



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΜΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΣΥΣΚΕΥΗ-ΜΕ-ΣΥΣΚΕΥΗ ΓΙΑ ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 4^{ης} ΓΕΝΙΑΣ»

Κεντιστού Α. Άννα

Επιβλέπων Καθηγητής: Ευθύμογλου Γεώργιος

Διπλωματική Εργασία υποβληθείσα στο Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στις Ψηφιακές Επικοινωνίες και τα Δίκτυα

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επικοινωνίας συσκευή με συσκευή (device-to-device, D2D) στα δίκτυα 4ης γενιάς. Η μελέτη αυτή είχε ως σκοπό να δείξει τα πλεονεκτήματα αλλά και τις προκλήσεις που παρουσιάζουν οι D2D ζεύξεις σε μία μακροκυψέλη κυρίως ως προς την αύξηση των παρεμβολών προς το σταθμό βάσης αλλά και προς άλλες D2D ζεύξεις.

Στο Κεφάλαιο 1 αναλύεται η χρησιμότητα αυτής της τεχνολογίας, με αναφορά στους μηχανισμούς επικοινωνίας που χρησιμοποιεί καθώς και στις δυσκολίες υλοποίησης που υπάρχουν. Στο Κεφάλαιο 2, γίνεται μια περιγραφή στην αρχιτεκτονική και στην σχεδιαστική δομή του D2D Proximity Service καθώς και στον τρόπο πραγματοποίησης τέτοιου τύπου επικοινωνιών.

Στα Κεφάλαια 3 και 4 μελετάμε τα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης με ορθογώνια πολυπλεξία συχνότητας (OFDMA) και απλού φέροντος- πολυπλεξία συχνότητας (SCFDMA) που χρησιμοποιούνται στην κάτω και στην άνω ζεύξη, αντίστοιχα. Εξετάζονται τα πλεονεκτήματα αλλά και οι αδυναμίες κάθε κυματομορφής για πολλαπλή πρόσβαση, ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η κατανομή των ραδιο-πόρων στους χρήστες σε κάθε σύστημα, καθώς επίσης και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μείωση των παρεμβολών.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 έγινε μελέτη στο λογισμικό MATLAB της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας του λαμβανόμενου σήματος προς τον θόρυβο και του λαμβανόμενου σήματος προς παρεμβολές και θόρυβο μιας επιθυμητής D2D ζεύξης, που βρίσκεται τυχαία κατανομημένη σε μια μακροκυψέλη, με τον σταθμό βάσης τοποθετημένο στο κέντρο της. Πιο συγκεκριμένα, δείξαμε την επίδραση που έχει ο έλεγχος ισχύος για μείωση τη παρεμβολής άνω ζεύξης στο σταθμό βάσης αλλά και το κατώφλι του λόγου παρεμβολής προς θόρυβο (interference to noise ratio, INR) για την προστασία της άνω ζεύξης του σταθμού βάσης στο D2D σηματοθορυβικό λόγο της επιθυμητής D2D ζεύξης. Επίσης μελετήσαμε την επίδραση του συντελεστή απώλειας ισχύος της μακροκυψέλης στο σηματοθορυβικό λόγο του δέκτη της επιθυμητής D2D ζεύξης χωρίς και με έλεγχο ισχύος. Τέλος, χρησιμοποιώντας το σύστημα προσομοίωσης, μελετήσαμε την επίδραση που έχει μια άλλη τυχαία κατανομημένη D2D ζεύξη στο λαμβανόμενο λόγο σήματος προς παρεμβολές και θόρυβο στο δέκτη της επιθυμητής D2D ζεύξης.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to analyze Device to Device (D2D) communications which are based on 4th Generation Networks. The study had as a goal to show the benefits as well as the problems of using D2D links inside a macrocell in terms of the increased levels of interference towards to the base station as well as to other D2D links.

In Chapter 1, we present the benefits of employing D2D technology by presenting the stages of communication and the challenges of their practical implementation. In Chapter 2, we present the architecture and design guidelines of D2D Proximity Services with an emphasis on the way this type of communications is accomplished.

In Chapters 3 and 4 we present the multiple access waveforms of OFDMA and SCFDMA that are used in the downlink and in uplink, respectively. We describe their characteristics, their advantages and disadvantages, as well as the way the radioresources are allocated in each multiple access system and the various schemes that are used for interference reduction.

Finally, in Chapter 5 we carried out a simulation in Matlab to derive the probability density function of signal to noise ratio (SNR) and the received signal to interference plus noise ratio (SINR) of the desired D2D link, which is randomly placed in a macrocell with the base station (eNodeB) placed at the center. The simulation results show the effect of power control in the D2D transmitter and the interference to noise ratio threshold at the base station on the received SNR of the desired D2D link. We also showed the impact of path loss factor in the macrocell in the SNR of the desired D2D link with and without using power control for controlling the uplink interference imposed to the base station. Finally, we examined the effect that another D2D link, which is also randomly placed in the macrocell, has on the received SINR of the desired D2D link.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών , «Ψηφιακές Επικοινωνίες και Δίκτυα» του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Γεωργίου Ευθύμογλου. Αισθάνομαι την υποχρέωση να τον ευχαριστήσω θερμά για την πολύτιμη αρωγή και την καθοδήγησή του και να του εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για την άμεση ανταπόκρισή του όταν χρειάστηκε.

Πειραιάς, Δεκέμβριος 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

- 1.1 Τί είναι το D2D;σελ.8
- 1.2 Τεχνολογίες D2D και περιπτώσεις χρήσης αυτών.....σελ.8
- 1.3 Μηχανισμοί επικοινωνίας D2D.....σελ.11
- 1.4 Πλεονεκτήματα D2D επικοινωνιών.....σελ.13
- 1.5 Προκλήσεις των D2D επικοινωνιών στα προηγμένα δίκτυα LTE.....σελ.14
- 1.6 Προκλήσεις D2D που αντιμετωπίζουν οι εταιρείες τηλεπικοινωνιώνσελ.18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

- 2.1 Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου για απευθείας επικοινωνίες D2D σε LTE δίκτυα.....σελ.20
- 2.2 Σχεδιαστική δομή του D2D ProSeσελ.24
 - 2.2.1 Διαχείριση ProSe - ProSe managementσελ.24
 - 2.2.2.1.1 Εγγραφή του UE στην ProSe - Απαιτήσεις σχεδιασμού συστήματος D2D επικοινωνίας.....σελ.26
 - 2.2.2 Συγχρονισμός-SYNCHRONIZATIONσελ.27
 - 2.2.3 Ανίχνευση συσκευών-DEVICE DISCOVERYσελ.28
 - 2.2.4 Απευθείας επικοινωνία-DIRECT COMMUNICATION.....σελ.31
- 2.3 Διαδικασία μετάδοσης.....σελ.32
- 2.4 Μέθοδοι κατανομής πόρων για επικοινωνίες D2D.....σελ.32
- 2.5 Προδιαγραφές Φυσικού και MAC επιπέδου του LTE.....σελ.34
- 2.6 Μέθοδοι πρόσβασης καναλιού.....σελ.35
- 2.7 Αξιοποίηση πόρων Downlink και Uplink.....σελ.35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

- 3.1 Δομή OFDMA.....σελ.36
- 3.2 Χρήση του συστήματος OFDMA ως LTE Downlink.....σελ.37
- 3.3 Δομή πλαισίου φυσικού επιπέδου του LTE.....σελ.38
- 3.4 Φυσικά κανάλια Downlinkσελ.39
- 3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του OFDMA.....σελ.42

3.6	Τεχνικές κατανομής πόρων με τεχνική OFDMA.....σελ.43
3.7	Παραδείγματα κατανομής πόρων κάτω ζεύξης σε OFDMA κυψελωτά συστήματα.....σελ.43
3.7.1	Έλεγχος ισχύος για D2D επικοινωνίες υπό περιπτώσεις.....σελ.43
3.7.2	Κατανομή πόρων για επικοινωνίες D2D που βασίζεται στο LTE-Advanced.....σελ.44
3.8	Προτεινόμενοι μηχανισμοί αποφυγής παρεμβολών για downlink στα όρια της κυψέλης.....σελ.45
3.8.1	Δυναμική κατανομή συχνότητας για D2D επικοινωνίες με IAR μηνύματα στο OFDMA.....σελ.45
3.8.2	Τυχαία κατανομή RBs στο downlink.....σελ. 45
3.9	Μείωση παρεμβολών με τη χρήση FFR και SFR στα OFDMA κυψελωτά δίκτυα.....σελ.46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 1

4.1	Χαρακτηριστικά SC-FDMA.....σελ.48
4.2	Διαδικασία μετάδοσης μεταξύ πομπού-δέκτη με SC-FDMA.....σελ.49
4.3	Κατανομή των πόρων με χρήση SC-FDMA.....σελ.50
4.4	Αλγόριθμοι κατανομής πόρων με SC-FDMA βελτιστοποίησης ρυθμού μετάδοσης.....σελ.51
4.5	Προτεινόμενη κατανομή πόρων με SC-FDMA και καθορισμός μετάδοσης ισχύος σε DUEs.....σελ.52
4.6	Συνδυαστικοί μηχανισμοί ελέγχου ισχύος και κατανομής πόρων.....σελ.54
4.7	Αρχιτεκτονική κυψέλης με χρήση τεχνικής επαναχρησιμοποίησης της συχνότητας για εξομάλυνση των παρεμβολών.....σελ.54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

	Περιγραφή μοντέλου συστήματος.....σελ.57
	Σενάριο 1: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και αθροιστική συνάρτηση κατανομής του D2D SNR με και χωρίς Power Control.....σελ.59

Σενάριο 2: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και αθροιστική συνάρτηση κατανομής του D2D SINR με και χωρίς Power Control.....σελ.65	
Κώδικας Matlab για Σενάριο 1 και 2.....σελ.70	
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....σελ.74	
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.75	
ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ.....σελ.78	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Αυτό το κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή στις D2D επικοινωνίες στα κυψελωτά δίκτυα 4^{ης} γενιάς, στο οποίο εξηγείται ο όρος D2D, αναφέρονται οι τεχνολογίες όπου εφαρμόζονται, τα πλεονεκτήματα αυτών, καθώς επίσης και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι D2D επικοινωνίες στα προηγμένα δίκτυα LTE αλλά και οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών που προσπαθούν να εφαρμόσουν αυτή την τεχνολογία.

1.1 Τί είναι το D2D;

Ως D2D(Device to Device) επικοινωνίες ορίζονται οι απευθείας επικοινωνίες μεταξύ συσκευών σε μικρές αποστάσεις χωρίς την υποδομή δικτύου . Όπως και οι επικοινωνίες που εξαρτώνται από την απόσταση, έτσι και οι D2D επικοινωνίες επωφελούνται από την γεωγραφική θέση και την απόσταση ασύρματης σύζευξης των συσκευών προκειμένου να δημιουργήσουν απευθείας σύνδεση μεταξύ τους για επιτόπου ανταλλαγή δεδομένων. Αυτού του είδους η επικοινωνία μπορεί να επιτευχθεί από οποιαδήποτε συσκευή διαθέτει την τεχνολογία D2D για μικρού εύρους επικοινωνία (βλ. Bluetooth, Wi-Fi Direct, NFC) , όπως smart phones, tablets, laptops, ασύρματοι εκτυπωτές, φωτογραφικές μηχανές ή ακόμη και οχήματα.

Στα LTE δίκτυα, το D2D είναι ένας νέος τρόπος επικοινωνίας που εξελίσσει τον ρόλο της συσκευής του χρήστη σε μια νέα γενιά συσκευών που αποκτούν καινοτόμες λειτουργίες και περισσότερες δικτυακές δυνατότητες σε σχέση με το παρελθόν. Πλέον η συσκευή δεν είναι ένας παθητικός κόμβος στην διαδικασία επικοινωνίας, αντιθέτως είναι ένας ενεργός δικτυακός κόμβος που μπορεί να φέρει εις πέρας δικτυακές λειτουργίες, όπως είναι η δρομολόγηση και η μεταφορά από και προς τις γειτονικές συσκευές.

Λαμβάνοντας υπόψιν την ραγδαία υπερφόρτωση δεδομένων των κινητών συσκευών, το D2D θεωρείται μια επαρκής λύση που θα «ελαφρύνει» τον όγκο δεδομένων των τωρινών κυψελωτών δικτύων καθώς επωφελείται από καλύτερους ρυθμούς δεδομένων ανά χρήστη, μεγαλύτερη ασφάλεια και ποιοτικότερες υπηρεσίες (QoS). Χάρη στην D2D τεχνολογία, θεωρείται πως η αρχιτεκτονική του τωρινού κυψελωτού δικτύου θα εξελιχθεί σε μια διαβαθμισμένη τοπολογία στην οποία τα ετερογενή δίκτυα θα συνυπάρχουν και θα συνεργάζονται υπό τον έλεγχο μιας μακροκυψέλης.

1.2 Τεχνολογίες D2D και περιπτώσεις χρήσης αυτών

➤ Τεχνολογίες

Οι επικοινωνίες D2D υπάρχουν σε υπηρεσίες κινητής που είναι βασισμένες σε τεχνολογίες μικρής εμβέλειας όπως το Bluetooth και το Wi-Fi Direct (απευθείας ασύρματη σύνδεση χωρίς την διαμεσολάβηση router). Παρ' όλα αυτά, τέτοιου είδους

τεχνολογίες παρουσιάζουν μερικούς περιορισμούς, οι οποίοι φαίνεται πως εμποδίζουν την μελλοντική γενιά υπηρεσιών, που αφορούν την μετάδοση σε πραγματικό χρόνο, την ενημέρωση περιεχομένου και μικρής απόστασης και κατ' επέκταση την εξέλιξη δικτύων 5^{ης} Γενιάς. Αντ' αυτού, υπηρεσίες D2D βασισμένες στο LTE με την αξιοποίηση ενός μικρού ραδιοεύρους LTE το οποίο ονομάζεται "LTE Direct" των συσκευών, γίνονται η νέα τάση. Το LTE Direct είναι μια τεχνολογία D2D που αξιοποιεί αδειοδοτημένο φάσμα LTE για την πλησιέστερη εύρεση φίλων, υπηρεσιών, παροχών κ.ά. Έγκειται λοιπόν στην έκδοση 12 του διεθνούς προτύπου LTE ως μέρος του 3GPP.

	Bluetooth	Wi-Fi Direct	LTE Direct
Απόσταση	10μ	50μ	50-500μ
Επεκτασιμότητα	Καλή (έκδοση4.0)	Ικανοποιητική(σήμερα), Αναμένεται καλύτερη	Δυνητικά πολύ καλή
Κατανάλωση ενέργειας	Χαμηλή (έκδοση4.0)	Ικανοποιητική	Χαμηλή εξαιτίας των ειδικών πόρων και της συγχρονισμένης λειτουργίας
Αξιοπιστία	Καλή για την έκδοση4.0 λόγω των ειδικών καναλιών	Κάποιες φορές ελλιπής λόγω του ασύγχρονου ελέγχου του καναλιού, αναμένεται καλή εκτός από υψηλά επίπεδα φόρτωσης	Καλή λόγω των ειδικών πόρων εντοπισμού
Ασφάλεια	Ομοίως με Wi-Fi Direct	Αδύναμη καθώς ο εντοπισμός είναι μη κρυπτογραφημένος και δεν υπάρχει εμπιστευτικότητα της αυθεντικοποίησης της συσκευής	Ισχυρή με το κυψελωτό δίκτυο που καθιστά ικανή την αυθεντικοποίηση της συσκευής
Διαλειτουργικότητα	Καλή για dual-mode της έκδοσης 4.0- Ελλιπής για συσκευές της έκδοσης 4.0, πιθανά προβλήματα για μελλοντικές συσκευές	Καλή αλλά πιθανό πρόβλημα με τις μελλοντικές συσκευές	Πιθανό πρόβλημα με την εύρεση συσκευών διαφορετικών χειριστών
Έξοδος στις αγορές	Περισσότερες από 2 δισεκατομμύρια dual mode της έκδοσης 4.0 και 1 δις. Single mode συσκευές το 2015	Περισσότερες από 2 δισεκατομμύρια συσκευές το 2016	Πιθανολογείται μετά το 2018

Πίνακας 1: Σύγκριση D2D τεχνολογιών

Το LTE Direct λειτουργεί ομοίως με το LTE, προσθέτοντας ένα μικρό ποσοστό ραδιο-υποπλασιών (sub-frames) για επαρκή εύρεση κοντινών συσκευών, αξιοποιώντας φυσικά το LTE δίκτυο για συγχρονισμό, διαμοιρασμό πόρων καθώς επίσης και για αυθεντικοποίηση των χρηστών. Τέλος, το LTE Direct έχει την δυνατότητα να ενσωματωθεί αποτελεσματικά με τις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες και τα δίκτυα του LTE.

Στον συγκριτικό πίνακα (βλ. Πίνακα 1) παρατίθενται τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της νέας τεχνολογίας του Bluetooth, του Wi-Fi Direct και του LTE Direct.

➤ Περιπτώσεις χρήσης

Οι υπηρεσίες D2D έχουν τραβήξει την προσοχή τόσο των απλών χρηστών όσο και των βιομηχανιών Τηλεπικοινωνιών καθώς παρουσιάζουν πολλαπλές ελκυστικές περιπτώσεις χρήσης των νέων υπηρεσιών, μεταβαίνοντας από τις δημόσιες υπηρεσίες σε πιο εξειδικευμένους τομείς όπως η δημόσια ασφάλεια και ο στρατός. Στον πίνακα που ακολουθεί θα περιγράψουμε τρεις κύριες κατηγορίες χρήσης της υπηρεσίας D2D.

Κατηγορία περίπτωσης χρήσης	Εφαρμογές
Υπηρεσίες διαφημιστικού και κοινωνικού περιεχομένου: Εξέλιξη των υπηρεσιών για τις οποίες έχει αξία η γεωγραφική θέση και η δυναμική προσέγγιση των δεδομένων.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Υπηρεσίες με στόχο την ανακάλυψη νέων πραγμάτων, όπως οι εφαρμογές ενημερωτικού περιεχομένου, κοινωνικής δικτύωσης, κοινωνικών παιχνιδιών και προηγμένων πόλεων κ.ά. ➤ Υπηρεσίες με στόχο την επικοινωνία, όπως η κοινοποίηση κειμένου και βίντεο
Υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας που αφορούν ομάδες καθώς και επικοινωνίες προώθησης: Υπηρεσίες ασφάλειας που χρησιμοποιούν ειδικές συσκευές τεχνολογίας D2D που αφορούν τα μη δημόσια δίκτυα	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Απευθείας επικοινωνία μεταξύ αντιπροσώπων δημόσιας ασφάλειας εντός και εκτός κάλυψης δικτύου, όπως η απευθείας επικοινωνία(push-to-talk), οι ομαδικές συνομιλίες, η διαχείριση προτεραιότητας ➤ Ο διαμοιρασμός πρόσβασης στο δίκτυο για συσκευές εκτός κάλυψης με την απευθείας σύνδεση στις κοντινές συσκευές κάλυψης

<p>Υπηρεσίες για ενίσχυση των δυνατοτήτων του δικτύου</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Υπηρεσίες ελάφρυνσης του δικτύου, όπως ο ελάφρυνση της κίνησης τοπικών δεδομένων ή κίνηση βίντεο κλήσης είτε τηλεφωνική ➤ Υπηρεσίες πολλαπλών σημείων πρόσβασης, όπως ο διαμοιρασμός σύνδεσης διαδικτύου μέσω συσκευών που δρουν ως μεταφορείς, επέκταση της συνδεσιμότητας σε ετερογενή δίκτυα (συσκευές χρηστών που λειτουργούν ως πύλη σε ένα δίκτυο αισθητήρων ή ως ένας βοηθητικός μεταφορέας σε ένα δίκτυο οχημάτων κτλ.)
--	--

Πίνακας 2: Περιπτώσεις χρήσης της D2D τεχνολογίας

1.3 Μηχανισμοί επικοινωνίας D2D

Προκειμένου να επιτευχθεί η επικοινωνία D2D πρέπει να εκπληρωθούν τρεις φάσεις. Η πρώτη φάση είναι η φάση εντοπισμού κατά την οποία μία συσκευή ανακαλύπτει συσκευές του περιβάλλοντός της, η δεύτερη φάση αυτή της επικοινωνίας δεδομένων στην οποία οι εμπλεκόμενες D2D συσκευές δημιουργούν έναν σύνδεσμο D2D για την ανταλλαγή δεδομένων και η τρίτη είναι η αναμετάδοση D2D μεταξύ του δικτύου και μιας συσκευής.

1. Πρώτη φάση: Αναζήτηση D2D

Η φάση αναζήτησης D2D μπορεί να γίνει είτε με απευθείας είτε με υποβοηθούμενο από το δίκτυο τρόπο, οδηγώντας έτσι σε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις αναζήτησης, όπως είναι η απευθείας αναζήτηση και η συγκεντρωμένη αναζήτηση.

-Προσέγγιση απευθείας αναζήτησης

Σύμφωνα με το πρότυπο 3GPP, υπάρχουν δύο διαφορετικά μοντέλα αναζήτησης. Το μοντέλο A “I’m here” και το μοντέλο B “Who is there? -Are you there?”. Επιπλέον, η συσκευή παρουσιάζει την απευθείας αναζήτηση του περιβάλλοντός της σύμφωνα με τον ρόλο αναζήτησης κατά τον οποίο η συσκευή είναι σε ενεργή κατάσταση αναζήτησης, κάνει αισθητή την παρουσία της και η υπηρεσία που προσφέρει και ο ρόλος ελέγχου κατά τον οποίο η συσκευή είναι περισσότερο σε παθητική κατάσταση και ελέγχει μόνο ειδικές πληροφορίες και υπηρεσίες του περιβάλλοντός της που σχετίζονται με τους τομείς του ενδιαφέροντός της. Η προσέγγιση της απευθείας αναζήτησης έχει ως πλεονέκτημα την ευελιξία και την κλιμάκωση καθώς αποκομίζει πληροφορίες από την γεωγραφική θέση των συσκευών που ανακαλύπτουν την γειτνίαση με περισσότερο αποτελεσματικό τρόπο.

Οι ραδιοπόροι αυτού του τρόπου αναζήτησης μπορούν είτε να διανέμονται από το δίκτυο όπως για παράδειγμα από τον σταθμό βάσης, εάν οι συσκευές είναι υπό την κάλυψη του δικτύου, είτε προκαθορίζονται σε ειδικές συσκευές, όπως για παράδειγμα συσκευές δημοσίας ασφάλειας, εάν οι συσκευές είναι εκτός δικτύου κάλυψης.

-Προσέγγιση συγκεντρωμένης αναζήτησης

Σε αυτή την διαδικασία αναζήτησης εμπλέκονται τουλάχιστον μία ή περισσότερες οντότητες δικτύου. Πρόκειται για μια προσέγγιση προσανατολισμένη από τον χειριστή για την αναζήτηση D2D που τονίζει ιδιαίτερα τον ρόλο των εταιρειών επικοινωνίας ως πάροχος του περιεχομένου και των πληροφοριών εγγύτητας κατά την φάση αναζήτησης. Λόγω του οράματος των εταιρειών τηλεπικοινωνίας της συνολικής κίνησης και του περιεχομένου των κινητών συσκευών του χρήστη, οι συγκεντρωμένες προσεγγίσεις ανακάλυψης συσκευών στοχεύουν στην αξιοποίηση του κεντρικού δικτύου των εταιρειών τηλεπικοινωνιών για μικρο και μακρο συσκευές κινητής προκειμένου να παρέχουν πιο ακριβή και πιο αποτελεσματική εύρεση πληροφοριών.

2.Δεύτερη φάση: Επικοινωνία δεδομένων D2D

Μετά την πρώτη φάση αναζήτησης D2D, προκειμένου να ολοκληρωθεί η επικοινωνία D2D χρειάζεται να δημιουργηθεί ένας σύνδεσμος επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών για ανταλλαγή δεδομένων. Μόλις αυτός ο σύνδεσμος ενεργοποιηθεί από το δίκτυο για να μειωθεί η υπερφόρτωσή του, διαδικασία που ονομάζεται αποσυμφόρηση χρησιμοποιώντας τεχνολογίες εναλλακτικής πρόσβασης για ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ κινητών συσκευών. Η αποσυμφόρηση μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

A) Είτε με απευθείας αποσυμφόρηση D2D, δηλαδή τα δεδομένα δρομολογούνται ανάμεσα στις συσκευές απευθείας με την χρήση της ραδιοδιεπαφής D2D μη επιστρέφοντας στη δομή του δικτύου

B) Είτε με ελεγχόμενη αποσυμφόρηση D2D, δηλαδή τα δεδομένα δρομολογούνται μεταξύ των D2D συσκευών με την χρήση ενός βελτιστοποιημένου μονοπατιού δεδομένων, όπως παραδείγματος χάριν του κόμβου eNodeB.

Με βάση αυτούς τους δύο τρόπους αποσυμφόρησης, η επικοινωνία των δεδομένων μεταξύ των συσκευών θα μπορούσε να θεωρηθεί η καλύτερη δυνατή προσπάθεια (το λεγόμενο ως Best-Effort) χωρίς την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών-QoS και χωρίς συνδεδεμένους συνδέσμους ή με την ενεργοποίηση ποιότητας υπηρεσιών (QoS-enabled) με την εγκαθίδρυση κομιστών δεδομένων LTE.

Ένας κομιστής δεδομένων αποτελείται από ένα ραδιοδιακομιστή μεταξύ της συσκευής και του κόμβου eNode B, από έναν κομιστή εξελιγμένου κεντρικού πακέτου (EPC-Evolved Packet Core) ανάμεσα στον κόμβο eNode B και στο κεντρικό δίκτυο και τέλος από φίλτρα πακέτου στις συσκευές. Η εγκατάσταση ενός κομιστή δεδομένων αποτελείται από την δημιουργία σύνδεσης ενός πακέτου δεδομένων

δικτύου (PDN-Packet Data Network) με την πύλη PDN και την διανομή μιας IP διεύθυνσης για τις συσκευές επικοινωνίας.

Σε ένα σχέδιο απευθείας επικοινωνίας D2D, η εγκαθίδρυση των κομιστών δεδομένων LTE μεταξύ των συσκευών δεν είναι απαραίτητη, καθώς τα δεδομένα που ανταλλάσσονται απευθείας στον ραδιοσύνδεσμο μεταξύ των συσκευών και μόνο η διευθυνσιοδότηση στο MAC επίπεδο χρησιμοποιείται για να ταυτοποιήσει την πηγή και τον προορισμό των πακέτων δεδομένων.

3. Τρίτη φάση: Αναμετάδοση D2D

Η αναμετάδοση D2D επιτρέπει την δημιουργία πολλαπλών διαδρομών μεταξύ του δικτύου (είτε πρόκειται για Internet είτε για κυψελωτό δίκτυο) και μιας συσκευής, ενώ παράλληλα ενισχύει τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων χρηστών που βρίσκονται στα άκρα της εκάστοτε κυψέλης. Επίσης, βοηθά τη σύνδεση μιας συσκευής που δεν έχει απευθείας πρόσβαση στις δομές δικτύων και επεκτείνει την δικτυακή κάλυψη του LTE τόσο για εσωτερικές όσο και για εξωτερικές συσκευές, με χαμηλό κόστος, με την χρήση ετερογενών δικτύων (HetNet), όπως είναι το Pico cell και το Femto cell.

1.4 Πλεονεκτήματα D2D επικοινωνιών

Πρώτα απ' όλα, το μεγάλο όφελος των D2D επικοινωνιών είναι η γρήγορη πρόσβαση στο ράδιο- φάσμα με ελεγχόμενα επίπεδα παρεμβολών. Με την δυνατότητα διαμοιρασμού φάσματος , οι D2D επικοινωνίες ενισχύουν την αποδοτικότητα του φάσματος και το throughput (διακίνηση ή ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής πληροφορίας) του δικτύου, που είναι απαραίτητα στοιχεία και τα δύο για τα προηγμένα δίκτυα LTE. Ένα επιπλέον προτέρημα των D2D επικοινωνιών είναι η εγγύτητα, όπου οι μικρού εύρους επικοινωνίες χρησιμοποιούν μια σύνδεση D2D που επιτρέπει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (high bit rates) , χαμηλές καθυστερήσεις και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Κάτι που επίσης χρήζει προσοχής για τις απευθείας επικοινωνίες είναι η ύπαρξη ενός και μόνο hop (διαδρομή μεταξύ πηγής και παραλήπτη), καθώς όταν υπάρχει σταθμός βάσης-BS υπάρχουν δυο hops, ένα για την άνω ζεύξη-uplink και ένα για την κάτω ζεύξη- downlink, επομένως λιγότερες οι διαδρομές πληροφορίας.

