ είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο όπως έδειξαν και οι προσομοιώσεις λειτουργεί πολύ αποδοτικά ακόμα και σε περιβάλλον με πάρα πολλούς χρήστες και με συσκευές που έχουν μεγάλη ευαισθησία στα παρεμβαλλόμενα σήματα. Είναι λογικό ότι δέχεται ακόμα αρκετών βελτιώσεων και εξέλιξης, ως μια νέα πρόταση στον χώρο του LTE-A, αλλά τα μέχρι τώρα δείγματα χρήσης του είναι ικανοποιητικά. Η απευθείας επικοινωνία συσκευής με συσκευή είναι μια από τις ανερχόμενες τεχνολογίες που έχει το μέλλον των τηλεπικοινωνιών για την βελτίωση της επικοινωνίας, με τα μέχρι τώρα στοιχεία να επιβεβαιώνουν ότι η αύξηση των χρηστών που θέλουν να επικοινωνήσουν κάνει επιτακτική αυτή την έρευνα.

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

LTE-A	Long Term Evolution -Advanced
M2M	machine to machine communication
D2D	device to device Communication
3GPP	3rd Generation Partnership Project
TDD	Time-division duplexing
FDD	frequency-division duplexing
RB	Resource block
UE	User Equipment
QoS	Quality of Service
OFDMA	Orthogonal frequency division multiple access
MIMO	Multiple input multiple output
SC-FDMA	single carrier orthogonal frequency division multiple access
VoLTE	Voice over LTE
VoLGA	Voice over LTE Generic Access
CSFB	Circuit Switched FallBack
HARQ	hybrid automatic repeat request
PDRID	Peer Discovery Resource ID
DSP/FPGA	digital signal processor /Field Programmable Gate Arrays
SIR	Signal to interfinance ratio
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
CSMA/CA	Carrier sense multiple access with collision avoidance

Πίνακας 4: Ακρώνυμα και σύνταξη τους

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Phong Nguyen, Pushpika Wijesinghe, Rajitha Palipana, Kevin Lin, Dobrica Vasic , Network-Assisted Device Discovery For Lte-Based D2d Communication Systems
- [2] Zhu-Jun Yang, Jie-Cheng Huang, Chun-Ting Chou, Hung-Yun Hsieh, Chin-Wei Hsu, Ping-Cheng Yeh, Chia-Chun Alex Hsu ,Peer Discovery For Device-To-Device (D2d) Communication In Lte-A Networks
- [3]<http://www.zigbee.org/what-is-zigbee/>
- [4] Erina Ferro And Francesco Potorti, Bluetooth And Wi-Fi Wireless Protocols: A Survey And A Comparison,2005
- [5] <http://www.it.uc3m.es/pablo/papers/pdf/2012-camps-commag-wifidirect.pdf>
- [6] Phond Phunchongharn, Ekram Hossain, And Dong In Kim ,Resource Allocation For Device-To-Device Communications Underlying Lte-Advanced Networks, 2013
- [7] Jiajia Liu, Member, Ieee, Nei Kato, Fellow, Ieee, Jianfeng Ma, And Naoto Kadowaki, Member, Ieee , Device-To-Device Communication In Lte-Advanced Networks: A Survey, 2014
- [8] Xinzhou Wu, Saurabha Tavildar, Sanjay Shakkottai, Tom Richardson, Junyi Li, Rajiv Laroia, Aleksandar Jovicic , Flashlinq: A Synchronous Distributed Scheduler For Peer-To-Peer Ad Hoc Networks, 2013
- [9] Francois Baccelli, Nilesh Khude, Rajiv Laroia, Junyi Li, Tom Richardson, Sanjay Shakkottai, Saurabh Tavildar, Xinzhou Wu, On The Design Of Device-To-Device Autonomous Discovery, 2012
- [10] Daquan Feng, Lu Lu, Yi Yuan-Wu, Geoffrey Ye Li, Shaoqian Li, And Gang Feng , Device-To-Device Communications In Cellular Networks
- [11] Itu Radiocommunication Bureau (Br), Recommendation Itu-R P.1411-1 - Propagation Data And Prediction Methods For The Planning Of Short-Range Outdoor Radiocommunication Systems And Radio Local Area Networks In The Frequency Range 300 Mhz To 100 Ghz, 2001

[12] Jin-Shyan Lee, Yu-Wei Su, And Chung-Chou Shen Information & Communications Research Labs Industrial Technology Research Institute (Itri) Hsinchu, Taiwan, A Comparative Study Of Wireless Protocols: Bluetooth, Uwb, Zigbee, And Wi-Fi, 2014

[13] Karunakar Pothuganti And Anusha Chitneni, A Comparative Study Of Wireless Protocols: Bluetooth, Uwb, Zigbee, And Wi-Fi, 2007

[14] Baccelli, F. Khude, N. Laroia, R. Junyi Li, Richardson, T. Shakkottai, S. Tavildar, S. Xinzhou Wu, "On The Design Of Device-To-Device Autonomous Discovery," Communication Systems And Networks, 2007

[15] G. Fodor, E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, N. Reider, G. Mikl S, And Z. Tur Nyi, "Design Aspects Of Network Assisted Device-To-Device Communications," Ieee Communications Magazine, Vol.50, No.3,Mar. 2012

[16] James F. Kurose, Keith W. Ross, Computer Networking: A Top Down Approach, 6th Ed., 2013