Η επαναχρησιμοποίηση των ραδιοπόρων των κυψελών έρχεται να προσθέσει ένα ακόμη πλεονέκτημα στο D2D, καθώς γίνεται εξοικονόμηση αυτών πράγμα το οποίο είναι πολύ σημαντικό λόγω της ολοένα και αυξανόμενης ανάγκης για επεξεργασία δεδομένων μέσω κινητών συσκευών. Συνεπώς , D2D και διασυνδέσεις μεταξύ κυψελών μπορούν να συνυπάρξουν αξιοποιώντας τους ίδιους ραδιοπόρους ταυτόχρονα.

Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα οι ασύρματες υπηρεσίες τοπικής εμβέλειας και το UE να επιλέξουν τον τρόπο επικοινωνίας είτε μέσω κυψέλης, είτε μέσω D2D. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως το throughput του δικτύου με τις D2D

επικοινωνίες μπορεί να αυξηθεί έως και 65% εν συγκρίσει με την περίπτωση όπου όλη η κίνηση D2D μεταδίδεται μέσω της κυψέλης. Η λειτουργία D2D ανατίθεται ολοκληρωτικά στους χρήστες και δεν χρειάζεται να γίνει χειροκίνητη διάζευξη όπως στο Bluetooth ή ορισμός του σημείου πρόσβασης όπως στην περίπτωση του WLAN. Προκειμένου να επιτευχθεί μια D2D επικοινωνία χρειάζονται δυο μηχανισμοί πολυπλοκότητας που το κυψελωτό δίκτυο τους αποκρύπτει από τους χρήστες. Ο πρώτος μηχανισμός βασίζεται στο Session Initiation Protocol (SIP) και ο δεύτερος στο Internet Protocol (IP) προκειμένου να βοηθήσουν την πλήρη λειτουργία της περιοχής μεταγωγής πακέτων των δεδομένων.

Τέλος, οι υπηρεσίες D2D είναι πολύτιμες για τους χρήστες καθώς μπορούν να καλύψουν τις προσδοκίες τους προσφέροντας:

- Υπηρεσία ασφαλείας και ποιότητα των υπηρεσιών (Quality of Service) μέσω ασφαλών και αδιάκοπων συνδέσεων
- Διαχείριση ταυτότητας, αυθεντικοποίηση και Ιδιωτικότητα με την χρήση υπηρεσιών D2D
- Έκθεση πληροφοριών περιεχομένου για πιο ελκυστικές υπηρεσίες και καλύτερη ποιότητα με στόχο την ικανοποίηση του πελάτη μέσω της εμπειρίας του με την υπηρεσία (Quality of Experience)
- Διαχείριση κυψελωτών ή μη συσκευών που σχετίζονται με το προφίλ των χρηστών και περιλαμβάνονται στην βάση δεδομένων των εταιρειών και αυτομάτως συνδέονται με τις κυψελωτές συσκευές των κατόχων
- Διασφάλιση της συνεχούς εμπειρίας χρήστη περιλαμβάνοντας την ικανότητα αντίληψης και την κινητικότητα όπως είναι η αδιάκοπη αποφόρτωση κίνησης, η αδιάκοπη μεταβίβαση κίνησης κτλ.

1.5 Προκλήσεις των D2D επικοινωνιών στα προηγμένα δίκτυα LTE

1. *Transmission Scheduling* – Ο προγραμματισμός μετάδοσης

Ο προσεκτικός προγραμματισμός μεταδόσεων βοηθά στην ελαχιστοποίηση των παρεμβολών. Έτσι με την κατάλληλη διαμόρφωση, τα σχήματα κωδικοποίησης και το αίτημα υβριδικής αυτόματης επανάληψης, που είναι συνδυασμός του αιτήματος αυτόματης επανάληψης και της απευθείας διόρθωση λάθους, αυξάνουν την ευρωστία του μεταδιδόμενου σήματος ενάντια στον θόρυβο. [13]

2. *Power Control and Power Consumption – Έλεγχος ενέργειας και κατανάλωση ενέργειας*

Ο έλεγχος ενέργειας είναι σημαντικός για την άνω ζεύξη εξαιτίας των παρεμβολών και της επίδρασης λόγω των διαφορών αποστάσεων μεταξύ των συσκευών. Ο πιο σωστός λοιπόν τρόπος για να περιοριστούν οι παρεμβολές είναι ο προκαθορισμός ενός μέγιστου επιπέδου ενέργειας στους χρήστες D2D όπως η διατήρηση του QoS των χρηστών της κυψέλης.

Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας είναι σημαντικό να επισημάνουμε το πόσο απαραίτητη θεωρείται για τις συσκευές των χρηστών του δικτύου. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη τόσο υψηλότερα είναι και τα ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας. Με την εκμετάλλευση διασποράς συνεργαζόμενων δικτύων μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας. Οι προτεινόμενες τεχνικές για την μείωση κατανάλωσης ενέργειας είναι η επιλογή αναμετάδοσης κατά την οποία ταυτοποιείται ο βέλτιστος κόμβος αναμετάδοσης που ελαχιστοποιεί την συνολική ενέργεια μετάδοσης και η κατανομή των πόρων με την βασισμένη σε ομάδες τεχνική. Σκοπός της δεύτερης τεχνικής είναι να μειώσει τον αριθμό των επικοινωνιών μεταξύ των κυψελωτών και των D2D δικτύων και κατ'επέκταση την κατανάλωση ενέργειας μέσω της ομαδοποίησης των συσκευών. Επίσης, οι D2D συσκευές επικοινωνούν με το κυψελωτό δίκτυο μέσω headers που βρίσκονται κοντά σε D2D συσκευές στο δίκτυο. Έτσι οι D2D συσκευές χρειάζονται λιγότερη ενέργεια προκειμένου να επικοινωνήσουν με τον σταθμό βάσης. [6]

3. *Distributed Resource Allocation – Κατανομή διανεμημένων πόρων*

Θεωρείται πως έχει την πιο σημαντική επιρροή για την σωστή λειτουργία των D2D επικοινωνιών. Η βέλτιστη κατανομή των πόρων όπως είναι η ενέργεια, η συχνότητα και ο χρόνος μπορεί να βοηθήσει στην μείωση της επίδρασης των παρεμβολών. Μια τεχνική που προτείνεται για την βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων είναι η κεντρική προσέγγιση, η οποία συναντά αρκετές δυσκολίες εξαιτίας του αυξημένου αριθμού συσκευών στην κυψέλη πράγμα το οποίο οδηγεί στην αυξημένη πολυπλοκότητα του πρωτοκόλλου. Παρ' όλα αυτά το θέμα της πολυπλοκότητας μπορεί να ξεπεραστεί εφόσον οι συσκευές χρησιμοποιούνται στο περιβάλλον του δικτύου και αξιοποιούν τους διαθέσιμους πόρους χωρίς την πρόκληση παρεμβολής στις συσκευές του κυψελωτού δικτύου. [6]

4. *Coexistence with Heterogeneous Networks (With Small Cells- pico/micro/femto) – Συνύπαρξη με ετερογενή δίκτυα (Μικρές Κυψέλες)*

Το πρόβλημα που παρουσιάζεται στην συνύπαρξη των D2D επικοινωνιών με τα ετερογενή δίκτυα είναι οι παρεμβολές στο δίκτυο δύο επιπέδων, καθώς στο ένα επίπεδο υπάρχουν οι eNBs και στο δεύτερο οι μικρές κυψέλες. Οι D2D χρήστες μπορούν να δημιουργούν παρεμβολές τόσο στους χρήστες των μακρο κυψελών όσο και στους χρήστες των μικρών κυψελών πράγμα το οποίο κάνει ακόμη πιο δύσκολη την διαχείριση των παρεμβολών. Σε περίπτωση που ένας D2D χρήστης προσπαθήσει

να συνδεθεί με έναν άλλο στο eNB αλλά ο δεύτερος βρίσκεται είτε στην μικρή κυψέλη είτε και οι δύο συνδέονται στην ίδια ή σε διαφορετική μικρή κυψέλη, τότε προκύπτει πρόβλημα στη στρατηγική που θα ακολουθηθεί για την επιλογή του τρόπου επικοινωνίας των δύο συσκευών καθώς και στην διαχείριση των ραδιοπόρων. [10]

5. *Cooperative Communications – Συνεργαζόμενες επικοινωνίες*

Η επιλογή αναμετάδοσης αποτελεί κύριο μέλημα για τις συνεργαζόμενες επικοινωνίες καθώς ο αριθμός των αναμεταδόσεων που μπορούν να αξιοποιηθούν είναι τεράστιος και πρέπει να είναι αποτελεσματικός και βέλτιστος. Ο σταθμός βάσης είναι εκείνος που θα επιλέξει την αναμετάδοση για την D2D επικοινωνία κάθε χρήστη. Η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιεί είναι η τυχαία επιλογή αναμετάδοσης (Random Relay Selection), όπου ο χρήστης επιλέγει τυχαία μία από τις προαιρετικές αναμεταδόσεις. Η δεύτερη μέθοδος που είναι γνωστή και ως προκαθορισμένη επιλογή αναμετάδοσης (Distributed Relay Selection), εξαλείφει τις ακατάλληλες αναμεταδόσεις και χρησιμοποιεί συγκεκριμένους αλγορίθμους που επιλέγουν την καλύτερη αναμετάδοση.

Μία ακόμη πρόκληση των συνεργαζόμενων επικοινωνιών είναι η ενίσχυση των multi-cast υπηρεσιών της κυψέλης. Το κύριο πρόβλημα των πολλαπλών μεταδόσεων στην κυψέλη είναι οι διαφορετικές συνθήκες των διαφόρων αποδεκτών. Γι' αυτό ο σταθμός βάσης αντιμετωπίζει δυσκολία στην επιλογή του κατάλληλου ρυθμού μετάδοσης ώστε να ταιριάζει σε όλους τους αποδέκτες. Για να μπορέσει λοιπόν να βρει λύση σε αυτό το πρόβλημα, ο σταθμός βάσης επιλέγει τον ρυθμό μετάδοσης του χρήστη με τις χειρότερες συνθήκες καναλιού ώστε να είναι επαρκής η πολλαπλή μετάδοση. Εναλλακτικά ένας αριθμός D2D συσκευών με καλές συνθήκες καναλιού ταυτοποιούνται και επικοινωνούν το πολλαπλό σήμα από τον σταθμό βάσης στις πλησιέστερες συσκευές. Ο multi-cast αποδέκτης ονομάζεται cluster head και είναι υπεύθυνος για τις D2D μεταδόσεις. Στην περίπτωση του πολλαπλού σήματος για τους πολλαπλούς αποδέκτες προτείνονται τεχνικές βελτίωσης, όπως είναι η επιλογή του βέλτιστου αριθμού αναμεταδοτών εφόσον υπάρχει ανταλλαγή μεταξύ πολλαπλού κέρδους και διασποράς πολλαπλού καναλιού και η βελτιστοποίηση του σχήματος μετάδοσης ώστε να ενισχυθεί το throughput της πολλαπλής μετάδοσης. [6]

6. *Network Coding – Κωδικοποίηση δικτύου*

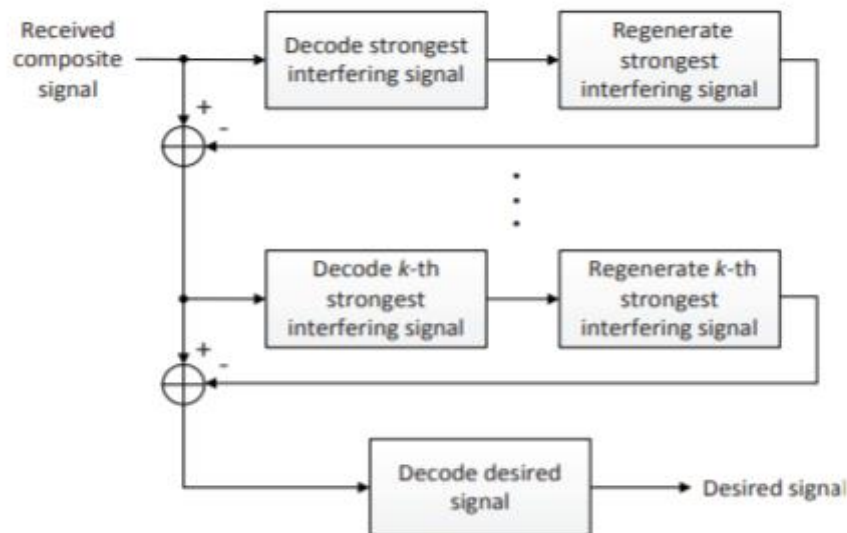
Προκειμένου να μειωθούν οι παρεμβολές ανάμεσα στους χρήστες των κυψελών και των D2D χρηστών προτείνεται η μέθοδος της Κωδικοποίησης του Δικτύου. Με την προσθήκη μιας τοπολογίας δικτύου ανάμεσα σε ένα ζευγάρι επικοινωνίας D2D και την χρήση κωδικοποίησης δικτύου προκειμένου να λαμβάνονται δεδομένα, μεταδίδεται στο ζευγάρι D2D η συνολική ανταλλαγή πληροφοριών. Τέτοιου είδους διαδικασίες μπορούν να βελτιώσουν το σύστημα επικοινωνίας D2D, επιδεικνύοντας ποιοτικότερη ανάλυση και εκτεταμένη προσομοίωση.

7. Interference Cancellation– Εξάλειψη των παρεμβολών

Θα παρουσιάσουμε δύο μεθόδους εξάλειψης των παρεμβολών, αυτή της απόλυτης εξάλειψης (UIC-Unconditional interference cancellation) και της Διαδοχικής (SIC-Successive interference cancellation).

Η UIC είναι η απλουστευμένη μέθοδος εξάλειψης των παρεμβολών με την προϋπόθεση φυσικά πως οι παρεμβολές που προέρχονται από τους ισχυρότερους παρεμβολείς των οποίων οι ενέργειες είναι μεγαλύτερες από το κατώφλι μπορούν να εξαλειφθούν εντελώς.

Η δεύτερη μέθοδος είναι η διαδοχική εξάλειψη των παρεμβολών. Πρόκειται για μια υποσχόμενη τεχνική που έχει μελετηθεί ευρέως για τα ασύρματα δίκτυα. Ο βασικός στόχος του SIC είναι να ξαναδημιουργεί τα σήματα παρεμβολών και διαδοχικά να εξαλείφει αυτά από το αρχικά λαμβανόμενο σήμα βελτιώνοντας το SIR (Σήμα προς παρεμβολή) του επιθυμητού σήματος. Πιο συγκεκριμένα, ο παραλήπτης SIC αποκωδικοποιεί αρχικά το ισχυρότερο σήμα παρεμβολής αντιμετωπίζοντας τα άλλα σήματα ως θόρυβο. Τότε ξαναδημιουργεί το αναλογικό σήμα από το αποκωδικοποιημένο και το εξαλείφει από το λαμβανόμενο σήμα. Έπειτα, το εναπομείναν σήμα ελευθερώνεται από την παρεμβολή του ισχυρότερου σήματος παρεμβολής. Τέλος, ο παραλήπτης SIC προχωρά στην αποκωδικοποίηση, την επαναδημιουργία και την εξάλειψη του δεύτερου ισχυρού σήματος παρεμβολής από το εναπομείναν σήμα και επαναλαμβάνει έως ότου το επιθυμητό σήμα να μπορεί να αποκωδικοποιηθεί. Ακολουθεί σχήμα με την διαδικασία του SIC βλ.Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Διαδικασία SIC

8. Multiple Antenna Technology and MIMO Schemes – Τεχνολογία πολλαπλών κεραιών και σχήματα MIMO

Το κύριο πρόβλημα που εμφανίζεται με την χρήση τεχνολογιών MIMO στις D2D επικοινωνίες είναι ο σχεδιασμός επαρκών κωδικοποιητών εκ των προτέρων, το πώς δηλαδή τμήματα πολλαπλών δεδομένων μπορούν να διοχετεύονται, ανεξάρτητα από

τις κεραίες μετάδοσης, καταλλήλως στους αποδέκτες ώστε να επιτευχθεί ο υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης. Στόχος του σχεδιασμού του κωδικοποιητή είναι η ελαχιστοποίηση της ενέργειας μετάδοσης και κατ' επέκταση των παρεμβολών που προκαλούνται από γειτονικές κινητές συσκευές, ενώ ταυτόχρονα εγγυάται την ποιότητα των υπηρεσιών ανάλογα με τις απαιτήσεις, όπως είναι για παράδειγμα ο λόγος της Ισχύος προς τις παρεμβολές (SNR). [16]

9. *Robust Resource Allocation – Δυναμική Κατανομή Πόρων*

Προκειμένου να επιτευχθεί περισσότερο αποτελεσματική αξιοποίηση των ραδιοπόρων από τις D2D επικοινωνίες θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν προσαρμοστικές μέθοδοι κατανομής ραδιοπόρων επιλέγοντας την κατεύθυνση της Άνω και της Κάτω ζεύξης με δυναμικό τρόπο. Δυναμική επιλογή σημαίνει πως οι συσκευές χρηστών κατά την D2D επικοινωνία χρησιμοποιούν τόσο την άνω ζεύξη όσο και την κάτω προς τις δύο κατευθύνσεις σε σχέση με το εκάστοτε φορτίο λαμβάνοντας υπόψιν τις πραγματικές παρεμβολές. Ο συνδυασμός του κατάλληλου αλγορίθμου δυναμικής επιλογής και της τεχνικής διαχείρισης παρεμβολών οδηγεί στην κατάλληλη επιλογή κατανομής πόρων. Υπάρχει ακόμη μια εναλλακτική κατά την οποία χρησιμοποιούνται η άνω και κάτω ζεύξη, όχι όμως την ίδια στιγμή και από το κυψελωτό δίκτυο. Αυτή η λύση μπορεί να συντελέσει σε ακόμη υψηλότερη επάρκεια φάσματος και αποτελεσματικής αξιοποίησης ραδιοπόρων. [10]

10. *Security Mechanism- Μηχανισμός ασφαλείας*

Ένα ακόμη σημαντικό θέμα που έχει να αντιμετωπίσει η επικοινωνία D2D είναι η διασφάλιση της ασφάλειας ώστε να γίνει αποδεκτή από τους χρήστες κινητών συσκευών. Πέρα από την αυθεντικοποίηση των χρηστών που είναι βασικό στοιχείο αυτού του είδους των επικοινωνιών, θα πρέπει να αντιμετωπίζονται οι κακόβουλες επιθέσεις από τρίτους. Η παρουσία λοιπόν σύνθετων σεναρίων ασφάλειας είναι απαραίτητη καθώς δεν ανήκουν όλες οι συσκευές στην ίδια κυψέλη ή στην ίδια εταιρεία κινητής τηλεφωνίας, αλλά υπάρχει ποικιλία συσκευών, τοπολογιών και πρωτοκόλλων που καλούνται να λειτουργήσουν συνεργατικά. Έτσι η εύρεση μοντέρνων και υψηλής επάρκειας τεχνικών κρυπτογράφησης έχει σκοπό την διασφάλιση όχι μόνο της τυπικής εμπιστευτικότητας των διαθέσιμων προσωπικών δεδομένων, αλλά και της προηγμένης ασφάλειας δεδομένων, όπως είναι η ανωνυμία, η ψευδονυμία, η ασφάλεια της διαδικτυακής φήμης, η κρυπτογράφηση της ταυτότητας και της ιδιότητας του καθενός. [10]

1.6 Προκλήσεις D2D που αντιμετωπίζουν οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών

Οι προκλήσεις με τις οποίες έρχονται αντιμέτωπες οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών όσον αφορά το D2D είναι πάρα πολλές κυρίως στον τομέα που

σχετίζεται με τον έλεγχο και την διαχείριση του φορτίου τοπικής κίνησης, αλλά ίσως υπάρξουν και οικονομικές επιπτώσεις στα έσοδα των κυψελωτών δικτύων.

Μια επιπλέον πρόκληση που έχουν να αντιμετωπίσουν οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών είναι οι δωρεάν υπηρεσίες που προσφέρουν οι πάροχοι στην αγορά Τηλεπικοινωνιών με τις εφαρμογές που παρέχουν όπως η ανταλλαγή μηνυμάτων, οι υπηρεσίες πολυμέσων όπως είναι ο διαμοιρασμός φωτογραφιών και η βιντεοκλήση καθώς και άλλες δημοφιλείς υπηρεσίες. Σε ένα τέτοιο ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι εταιρείες προώθησης της D2D τεχνολογίας θα πρέπει να επικεντρώνονται στις δομές ενός πολύ ισχυρού δικτύου που θα επιτρέψει την ανάπτυξη των νέων υπηρεσιών που σχετίζονται με το D2D, ενώ ταυτόχρονα θα διασφαλίζεται η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα δεδομένων των χρηστών.

Παρά τις όποιες δυσκολίες, η τεχνολογία D2D δεν παύει να κεντρίζει το ενδιαφέρον καθώς διαμορφώνει μια νέα τάξη πραγμάτων στις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σε αυτό το κεφάλαιο εστιάζουμε τόσο στην αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου επικοινωνιών D2D σε LTE δίκτυα, όσο και στην σχεδιαστική δομή του D2D Proximity Service. Επίσης, δεν παραλείπουμε να αναφερθούμε στις υπηρεσίες ανίχνευσης συσκευών καθώς και στην διαχείριση ραδιοπόρων, δύο απαραίτητες διαδικασίες για την πραγματοποίηση επικοινωνιών D2D.

2.1 Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου για απευθείας επικοινωνίες D2D σε LTE δίκτυα

Σε αυτή την ενότητα θα αναφέρουμε τους τρόπους απευθείας επικοινωνίας και μια σειρά από πιθανά σενάρια επικοινωνίας δυο συσκευών με τεχνολογία D2D καθώς επίσης και τις αρχιτεκτονικές αυτών.

Δύο είναι οι κύριοι τρόποι λειτουργίας απευθείας επικοινωνίας: α) ο τρόπος του ανεξάρτητου δικτύου και β) ο τρόπος του αδειοδοτημένου δικτύου. Ο πρώτος τρόπος λειτουργίας δεν απαιτεί καμία βοήθεια δικτύου εγκεκριμένης σύνδεσης και η επικοινωνία επιτυγχάνεται με την χρήση μόνο της λειτουργικότητας και των πληροφοριών που είναι διαθέσιμες τοπικά στις συσκευές των χρηστών. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας προσαρμόζεται:

- μόνο σε προεγκεκριμένες συσκευές χρηστών (UEs) δημοσίας ασφάλειας ProSe-enabled (Πρόκειται για συσκευές που υποστηρίζουν απαιτήσεις υπηρεσιών εγγύτητας και ειδικότερα ικανότητες δημοσίας ασφάλειας)
- είτε οι συσκευές χρηστών εξυπηρετούνται από E-UTRAN (ο εξελεγμένος διάυλος επικοινωνίας μεταξύ 2 σταθμών του LTE) είτε όχι
- στην απευθείας επικοινωνία από μια συσκευή σε μια άλλη ή από μια σε πολλές

Ο δεύτερος τρόπος λειτουργίας για ProSe απευθείας επικοινωνία πάντοτε απαιτεί ενίσχυση του δικτύου από το EPC (Evolved Packet Core = πακέτο που φέρει φωνή και δεδομένα) προκειμένου να εγκριθεί η σύνδεση. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας προσαρμόζεται:

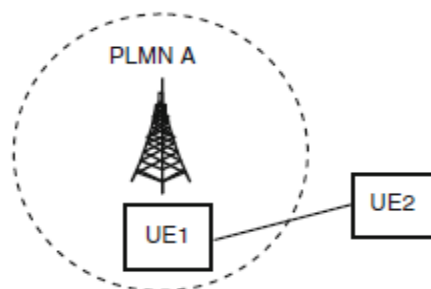
- για ProSe μία προς μία συσκευή απευθείας επικοινωνίας
- όταν και οι δυο συσκευές εξυπηρετούνται από E-UTRAN
- σε συσκευές δημοσίας ασφάλειας όταν μόνο μία συσκευή εξυπηρετείται από E-UTRAN

Για αυτούς τους τρόπους επικοινωνίας θα αναφέρουμε ορισμένα από τα πιθανά σενάρια επικοινωνίας λαμβάνοντας υπόψιν το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο σε δημόσια περιοχή (Public Land Mobile Network ή PLMN¹), την διαδρομή απευθείας επικοινωνίας και την περιοχή κάλυψης ή μη κάλυψης.

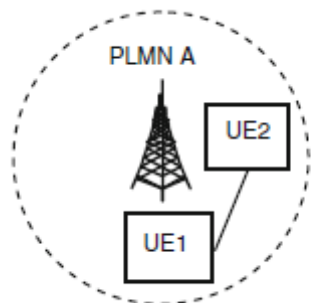
Σενάριο (α): Στην περίπτωση που το UE1 και UE2 είναι εκτός περιοχής κάλυψης, δεν εξυπηρετούνται από το PLMN ανά κυψέλη



Σενάριο (β): Στην περίπτωση που ο UE1 είναι εντός περιοχής κάλυψης ενώ ο UE2 εκτός, ο UE2 δεν εξυπηρετείται από το PLMN της κυψέλης

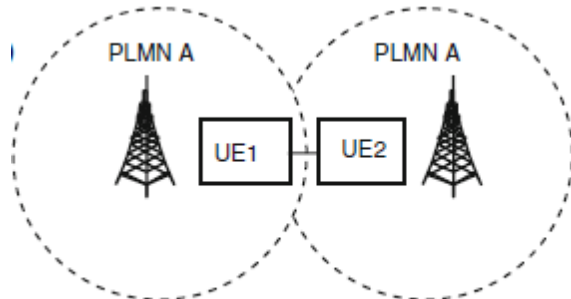


Σενάριο (γ): Στην περίπτωση που και οι δυο UEs είναι εντός περιοχής κάλυψης εξυπηρετούνται από το ίδιο PLMN ανά κυψέλη

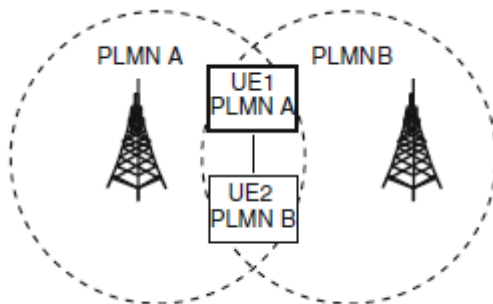


¹PLMN: Το Public Land Mobile Network είναι ένα δίκτυο εγκατεστημένο και ελεγχόμενο από έναν διαχειριστή που παρέχει χώρο για τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες στο κοινό

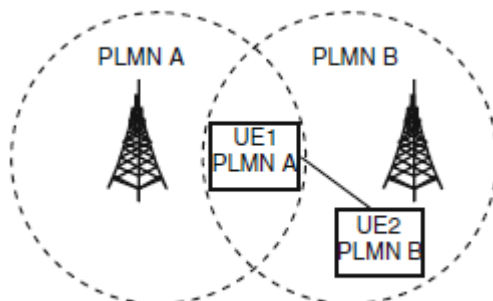
Σενάριο (δ): Όταν οι 2 UEs είναι εντός κάλυψης και εξυπηρετούνται από το ίδιο PLMN αλλά βρίσκονται σε διαφορετικές κυψέλες



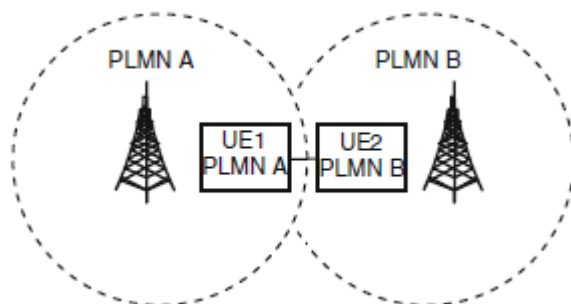
Σενάριο (ε): Όταν οι 2 UEs είναι εντός κάλυψης σε 2 κυψέλες αλλά εξυπηρετούνται από διαφορετικά PLMN ανά κυψέλη



Σενάριο (στ): Όταν ο UE1 είναι εντός κάλυψης και από τις 2 κυψέλες, ενώ ο UE2 μόνο από την μια και τα PLMN εξυπηρέτησης είναι διαφορετικά.



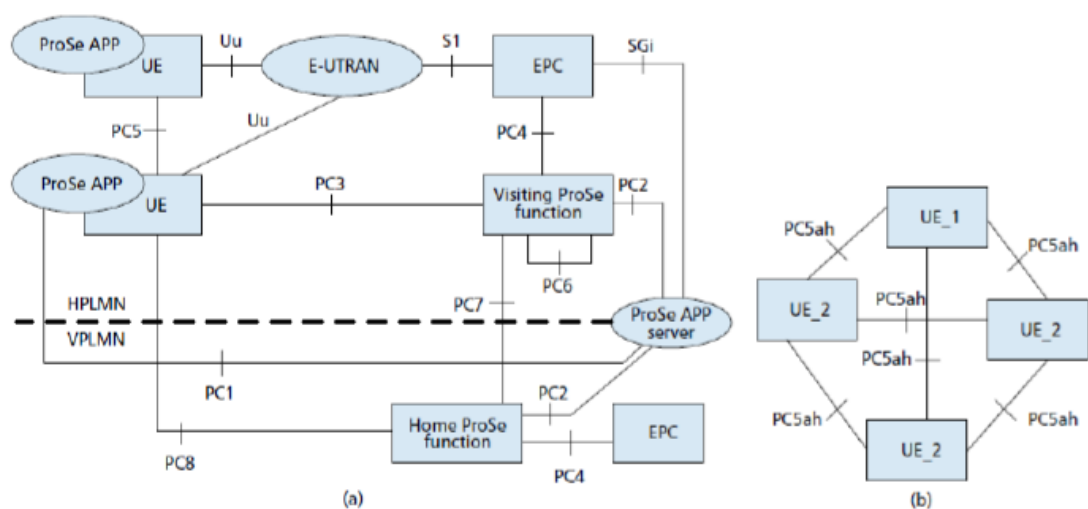
Σενάριο (ζ): Όταν οι UEs βρίσκονται στην δική τους κυψέλη κάλυψης και τα PLMN είναι διαφορετικά



Προκειμένου να υλοποιηθούν τα παραπάνω σενάρια, η αρχιτεκτονική ProSe περιλαμβάνει κάποιες διεπαφές όπως θα δούμε στη συνέχεια και σχηματικά:

- **PC1:** Για την παροχή διαφόρων ασύρματων υπηρεσιών που έχουν ως βάση τις επικοινωνίες D2D, ένας αριθμός εφαρμογών ProSe (ProSe APPs) μπορούν να εγκατασταθούν σε ένα UE. Αυτές οι εφαρμογές, μπορούν να ανταλλάξουν δεδομένα με τον απομακρυσμένο διακομιστή ProSe APP μέσω του PC1.
- **PC2:** Οι λειτουργίες ProSe που υποστηρίζονται από το EPC αναφέρονται γενικά ως ProSe function. Η διεπαφή PC2 ορίζεται μεταξύ των ProSe APP Server και ProSe function και χρησιμοποιείται από την Prose function με σκοπό την αποθήκευση των εφαρμογών που είναι εξουσιοδοτημένες να χρησιμοποιήσουν την ανίχνευση ProSe σε επίπεδο EPC, την ανταλλαγή σηματοδότησης με άλλους servers εφαρμογών για εγγραφή εφαρμογών και χαρτογράφηση. Τέλος, η ProSe function αναλαμβάνει την ενημέρωση των δεδομένων εφαρμογής από τη βάση δεδομένων ProSe.
- **PC3:** Το PC3 είναι το interface μεταξύ των UE και της ProSe Function που βασίζεται στο IP πρωτόκολλο και χρησιμοποιείται για την εξουσιοδότηση της απευθείας ανίχνευσης ProSe και της D2D επικοινωνίας. Το PC3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την D2D ανίχνευση μεταξύ τερματικών που μπορεί να είναι εγγεγραμμένα σε διαφορετικά δίκτυα (PLMNs) ή ακόμα και UEs που ανήκουν σε διαφορετικά ραδιοδίκτυα πρόσβασης όπως το LTE-A και το Wi-Fi.
- **PC4:** Το PC4 καθορίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ του HSS (Home ProSe Function) και του EPC. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξουσιοδότηση της απευθείας ανίχνευσης ProSe και της απευθείας επικοινωνίας. Επίσης διαχειρίζεται διάφορες πληροφορίες, όπως της κινητικότητας.
- **PC5:** Είναι το interface που χρησιμοποιείται για D2D broadcasting επικοινωνίες.

- **PC6:** Είναι το interface μεταξύ πολλαπλών ProSe Functions σε διαφορετικά PLMNs. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για D2D ανίχνευση μεταξύ UEs εγγεγραμμένων σε διαφορετικά PLMNs.
- **PC7:** Χρησιμοποιείται μεταξύ ProSe Functions στο Visiting PLMN (VPLMN) και το Home PLMN (HPLMN), για την εξουσιοδότηση των υπηρεσιών ProSe.
- **PC8:** Είναι το interface μεταξύ ενός roaming UE και της ProSe Function στο HPLMN.
- **SGi:** Είναι το interface που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή δεδομένων εφαρμογών, όπως επίσης και πληροφορίας ελέγχου στο επίπεδο εφαρμογών.



Σχήμα 2.2. Αρχιτεκτονική LTE Prose (a) με δυνατότητα roaming, (b) σε λειτουργία ad-hoc

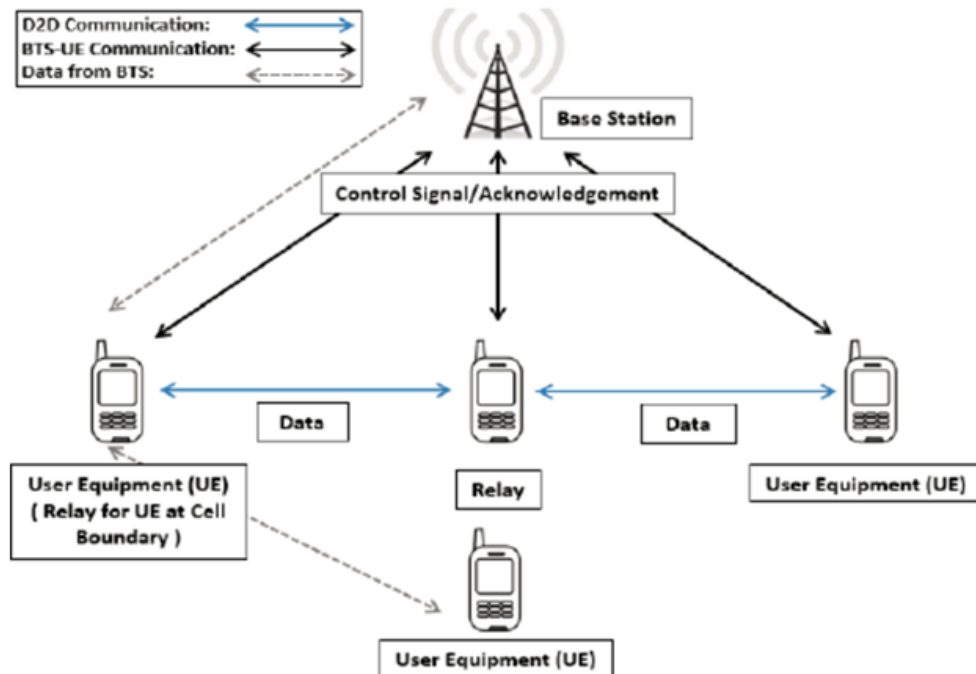
2.2 Σχεδιαστική δομή του D2D ProSe

Σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε τις σχεδιαστικές επιλογές που έχουν συζητηθεί από την 3GPP για την σχεδιαστική δομή του D2D Prose μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες: Διαχείριση ProSe (ProSe management), Συγχρονισμός (Synchronization), Ανίχνευση συσκευών (device discovery) και Απευθείας επικοινωνία (Direct Communication).

2.2.1 Διαχείριση ProSe - ProSe management

Στα κυψελωτά δίκτυα συμπεριλαμβανομένου του LTE, το δίκτυο ελέγχει πλήρως τη λειτουργία των κινητών τερματικών εκτός από κάποια στοιχεία που σχετίζονται με τους παρόχους. Έτσι, όταν τα D2D UEs βρίσκονται εντός κάλυψης, το ProSe θα πρέπει να ελέγχεται και να διαχειρίζεται από το δίκτυο. Αυτός όμως ο πλήρης έλεγχος της D2D λειτουργίας από το δίκτυο ενδέχεται να αποτελεί υπερβολή στο σχεδιασμό. Συνεπώς, η ανάθεση ορισμένων λειτουργιών ελέγχου κατευθείαν στα

UEs, μπορεί να μειώσει το φόρτο του δικτύου και να ελαττωθεί έτσι η καθυστέρηση στην ανάδραση. Ομοίως και η σύνδεση ανατίθεται απευθείας στις συσκευές D2D.

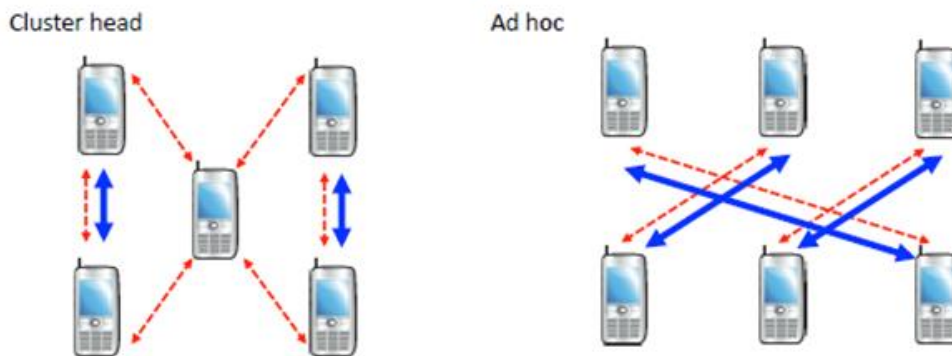


Σχήμα 2.2.1α Network control

Επιπροσθέτως, συσκευές που επικοινωνούν μέσω D2D είναι πιθανό να βρεθούν σε περιοχές εκτός κάλυψης, όπου το δίκτυο χάνει την ικανότητα ελέγχου. Γι' αυτό το λόγο έχουν προταθεί δύο εναλλακτικές τοπολογίες ελέγχου, η ad-hoc και η clusterhead. Στην ad-hoc τοπολογία, κάθε συσκευή D2D ελέγχει τη συμπεριφορά της, ενώ ο συγχρονισμός των μεταδόσεων γίνεται μέσω πρωτοκόλλων MAC (random medium access control) όπως είναι το CSMA. Η μέθοδος αυτή είναι απλή στην υλοποίησή της, όμως τα MAC πρωτόκολλα δεν είναι τόσο αποτελεσματικά όσο ο έλεγχος από το κεντρικό δίκτυο, ενώ ταυτόχρονα δεν έχουν πλήρη προσαρμογή στην υπάρχουσα αρχιτεκτονική του LTE, με αποτέλεσμα να απαιτείται σημαντικός επανασχεδιασμός του LTE.

Στην τοπολογία clusterhead, ένα UE έχει κύριο ρόλο και ηγείται μιας ομάδας UEs. Το clusterhead UE ουσιαστικά λειτουργεί ως eNodeB παρέχοντας μια σειρά λειτουργιών όπως είναι ο τοπικός συγχρονισμός, η διαχείριση ραδιοπόρων, ο προγραμματισμός μεταδόσεων D2D στα slave-UEs κάθε cluster, κάνοντας έτσι την εκτός κάλυψης τοπολογία παρόμοια με αυτή του E-UTRAN, όπου ο eNodeB εξυπηρετεί τα UEs της κυψέλης του. Το πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας είναι η ύπαρξη λειτουργιών του E-UTRAN που πιθανόν μπορούν να εφαρμοστούν με κατάλληλες τροποποιήσεις στις εκτός κάλυψης επικοινωνίες D2D. Εξαιτίας όμως των αυξημένων απαιτήσεων των λειτουργιών ελέγχου που εκτελεί ο cluster head, η

μπαταρία της συσκευής μπορεί να εξαντληθεί γρήγορα και να υπάρξει συμφόρηση ελέγχου.



Σχήμα 2.2.1β Τοπολογίες ελέγχου Clusterhead και Ad-hoc

2.2.1.1 Εγγραφή του UE στην ProSe - Απαιτήσεις σχεδιασμού συστήματος D2D επικοινωνίας

Προκειμένου ένα UE να οριστεί ως εφαρμογή ταυτοποίησης θα πρέπει να καταγραφεί σε έναν server εφαρμογών για υπηρεσίες όπως η Prose. Για να ενεργοποιηθούν τα χαρακτηριστικά της ProSe για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, ακολουθείται μια διαδικασία εγγραφής που ολοκληρώνεται σε πέντε βήματα.

➤ Βήμα 1 – Ενεργοποίηση ProSe κινητής συσκευής

Αρχικά ο UE (Συσκευή LTE-A) καταγράφεται στην εφαρμογή στέλλοντας ένα πρώτο μήνυμα Prose εγγραφής στην λειτουργία ProSe. Το περιεχόμενο αυτού του μηνύματος είναι το ProSe ID (ProSe A) , το ID της εφαρμογής που ταυτοποιεί τον App server, το ειδικό αναγνωριστικό της εφαρμογής (App A) και το αναγνωριστικό του επιπέδου σύνδεσης (Link A). Η εφαρμογή έχει δυνατότητες ProSe όπως αυτή της ανίχνευσης και της επικοινωνίας με συσκευές ανίχνευσης.

➤ Βήμα 2 – Εγγραφή UE

Η λειτουργία ProSe αλληλοεπιδρά με τον server του οικιακού συνδρομητή (HSS-Home Subscriber Server) για λόγους αυθεντικοποίησης και για να ελέγξει εάν ο UE είναι εξουσιοδοτημένος για ProSe. Η αυθεντικοποίηση και η εξουσιοδότηση μπορούν να διευθετηθούν και τοπικά κατά την λειτουργία ProSe.

➤ Βήμα 3 – Εγγραφή της εφαρμογής

Η ProSe λειτουργία A στέλνει ένα ProSe αίτημα εγγραφής στον App Server καταδεικνύοντας έτσι ότι ο χρήστης της εφαρμογής, ταυτοποιημένος ως App A, έχει ζητήσει να εγγραφεί και να χρησιμοποιήσει την υπηρεσία ProSe για αυτή την εφαρμογή. Στην περίπτωση που ο App Server αποδεχτεί το αίτημα, τότε αποθηκεύει το ID της εφαρμογής (App A) και το ProSe ID (ProSe A).

Η εφαρμογή στον server έχει δύο λειτουργίες: αυτή της κατάστασης του καταναλωτή (consumer mode) και της κατάστασης του προμηθευτή (provider mode). Όταν ο χρήστης αιτείται υπηρεσίες τότε η εφαρμογή βρίσκεται στην κατάσταση του καταναλωτή. Ενώ όταν ο χρήστης προτίθεται να διαμοιράσει τους πόρους της συσκευής του τότε βρίσκεται στην κατάσταση του προμηθευτή.

➤ **Βήμα 4 – Ανίχνευση εφαρμογής**

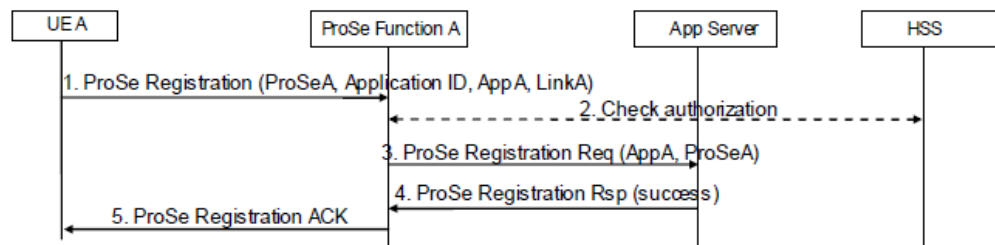
Η απάντηση στέλνεται στην ProSe λειτουργία από τον App Server για επιτυχή ή μη εγγραφή.

Στην περίπτωση της εγγραφής, η συσκευή του χρήστη παρέχει στο δίκτυο μια σειρά από λέξεις κλειδιά που θα βοηθήσουν στην εύρεση των σημείων παροχής υπηρεσιών. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα επιλογής του σημείου από όπου θα του παρασχεθεί η υπηρεσία που χρειάζεται. Αρχικά η συσκευή στέλνει αίτημα εγγύτητας στο δίκτυο μέσω μηνυμάτων ζητώντας από την λειτουργία ProSe να βοηθήσει στην εύρεση των πιο κοντινών συσκευών ή να ειδοποιήσει για το πότε άλλες συσκευές βρίσκονται εκεί γύρω. Ο χρήστης είναι εκείνος που ορίζει τα κριτήρια εγγύτητας.

➤ **Βήμα 5 – Αναφορά θέσης**

Σε κάθε περίπτωση είτε η εγγραφή είναι επιτυχής είτε όχι, ο UE πρέπει να λάβει μια ανταπάντηση (ACK) από την ProSe λειτουργία A.

Υπεύθυνος για την αναφορά θέσης των συσκευών είναι η πλατφόρμα ασφαλούς πλάνου τοποθεσίας χρήστη (Secure User Location Platform-SLP), η οποία στέλνει ενημερώσεις για την τοποθεσία στη ProSe Function A είτε περιοδικά είτε επειδή έχει ζητηθεί. Η ProSe Function από μεριάς της είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο της απόστασης μεταξύ των συσκευών επικοινωνίας.



Σχήμα 2.2.1γ Εγγραφή UE για ανίχνευση ProSe

2.2.2 Συγχρονισμός-SYNCHRONIZATION

Στα εντός κάλυψης σενάρια οι D2D μεταδόσεις είναι συγχρονισμένες με τον eNodeB να παρέχει τη λειτουργία συγχρονισμού. Έτσι, όταν η ανίχνευση συσκευών είναι συγχρονισμένη στο πεδίο του χρόνου, τα UE μπορούν να εξοικονομήσουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας σε σχέση με την ασύγχρονη, παραμένοντας ενεργά για σήματα ανίχνευσης μόνο σε προκαθορισμένες χρονοθυρίδες. Η πρόκληση όμως για συγχρονισμό στις D2D μεταδόσεις είναι μεγάλη εξαιτίας των πολλαπλών συνδέσεων

D2D, καθώς τα εκπεμπόμενα σήματα προέρχονται από διαφορετικές συσκευές μετάδοσης και φθάνουν σε διαφορετικές συσκευές λήψης.

Το πρώτο λοιπόν βήμα συγχρονισμού στο FDD LTE, όταν όλα τα UEs βρίσκονται εντός κάλυψης, είναι η απόφαση για το αν θα χρησιμοποιηθεί το uplink ή το downlink για τις D2D μεταδόσεις. Αν για παράδειγμα το uplink χρησιμοποιείται για επικοινωνία, η χρήση του uplink συγχρονισμού για το D2D θα μπορούσε να επιφέρει μικρότερη παρεμβολή. Παράλληλα, ο συγχρονισμός μεταξύ δυο διαφορετικών UEs δεν μπορεί να είναι απόλυτα εγγυημένος αφού αυτά μπορεί είτε να είναι συνδεδεμένα σε διαφορετικά eNodeBs ή ακόμα κι όταν βρίσκονται στην ίδια κυψέλη μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικές αποστάσεις από το eNodeB.

Στην περίπτωση του εκτός κάλυψης σεναρίου, για το συγχρονισμό των συσκευών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν περιοδικά σήματα συγχρονισμού. Η επαναχρησιμοποίηση των υπάρχοντων σημάτων του LTE όπως είναι το κύριο σήμα συγχρονισμού (Primary Synchronization Signal) και το δευτερεύον (Secondary Synchronization Signal) είναι εφικτή, αλλά δεν είναι βέβαιο πως επαρκούν. Επίσης, ο σχεδιασμός των σημάτων συγχρονισμού που αφορά την περίοδο μετάδοσης, τους ραδιοπόρους και την μετάδοση ισχύος είναι υπό διερεύνηση. Μια προτεινόμενη λύση είναι η χρήση clusterhead που βασίζεται στην κατάσταση ελέγχου και μεταδίδει το συγχρονισμένο σήμα αναφοράς.

2.2.3 Ανίχνευση συσκευών-DEVICE DISCOVERY

Η ανίχνευση συσκευών στο D2D μπορεί να χωριστεί σε δυο κατηγορίες, την απευθείας ανίχνευση και την ανίχνευση σε επίπεδο EPC (Evolved Packet Core). Στην περίπτωση της απευθείας ανίχνευσης, κάθε UE ψάχνει αυτόνομα για γειτονικές συσκευές στέλνοντας και λαμβάνοντας περιοδικά σήματα ανίχνευσης. Δυο είναι οι μηχανισμοί ανίχνευσης που χρησιμοποιούνται:

- i) ο μηχανισμός τύπου push, όπου το UE εκπέμπει broadcast μηνύματα
- ii) ο μηχανισμός τύπου pull, όπου το UE αναζητά πληροφορίες σχετικά με ανιχνεύσιμες συσκευές

Η απευθείας ανίχνευση λειτουργεί τόσο στο εντός κάλυψης όσο και στο εκτός κάλυψης σενάριο, ενώ δεν αποκλείει και τη συμβολή του δικτύου όταν είναι διαθέσιμη.

Για να ενεργοποιηθεί η υπηρεσία της απευθείας ανίχνευσης ProSe μεταξύ δύο συσκευών χρηστών, απαιτείται η εγκατάσταση της υπηρεσίας. Ο λόγος για τον οποίο χρειάζεται αυτή η εγκατάσταση είναι η χορήγηση των απαραίτητων διαπιστευτηρίων στις συσκευές χρηστών, όπως είναι για παράδειγμα κωδικοί της ProSe εφαρμογής, φίλτρα κ.ά., έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν στην αεροδιαπαφή για απευθείας ανίχνευση.

Στην περίπτωση της ανίχνευσης σε επίπεδο EPC, το EPC είναι αυτό που καθορίζει την εγγύτητα των συσκευών. Έτσι, ένα UE ξεκινά τη διαδικασία ανίχνευσης αφού λάβει από το δίκτυο πληροφορίες σχετικά με το target UE. Με τον τρόπο αυτό το βάρος της παρακολούθησης της θέσης των συσκευών μετατοπίζεται στο δίκτυο, απελευθερώνοντας πόρους από τα UEs. Ο BS βοηθά τους UEs να εντοπίσουν τις γειτονικές τους συσκευές. Όταν οι συνδρομητές ανήκουν σε διαφορετικές κυψέλες, η ανίχνευση επιτυγχάνεται με την ειδοποίηση των δύο UEs πως βρίσκονται σε κοντινή απόσταση.

Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε πως υπάρχουν δύο υποκατηγορίες υπηρεσιών εγγύτητας, αυτή της ανοιχτής υπηρεσίας (Open Prose) όπου δεν απαιτείται άδεια ανίχνευσης και αυτή της περιορισμένης (Restricted Prose), κατά την οποία απαιτείται άδεια ανίχνευσης της συσκευής.

Η διαδικασία που ακολουθείται για την εύρεση μιας συσκευής κατά την D2D Επικοινωνία είναι παρόμοια με αυτή της αναζήτησης κυψέλης στο LTE κατά την οποία ο εξοπλισμός χρήστη καθορίζει τις παραμέτρους του χρόνου και της συχνότητας που είναι απαραίτητες στη διαμόρφωση της κάτω ζεύξης και του καθορισμού της ταυτότητας της κυψέλης. Πέρα όμως από τον χρόνο και την συχνότητα οι συσκευές θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν τους και το χώρο. Αυτή η διαδικασία αναζήτησης όμως φέρει και αρνητικό πρόσημο, καθώς η κατανάλωση ενέργειας των συσκευών στην προσπάθειά τους να ερευνηθούν όλες τις συσκευές είναι υψηλή με αποτέλεσμα να καταναλώνεται γρήγορα η ενέργεια των μπαταριών. Η διαδικασία λοιπόν αναζήτησης συσκευών μπορεί να γίνει είτε με την παρουσία κεντρικού δικτύου είτε όχι. Ακολουθεί η περιγραφή και των δύο περιπτώσεων.

α) Περίπτωση αναζήτησης χωρίς την υποστήριξη δικτύου

Με την απουσία του δικτύου, η επεξεργασία αναζήτησης κάποιας συσκευής μπορεί να γίνει μέσω μερικών διαδικασιών, αλλά είναι χρονοβόρα και η κατανάλωση ενέργειας υψηλή. Συγκεκριμένα, μπορεί να γίνει με την μετάδοση μικρών ποσών δεδομένων μεταξύ των συσκευών κάνοντας χρήση του OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) μέσω μικρών σημάτων αναφοράς (beacons) και την αξιοποίηση των ήδη υπάρχοντων beacon του 3GPP LTE. Για να επιλυθεί το πρόβλημα του συγχρονισμού όταν πολυπλέκονται μαζί στα ίδια OFDMA σύμβολα, οι συσκευές χωρίζονται σε ομάδες που χρησιμοποιούν διαφορετικά μοτίβα ώστε να μεταδώσουν σε διαφορετικές στιγμές.

Την εμφάνισή του έχει κάνει ένα νέο σύστημα εφαρμογής που ονομάζεται FlashLinQ, που επιτρέπει στις συσκευές να ανακαλύπτουν η μία την άλλη και να επικοινωνούν απευθείας. Η εμπλοκή του δικτύου σε αυτό το σύστημα είναι ελάχιστη τόσο ώστε να παρέχει συγχρονισμένα σήματα στις συσκευές. Το FlashLinQ αποτελεί την βάση για την νεά τεχνολογία που ονομάζεται LTE direct.

β) Περίπτωση αναζήτησης με την παρουσία Δικτύου

Σε αυτή την περίπτωση η διαδικασία αναζήτησης αξιοποιεί την βοήθεια που προσφέρει το δίκτυο. Δύο είναι οι μηχανισμοί για τον τομέα επικοινωνίας D2D όσον αφορά την εγκατάσταση και την διαχείριση. Ο πρώτος αφορά τον καθορισμό της κίνησης D2D και ο δεύτερος την χρήση μιας καθορισμένης Εξελιγμένης Αρχιτεκτονικής Συστήματος σηματοδότησης.

Όσον αφορά τον πρώτο, η πιθανή κίνηση D2D καταγράφεται κατά την μετάβαση από το ένα δίκτυο στο άλλο μέσω της πύλης-gateway μετά την επεξεργασία των IP headers των πακέτων δεδομένων και των headers του tunnel. Παρ' όλο που αυτή η μέθοδος λειτουργεί για όλες τις περιπτώσεις IP κίνησης άμεσης σύνδεσης χωρίς καμιά διαφοροποίηση υπηρεσιών, υπερφορτώνεται το δίκτυο.

Όσον αφορά τον δεύτερο, με την αποκλειστική χρήση σηματοδότησης το ζητούμενο της διεργασίας SIP (Session Initiation Protocol) του D2D μπορεί να διαχωριστεί από ένα γενικό αίτημα SIP. Η διαδικασία έχει ως εξής: ο UE1 καλεί τον UE2 χρησιμοποιώντας ένα μήνυμα κλήσης SIP με συγκεκριμένη διεύθυνση, ενώ ο

SIP ενιαίος δείκτης πόρων του UE2 είναι συγκεκριμένος. Η διεύθυνση αυτή επεκτείνεται ούτως ώστε να επιλεγθεί η τοπική διεργασία. Το μήνυμα κλήσης του SIP αφού προσαρμοστεί σε ένα επίπεδο χωρίς πρόσβαση-NAS(Non-Access Stratum), λαμβάνεται από έναν διαχειριστή SIP που είναι προσαρτημένος στην Οντότητα Διαχείρισης Κινητικότητας-MME(Mobility Management Entity) . Στη συνέχεια, τα μηνύματα NAS που απευθύνονται στον D2D επεξεργάζονται από τον διαχειριστή, ενώ τα συνηθισμένα μηνύματα τα επεξεργάζεται το MME. Η χρήση αποκλειστικής σηματοδότησης δεν απαιτεί SIP εξυπηρετητή στο διαδίκτυο, με αποτέλεσμα την ταχύτερη εγκατάσταση της διεργασίας. Αποτελέσματα που έχουν προκύψει μετά από προσομοιώσεις δείχνουν μια αύξηση στο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων άνω του 65% για ένα δίκτυο με D2D επικοινωνία σε σύγκριση με ένα συνηθισμένο κυψελωτό δίκτυο.

➤ *Σχεδιασμός σημάτων ανίχνευσης*

Και στους δυο τρόπους ανίχνευσης, κάθε UE εκπέμπει σήματα ανίχνευσης, τα οποία μπορούν να εντοπιστούν από άλλες συσκευές. Τα σήματα αυτά περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με την ταυτότητα των UEs ή πληροφορίες που σχετίζονται με διάφορες εφαρμογές. Σε κάθε περίπτωση, ο όγκος της πληροφορίας που ανταλλάσσεται κατά την ανίχνευση καθορίζει τους απαιτούμενους ραδιοπόρους και επηρεάζει το σήμα ανίχνευσης και την δομή του καναλιού. Έτσι αν το μέγεθος της πληροφορίας ανίχνευσης είναι μικρό αλλά επαρκές, τότε τα UEs μπορούν να εκπέμψουν συγκεκριμένες ακολουθίες ώστε να επιτευχθεί ο εντοπισμός. Μπορεί λοιπόν με αυτό τον τρόπο να μεταδίδεται ένα περιορισμένο ποσοστό πληροφορίας, η μετάδοση και η λήψη όμως τέτοιων ακολουθιών δεν είναι πολύπλοκη. Το πρώτο πράγμα που εξετάζεται σε φυσικό επίπεδο είναι η επάρκεια ποικίλων σημάτων αναφοράς και σημάτων συγχρονισμού όπως τα PSS (Primary Synchronization Signals)/SSS (Secondary Synchronization Signals) και PRACH (Physical Random Access Channel). Στην περίπτωση όμως που ο όγκος της πληροφορίας είναι μεγάλος, η μετάδοση και η λήψη πακέτων ανίχνευσης γίνεται πιο περίπλοκη με αποτέλεσμα η αξιοπιστία ανίχνευσης να χρειάζεται βελτίωση, ενώ το κανάλι ένα πιο δυναμικό τρόπο κωδικοποίησης.

➤ *Σύγχρονη και ασύγχρονη ανίχνευση*

Ο συγχρονισμένος εντοπισμός υπερτερεί έναντι του ασύγχρονου τόσο σε επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας, όσο και σε φασματική απόδοση ενώ οδηγεί σε πιο αξιόπιστη και γρήγορη ανίχνευση. Ωστόσο, θεωρώντας ότι ο συγχρονισμός προηγείται της ανίχνευσης, θα μπορούσαν να υπάρξουν προβλήματα στην περίπτωση του εκτός κάλυψης σεναρίου. Για το λόγο αυτό στις περιπτώσεις χρήσης δικτύων δημόσιας ασφάλειας, τα UEs θα πρέπει να διαθέτουν συμπληρωματικά και λειτουργίες για ασύγχρονο εντοπισμό.

2.2.4 Απευθείας επικοινωνία-DIRECT COMMUNICATION

Η απευθείας επικοινωνία UE-UE, χρησιμοποιεί κάποια από τα υπάρχοντα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του LTE, ωστόσο σε ορισμένες παραμέτρους απαιτούνται αλλαγές σε φυσικό επίπεδο και καινούριες προσπάθειες προτυποποίησης. Αρχικά, ένα ζητούμενο είναι η επιλογή της διαμόρφωσης της κυματομορφής. Το LTE χρησιμοποιεί SCFDMA στο uplink και OFDMA στο downlink, επομένως κάθε UE διαθέτει ένα πομπό SCFDMA και ένα δέκτη OFDMA. Στην περίπτωση που επιλέξουμε τη χρήση SCFDMA για την επικοινωνία D2D, τότε κάθε UE θα πρέπει να εξοπλισθεί με ένα επιπρόσθετο δέκτη SCFDMA (ομοίως και για την επιλογή του OFDMA πομπού). Η υλοποίηση ενός ακόμα δέκτη SCFDMA είναι πιο περίπλοκη σε σχέση με την εγκατάσταση ενός πομπού OFDMA καθώς η μετάδοση μονού φέροντος απαιτεί περίπλοκη εξομοίωση στο δέκτη, παρ' όλα αυτά ένας πομπός SCFDMA εμφανίζει χαμηλότερο μέσο όρο ρυθμού μετάδοσης ενέργειας [peak-to-average power ratio (PAPR)].

➤ Έλεγχος ισχύος

Ο έλεγχος ισχύος είναι απαραίτητος στις D2D επικοινωνίες τόσο για την εξοικονόμηση ενέργειας όσο και για τη βελτίωση του SNR, άρα για την μείωση των παρεμβολών. Με την βελτίωση του SNR επηρεάζεται η συνολική ενέργεια μετάδοσης του πομπού. Όλοι οι χρήστες στο D2D χρησιμοποιούν τον ίδιο πομπό ισχύος. Η ισχύς του πομπού κατά το uplink ελέγχεται πλήρως από το eNodeB. Η δυνατότητα του UE να ελέγχει μερικώς την εκπεμπόμενη ισχύ επιφέρει μείωση του overhead του ελέγχου σηματοδοσίας όπως και της καθυστέρησης. Θα μπορούσε για παράδειγμα το eNodeB να είναι υπεύθυνο για έλεγχο ισχύος ανοικτού βρόχου και να θέτει ένα επιτρεπτό εύρος ισχύος μέσα στο οποίο κάθε UE μπορεί να χειριστεί ένα διεξοδικό έλεγχο ισχύος κλειστού βρόχου και να προσαρμοστεί έτσι πιο αποτελεσματικά στις διακυμάνσεις της ποιότητας καναλιού.

➤ Λειτουργία HARQ

Η λειτουργία HARQ συνδυάζει την απευθείας διόρθωση λαθών (Forward Error Correction-FEC) και την αναμετάδοση ARQ, ενώ μπορεί να συνεισφέρει στο να γίνουν πιο σταθερές οι επικοινωνίες D2D αντιμετωπίζοντας τις σύνθετες αλλά και δυναμικές συνθήκες παρεμβολής που μπορεί να προκύψουν. Η D2D HARQ μπορεί να είναι είτε άμεση είτε έμμεση. Στην έμμεση, ένας δέκτης D2D αποστέλλει αρχικά μια επιβεβαίωση λήψης (επιτυχής λήψη (ACK)/ανεπιτυχής (NACK)) στο eNodeB και στη συνέχεια το eNodeB, το αναθέτει σε πομπό D2D. Η έμμεση HARQ επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση των υπαρχόντων καναλιών ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης του LTE προσθέτοντας ελάχιστο overhead και πιθανόν λίγο περισσότερη καθυστέρηση κατά την ανατροφοδότηση. Αντίθετα, στην άμεση HARQ ένας D2D δέκτης στέλνει μια ανάδραση ACK ή NACK κατευθείαν σε ένα πομπό D2D. Η

περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο στο in-coverage όσο και στο out-of-coverage σενάριο.

➤ Μετρήσεις καναλιού.

Προκειμένου να είναι πιο αποτελεσματική η διαχείριση του ProSe, το δίκτυο πρέπει να γνωρίζει την κατάσταση των καναλιών των D2D links. Οι απαιτούμενες μετρήσεις του καναλιού εξαρτώνται από τον βαθμό ανάμιξης του δικτύου στην ανάθεση των πόρων. Κατά το downlink μπορεί να γίνει εκτίμηση των παρεμβολών που προκαλούνται από τις D2D μεταδόσεις με τις μετρήσεις της δύναμης του σήματος αναφοράς που μεταδίδονται από τους eNBs. Κατά το uplink το LTE έχει δύο διαφορετικά είδη συμβόλων αναφοράς, τα σύμβολα αναφοράς ήχου και τα σύμβολα αναφοράς αποδιαμόρφωσης.

Τα σύμβολα αναφοράς ήχου μεταδίδονται σε ευρύτερο εύρος ζώνης από την πραγματική μετάδοση δεδομένων ώστε να συλλέξουν πληροφορίες καναλιού για την επίτευξη του προγραμματισμένου uplink. Στην περίπτωση του αυστηρού ελέγχου κατανομής πόρων για τις D2D επικοινωνίες, η λειτουργία των συγκεκριμένων συμβόλων αναφοράς θα είναι εξαιρετικά βοηθητική.

Όσον αφορά τα σύμβολα αποδιαμόρφωσης που μεταδίδονται στα τμήματα φυσικών πόρων (Physical Resource Blocks-PRBs) του φορτίου κίνησης χρησιμεύουν στην αποκωδικοποίηση, την αποδιαμόρφωση και την εκτίμηση του καναλιού.

2.3 Διαδικασία μετάδοσης

Για να επικοινωνήσει μια συσκευή με τον eNodeB θα πρέπει να ταυτοποιηθεί η μετάδοση από τον eNodeB και να συγχρονιστεί μαζί του. Τα ειδικά σήματα συγχρονισμού αναλαμβάνουν αυτόν τον ρόλο. Κατά τον έλεγχο των ραδιοπόρων, ο E-UTRAN κατανέμει τους ραδιοπόρους στην συσκευή ώστε να διευκολυνθεί η μεταφορά δεδομένων μέσω των καναλιών διαμοιρασμού δεδομένων. Με τη σειρά του το κανάλι ελέγχου δρομολογεί την κατανομή τόσο των πόρων συχνότητας όσο και του χρόνου, ενώ ελέγχεται από την συσκευή. Ένας ακόμη ρόλος της συσκευής είναι η εκτίμηση των συνθηκών καναλιού στηριζόμενη στα σήματα αναφοράς της δομής OFDM ούτως ώστε να γίνει η αποδιαμόρφωση κατά τη διάρκεια της downlink μετάδοσης. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση του uplink με τα σήματα αποδιαμόρφωσης κατά το uplink να αξιοποιούν το ίδιο εύρος ζώνης, όπως η μετάδοση του Physical Uplink Shared Channel (PUSCH) και ο Physical Uplink Control Channel (PUCCH), και να πολυπλέκονται χρονικά με τα σύμβολα δεδομένων.

2.4 Μέθοδοι κατανομής πόρων για επικοινωνίες D2D

Για την επίτευξη υψηλού ρυθμού μετάδοσης στις κινητές επικοινωνίες, θα πρέπει το φάσμα να είναι κατανεμημένο έτσι, ούτως ώστε να αξιοποιείται επαρκώς. Ο διαμοιρασμός των πόρων μπορεί να γίνει είτε με την ανάθεση διαφορετικών πόρων στα ζευγάρια D2D επικοινωνίας, είτε με την επαναχρησιμοποίηση των ίδιων πόρων των χρηστών της κυψέλης, τόσο στο Uplink όσο και στο Downlink, προσπαθώντας

όμως με διάφορες στρατηγικές να αποφύγουν τις παρεμβολές που θα προκληθούν. Παραδείγματος χάρη, στην περίπτωση που επαναχρησιμοποιηθεί μια συχνότητα δεν πρέπει οι δυο κοντινές της να χρησιμοποιηθούν σε γειτονικές κυψέλες.

Δύο είναι τα κύρια είδη κατανομής πόρων εν γένει:

i) το πρώτο **υποβοηθάται από τον σταθμό βάσης (BS)**, που σημαίνει πως η κατανομή των πόρων καθορίζεται από την συσκευή χρήστη του D2D με την χρήση κάποιων τεχνικών, ενώ παρέχεται λιγότερη σηματοδοσία μεταξύ της συσκευής και του BS. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου κατανομής δεν παρεμποδίζεται όσο ο αριθμός των συσκευών των χρηστών αυξάνεται. Είναι σημαντικό να βεβαιωθούμε πως δεν θα προξενηθεί κάποια απώλεια στο κυψελωτό σύστημα από την στιγμή που επιλέγουμε την D2D επικοινωνία μέσω του κυψελωτού δικτύου. Υπάρχει περίπτωση μείωσης του SINR μιας συσκευής με την συμφόρηση των πόρων. Γι'αυτό οι παρεμβολές που προξενούνται από το D2D σύστημα στο κυψελωτό πρέπει να ελέγχονται. Τέλος, υπάρχει κίνδυνος καθυστέρησης σε εφαρμογές ευάλωτες στην καθυστέρηση όπως είναι η μετάδοση φωνής.

ii) το δεύτερο **ελέγχεται από τον BS**, πράγμα το οποίο σημαίνει πως η κατανομή πόρων του D2D ελέγχεται από τον BS με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη αλληλεπίδραση και ανταλλαγή σήματος μεταξύ του BS και των συσκευών των χρηστών. Τόσο για την εντός δικτύου κάλυψη, όσο και για την εκτός υπάρχει κοινός σχεδιασμός, περιορίζοντας έτσι την προσπάθεια προτυποποίησης. Επιπλέον, προσφέρει υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης (throughput) και καλύτερο έλεγχο ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Δεδομένου όμως ότι υπάρχει μεγαλύτερη αλληλεπίδραση μεταξύ του BS και των συσκευών, αυξάνεται η υπερφόρτωση (overhead). Με αυτή λοιπόν την επιλογή κατανομής πόρων πρέπει να βεβαιωθούμε πως δεν θα προκληθούν σημαντικές παρεμβολές στην κυψελωτή επικοινωνία. Ακόμη όμως και στην περίπτωση που συμβούν, ο BS μπορεί να τερματίσει την D2D επικοινωνία ή να κατανήμει άλλους πόρους σε αυτή.

Στην περίπτωση που ο BS είναι εκείνος που κατανέμει τους πόρους υπάρχουν δύο εναλλακτικές, είτε αυτή η διαδικασία να γίνει με δυναμικό τρόπο, είτε με στατικό. Κατά την δυναμική κατανομή αξιοποιούνται πιο ευέλικτα οι ραδιοπόροι με κόστος υπερφόρτωσης λόγω του συνεχούς ελέγχου, ενώ κατά την στατική κατανομή επιτυγχάνεται ακριβώς το αντίστροφο, δεν υπάρχει μεγάλη ευελιξία στην κατανομή των ραδιοπόρων, αποφεύγεται όμως η υπερφόρτωση. Όταν οι ραδιοπόροι διανέμονται δυναμικά, οι συσκευές χρηστών είναι απαραίτητο να είναι συνεχώς ενεργοί, κάτι το οποίο οδηγεί σε υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Αντιθέτως, με την στατική κατανομή ελαχιστοποιείται η κατανάλωση ενέργειας της μπαταρίας των κινητών. Για να γίνει πιο κατανοητό θα αναφέρουμε ένα παράδειγμα εξοικονόμησης ενέργειας. Έστω ότι έχουμε ένα frame με 50 συνεχόμενα subframes άνω ζεύξης τα οποία κάθε 5 δευτερόλεπτα διατηρούνται για ανίχνευση, καταναλώνοντας έτσι μόλις το 1% της χωρητικότητας του δικτύου. Για το υπολειπόμενο 99% του χρόνου οι συσκευές που συμμετέχουν στην ανίχνευση αδρανοποιούνται και μεταδίδουν ή λαμβάνουν αντιστοίχως σήματα ανίχνευσης μόνο για τα προκαθορισμένα subframes.

Στην περίπτωση όμως της επικοινωνίας D2D ως προτεινόμενη μέθοδος κατανομής συνιστάται η δυναμική κατανομή, διότι η διακύμανση της κίνησης D2D ποικίλει σημαντικά τόσο στον χώρο όσο και στον χρόνο. Όταν δε ο αριθμός των συσκευών είναι μεγάλος, απαιτείται προγραμματισμός κατανομής των πόρων στην

κλίμακα του χρόνου της τάξεως τους 1ms με αποτέλεσμα να προκαλείται υψηλή υπερφόρτωση από την συλλογή πληροφοριών της κατάστασης του καναλιού και επίσης από την πληροφόρηση των συσκευών για τις αποφάσεις προγραμματισμού.

Για τις εκτός κάλυψης συσκευές η διαχείριση των ραδιοπόρων και η διανομή μπορεί να γίνει με έναν πιο κεντροκοποιημένο τρόπο, όπως με ένα διανεμημένο πρωτόκολλο πρόσβασης πόρων το οποίο μπορεί να μπαίνει σε εφαρμογή όταν οι συσκευές μπαίνουν σε περιοχές εκτός κάλυψης.

Σε αυτό το σημείο θα αναφέρουμε τους τρόπους με τους οποίους οι διαθέσιμοι πόροι των κυψελωτών δικτύων κατανέμονται με D2D συνδέσμους [1].

- Cellular mode: Όλες οι συσκευές χρηστών επικοινωνούν με την χρήση κυψελωτού δικτύου μέσω του BS. Ακόμη κι αν τα D2D ζεύγη χρησιμοποιούν αυτό τον τρόπο, δεν υπάρχουν απευθείας συνδέσεις.
- Dedicated resource mode: Πρόκειται για τους διαθέσιμους πόρους που διαμοιράζονται μεταξύ των κυψελωτών συσκευών και των ζευγών D2D. Αυτό σημαίνει πως οι συσκευές D2D επικοινωνούν με την χρήση αποκλειστικών πόρων.
- Επαναχρησιμοποίηση πόρων για έναν και μόνο κυψελωτό χρήστη: Ο σύνδεσμος D2D χρησιμοποιεί τους πόρους μιας συσκευής κυψέλης εξασφαλίζοντας όμως πως δεν θα προκληθεί σημαντική παρεμβολή.
- Επαναχρησιμοποίηση πόρων για περισσότερους από έναν κυψελωτούς χρήστες: Οι D2D συσκευές διαμοιράζονται μερικούς πόρους με περισσότερους από έναν κυψελωτό χρήστη, γι' αυτό είναι απαραίτητη η διαχείριση παρεμβολών.

2.5 Προδιαγραφές Φυσικού και MAC επιπέδου του LTE

Οι μέθοδοι πρόσβασης καναλιού είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τα συστήματα ασυρμάτων επικοινωνιών και πιο συγκεκριμένα με την μέθοδο κατανομής πόρων και τις τεχνικές διαχείρισης παρεμβολών. Στην περίπτωση του LTE δικτύου, για την κάτω ζεύξη η μέθοδος πρόσβασης καναλιού που χρησιμοποιείται είναι η OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), ενώ για την άνω ζεύξη χρησιμοποιείται η SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) όπως έχουμε ήδη αναφέρει στο προηγούμενο κεφάλαιο. Είναι απαραίτητη η επιλογή σωστής μεθόδου πρόσβασης καναλιού ούτως ώστε η παρεμβολή στην εσωτερική ζώνη φάσματος που δημιουργείται να είναι εύκολα διαχειρίσιμη.

Για την επίτευξη της σωστής επικοινωνίας μεταξύ πομπού και δέκτη θα πρέπει να υπάρχει καλός συγχρονισμός. Κι αυτό επιτυγχάνεται στην αρχή της επικοινωνίας. Ο συγχρονισμός των συσκευών με τον eNodeB που αφορά την κάτω ζεύξη γίνεται μέσω της διαδικασίας αναζήτησης της κυψέλης, ενώ ο συγχρονισμός που αφορά την άνω ζεύξη γίνεται με τυχαία πρόσβαση. Η αναγνώριση του πομπού από τον δέκτη επιτυγχάνεται μέσω των σημάτων συγχρονισμού που στέλνει ο πομπός και περιλαμβάνουν την ταυτότητά του.

2.6 Μέθοδοι πρόσβασης καναλιού

Η μέθοδος πρόσβασης καναλιού δίνει τη δυνατότητα στα τερματικά να συνδέονται στο ίδιο μέσο μετάδοσης και να μοιράζονται το ίδιο κανάλι επικοινωνίας. Επίσης, βασίζεται στη μέθοδο πολυπλεξίας φυσικού επιπέδου και στα πρωτόκολλα του επιπέδου MAC τα οποία σχετίζονται με θέματα, όπως η διευθυνσιοδότηση, η ανάθεση σύνθετων καναλιών σε διαφορετικούς χρήστες και η αποφυγή συγκρούσεων.

Η μέθοδος του OFDMA που χρησιμοποιείται κατά το LTE downlink είναι μια επέκταση της διαμόρφωσης OFDM στα συστήματα επικοινωνίας πολλαπλών χρηστών. Αυτοί οι πολλαπλοί χρήστες προγραμματίζονται με τέτοιον τρόπο ώστε να λαμβάνουν ταυτόχρονα δεδομένα, καθώς τμήματα των υποφερόντων διανέμονται σε αυτούς την ίδια χρονική στιγμή. Αυτά τα τμήματα των υποφερόντων για μια συγκεκριμένη χρονική διάρκεια αποτελούν τους βασικούς καταναμημένους πόρους για έναν χρήστη. Η βασική λοιπόν μονάδα καταναμημένων πόρων για το LTE αποτελείται από 12 συνεχόμενα υποφέροντα διάρκειας 1ms (ένα slot) που συνθέτουν ένα Resource Block (RB), το οποίο θεωρείται η μικρότερη μονάδα πόρων που μπορεί να ανατεθεί σε έναν χρήστη. Σε επόμενο κεφάλαιο θα αναλύσουμε περισσότερο την έννοια του RB.

2.7 Αξιοποίηση πόρων Downlink και Uplink

Τόσο οι συσκευές D2D όσο και οι κυψελωτές συσκευές LTE δικτύων μοιράζονται τους ραδιοπόρους συγκεκριμένου φάσματος για μετάδοση και λήψη είτε στο πεδίο της συχνότητας (Frequency Division Duplex-FDD) είτε στο πεδίο του χρόνου (Time Division Duplex-TDD). Το ερώτημα που γεννάται είναι το ποιιο ραδιοπόροι πρέπει να αξιοποιηθούν κατά την μετάδοση D2D, αυτοί του downlink, του uplink ή και των δύο ζεύξεων; Όποιος τρόπος αξιοποίησης ραδιοπόρων και να επιλεγεί η πρόκληση παρεμβολών είναι αναπόφευκτη. Στην περίπτωση της κάτω ζεύξης, η συσκευή μετάδοσης D2D προκαλεί υψηλές παρεμβολές στις γειτονικές συσκευές των κυψελών που λαμβάνουν κίνηση κατά το downlink. Αντιθέτως, στην περίπτωση της άνω ζεύξης η συσκευή D2D που λαμβάνει υποβάλλεται σε ισχυρή παρεμβολή από γειτονικές συσκευές κυψελών που μεταδίδουν κίνηση κατά το uplink.

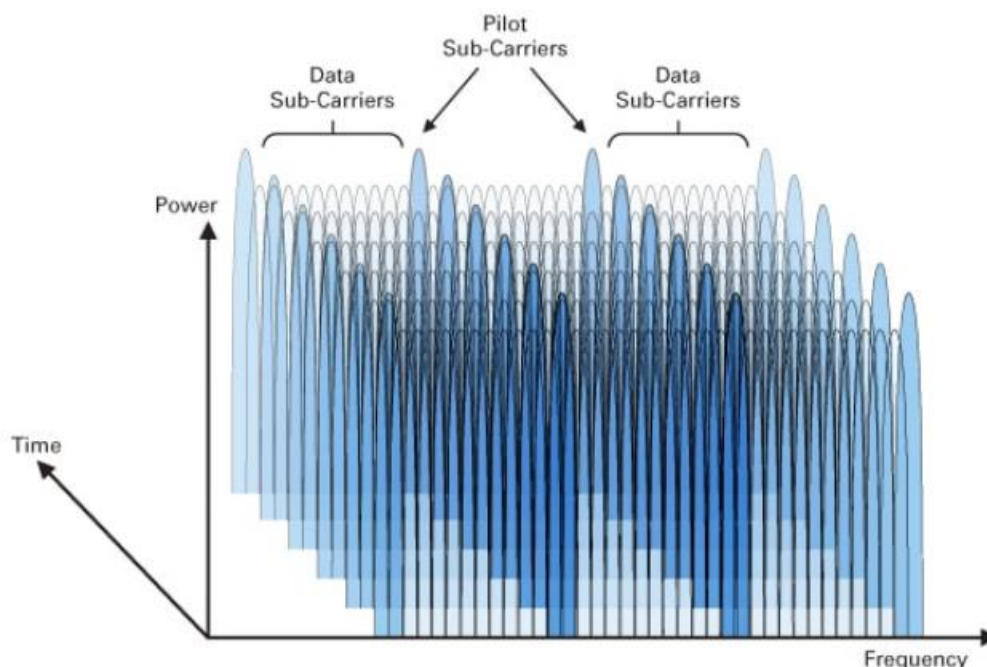
Παρ' όλα αυτά προτιμάται η αξιοποίηση των πόρων της άνω ζεύξης καθώς βελτιώνεται η αξιοποίηση του φάσματος, ελαττώνεται η παρεμβολή D2D κατά την μετάδοση από κάποια κυψέλη και τέλος κατά τη μετάδοση και λήψη στο πεδίο της συχνότητας του LTE, απαιτείται από τις συσκευές να λαμβάνουν κατά το uplink, καθώς ο σχεδιασμός του hardware σε αυτή την περίπτωση είναι πιο εύκολος σε σχέση με την μετάδοση κατά το downlink. Ένας επιπρόσθετος λόγος για τον οποίο δεν επιλέγεται η αξιοποίηση πόρων του downlink είναι η υψηλή σηματοδοσία ελέγχου που περιέχει το κανάλι όταν γίνεται τέτοιου είδους μετάδοση και προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση στο D2D απαιτείται πολύπλοκος σχεδιασμός.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Το κύριο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης, όπως τα πολυκυβελωτά, είναι η παρεμβολή στο εσωτερικό της κυψέλης (Inter Cell Interference - ICI). Γι' αυτό ως μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης κάτω ζεύξης για το 3GPP LTE-A έχει προταθεί το Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) που λόγω ορθογωνιότητας των υποφερόντων σχεδόν εξαλείφει τις παρεμβολές στο εσωτερικό της κυψέλης. Παρ' όλα αυτά σημαντικές παρεμβολές υφίστανται και οι χρήστες στα όρια της κυψέλης, γι' αυτό η μέθοδος αντιμετώπισης που προτείνεται είναι η τμηματική επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας (Fractional Frequency Reuse - FFR) ,η οποία μπορεί να μειώσει το ICI αρκετά. Πιο έντονες παρεμβολές παρουσιάζονται όταν ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης συχνότητας (Frequency Reuse Factor - FRF) είναι ίσος με ένα και απόρροια αυτού είναι η μείωση της χωρητικότητας του συστήματος.

3.1 Δομή OFDMA

Το OFDMA αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό υποφερόντων σε πολύ κοντινή απόσταση μεταξύ τους, τα οποία είναι διαμορφωμένα με χαμηλό ρυθμό δεδομένων. Λόγω της ορθογωνιότητας που έχουν το ένα με το άλλο δεν υπάρχει αμοιβαία παρεμβολή. Πιο συγκεκριμένα, το άθροισμα του συνολικού αριθμού των κύκλων της περιόδου του συμβόλου είναι μηδενικό, πράγμα που σημαίνει πως δεν υπάρχει παρεμβολή. Επίσης, ένα ακόμη χαρακτηριστικό του συστήματος OFDMA



Σχήμα 3.1 LTE OFDMA φέροντα

είναι η ανάκτηση δεδομένων όταν αυτά χαθούν εξαιτίας της επίδρασης των multipath, με την χρήση τεχνικών διόρθωσης λαθών που διαθέτουν, καθώς τα προς μετάδοση δεδομένα διαμοιράζονται σε όλα τα φέροντα. Επιπλέον, το γεγονός πως τα φέροντα μεταφέρουν δεδομένα με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δίνει τη δυνατότητα να ξεπεραστούν προβλήματα όπως οι ανακλάσεις και η εσωτερική παρεμβολή συμβόλου. Τέλος, όλοι οι πομποί έχουν τη δυνατότητα να μεταδώσουν από το ίδιο κανάλι με δίκτυα μίας συχνότητας. Στο σχήμα 3.1 βλέπουμε την ορθογωνιότητα των φερόντων του OFDMA που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα για μετάδοση σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Τα υποφέροντα «πιλότοι» είναι υποφέροντα με ίδια συχνότητα που χρησιμοποιούνται για έλεγχο, συγχρονισμό κ.ά,

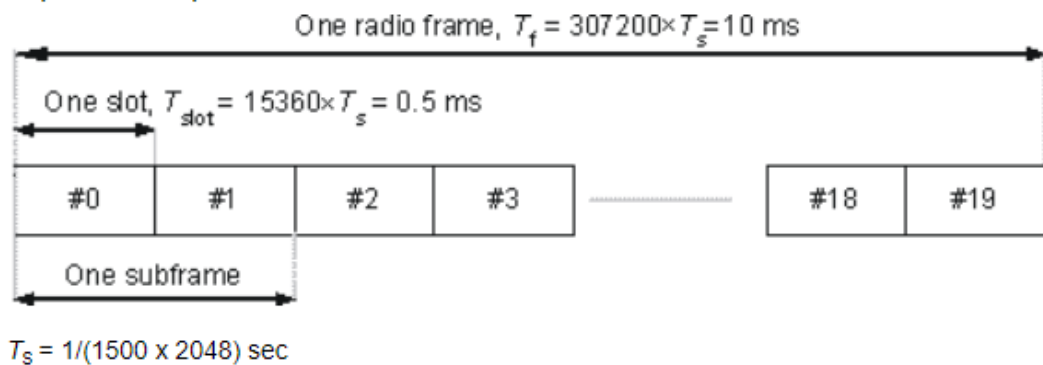
3.2 Χρήση του συστήματος OFDMA ως LTE Downlink

Το OFDMA έχει προταθεί ως τεχνική διαμόρφωσης για downlink σε συστήματα LTE λόγω των υψηλών απαιτήσεων φάσματος. Σε έναν λοιπόν πομπό OFDMA, το διαθέσιμο φάσμα χωρίζεται σε ορθογώνια υποφέροντα όπως φαίνεται και στο *Σχήμα 3.1*. Το εύρος ζώνης που καταλαμβάνει κάθε υποφέρον στο πεδίο της συχνότητας είναι 15KHz και η χρονική διάρκεια κάθε OFDMA συμβόλου είναι 66.67μs. Τα υποφέροντα αυτά δημιουργούνται ως εξής: Αρχικά οι ροές δεδομένων διασχίζουν έναν διαμορφωτή ο οποίος προσαρμόζει το ανάλογο σχήμα διαμόρφωσης όπως είναι το BPSK, QPSK, 16-QAM και 64-QAM και στη συνέχεια, τα διαμορφωμένα σύμβολα μετατρέπονται από σειριακά σε παράλληλα στοιχεία συχνότητας (υποφέροντα). Την σκυτάλη αναλαμβάνει ο IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) που μετατρέπει τα πολύπλοκα σύμβολα δεδομένων στο πεδίο του χρόνου και αναπαράγει σύμβολα OFDM. Οι ζώνες ασφαλείας ή αλλιώς κυκλικά προθέματα (Cyclic Prefix - CP) που δημιουργούνται μεταξύ των OFDMA συμβόλων χρησιμεύουν στην εξάλειψη των παρεμβολών μεταξύ των συμβόλων στον δέκτη και η διάρκειά τους πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την κρουστική απόκριση του καναλιού ή την καθυστέρηση διάδοσης. Δύο είναι οι τύποι CP που χρησιμοποιεί το OFDMA, το απλό και το εκτεταμένο. Το απλό χρησιμοποιείται για υψηλές συχνότητες (π.χ. αστικές περιοχές), ενώ το εκτεταμένο για χαμηλές συχνότητες (π.χ. αγροτικές περιοχές). Στον δέκτη ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία, πρώτα αφαιρείται το CP και στη συνέχεια τα υποφέροντα μετατρέπονται από παράλληλη σε σειριακή ακολουθία. Τέλος, ο FFT μετατρέπει τα σύμβολα στο πεδίο της συχνότητας και αυτά με τη σειρά τους αποδιαμορφώνονται.

Κατά το downlink, τα υποφέροντα διαχωρίζονται σε στοίβες πόρων, τα Resource Blocks – RB. Με αυτόν τον τρόπο το σύστημα διαχωρίζει τα υποφέροντα σε μικρά τμήματα ώστε να μην μπερδεύονται τα δεδομένα με τον συνολικό αριθμό των υποφερόντων για συγκεκριμένο εύρος ζώνης. Κάθε RB αποτελείται από 12 υποφέροντα ενός time slot διάρκειας 0.5ms.

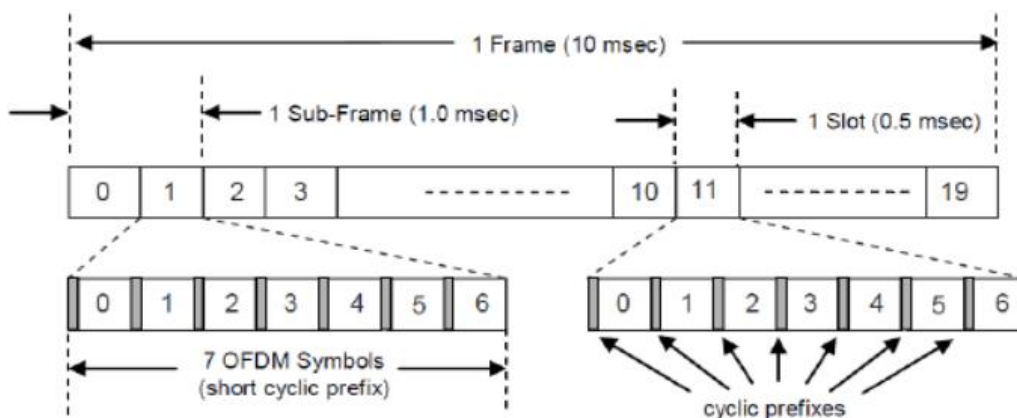
3.3 Δομή πλαισίου φυσικού επιπέδου του LTE

Κάθε frame έχει συνολική διάρκεια 10ms και χωρίζεται σε 10 subframes διάρκειας 1ms το καθένα. Κάθε subframe αποτελείται από 2 slots διάρκειας 0.5ms έκαστο. Συνεπώς, ο συνολικός αριθμός των slots σε ένα frame είναι 20 όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.3α που ακολουθεί. Ο αριθμός των δειγμάτων σε ένα frame είναι 307200 Ksamples.



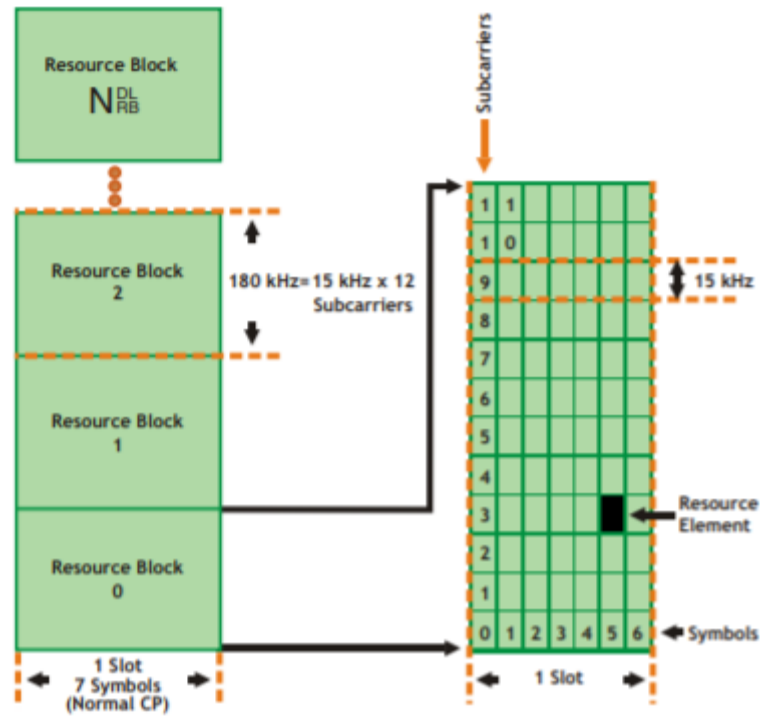
Σχήμα 3.3^α Δομή πλαισίου

Επίσης κάθε slot αποτελείται από 7 blocks που ονομάζονται OFDM σύμβολα (Σχήμα 3.3β) μπροστά από τα οποία βρίσκονται κυκλικά προθέματα (CP) μικρής χρονικής διάρκειας. Το εναπομείναν τμήμα του συμβόλου φέρει το πραγματικό μέρος της πληροφορίας. Όπως αναφέραμε και στην ενότητα 3.2 υπάρχουν δύο είδη CP, το απλό και το εκτεταμένο που είναι μεγαλύτερο σε έκταση. Στην περίπτωση λοιπόν που χρησιμοποιηθεί το εκτεταμένο CP, ο αριθμός των συμβόλων που μπορεί να μεταδοθεί ανά slot είναι 6 και όχι 7 καθώς το μήκος κάθε slot είναι προκαθορισμένο και δεν μπορεί να μεταβληθεί.



Σχήμα 3.3β Δομή των slots

Καθένα από τα OFDM σύμβολα αποτελείται από 12 υποφέροντα. Τα 7 λοιπόν OFDM σύμβολα (στην περίπτωση που χρησιμοποιείται απλό CP) του ενός slot με 12 υποφέροντα το καθένα σχηματίζουν ένα Resource Block με 84 Resource Elements τα οποία θεωρούνται οι πιο μικρές δομές του LTE βλ. Σχήμα 3.3γ.



Σχήμα 3.3γ Resource Blocks και Resource Elements σε ένα slot

3.4 Φυσικά κανάλια Downlink

Το LTE frame αποτελείται από φυσικά σήματα και φυσικά κανάλια που φέρουν ληφθείσες πληροφορίες από υψηλότερα στρώματα. Ακολουθούν αναλυτικά οι κατηγορίες των φυσικών καναλιών που χρησιμοποιούνται στο LTE κατά το Downlink, η διάταξη των οποίων φαίνεται στο Σχήμα 3.3δ.

ι. Φυσικό κανάλι διαμοιρασμού Downlink (PDSCH)

- Χρησιμοποιείται για την μετάδοση δεδομένων των χρηστών σε υψηλούς ρυθμούς
- Οι διαμορφώσεις που χρησιμοποιούνται είναι η QPSK, 16-QAM και η 64-QAM
- Τα Resource Blocks που σχετίζονται με το κανάλι διαμοιράζονται μέσω του OFDMA στους χρήστες
- Η χωρική πολυπλεξία είναι αποκλειστικότητα του PDSCH

ii. Φυσικό κανάλι μετάδοσης (PBCH)

- Ανά 40 ms το PBCH ταυτοποιεί το σύστημα
- Η διαμόρφωση που χρησιμοποιεί για έλεγχο πρόσβασης είναι η QPSK

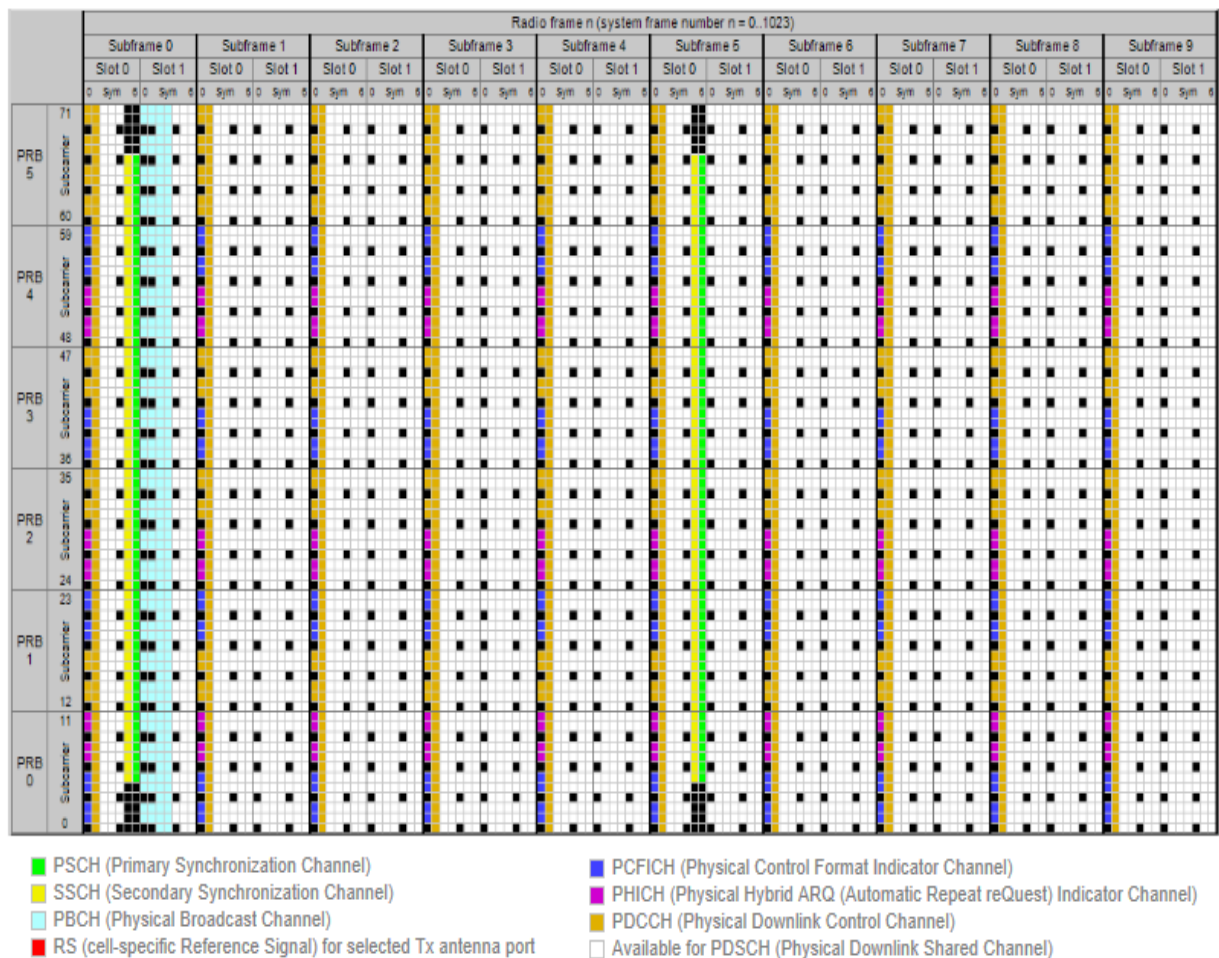
iii. Φυσικό κανάλι δείκτη ελέγχου σχεδιασμού (PCFICH)

- Το PCFICH είναι μια τιμή που κυμαίνεται από 1 έως 3 και δείχνει τον αριθμό των OFDM συμβόλων που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση πληροφοριών που αφορούν το κανάλι ελέγχου (PDCCH) σε ένα subframe

- Η διαμόρφωση που χρησιμοποιεί είναι η QPSK

iv. Φυσικό κανάλι ελέγχου του Downlink (PDCCH)

- Αναλαμβάνει την κατανομή πόρων τόσο του uplink όσο και του downlink
- Χαρτογραφεί στα πρώτα τρία OFDM σύμβολα του πρώτου slot ενός subframe τα resource elements
- Χρησιμοποιεί QPSK διαμόρφωση



Σχήμα 3.3δ Συνολική δομή Frame

v. Φυσικό κανάλι δείκτη Hybrid ARQ- HARQ (PHICH)

- Μεταφέρει ACK/NAKs για την επιβεβαίωση της διανομής των δεδομένων ή επαναμετάδοσης των blocks δεδομένων που δεν λήφθηκαν σωστά
- Τα ACK/NAKs είναι τμήμα του μηχανισμού HARQ

vi. Σήμα αναφοράς (RS)

- Χρησιμοποιούνται από τα UEs για την εκτίμηση του καναλιού κατά το downlink. Τους επιτρέπει να καθορίσουν την κρουστική απόκριση του καναλιού (Channel Impulse Response)
- Τα RS είναι αποτέλεσμα μιας δυσδιάστατης ορθογώνιας ακολουθίας και μιας δυσδιάστατης ψευδοτυχαίας ακολουθίας. Μεταξύ τριών διαφορετικών διαθέσιμων ακολουθιών για την ορθογώνια ακολουθία και 170 ψευδοτυχαίων ακολουθιών, γίνεται ταυτοποίηση 504 RS ακολουθιών. Το RS χρησιμοποιεί το 1^ο και το 5^ο σύμβολο για απλό CP, ενώ το 1^ο και το 4^ο για εκτεταμένο CP.

vii. Πρωτεύον και Δευτερεύον σήμα συγχρονισμού (P-SS και S-SS)

- Τα UEs χρησιμοποιούν το P-SS για συγχρονισμό και απόδοση συχνότητας κατά την αναζήτηση κυψέλης.
- Το P-SS μεταφέρει μέρος της ταυτότητας της κυψέλης και προσφέρει συγχρονισμό στα slots
- Μεταδίδεται στο 62^ο από τα 72 δεσμευμένα υποφέροντα (δηλαδή 6 RBs) στο σύμβολο 6 του slot 0 και του slot 10.
- Χρησιμοποιεί μία από τις τρεις Zadoff-Chu ακολουθίες οι οποίες παρέχουν ένα σήμα του στιγμιαίου πλάτους απόκρισης καναλιού.
- Τα UEs χρησιμοποιούν τα S-SS για αναζήτηση κυψέλης
- Επίσης παρέχουν συγχρονισμό στα frames
- Διατηρούν την ταυτότητα της κυψέλης
- Μεταδίδεται στο 62^ο από τα 72 υποφέροντα στο σύμβολο 5 του slot 0 και του slot 10
- Επιπλέον, χρησιμοποιεί δυο δυαδικές ακολουθίες των 32 bits
- Τέλος, χρησιμοποιεί διαμόρφωση BPSK

3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του OFDMA

Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνική OFDMA περιγράφονται ακολούθως:

- Οι παρεμβολές μεταξύ των υποφερουσών συχνοτήτων εξαλείφονται χάρη στην ορθογωνιότητα που σχηματίζεται μεταξύ αυτών.
- Η διασυμβολική παρεμβολή ή αλλιώς Inter Symbol Interference (ISI) εξαλείφεται με την βοήθεια του κυκλικού προθέματος (CP) όπως έχουμε αναφέρει ήδη στην ενότητα 3.2.
- Επιπλέον, το OFDMA είναι ανθεκτικό όταν υπόκειται σε πολυδιαδρομική διάδοση καθώς τα OFDM σύμβολα κάθε υποφέροντος έχουν αυξημένη διάρκεια.
- Βοηθά στην μείωση του μέσου όρου ρυθμού ισχύος ή Peak to Average Power Ratio (PAPR).
- Με τον ελάχιστο δυνατό αριθμό ραδιοπόρων μπορούν να εξυπηρετηθούν μια σειρά από απαιτήσεις των χρηστών λόγω της καλύτερης κατανομής του φάσματος με τη βοήθεια των υποφερουσών.
- Τέλος, το κόστος των πομποδεκτών είναι οικονομικό καθώς η σχεδιάσή τους είναι απλή.

Πέρα όμως από την προσφορά της τεχνικής του OFDMA υπάρχουν και μειονεκτήματα που χρήζουν αναφοράς:

- Το μείζον θέμα που αντιμετωπίζει το OFDMA είναι οι διακαναλικές παρεμβολές που οφείλονται στην παρουσία πολλών χρηστών.
- Επίσης, είναι πιο ευάλωτη σε θέματα συγχρονισμού του δέκτη εν συγκρίσει με το SC-FDMA, με αποτέλεσμα η εμφάνιση παρεμβολών στους γειτονικούς διαύλους να είναι πιο συχνή λόγω απώλειας της ορθογωνιότητας, που είναι απόρροια κακού συγχρονισμού.
- Η τεχνική OFDMA απαιτεί την ύπαρξη N διαφορετικών διαμορφωτών και αποδιαμορφωτών με συνέπεια την αύξηση του κόστους υλοποίησης στην περίπτωση μεγάλου αριθμού καναλιών.
- Τέλος, για την διατήρηση της ορθογωνιότητας των υποφερουσών συχνοτήτων απαιτείται η χρήση ζωνοπερατών φίλτρων, πράγμα που αυξάνει σημαντικά το κόστος.

3.6 Τεχνικές κατανομής πόρων με τεχνική OFDMA

Τρεις είναι οι βασικότερες κατηγορίες κατανομής πόρων, η στατική κατανομή, η δυναμική κατανομή και η υβριδική κατανομή τις οποίες θα αναλύουμε στη συνέχεια της ενότητας.

Αρχικά, με τη **στατική κατανομή** τα κανάλια αποδίδονται σε συγκεκριμένες κυψέλες δίχως τη δυνατότητα ανακατανομής αυτών στους χρήστες. Αυτό σημαίνει πως όταν όλοι οι δίαυλοι είναι κατειλημμένοι και γίνεται προσπάθεια για νέα κλήση τότε αυτή θα απορριφθεί. Πρόκειται για μια πολύ απλή μέθοδο, χαμηλή σε πολυπλοκότητα, που δεν απαιτεί τη γνώση του καναλιού. Παρ' όλα αυτά, το γεγονός πως είναι μια στατική μέθοδος, οδηγεί στη μη αποτελεσματική διαχείριση φάσματος δικτύων ανομοιογενούς κίνησης.

Με την **δυναμική κατανομή** των υποφερόντων, κάθε κυψέλη αξιοποιεί οποιοδήποτε υποφέρον. Έτσι, υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία και οι πόροι κατανέμονται με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών σε ένα δίκτυο με ανομοιογενή κίνηση. Η υψηλή του όμως πολυπλοκότητα συγκαταλέγεται στις αδυναμίες αυτής της μεθόδου, καθώς απαιτείται διαχείριση και αποθήκευση πληροφοριών.

Η προτιμότερη λοιπόν μέθοδος είναι η **υβριδική** καθώς συνδυάζει τα χαρακτηριστικά των δύο προηγούμενων προσπαθώντας να εξαλείψει τα μειονεκτήματα αυτών. Κάνοντας καλύτερη διαχείριση πόρων με δυναμικό τρόπο και διατηρώντας μέρος των καναλιών με στατικό τρόπο, καταφέρνει να διατηρήσει την πολυπλοκότητα του συστήματος χαμηλή. Ο στατικός τρόπος επιλέγεται στις περιπτώσεις όπου οι συνθήκες κίνησης είναι κανονικές ενώ ο δυναμικός όπου οι συνθήκες κίνησης έχουν διακυμάνσεις.

3.7 Παραδείγματα κατανομής πόρων κάτω ζεύξης σε OFDMA κυψελωτά συστήματα

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιάσουμε μερικά παραδείγματα κατανομής πόρων για D2D επικοινωνίες σε OFDMA συστήματα.

3.7.1 Έλεγχος ισχύος για D2D επικοινωνίες υπό περιπτώσεις

Έστω πως όλοι οι D2D χρήστες χρησιμοποιούν την ίδια ισχύ εκπομπής. Στην περίπτωση όμως της τυχαίας κατανομής των πόρων οι παρεμβολές που μπορεί να προκληθούν μεταξύ των χρηστών της κυψέλης και των D2D χρηστών να είναι μεγάλες με αποτέλεσμα την αυξομείωση του SINR. Συνεπώς, κάποιιοι από τους χρήστες θα έχουν πολύ καλή απόδοση και κάποιιοι θα θεωρηθούν οι αδικημένοι του συστήματος.

Έστω τώρα πως όλοι οι D2D χρήστες διατηρούν σταθερό SNR κατωφλίου, που σημαίνει πως η εκπεμπόμενη ισχύς τους και η τιμή του SINR θα επηρεαστεί άμεσα. Έτσι όμως θα υπάρξουν αρκετοί χρήστες οι

οποίοι θα χρειαστούν ενίσχυση της ισχύος εκπομπής τους λόγω χαμηλού SINR.

Ομοίως και όταν η ισχύς κατανέμεται στους D2D χρήστες με έναν ανοιχτό βρόγχο που εξαρτάται από το pathloss και τους παράγοντες εξασθένισης, οι χρήστες χρήζουν ενίσχυσης της εκπεμπόμενης ισχύος.

Τέλος, η κατανομή ισχύος στους χρήστες γίνεται με την βοήθεια κλειστού βρόγχου ο οποίος ανατροφοδοτείται με ένα δυναμικό βήμα συντονισμού που εξαρτάται από το SINR και προστίθεται στον τελικό υπολογισμό της ισχύος. Πρόκειται για ένα αλγόριθμο υψηλής πολυπλοκότητας, που όμως μπορεί να αποδώσει καλή ταχύτητα και μεγάλη ακρίβεια.

3.7.2 Κατανομή πόρων για επικοινωνίες D2D που βασίζεται στο LTE-Advanced

Σκοπός της κατανομής πόρων με την βοήθεια του LTE-A είναι η μεγιστοποίηση της αξιοποίησης του φάσματος καθώς και η ελαχιστοποίηση του μήκους μεταφοράς των χρονοθυρίδων, λαμβάνοντας υπόψιν τις παρεμβολές στους κυψελωτούς χρήστες και τις απαιτήσεις της ποιότητας υπηρεσίας (QoS) των D2D συνδέσεων.

Ο ρόλος του σταθμού βάσης σε αυτήν την κατανομή αρχικά είναι να κατανείμει ένα σύνολο από τα διαθέσιμα Resource Blocks στους χρήστες της κυψέλης. Εν συνεχεία, ένας αλγόριθμος κατανομής πόρων διαθέτει τα ίδια κανάλια για επαναχρησιμοποίηση στις D2D συνδέσεις. Κύριος στόχος του αλγορίθμου είναι η επίτευξη ταυτόχρονης μετάδοσης δεδομένων σε κάθε χρονοθυρίδα με μέγιστο αριθμό ενεργών συνδέσεων D2D.

Δεδομένου πως οι D2D συνδέσεις είναι ανενεργές στην αρχή, επιλέγουμε εκείνη την D2D σύνδεση που έχει το κατάλληλο «βάρος» (πρόκειται για μια τιμή που καθορίζεται από τα επίπεδα της παρεμβολής που προστίθεται στη D2D σύνδεση του δικτύου) ώστε να ενεργοποιηθεί. Στη συνέχεια, η ενεργοποιημένη σύνδεση D2D θα ανατεθεί στο κανάλι με την χαμηλότερη παρεμβολή από τα διαθέσιμα αρκεί να τηρούνται οι εξής προϋποθέσεις: i) δεν πρέπει να ξεπερνάτε το ανώτατο όριο παρεμβολών από τους χρήστες της κυψέλης , ii) το κατώφλι του SIR θα πρέπει να ξεπερνάται και iii) δεν πρέπει η ισχύς εκπομπής να υπερβαίνει το ανώτατο όριό της.

Εάν λοιπόν δεν τηρείται κάποια από τις προϋποθέσεις που μόλις αναφέραμε, τότε η D2D σύνδεση θα προσπαθήσει να γίνει ενεργή σε άλλα κανάλια. Διαφορετικά η ανάθεση στο κανάλι μπορεί να πραγματοποιηθεί.

3.8 Προτεινόμενοι μηχανισμοί αποφυγής παρεμβολών για downlink στα όρια της κυψέλης

3.8.1 Δυναμική κατανομή συχνότητας για D2D επικοινωνίες με IAR μηνύματα στο OFDMA

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η παρεμβολή κατά το downlink στα κυψελωτά δίκτυα, ο ρυθμός μετάδοσης να είναι υψηλότερος και η κατανομή των πόρων να γίνεται με δυναμικό τρόπο, έχει προταθεί μια μέθοδος που ονομάζεται Dynamic Fractional Reuse (DFFR) και βασίζεται στο Interference Avoidance Request (IAR).

Η διαδικασία ξεκινά με τους χρήστες που στέλνουν IAR μηνύματα στον σταθμό βάσης από τον οποίο εξυπηρετούνται και ζητούν οι κύριοι υπαίτιοι των παρεμβολών να μειώσουν την ισχύ μετάδοσης ενός συγκεκριμένου υποφέροντος. Αφού ο σταθμός βάσης λάβει αυτά τα μηνύματα, τα ανταλλάσσει με άλλους σταθμούς βάσης ώστε να μπορέσει να ελέγξει με δυναμικό τρόπο την ισχύ μετάδοσης. Όλοι οι πόροι της συχνότητας είναι διαχωρισμένοι σε N SBs (subcarrierBands), τα οποία χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, στα CSB (common subBands), PSB (priority subBands) και IASB (interference avoidance subBands). Προτού όμως ξεκινήσει η διαδικασία κατανομής πόρων, πρέπει να γίνει μια μέτρηση για το ποιοι χρήστες είναι Cellular Edge User (CEU), Cellular Center User (CCU), D2D Edge User (DEU) ή D2D Center User (DCU).

Στη συνέχεια, όταν ένα PSB ανατίθεται σε έναν χρήστη στα όρια της κυψέλης (Edge User - EU), τότε θεωρούμε πως αυτός ο χρήστης μπορεί να υποστεί την μεγαλύτερη παρεμβολή του σταθμού. Έπειτα, ο EU ζητά από τον BS με την ισχυρότερη παρεμβολή μέσω μηνυμάτων IAR, να μειώσει την ισχύ μετάδοσης $K \Delta C$ (dB) αν πρόκειται για CEU ή την ισχύ μετάδοσης $K \Delta D2D$ (dB) εάν πρόκειται για DEU, όπου K ο αριθμός των IARs σε ένα μήνυμα. Όταν λοιπόν ο BS λάβει ένα IAR μήνυμα, τότε οφείλει να ελαττώσει την ισχύ μετάδοσης $K \Delta C$ ή $K \Delta D2D$ dB του IASB που έχει καθοριστεί στο μήνυμα IAR. Στην περίπτωση που ο BS λάβει πολλαπλά μηνύματα IAR για το ίδιο IASB από διαφορετικούς BSs, επιλέγει να μειώσει την ισχύ μετάδοσης που αναφέρει το μήνυμα με τα περισσότερα IARs.

3.8.2 Τυχαία κατανομή RBs στο downlink

Την τυχαία κατανομή των RBs (RB_{inner} και RB_{outer}) στο subframe του downlink αναλαμβάνει ο πομπός D2D για τους D2D δέκτες με την βοήθεια του FFR. Οι πομποί D2D είναι εκείνοι που προκαλούν παρεμβολές στους χρήστες της εξωτερικής ζώνης, ενώ ο σταθμός βάσης προκαλεί στους D2D δέκτες εσωτερικής ζώνης.

Για να μειωθούν οι ισχυρές παρεμβολές στην εξωτερική ζώνη οι σταθμοί βάσης και οι D2D πομποί εξυπηρετούν τις συσκευές χρηστών και τους D2D δέκτες χρησιμοποιώντας διαφορετικά RBs στο RB_{outer} ενώ οι ισχύς τους είναι υπό έλεγχο. Επίσης, ο σταθμός βάσης εξυπηρετεί τους χρήστες της

εσωτερικής ζώνης χρησιμοποιώντας RBs στο RB_{inner} , ενώ οι χρήστες της εξωτερικής ζώνης χρησιμοποιούν RBs στο RB_{outer} . Όμως οι πομποί D2D στην εσωτερική ζώνη εξυπηρετούν τους δέκτες D2D με την χρήση RBs στο RB_{outer} με τους χρήστες του υποκαναλιού της ίδιας πλευράς να αποτελούν εξαίρεση, καθώς οι δέκτες D2D στην εσωτερική ζώνη επηρεάζονται από παρεμβολές που προέρχονται από τον σταθμό βάσης. Επιπλέον, οι πομποί D2D της εξωτερικής ζώνης εξυπηρετούν τους D2D δέκτες τους με την χρήση RBs τόσο στο RB_{inner} όσο και στο RB_{outer} , επειδή οι δέκτες επηρεάζονται από ανίσχυρες παρεμβολές του BS. Τέλος, αυξάνουμε την ισχύ στον σταθμό βάσης για τις συσκευές χρηστών στην εξωτερική ζώνη και την ισχύ του πομπού D2D για τους πόρους D2D που χρησιμοποιούνται στην εξωτερική ζώνη.

3.9 Μείωση παρεμβολών με τη χρήση FFR και SFR στα OFMDA κυψελωτά δίκτυα

Οι D2D ζεύξεις σε ένα κυψελωτό δίκτυο προκαλούν επιπρόσθετες παρεμβολές στο σύστημα επικοινωνίας. Στην περίπτωση που μια D2D ζεύξη αξιοποιεί πόρους κάτω ζεύξης, τα προς μετάδοση σήματα από τους σταθμούς βάσης της μακροκυψέλης (Macrocell Base Stations-MBSs) προς τους CUs προκαλούν παρεμβολές στους δέκτες D2D, ενώ οι μεταδόσεις D2D χειροτερεύουν την ποιότητα του καναλιού της κάτω ζεύξης. Προκειμένου λοιπόν να διασφαλιστεί το QoS τόσο για τους CUs όσο και για τις ζεύξεις D2D, έχει προταθεί η ωφέλιμη επαναχρησιμοποίηση πόρων για D2D επικοινωνίες με τη βοήθεια του σχήματος Τμηματικής επαναχρησιμοποίησης πόρων ή αλλιώς FFR (Fractional Frequency Reuse) και SFR (Soft Frequency Reuse). Έτσι, οι παρεμβολές εξαλείφονται με τη συμβολή των ζωνών συχνοτήτων μεταξύ των κυψελών καθώς και τη συνολική ζώνη συχνότητας κάθε κυψέλης στην περιοχή γύρω από το κέντρο της και στην περιοχή στα όριά της. Επίσης, με το FFR επιτυγχάνεται αύξηση του ρυθμού μετάδοσης της κυψέλης και καλύτερη ποιότητα κάλυψης.

Όταν αναφερόμαστε στην ποιότητα κάλυψης εννοούμε το πόσο επιτυχημένη θα είναι η επικοινωνία μεταξύ πηγής και προορισμού. Πιο συγκεκριμένα όταν το SIR μιας D2D ζεύξης είναι υψηλότερο από το επιθυμητό SIR τότε θεωρούμε πως η επικοινωνία των συσκευών επιτυγχάνεται. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το SIR είναι η απόσταση μεταξύ του D2D πομπού και του D2D δέκτη, η εκπεμπόμενη ισχύς της D2D ζεύξης καθώς και η παρεμβολή στην οποία υπόκειται ο D2D δέκτης εξαιτίας των κυψελωτών επικοινωνιών και της παρεμβολής που προέρχεται από τις D2D επικοινωνίες που χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνότητας.

Όπως προαναφέραμε έχουν προταθεί δύο σχήματα επαναχρησιμοποίησης συχνότητας, το FFR και το SFR. Για να ορίσουμε τα δυο σχήματα διαχωρίζουμε την D2D ζεύξη σε SR (Short Range) και LR (Long Range) που βασίζεται στο SIR κατώφλι. Ως SR D2D ζεύξη θεωρούμε την ζεύξη της οποίας το SIR είναι

υψηλότερο από το κατώφλι του SIR, ενώ LR D2D ζεύξη είναι η ζεύξη της οποίας το SIR είναι μικρότερο από εκείνο που έχει την τιμή κατωφλίου. Η SR D2D ζεύξη επαναχρησιμοποιεί τη ζώνη συχνότητας στο κέντρο της κυψέλης για τη διαδικασία της επικοινωνίας, ενώ η LR D2D τη ζώνη συχνότητας στα όρια της κυψέλης. Ο υπολογισμός του SIR προέρχεται από την παρεμβολή που υπόκειται η D2D ζεύξη από όλες τις μακροκυψέλες καθώς και από άλλες D2D ζεύξεις που πραγματοποιούνται σε άλλες μακροκυψέλες ενώ χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα.

Οι μακροκυψέλες που υπάγονται στις SFR τεχνικές χρησιμοποιούν το 1/3 της ζώνης συχνότητας που διατίθεται στους χρήστες στα όρια της κυψέλης και είναι διαφορετική από αυτή των γειτονικών κυψελών προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε παρεμβολή, ενώ τα εναπομείναντα 2/3 της ζώνης διατίθενται σε χρήστες στο κέντρο της κυψέλης. Ο σταθμός βάσης της μακροκυψέλης επιβάλλει έλεγχο ισχύος της μεταδιδόμενης ισχύος των χρηστών κάλυψης της κυψέλης. Η συχνότητα που αφορά τους χρήστες στα όρια της κυψέλης κατανέμεται στην SR D2D ζεύξη και η συχνότητα που αφορά το κέντρο της κυψέλης ανατίθεται στην LR D2D ζεύξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Κατά το 3GPP υπάρχουν δύο τρόποι διεξαγωγής D2D επικοινωνιών. Ο πρώτος τρόπος αφορά D2D χρήστες οι οποίοι βρίσκονται στη ζώνη κάλυψης ενός eNB που είναι υπεύθυνος για την D2D σύνδεση, την κατανομή πόρων και τον έλεγχο. Ο δεύτερος τρόπος αφορά D2D χρήστες που βρίσκονται εκτός κάλυψης της ζώνης του eNB και επιλέγουν μόνοι τους τους ραδιοπόρους.

Επιλέγοντας τον πρώτο τρόπο επικοινωνίας D2D, τόσο οι χρήστες της κυψέλης (Cellular User Equipment - CUE) όσο και οι χρήστες D2D (Device-to-Device User Equipment - DUE) θα υποστούν σοβαρές παρεμβολές όταν λειτουργήσουν στην ίδια ζώνη συχνότητας. Για αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητη μια τεχνική που θα καθιστά ωφέλιμη τη συστηματική επαναχρησιμοποίηση της ίδιας συχνότητας. Αυτόν τον ρόλο έρχεται να αναλάβει ο Single-Carrier Frequency Division Multiple Access ή αλλιώς SC-FDMA για τις περιπτώσεις μεταδόσεων άνω ζεύξης (uplink) η λειτουργία του οποίου περιγράφεται στη συνέχεια.

4.1 Χαρακτηριστικά SC-FDMA

Το SC-FDMA είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί διάφορα υποκανάλια για να μεταδώσει τα σύμβολα πληροφορίας παράλληλα το ένα με το άλλο. Εν συγκρίσει με το OFDMA, το SC-FDMA μειώνει σημαντικά τις διακυμάνσεις της μεταδιδόμενης κυματομορφής και τα σήματά του έχουν χαμηλότερο μέσο ρυθμό ενέργειας (Peak-to-Average Power Ratio - PAPR). Αυτό αυτομάτως μεταφράζεται σε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και χαμηλότερο κόστος κατασκευής ενισχυτή ενέργειας.

Ο τρόπος με τον οποίο τα σύμβολα πληροφορίας εφαρμόζονται στα υποκανάλια καθορίζουν τον ρυθμό μετάδοσης στο SC-FDMA. Υπάρχουν δύο τρόποι εφαρμογής των συμβόλων, ο SC-FDMA με περιορισμούς και ο κατανεμημένος SC-FDMA. Στην περίπτωση του SC-FDMA με περιορισμούς, κάθε τερματικό χρησιμοποιεί μια σειρά από γειτονικά υποφέροντα για να μεταδώσει τα σύμβολά του. Αντιθέτως, στην περίπτωση των κατανεμημένων συμβόλων τα υποφέροντα εξαπλώνονται σε όλη την ζώνη σήματος, με το μειονέκτημα όμως ότι ο ρυθμός μετάδοσης (throughput) είναι χαμηλότερος σε σχέση με αυτόν του SC-FDMA με περιορισμούς.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό του SC-FDMA με περιορισμούς είναι οι τρόποι με τους οποίους γίνεται η κατανομή των πόρων. Ο πρώτος είναι η διατήρηση ενός υποκαναλιού το οποίο μπορεί να κατανεμηθεί αποκλειστικά και μόνο σε μια συσκευή. Και ο δεύτερος είναι η ανάθεση πολλαπλών υποκαναλιών, γειτονικά μεταξύ τους στο πεδίο της συχνότητας, σε μια συσκευή.

4.2 Διαδικασία μετάδοσης μεταξύ πομπού-δέκτη με SC-FDMA

Το SC-FDMA είναι γνωστό και ως DFT-Spread OFDMA καθώς πρόκειται για μια μορφή OFDMA στο οποίο έχει προστεθεί το Discrete Fourier Transform (DFT) – spread block, το οποίο μετατρέπει τα σύμβολα δεδομένων από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας και στη συνέχεια με τη χρήση της διαμόρφωσης OFDMA διαμορφώνονται και τα σύμβολα των δεδομένων.

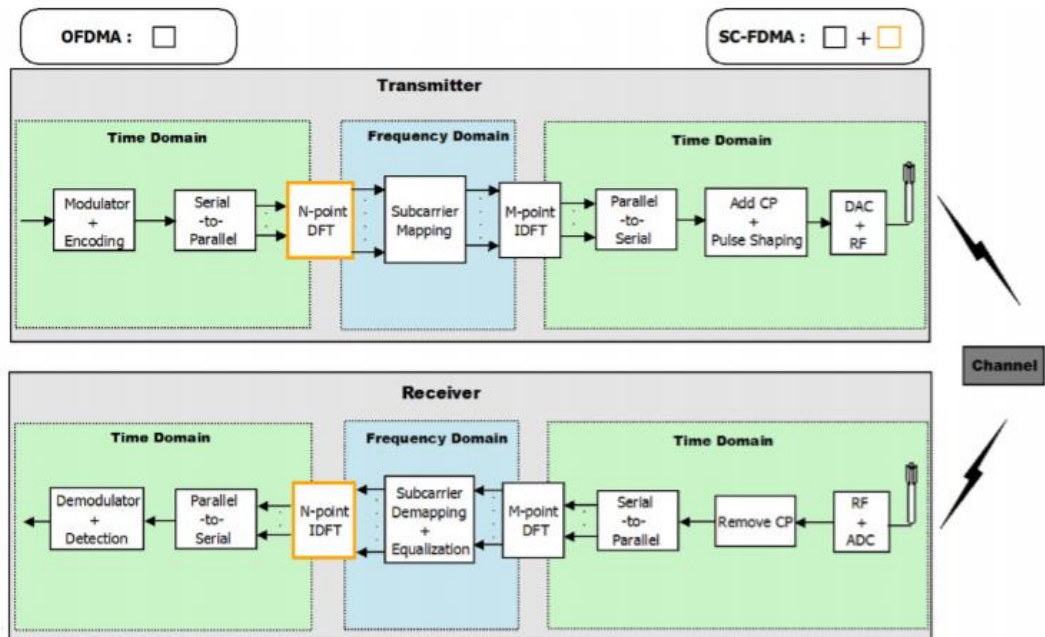
Η διαδικασία που ακολουθείται για την μετάδοση δεδομένων μεταξύ πομπού και δέκτη με τη χρήση του συστήματος SC-FDMA είναι η εξής.

-Τμήμα πομπού: Με τον διαμορφωτή βασικής ζώνης ξεκινά η διαδικασία μετάδοσης, ο ρόλος του οποίου είναι να μετατρέπει το δυαδικό σήμα εισόδου σε μια πολλών επιπέδων ακολουθία πολύπλοκων αριθμών, επιλέγοντας μία από τις πιθανές μορφές διαμόρφωσης, όπως είναι η Binary Phase Shift Keying (BPSK), η Quaternary PSK (QPSK), η 16 level Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM) ή η 64-QAM. Η τεχνική διαμόρφωσης επιλέγεται με δυναμικό τρόπο από το σύστημα ώστε ο ρυθμός μετάδοσης να προσαρμόζεται στην ποιότητα του καναλιού κάθε τερματικού. Κατόπιν, το σύστημα SC-FDMA ομαδοποιεί τα διαμορφωμένα σήματα σε στοίβες (blocks) καθεμιά από τις οποίες περιέχει N σύμβολα και στη συνέχεια αναλαμβάνει η λειτουργία DFT με N σημεία να αναπροσαρμόσει τα σήματα εισόδου από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας. Έτσι τα παράγωγα του N DFT προσαρμόζονται σε ένα ορθογώνιο υποφέρον M , με $M > N$, για να μπορέσουν να μεταδοθούν.

Μετά το πέρας της διαδικασίας αυτής, τα πλάτη των M υποφερόντων μετατρέπονται σε σύνθετα σήματα στο πεδίο του χρόνου με την βοήθεια του Inverse DFT (IDFT) ή αλλιώς αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier. Καθένα από τα σήματα αυτά διαμορφώνεται σε ένα μονό φέρον συχνότητας και όλα τα διαμορφωμένα σύμβολα μεταδίδονται σειριακά.

Δύο ακόμη ενέργειες λαμβάνουν χώρα πριν ολοκληρωθεί η διαδικασία μετάδοσης. Ένα σετ συμβόλων που ονομάζεται κυκλικό πρόθεμα (Cyclic Prefix-CP) εισάγεται στο σήμα με σκοπό να δημιουργήσει ένα χρονικό περιθώριο ασφαλείας προκειμένου να εμποδιστούν οι εσωτερικές παρεμβολές (Inter Block Interference) εξαιτίας των πολλαπλών διαδρομών διάδοσης. Στο τελευταίο στάδιο της μετάδοσης εμφανίζεται μια λειτουργία γραμμικού φίλτραρίσματος που αναφέρεται ως σχηματισμός παλμού που μειώνει την ενέργεια του σήματος εκτός ζώνης.

-Τμήμα δέκτη: Η διαδικασία στο δέκτη δεν διαφέρει από εκείνη στον πομπό με την μόνη διαφορά πως αφαιρείται το CP από το σετ συμβόλων που είχε εισαχθεί στο σήμα στον πομπό και ακολουθείται αποδιαμόρφωση του δυαδικού σήματος στο τέλος της διαδικασίας λήψης. Ουσιαστικά ακολουθείται η αντίστροφη πορεία από αυτή της διαδικασίας μετάδοσης όπως δείχνει και το σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 4.2 Δομές πομπού και δέκτη για συστήματα SC-FDMA και OFDMA

4.3 Κατανομή των πόρων με χρήση SC-FDMA

Η κατανομή πόρων αποτελεί ένα αρκετά δύσκολο πρόβλημα για το SC-FDMA καθώς υπάρχουν υποχρεωτικοί περιορισμοί των υποφερόντων. Σκοπός αυτής της κατανομής είναι η επίτευξη της μέγιστης αποτελεσματικότητας των δικτύων. Τα στοιχεία που πρέπει να ελεγχθούν σε περιβάλλοντα που χρησιμοποιούν το SC-FDMA είναι οι στοίβες πόρων (Resource Blocks - RBs) και η ενέργεια μετάδοσης των χρηστών κατά το uplink.

Γι' αυτό θα πρέπει να βελτιστοποιείται ο ρυθμός μετάδοσης, με την μεγιστοποίηση της χωρητικότητας των συστημάτων μέσω ρυθμού. Επίσης, οι πόροι θα πρέπει να μοιράζονται ισόποσα στους χρήστες και οι υπηρεσίες που τους προσφέρονται να είναι ποιοτικές. Έτσι δημιουργείται ένα ζευγάρι μεταξύ ενός CUE και ενός DUE ώστε να διαμοιραστούν οι ίδιοι πόροι. Όμως, το πρόβλημα που αντιμετωπίζει η κατανομή πόρων στο SC-FDMA είναι η υποστήριξη πολλαπλών υπηρεσιών που έχει αποδειχθεί αρκετά δύσκολη και πολύπλοκη λόγω των ποικίλων απαιτήσεων των χρηστών και των περιορισμών που πρέπει να ληφθούν. Τέλος, θα πρέπει να υπάρξει μια σύνδεση μεταξύ των υποφερόντων και της κατανομής ενέργειας μετάδοσης κατά το uplink στους χρήστες για να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των χρηστών που αφορούν την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS). Για να ικανοποιηθούν όλα αυτά που μόλις περιγράψαμε έχει δημιουργηθεί μια σειρά αλγορίθμων. Στην επόμενη ενότητα θα δούμε μερικά παραδείγματα αυτών καθώς επίσης και τις μεθόδους που ακολουθούν.

Η αναμετάδοση στο UL γίνεται με την βοήθεια συγχρονισμένων διαδικασιών που ονομάζονται H-ARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) και είναι προγραμματισμένη να γίνεται ακριβώς σε οκτώ TTI (Transmission Time Intervals) μετά από την τελευταία προσπάθεια μετάδοσης. Προκειμένου το σύστημα με την

χρήση του SC-FDMA να είναι πιο ωφέλιμο γίνεται διαμοιρασμός των Physical Resource Blocks (PRB) του UL. Έτσι μειώνονται οι απαιτούμενοι πόροι του υποπλαισίου του UL. Για την αποτελεσματικότερη κατανομή πόρων και την μείωση των παρεμβολών μεταξύ των CUEs και των DUEs χρησιμοποιείται η αρχιτεκτονική FFR όπως θα δούμε στη συνέχεια καθώς και ο αλγόριθμος προγραμματισμού Proportional Fair (PF). Στην περίπτωση που θέλουμε να αποφευχθούν η κατανομή των PRBs και οι όσο το δυνατόν μεγαλύτερες παρεμβολές, γίνεται χρήση του μηχανισμού ακύρωσης παρεμβολών near-far στο φάσμα κατά το UL στην κυψέλη, με τη συμβολή του συστήματος LTE Frequency Division Duplex. Πρόκειται για μία τεχνική διαχωρισμού των ζωνών συχνότητας που χρησιμοποιούνται και από τον πομπό και από τον δέκτη αποτελεσματικά χωρίς να αλληλοεπηρεάζονται.

4.4 Αλγόριθμοι κατανομής πόρων με SC-FDMA βελτιστοποίησης ρυθμού μετάδοσης

A) Αλγόριθμος Greedy

Εντοπίζει το RB με το υψηλότερο κέρδος καναλιού και το κατανέμει στον χρήστη που μπορεί να μεγιστοποιήσει το όριο της χωρητικότητας. Αυτό που καταφέρνει είναι να μεγιστοποιήσει το ρυθμό μετάδοσης και να αυξήσει τον αριθμό των χρηστών, καθώς το κέρδος αυξάνεται και μικρότερος αριθμός RBs ανατίθεται σε κάθε χρήστη με υψηλότερη ισχύ ανά υποφέρον και κατ' επέκταση περισσότερα bits/symbol. Το πρόβλημα όμως με την εφαρμογή αυτού του αλγορίθμου είναι η έλλειψη δικαιοσύνης κατανομής των πόρων στους χρήστες, καθώς οι χρήστες με μικρότερο κέρδος καναλιού υστερούνται υπηρεσιών. Τέλος, πρόκειται για μια πολύπλοκη διαδικασία κωδικοποίησης που προκαλεί υψηλή υπερφόρτωση μετάδοσης.

B) Αλγόριθμος Matrix

Δημιουργεί έναν πίνακα που περιέχει τον πραγματικό ρυθμό μετάδοσης για κάθε χρήστη ανά RB και εντοπίζει τον χρήστη και το RB με το υψηλότερο πραγματικό ρυθμό μετάδοσης ώστε να κατανείμει το RB. Η εφαρμογή αυτού του αλγορίθμου και η κατανομή των RBs στους χρήστες είναι εύκολες διαδικασίες, παρ' όλα αυτά δεν επιτυγχάνει γενική βελτιστοποίηση, η πολυπλοκότητα είναι μεγάλη ομοίως και ο χρόνος επεξεργασίας.

Γ) Αλγόριθμος Search Tree

Δημιουργεί έναν πίνακα ο οποίος περιλαμβάνει τον δυνατό ρυθμό μετάδοσης για κάθε χρήστη σε κάθε RB επιλέγοντας το κατάλληλο ζευγάρι χρήστη και RB, διαγράφοντας σειρά και στήλη του πίνακα μέχρι να γίνει διάστασης 1x1. Έτσι το RB που επιλέγεται είναι εκείνο με τον υψηλότερο μέσο ρυθμό μετάδοσης. Με τον αλγόριθμο αυτόν επιτυγχάνεται υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης από τον Matrix και

καλύτερη βελτιστοποίηση, ειδικότερα στην περίπτωση που περισσότερα από δύο από τα καλύτερα ζευγάρια χρηστών και RBs χρησιμοποιούνται σε κάθε επανάληψη. Το σημείο στο οποίο υστερεί αυτός ο αλγόριθμος είναι στο πόσο άνισα διαμοιράζονται οι πόροι και η υψηλή πολυπλοκότητα εφαρμογής του.

Δ) Αλγόριθμος Greedy με περιορισμούς

Εφαρμόζει την μέθοδο της απότομης ανόδου της αντικειμενικής συνάρτησης και επιλέγει για ανάθεση τα RBs που μεγεθύνουν την αύξηση της αντικειμενικής συνάρτησης υπό περιορισμούς. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνει έως 50% βελτίωση του μέσου όρου της φασματικής επάρκειας ανά subframe ανά χρήστη. Όμως και αυτός ο αλγόριθμος παρουσιάζει ανισοκατανομή πόρων στους χρήστες και δεν επιτυγχάνει βελτιστοποίηση, αλλά είναι μικρότερης πολυπλοκότητας.

Ε) Αλγόριθμος Potential βασιζόμενος στο κέρδος

Παίρνει ως δεδομένο πως ένα RB κατανέμεται σε κάθε χρήστη με σκοπό να αυξήσει τον μέσο ρυθμό μετάδοσης. Στη συνέχεια υπολογίζει όλους τους ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων που μπορούν να επιτευχθούν και κατόπιν αυτού αποφασίζει για το αν θα αναθέσει ή όχι το RB. Έτσι μπορεί να επιτύχει έως και 30% αύξηση του ρυθμού δεδομένων. Καθώς όμως ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μειώνεται. Και σε αυτόν τον αλγόριθμο ο τρόπος κατανομής πόρων γίνεται με άνισο τρόπο.

ΣΤ) Αλγόριθμος απόδοσης RB

Υπολογίζει μια παράμετρο που καθορίζει την απόδοση των RBs χωρίς όμως να συνυπολογίζει την πραγματική χωρητικότητα του συστήματος. Επιλέγοντας το κατάλληλο ζευγάρι χρήστη και RB, η παράμετρος αυτή μεγιστοποιείται, επομένως μεγιστοποιείται και η απόδοση. Η παράμετρος αυτή σχετίζεται με τον ρυθμό που μπορεί να επιτευχθεί και εξαρτάται από τον ισοσταθμιστή που χρησιμοποιείται στο πεδίο της συχνότητας. Η επιλογή όμως αυτής της παραμέτρου γίνεται αυθαίρετα με αποτέλεσμα να μην είναι αντιπροσωπευτική η ποιότητα των RBs.

4.5 Προτεινόμενη κατανομή πόρων με SC-FDMA και καθορισμός μετάδοσης ισχύος σε DUEs

Ο eNB κατανέμει τους πόρους των DUEs λαμβάνοντας υπόψιν και τους περιορισμούς του SC-FDMA με τέτοιο τρόπο ώστε οι παρεμβολές μεταξύ του D2D πομπού και του eNB να μετριάζονται. Για την πραγματοποίηση της κατανομής ο eNB θα πρέπει επίσης να υπολογίσει το πόσο αναλογικά δίκαιες θα είναι οι τιμές των CUEs και κάθε D2D ζευγαριού. Η συνάρτηση που χρησιμοποιείται γι' αυτόν τον σκοπό είναι η ακόλουθη:

α) Για CUEs $\lambda_{c,n}^{S_j} = 1 + \frac{r_{c,n}^{S_j}}{R_c^{S_j}}$ και

β) Για DUEs $\lambda_{d,n}^{S_{i,k}} = 1 + \frac{r_{d,n}^{S_{i,k}}}{R_d^{S_{i,k}}}$

Όπου $r_{c,n}^{S_j}$ είναι ο δοθέν ρυθμός δεδομένων στο CUE του υποκαναλιού n και όπου $r_{d,n}^{S_{i,k}}$ στο DUE αντίστοιχα. Επιπλέον, θα πρέπει να υπολογιστούν οι παρεμβολές ανάμεσα στα ζευγάρια διαμοιρασμού πόρων. Αυτό το αναλαμβάνει ο eNB με τον υπολογισμό του γινομένου των $(\lambda_{c,n}^{S_j} \times \lambda_{d,n}^{S_{i,k}})$. Η δυσκολία που αντιμετωπίζεται με την εφαρμογή αυτού του σχήματος κατανομής είναι η πολυπλοκότητα για τον υπολογισμό των τιμών της αναλογικά δίκαιης κατανομής για όλα τα CUEs σε όλα τα υποκανάλια και εκφράζεται ως $O(N_c \times N_k^2)$, όπου N_c ο αριθμός των CUEs και N_k ο αριθμός των υποκαναλιών. Αντιστοίχως, η πολυπλοκότητα για την κατανομή πόρων στα DUEs εκφράζεται ως $O(N_D \times N_k)$, όπου N_D ο αριθμός των DUEs. Καθότι όμως η κατανομή πόρων γίνεται παράλληλα και στα CUEs και στα DUEs ο αλγόριθμος πολυπλοκότητας υπολογίζεται ως $O((N_c \times N_k^2) + (N_D \times N_k))$ το οποίο είναι λογικό διότι ο eNB προσθέτει υπολογισμούς στην κατανομή πόρων των DUEs.

Όσον αφορά την μετάδοση ισχύος στο σχήμα που περιγράψαμε προηγουμένως είναι προκαθορισμένη για τα CUEs ενώ των DUEs ελέγχεται από τις συνθήκες του δικτύου. Ο στόχος όμως για τον έλεγχο της ισχύος για τα DUEs είναι παροχή ίσων ευκαιριών τόσο στα CUEs όσο και στα DUEs ούτως ώστε να διατηρηθεί το SINR σε ένα επίπεδο. Ο τρόπος που ο eNB υπολογίζει το SINR του διαμοιρασμού πόρων είναι ο ακόλουθος:

i) Για CUEs
$$\text{SINR}_C^{S_j} = \frac{P_c^{S_j} G_{ce0}^{S_j}}{N_0 + P_{di}^{S_j} G_{di,e0}^{S_j}}$$

ii) Για DUEs
$$\text{SINR}_{D2D}^{S_{i,k}} = \frac{P_{di}^{S_{i,k}} G_{di,dr}^{S_{i,k}}}{N_0 + P_c^{S_j} G_{cd,r}^{S_{i,k}}}$$

Όπου N_0 η ισχύς θορύβου, $P_c^{S_i}$ η ισχύς μετάδοσης του CUE και η $P_{di}^{S_i}$ του DUE αντίστοιχα με τον πομπό να βρίσκεται στη θέση i . Επίσης, $i \neq j$ και $i=k$ εάν πομπός και δέκτης του D2D βρίσκονται στην ίδια θέση.

Όταν λοιπόν ο eNB γνωρίζει το N_0 , το $P_c^{S_i}$ και τα κέρδη του καναλιού (G^{S_i}) τότε μπορεί να καθορίσει την ισχύ μετάδοσης $P_{di}^{S_i}$ του πομπού του D2D στο διάστημα $[0, P_{\max}]$ με P_{\max} τη μέγιστη πιθανή ισχύ μετάδοσης της συσκευής χρήστη. Επίσης, αυτό το σχήμα απόδοσης ισχύος μετάδοσης εγγυάται τα κατώφλια τόσο των CUEs όσο και των DUEs, αλλά ακόμη και στην περίπτωση που το SINR ενός CUE είναι χαμηλότερο από το κατώφλι που έχει οριστεί ενώ το

SINR του DUE είναι υψηλότερο ή ίσο από το δικό του κατώφλι, τότε το DUE περιορίζει την παρεμβολή που δημιουργεί κατά την μετάδοση. Αντιστοίχως, όταν το SINR του CUE είναι μεγαλύτερο από το κατώφλι ενώ του DUE είναι μικρότερο, τότε το DUE αυξάνει την ισχύ μετάδοσης ούτως ώστε το SINR του CUE να παραμείνει μεγαλύτερο από το κατώφλι. Στην περίπτωση που τα SINR των DUE και CUE είναι μεγαλύτερα από το κατώφλι, τότε το DUE προσαρμόζει την ισχύ μετάδοσής του στο μέγιστο ώστε να εξασφαλίσει πως το SINR του CUE θα ξεπερνά το κατώφλι. Τέλος, όταν τα SINR των CUE και DUE είναι χαμηλότερα από το κατώφλι, τότε ο eNB αποφασίζει εάν θα μειώσει ή θα αυξήσει την ισχύ μετάδοσης του DUE.

4.6 Συνδυαστικοί μηχανισμοί ελέγχου ισχύος και κατανομής πόρων

Προκειμένου να πληρούνται οι προϋποθέσεις των ελάχιστων απαιτήσεων του SINR των CUEs και DUEs θα πρέπει να υπάρξει ένας συνδυαστικός μηχανισμός ελέγχου ισχύος και κατανομής πόρων για τις D2D επικοινωνίες. Ένας τέτοιος μηχανισμός που εργάζεται υπό την αιγίδα του κυψελωτού δικτύου ανακατανέμει τους πόρους των CUEs στους DUEs με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να προκληθεί ελάχιστη παρεμβολή στους CUEs. Στην περίπτωση που το ελάχιστο κατώφλι του SINR ικανοποιείται για τους CUEs, τότε γίνεται κατανομή πόρων στις συσκευές D2D.

Επίσης, έχει προταθεί ένας ακόμη μηχανισμός του κυψελωτού συστήματος που βασίζεται στο OFDMA και συνδυάζει τον έλεγχο ισχύος και της κατανομής πόρων. Με αυτόν τον μηχανισμό ο έλεγχος ισχύος εγγυάται σίγουρο κατώφλι για το SINR των CUEs και μέγιστο όριο του SINR για τους DUEs, με αποτέλεσμα την επίτευξη καλύτερου μέσου ρυθμού.

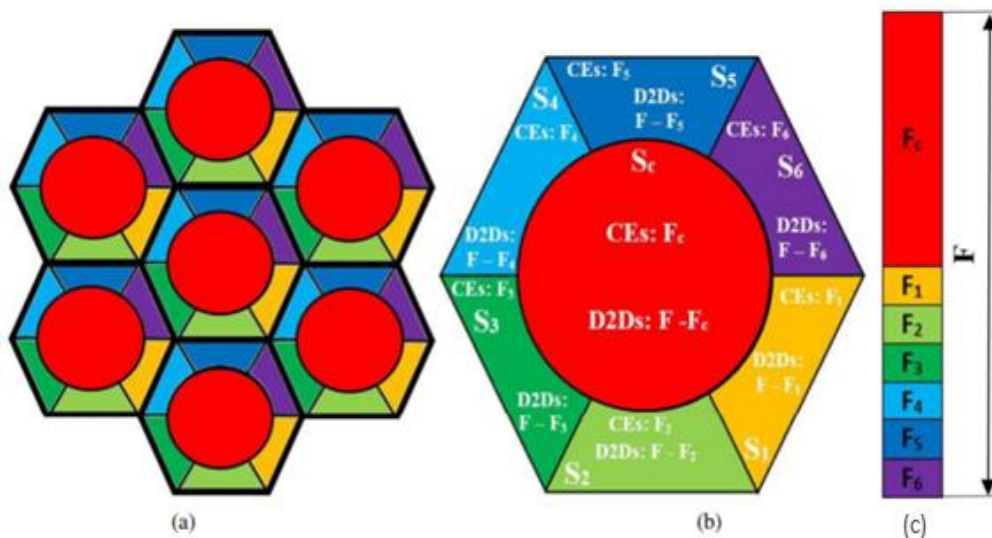
Έχει αποδειχθεί πως ο κατάλληλος συνδυασμός και η συνεργασία ισχύος μπορούν να επιτύχουν βέλτιστη επαναχρησιμοποίηση πόρων τόσο του uplink όσο και του downlink με διαφορετικά αποτελέσματα σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Συγκεκριμένα, η επαναχρησιμοποίηση πόρων του downlink μπορεί να βελτιώσει το DUE SINR όταν οι συσκευές βρίσκονται κοντά στον eNB, ενώ του uplink όταν βρίσκονται αρκετά μακριά από τον eNB. Στη συνέχεια θα δούμε την αρχιτεκτονική που ακολουθούν τα μοντέλα επαναχρησιμοποίησης πόρων.

4.7 Αρχιτεκτονική κυψέλης με χρήση τεχνικής επαναχρησιμοποίησης της συχνότητας για εξομάλυνση των παρεμβολών

Μια εξάγωνη κυψέλη τμηματοποιείται με την χρήση κατευθυντικών κεραιών έτσι ώστε να μπορεί να διαχειριστεί την αυξανόμενη κίνηση. Η μια της πλευρά με παράγοντα επαναχρησιμοποίησης της συχνότητας που ισούται με ένα (FrequencyReuseFactor = 1) συντελεί σε περισσότερη παρεμβολή στο εσωτερικό της κυψέλης (Inter Cell Interference-ICI). Για να αποφευχθεί λοιπόν αυτή η παρεμβολή γίνεται η κατάτμηση της κυψέλης και επαναχρησιμοποιείται η συχνότητα. Οι πιο γνωστές τεχνικές επαναχρησιμοποίησης συχνότητας είναι η Soft Frequency Reuse (SFR) και η Fractional Frequency Reuse (FFR).

Ο τρόπος που γίνεται η κατάτμηση της κυψέλης έχει ως εξής:

Χωρίζεται σε δύο τμήματα, στο εσωτερικό ή κεντρικό (Central Sector) και στο εξωτερικό ή ακριανό (Edge Sector), το οποίο με τη σειρά του χωρίζεται σε έξι επιμέρους τμήματα που ονομάζονται S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 και S_6 . Έτσι λοιπόν η κυψέλη χωρίζεται σε 7 τμήματα συνολικά. Εκτός όμως από την κατάτμηση της κυψέλης, χρησιμοποιούμε και την ακριβή τμηματική μέθοδο επαναχρησιμοποίησης συχνότητας (Strict Fractional Frequency Reuse - SFFR) για την κατανομή των ζωνών συχνότητας στις περιοχές της κατατμημένης κυψέλης, η οποία βασίζεται στην αρχιτεκτονική των επτά κυψελών βλ. Σχήμα 4.7(a). Με την χρήση του SFFR, ο CS έχει $FRF=1$ ενώ ο ES έχει $FRF = N$. Η συνολική ζώνη συχνότητας χωρίζεται σε 7 ζώνες όσες είναι και τα τμήματα της διαχωρισμένης κυψέλης και κάθε μία από αυτές αντιστοιχεί



Σχήμα 4.7 (a) FFR που βασίζεται στην αρχιτεκτονική των 7 κυψελών

(b) Κατάτμηση κυψέλης και PRB κατανομή (c) Τμήματα διαθέσιμων ζωνών συχνότητας κάθε κυψέλης

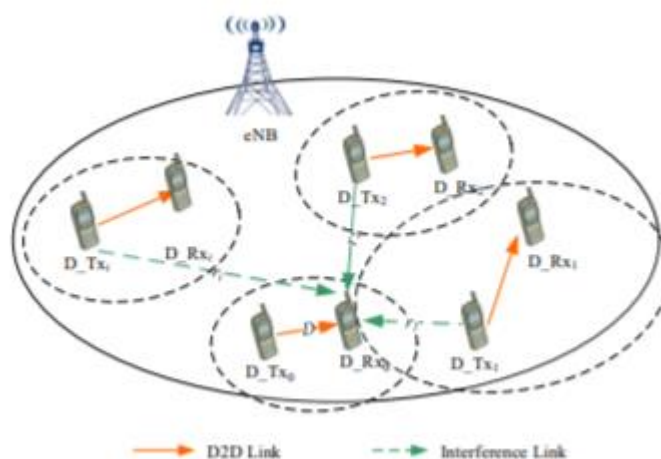
στα 7 τμήματα αυτής. Η ζώνη συχνότητας που αντιστοιχεί στο κεντρικό τμήμα της κυψέλης ονομάζεται F_c και κατέχει την μεγαλύτερη μερίδα, ενώ οι υπόλοιπες έξι ονομάζονται F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 και F_6 και κατανέμονται στα υπόλοιπα τμήματα της κυψέλης βλ. Σχήμα 4.7(b). Η κεντρική περιοχή της κυψέλης καθορίζει έως και το 63% της συνολικής ακτίνας κάλυψης ολόκληρης της κυψέλης.

Ένα ακόμη τμήμα πόρων που διαμοιράζονται οι DUEs και οι CUEs είναι τα Physical Resource Blocks (PRBs) για την κατανομή, την διαχείριση και τον έλεγχο των οποίων είναι υπεύθυνος ο eNB. Οι DUEs που αντιστοιχούν σε κάθε τμήμα της κυψέλης χρησιμοποιούν ολόκληρη τη ζώνη συχνότητας F εκτός από την F_x ($F - F_x$), τη ζώνη συχνότητας που χρησιμοποιούν οι CUEs. Για παράδειγμα, στο τμήμα S_4 οι CUEs χρησιμοποιούν την συχνότητα F_4 , ενώ οι DUEs όλη τη ζώνη συχνότητας F

δηλαδή την $F_1 + F_2 + F_3 + F_5 + F_6$ εκτός από την F_4 ($F - F_4$). Έτσι κάθε τμήμα της κυψέλης συμπεριλαμβανομένων των CUEs και DUEs έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει ολόκληρη τη συχνότητα, πράγμα το οποίο αυξάνει το ρυθμό μετάδοσης ολόκληρης της κυψέλης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Σε αυτό το κεφάλαιο προσομοιώνουμε στο λογισμικό Matlab το μοντέλο που δίνεται στο Σχήμα 5.1 το οποίο αποτελείται από μία μακροκυψέλη με το σταθμό βάσης (eNB) στο κέντρο και ζεύξεις D2D. Το σύστημα του Σχήματος 5.1 το οποίο προσομοιώνεται αποτελείται από τον σταθμό βάσης eNB με ακτίνα κάλυψης και ζεύξεις D2D. Η κάθε ζεύξη αποτελείται από τον πομπό D2D (D_Txi) και τον δέκτη (D_Rxi). Τα D_Txi είναι τυχαία κατανομημένα μέσα στην μακροκυψέλη με ακτίνα R ενώ ο δέκτης D_Rxi βρίσκεται τυχαία κατανομημένος στην περιοχή κάλυψης του D_Txi.



Σχήμα 5.1 Μοντέλο συστήματος μακροκυψέλης με σταθμό βάσης και ζεύγη D2D

Η τυχαία κατανομή των συσκευών μέσα στην κυψέλη γίνεται με βάση την ομοιόμορφη κατανομή. Παράγουμε τυχαίες μεταβλητές r που ορίζουν την απόσταση μίας συσκευής από το κέντρο της κυψέλης, όπου βρίσκεται ο σταθμός βάσης eNB, με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f_d(r) = \frac{2r}{R}$ ως εξής:

- 1) Παράγουμε U ομοιόμορφα κατανομημένη στο διάστημα $[0, 1]$
- 2) Παράγουμε $r = F_d^{-1}(U)$, όπου r έχει την επιθυμητή συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και όπου F_d είναι η αθροιστική συνάρτηση του r

$$F_d(r) = \int_0^r \frac{2r}{R^2} dr = \frac{r^2}{R^2} \quad * \text{ όπου } D=R$$

3) Επομένως

$$U = F_d(r) \Rightarrow U = \frac{r^2}{R^2} \Rightarrow r = \sqrt{U \cdot R^2}$$

όπου η U είναι ομοιόμορφα κατανομημένη στο διάστημα [0,1].

Στο Matlab η θέση του D_tx ορίζεται με τον κώδικα:

```
d2d_tx_r = sqrt(rand(1).*(r_cell^2));
```

```
d2d_tx_loc = d2d_tx_r.*exp(j.*phi.*rand);
```

Στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του συστήματος με κάποιες ενδεικτικές τιμές, όπως θα δούμε.

Παράμετρος	Μεταβλητή
Ακτίνα μακροκυψέλης (m)	r_cell = 1500
Ακτίνα κάλυψης D2D (m)	d2d_dist = 100
Επίπεδο ισχύος θορύβου (dBm)	N = -105
Σταθερά στάθμισης της σύνδεσης (dB)	K = -35
Path loss factor	n_path = 3, 4
Μέγιστη Ισχύς εκπομπής του D2D_tx (dBm)	Pt = 20
Μέγιστη Ισχύς εκπομπής του D2D παρεμβολέα (dBm)	P_interf = 20
Κατώφλι INR (dB) στο eNB	INR_th = -20, -13
Αριθμός δειγμάτων	num_snapshots

Επομένως, το σύστημα προσομοίωσης περιλαμβάνει μία συσκευή πομπό (device transmitter, D_tx) η οποία βρίσκεται τυχαία κατανομημένη μέσα σε μία μακροκυψέλη με ακτίνα r_cell, ενώ η συσκευή δέκτης (device receiver, D_rx) βρίσκεται τυχαία κατανομημένη γύρω από τον D_tx σε μέγιστη απόσταση d2d_dist.

Στις προσομοιώσεις που ακολουθούν μελετάμε την ποιότητα της D2D ζεύξης ως προς το σηματοθορυβικό λόγο (signal-to-noise ratio, SNR) που επιτυγχάνεται και ειδικότερα

1. την επίδραση στην D2D επικοινωνία της ύπαρξης ελέγχου ισχύος (Power Control, PC) ώστε το Interference-to-Noise Ratio (INR) του σήματος από τη συσκευή πομπό στο σταθμό βάσης της μακροκυψέλης να είναι κάτω από ένα κατώφλι. Ειδικότερα μελετάμε
 - a. την επίδραση του path loss factor της μακροκυψέλης στο D2D SNR
 - b. την επίδραση του INR_{th} στο D2D SNR του σταθμού βάσης
2. την επίδραση μίας άλλης D2D ζεύξης που δρα ως παρεμβολή στην παραπάνω επιθυμητή D2D ζεύξη, η οποία υπάρχει επίσης τυχαία κατανομημένη μέσα στην μακροκυψέλη.
 - a. Δημιουργούμε δύο συσκευές πομπούς τυχαία κατανομημένους μέσα στη μακροκυψέλη και μία συσκευή δέκτη τυχαία κατανομημένη γύρω από τον πρώτο πομπό
 - b. Υπολογίζουμε την απόσταση του πομπού παρεμβολέα στο δέκτη της επιθυμητής D2D ζεύξης. Θεωρούμε ότι η ισχύς εκπομπής της συσκευής παρεμβολής είναι σταθερή (χωρίς PC για τον παρεμβολέα).
 - c. Υπολογίζουμε το πηλίκο σήματος προς θόρυβο και παρεμβολή για την D2D ζεύξη με βάση τον τύπο

$$SINR = \frac{S}{N+I} = \frac{S/N}{1+I/N} = \frac{SNR}{1+INR}$$

Σενάριο 1: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και αθροιστική συνάρτηση κατανομής του D2D SNR με και χωρίς Power Control

Για αυτή την προσομοίωση επιλέγουμε ακτίνα μακροκυψέλης ίση με 1500 m και μέγιστη απόσταση μεταξύ του πομπού και δέκτη στη D2D ζεύξη τα 100 m. Η μέγιστη ισχύς εκπομπής των συσκευών ορίζεται στα 20 dBm ενώ η μέγιστη επιτρεπτή παρεμβολή στο σταθμό βάσης eNB ορίζεται σε interference-to-noise ratio (INR) ίσο με -20dB. Τέλος, ο παράγοντας path loss για την μακροκυψέλη παίρνει αρχικά την τιμή 4 και στη συνέχεια την τιμή 3.

Στόχος του ελέγχου ισχύος εκπομπής του D2D_{tx} είναι να αποτρέψει την D2D ζεύξη να επηρεάσει αρνητικά πάνω από ένα κατώφλι την άνω ζεύξη της

μακροκυψέλης. Σε περίπτωση που ο πομπός D2D είναι κοντά στο σταθμό βάσης και η εκπεμπόμενη ισχύς του πομπού D2D φτάνει με ισχύ πάνω από ένα κατώφλι στο σταθμό βάσης, η ισχύς εκπομπής του για τη D2D ζεύξη επαναπροσδιορίζεται με βάση τη σχέση (σε dB).

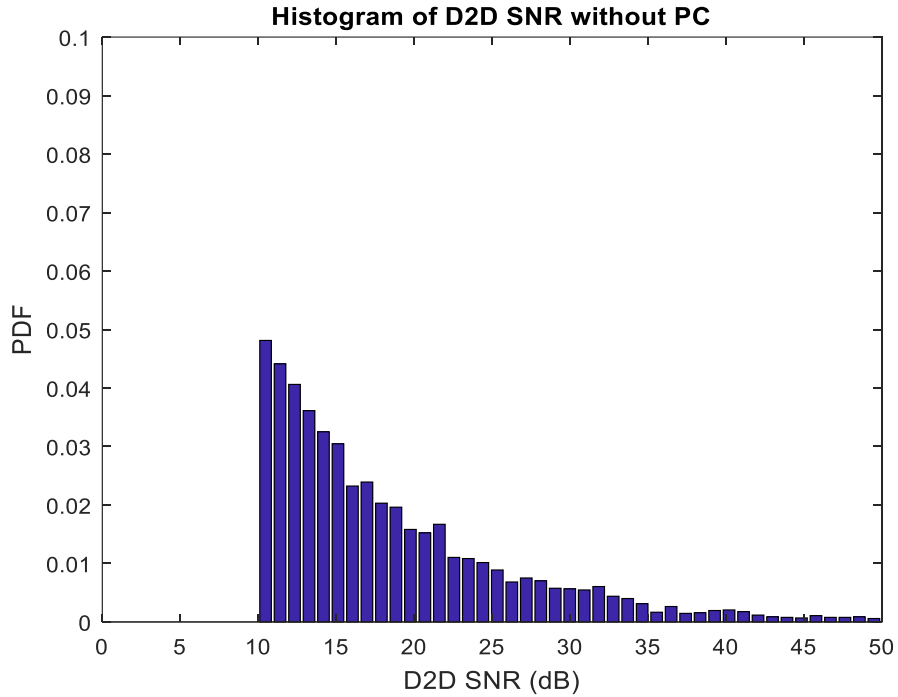
$$P_{t_{\text{new}}} = \max\{P_t, \text{SNR}_{\text{th}} + N - \text{PL}\}$$

όπου PL εκφράζει την απόσβεση διαδρομής (path loss) μεταξύ του D2D_tx και του eNB. Στο σύστημα προσομοίωσης το PL ορίζεται ως εξής

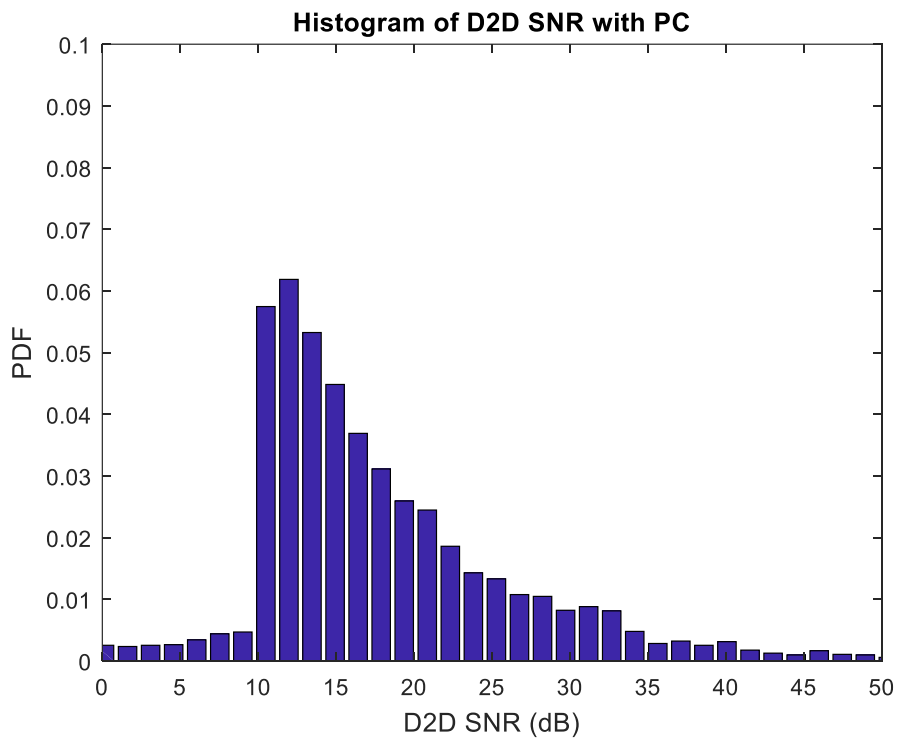
$$\text{PL} = K - 10 \cdot \alpha \cdot \log_{10}(r)$$

όπου K είναι μία σταθερά η οποία εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της κεραίας και την απόσβεση ελευθέρου χώρου (free-space path-loss) μέχρι μία απόσταση $r_0 = 1\text{m}$, α είναι ο path loss factor με τιμές στην περιοχή $[2, 5]$, και r είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη. Όπως φαίνεται, το $P_{t_{\text{new}}}$ με έλεγχο ισχύος εξαρτάται από το path loss μεταξύ D2D_tx και eNB. Όσο μικρότερο είναι το path loss άρα και η απόσταση της συσκευής εκπομπής από το σταθμό βάσης, τόσο μικρότερη είναι η ισχύς εκπομπής αλλά και κατ' επέκταση το SNR της D2D ζεύξης.

Τα παρακάτω δύο σχήματα δίνουν το ιστόγραμμα ή ισοδύναμα την πυκνότητα πιθανότητας του SNR της D2D ζεύξης χωρίς και με PC για την περίπτωση του path loss factor $n_{\text{path}} = 4$ και $\text{INR}_{\text{th}} = -20$ στο eNB. Παρατηρούμε ότι χωρίς PC το SNR της D2D ζεύξης είναι πάντα μεγαλύτερο από 10 dB (Σχήμα 5.1α) το οποίο αλλάζει με τη χρήση PC (Σχήμα 5.1β). Συγκεκριμένα, το D2D SNR χειροτερεύει καθώς η ισχύς εκπομπής σε μερικές περιπτώσεις είναι μικρότερη από τη μέγιστη δυνατή.



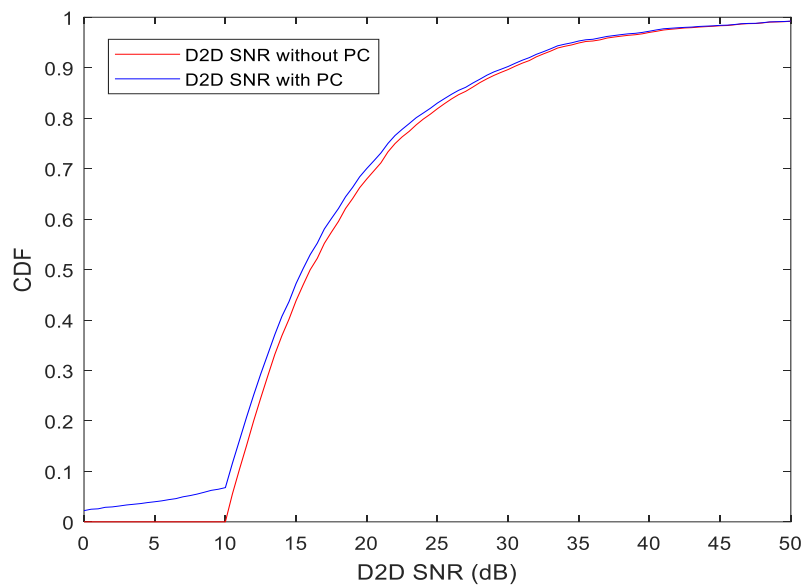
Σχήμα 5.1α D2D SNR χωρίς έλεγχο ισχύος για path loss factor 4



Σχήμα 5.1β D2D SNR με έλεγχο ισχύος για path loss factor 4

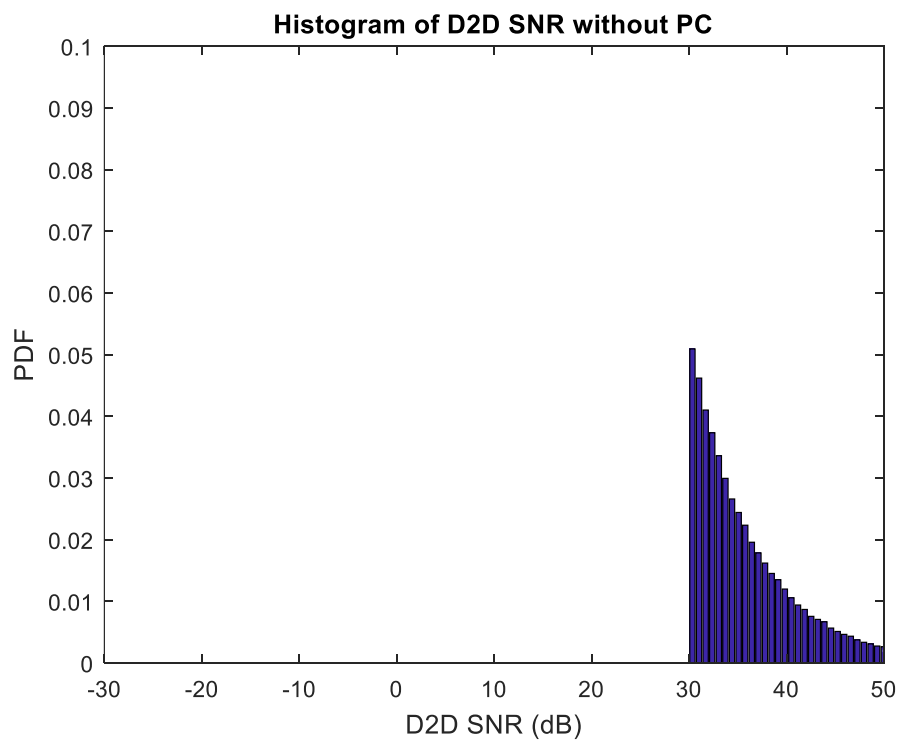
Με βάση τα προηγούμενα ιστογράμματα, υπολογίζουμε την αθροιστική κατανομή του SNR της D2D ζεύξης, η οποία δίνεται στο Σχήμα 5.1γ για τις δύο περιπτώσεις εκπομπής στη D2D ζεύξη. Στην περίπτωση χωρίς PC το D2D SNR είναι

πάντοτε μεγαλύτερο από τα 10dB, ενώ με PC η πιθανότητα το D2D SNR να μην ξεπερνά τα 10dB είναι 0,1 (10%).

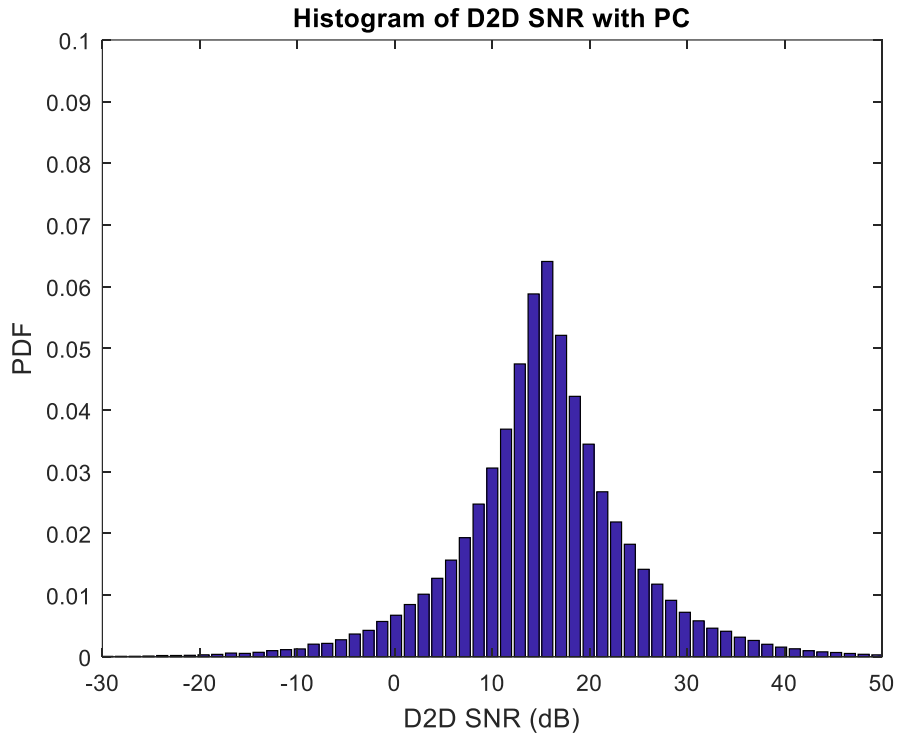


Σχήμα 5.1γ CDF vs D2D SNR με και χωρίς Έλεγχο Ισχύος για path loss factor 4

Επαναλαμβάνουμε την παραπάνω προσομοίωση για path loss factor $\alpha=3$, οπότε και περιμένουμε μικρότερη απώλεια της ισχύος εκπομπής με την απόσταση. Τα αποτελέσματα δίνονται παρακάτω:

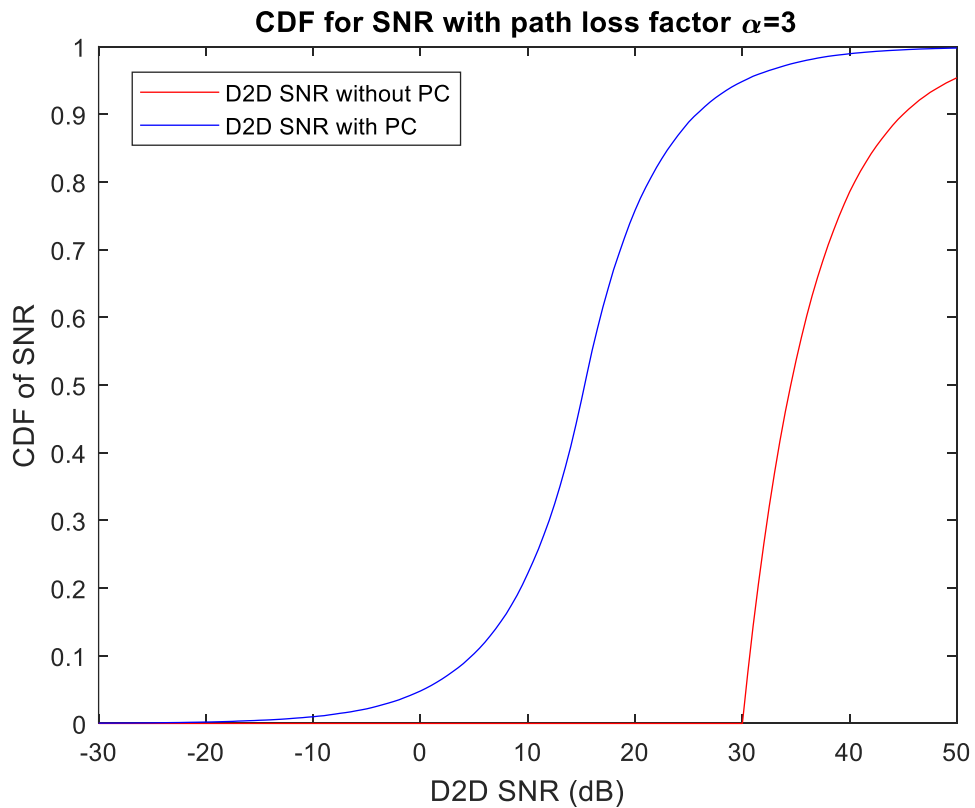


Σχήμα 5.2α D2D SNR χωρίς έλεγχο ισχύος για path loss factor 3



Σχήμα 5.2β D2D SNR με έλεγχο ισχύος για path loss factor 3

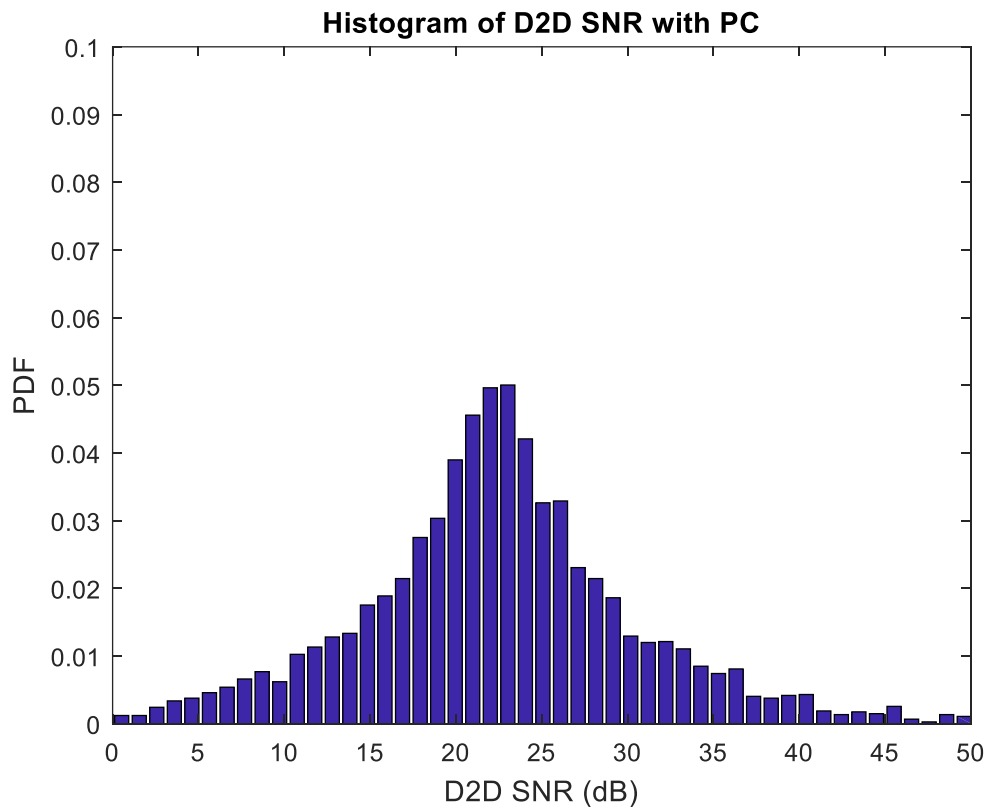
Η αντίστοιχη CDF του SNR της D2D ζεύξης είναι:



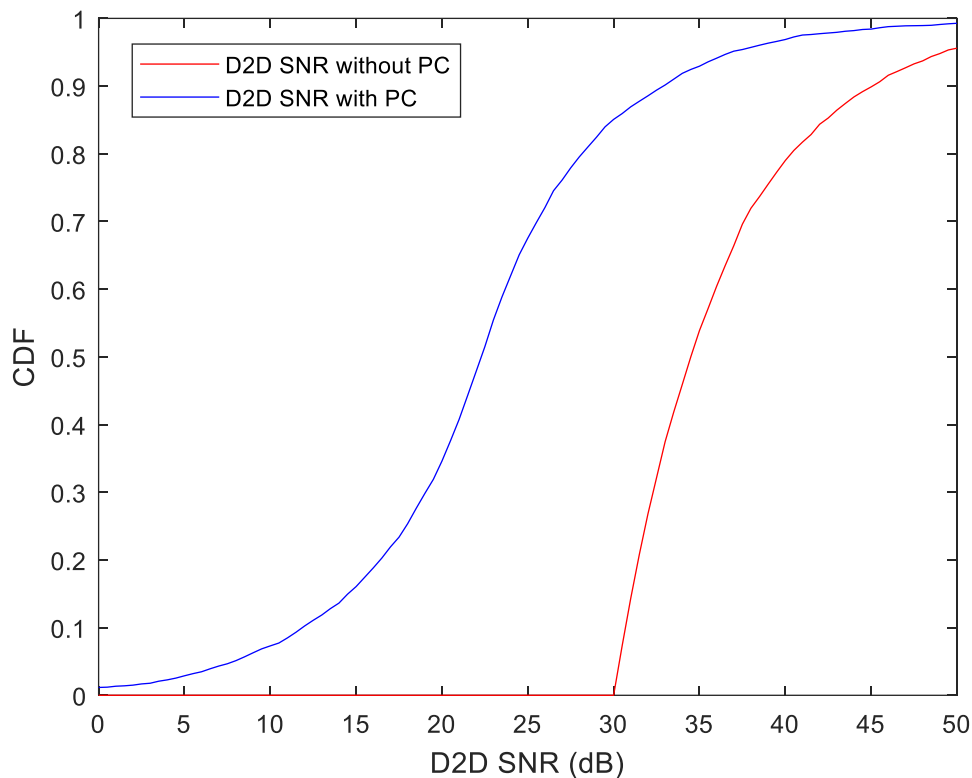
Σχήμα 5.2γ CDF vs D2D SNR με και χωρίς Έλεγχο Ισχύος για path loss factor $\alpha=3$

όπου φαίνεται ότι η χρήση PC έχει μεγαλύτερη επίπτωση στο SNR της D2D ζεύξης για path loss factor $n_{\text{path}}=3$ από ότι για $n_{\text{path}}=4$.

Επαναλαμβάνουμε την παραπάνω προσομοίωση με $n_{\text{path}}=3$ για INR κατώφλι $\text{INR}_{\text{th}} = -13$ dB. Τα αποτελέσματα δίνονται παρακάτω και δείχνουν τη βελτίωση του SNR της D2D ζεύξης σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση με $n_{\text{path}}=3$ όπου το INR κατώφλι είναι $\text{INR}_{\text{th}} = -20$ dB.



Σχήμα 5.3α PDF του D2D SNR με PC για path loss factor 3 και $\text{INR}_{\text{th}} = -13$ dB



Σχήμα 5.3β CDF του D2D SNR για path loss factor 3 και $INR_{th} = -13$ dB

Σενάριο 2: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και αθροιστική συνάρτηση κατανομής του D2D SINR με και χωρίς Power Control

Σε αυτό το σενάριο προσομοίωσης μελετάμε την επίδραση στην παραπάνω επιθυμητή D2D ζεύξη μίας άλλης D2D ζεύξης η οποία υπάρχει τυχαία κατανεμημένη μέσα στην μακροκυψέλη.

Η επιθυμητή D2D ζεύξη δύναται να λειτουργεί με ή χωρίς PC, ενώ ο D2D_{tx} interferer τοποθετείται τυχαία μέσα στην μακροκυψέλη. Για τον υπολογισμό της ισχύος παρεμβολής στον D2D_{rx} της επιθυμητής D2D ζεύξης, υπολογίζουμε πρώτα την τοποθεσία του D2D_{rx} μέσα στην μακροκυψέλη και στη συνέχεια την απόσταση του D2D_{tx} interferer από τον D2D_{rx}. Ο κώδικας στο Matlab είναι ο εξής:

```
%---place the d2d rx device within the d2d tx coverage --
d2d_rx_r=sqrt(rand(1).*(d2d_dist^2));
d2d_rx_loc = d2d_rx_r.*exp(j.*phi.*rand);
```

```

%---find the location of d2d rx device in the macrocell--
d2d_rx_loc_macro = d2d_tx_loc + d2d_rx_loc;

%---place the interferer in the macrocell ---
interf_tx_r=sqrt(rand(1).*(r_cell^2));
interf_tx_loc = interf_tx_r.*exp(j.*phi.*rand);

% compute distance between d2d receiver and interferer
d_ur = abs(d2d_rx_loc_macro-interf_tx_loc);

```

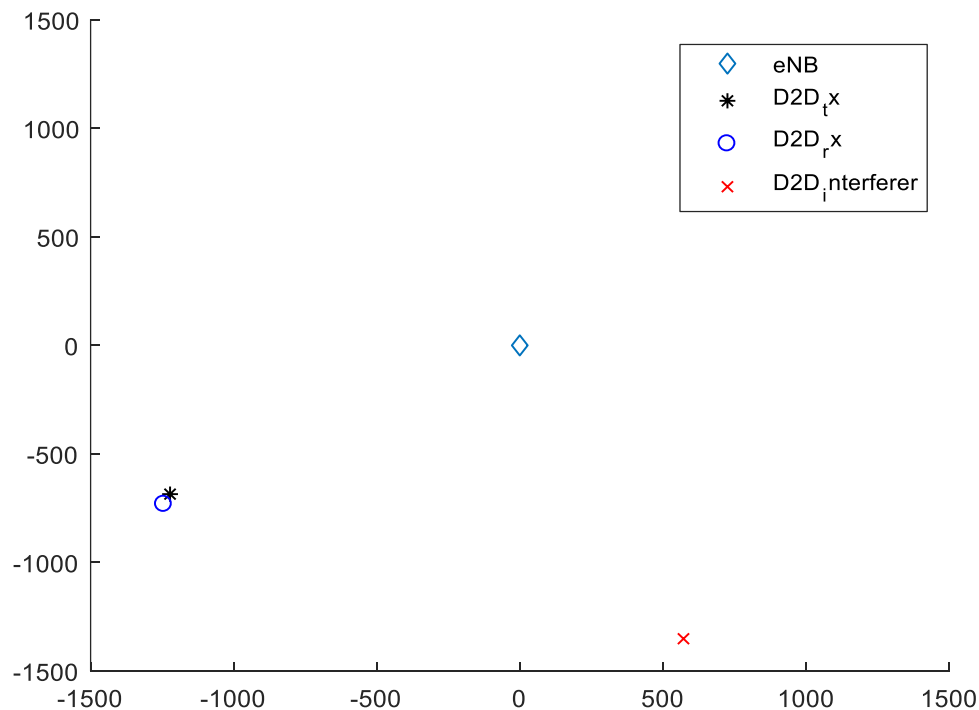
Ένα snapshot του συστήματος προσομοίωσης όπου φαίνεται η τοποθεσία των συσκευών μέσα στη μακροκυψέλη σχεδιάζεται με τον παρακάτω κώδικα Matlab

```

scatter(0,0,'d')
hold on
scatter(real(d2d_tx_loc), imag(d2d_tx_loc),'*k')
hold on
scatter(real(d2d_rx_loc_macro), imag(d2d_rx_loc_macro),'ob')
hold on
scatter(real(interf_tx_loc), imag(interf_tx_loc),'xr')
axis([-1500 1500 -1500 1500])
legend('eNB', 'D2D_tx', 'D2D_rx', 'D2D_interferer')

```

και η απεικόνιση των συσκευών στο γεωμετρικό επίπεδο φαίνεται στο Σχήμα 5.4



Σχήμα 5.4 Γεωμετρική απεικόνιση στο επίπεδο του συστήματος προσομοίωσης.

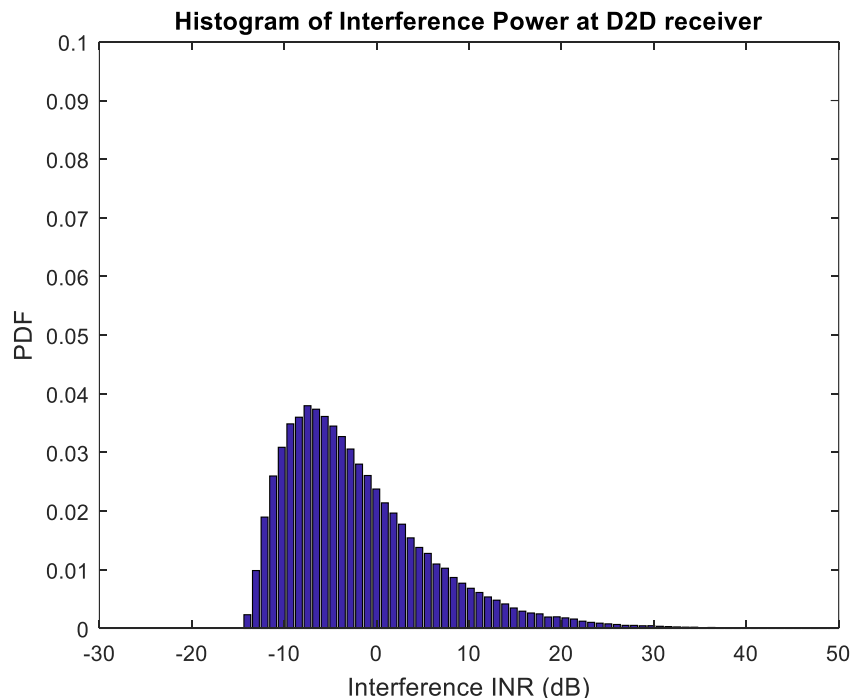
Στη συνέχεια το λαμβανόμενο SINR στο D2D_rx υπολογίζεται με βάση το λαμβανόμενο SNR και INR από τη σχέση:

$$SINR = \frac{S}{N+I} = \frac{S/N}{1+I/N} = \frac{SNR}{1+INR}$$

Ο κώδικας στο Matlab είναι ο εξής:

```
% calculate S/(I+N) for the D2D link
P_rec_interf = P_interf - N + K - 10.*n_path.*log10(d_ur);
P_I = 10^(P_rec_interf/10);
I_noise = P_I + 1;
P_D2D_I(ii) = P_rec_interf;
% D2D SINR without PC
P_SINR_dB(ii) = P_SNR_dB(ii) - 10*log10(I_noise);
```

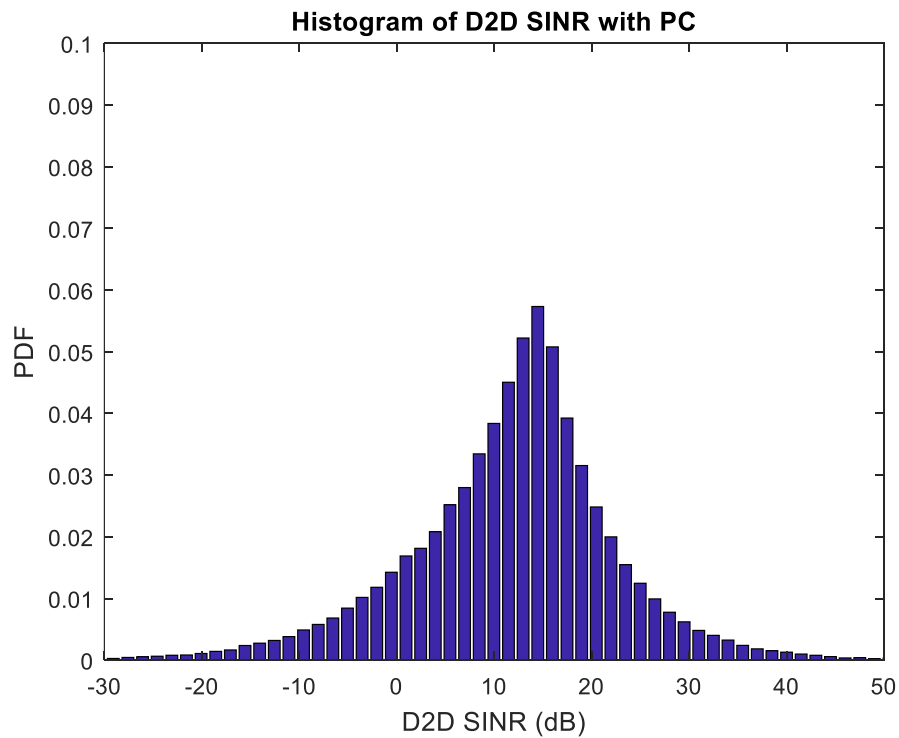
Τα παρακάτω αποτελέσματα της προσομοίωσης λαμβάνονται για $n_{\text{path}}=3$ και INR_{th} στο $eNB=-20\text{dB}$, ενώ η ισχύς του D2D interferer είναι σταθερή στα 20 dBm . Αρχικά σχεδιάζουμε το ιστόγραμμα του INR στο D2D_rx από την εκπομπή του D2D interferer.



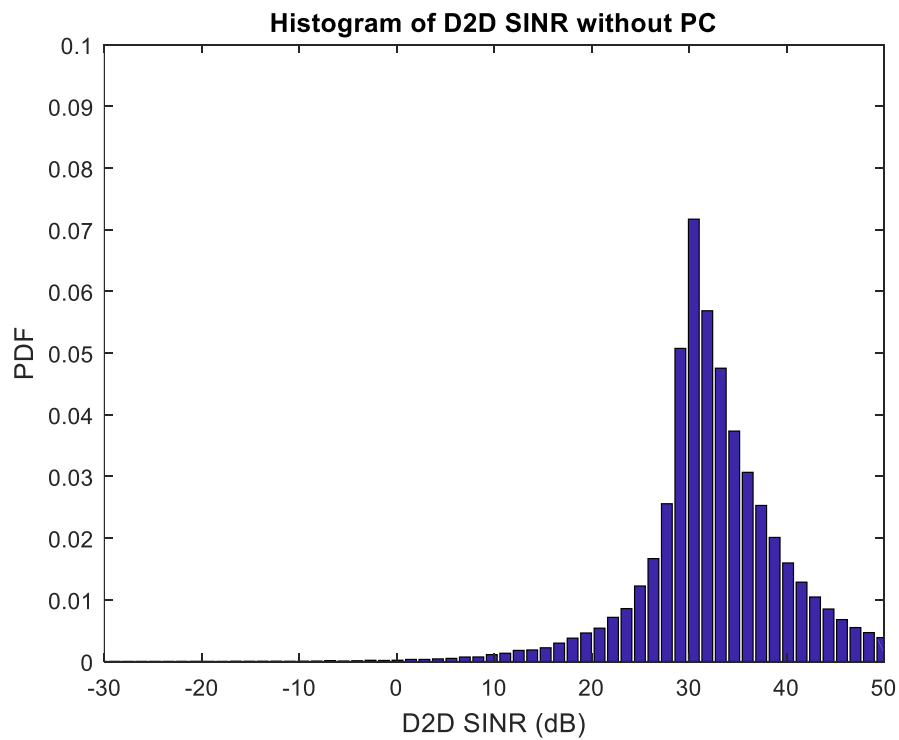
Σχήμα 5.5 PDF του INR στο D2D_rx για path loss factor 3

Στη συνέχεια δίνουμε το ιστόγραμμα του D2D_SINR με και χωρίς PC, όπου παρατηρούμε ότι ο συνδυασμός PC και παρεμβολής έχει ιδιαίτερα αρνητική επίδραση

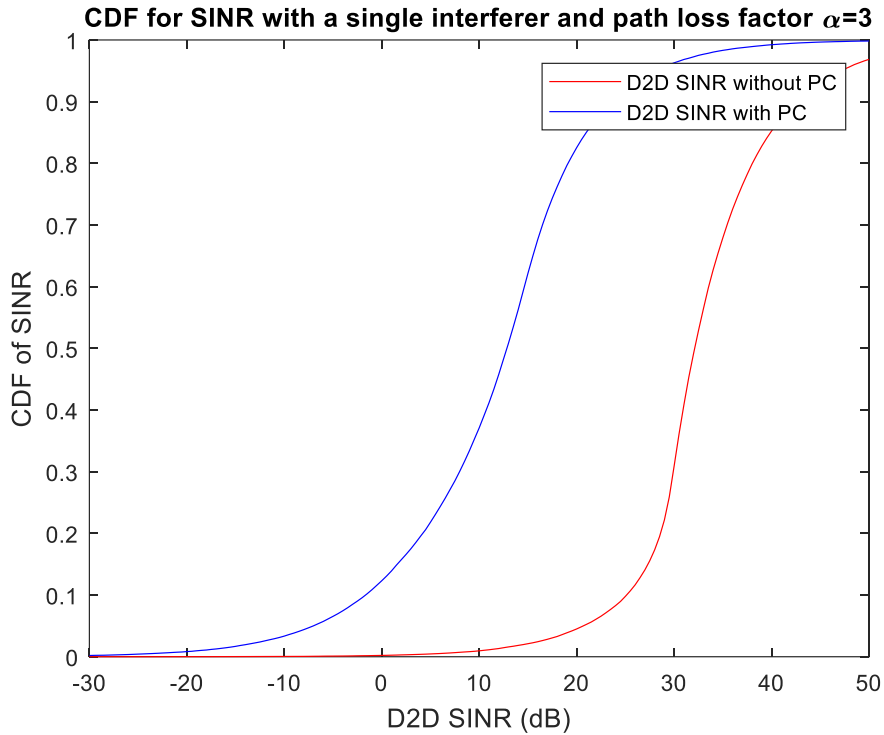
στην επιθυμητή D2D ζεύξη. Το τελευταίο αποτέλεσμα φαίνεται και από το σχεδιάγραμμα της CDF του SINR της επιθυμητής D2D ζεύξης στο Σχήμα 5.6γ



Σχήμα 5.6α PDF του D2D SINR με PC για path loss factor 3 και $INR_{th} = -20$ dB

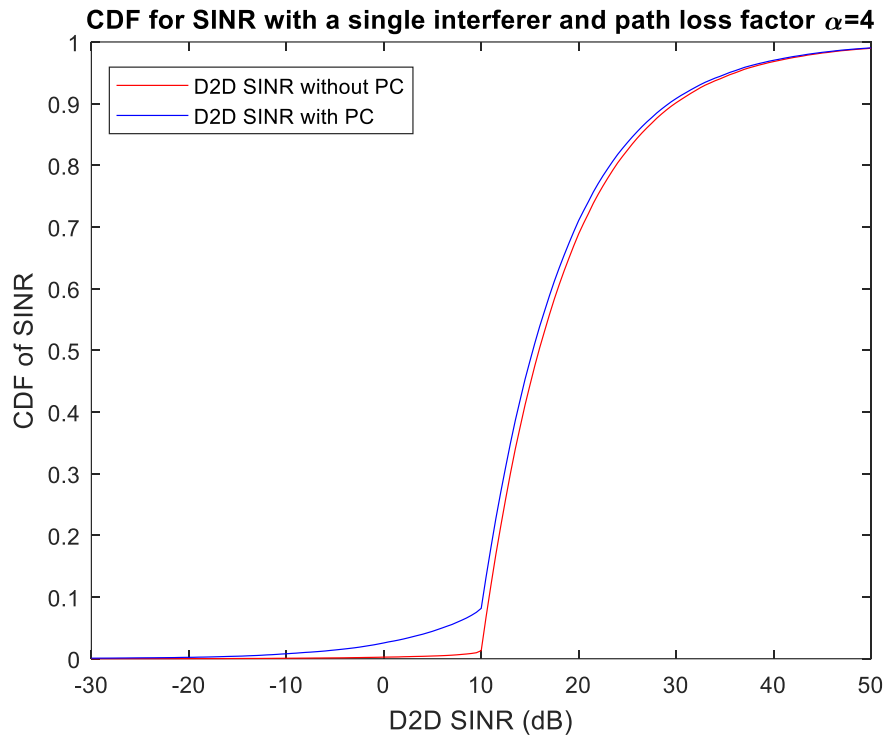


Σχήμα 5.6β PDF του D2D SINR χωρίς PC για path loss factor 3.



Σχήμα 5.6γ CDF του D2D SINR για path loss factor 3 και $INR_{th} = -20$ dB

Αντίθετα για path loss factor $n_{path} = 4$ ο συνδυασμός PC για προστασία του eNB και παρεμβολής δεν φαίνεται να έχει ιδιαίτερα αρνητική επίδραση στην επιθυμητή D2D ζεύξη γιατί η απώλεια ισχύος με την απόσταση είναι μεγαλύτερη οπότε το INR στο D2D_rx είναι μικρότερο από τον θόρυβο και το SINR είναι σχεδόν ίσο με το SNR στο D2D_rx.



Σχήμα 5.8 CDF του D2D SINR για path loss factor 4 και $INR_{th} = -20$ dB

Κώδικας Matlab για Σενάριο 1 και 2

```
clear
r_cell=1500; %cell radius in meters
d2d_dist = 100;
n_path=3; %path loss factor for interferers
phi = 2*pi;

N=-105; % noise power level
K=-35; % constant in the link budget equation

SNR_th = -20; %dB
Pt = 20; % dBm
P_interf = 20; % dBm
a=1;
num_snapshots=10^5;
for ii=1:num_snapshots

%---place the d2d tx device within the macrocell ---
d2d_tx_r=sqrt(rand(1).*(r_cell^2));
d2d_tx_loc = d2d_tx_r.*exp(j.*phi.*rand);

%---place the d2d rx device within the d2d tx coverage ---
d2d_rx_r=sqrt(rand(1).*(d2d_dist^2));
d2d_rx_loc = d2d_rx_r.*exp(j.*phi.*rand);
```

```

%---find the location of d2d rx device in the macrocell--
d2d_rx_loc_macro = d2d_tx_loc + d2d_rx_loc;

%---place the interferer in the macrocell ---
interf_tx_r=sqrt(rand(1).*(r_cell^2));
interf_tx_loc = interf_tx_r.*exp(j.*phi.*rand);

% compute distance between d2d receiver and interferer
d_ur = abs(d2d_rx_loc_macro-interf_tx_loc);

% desired d2d receiver device
P_rec_desired = Pt -N + K - 10.*n_path.*log10(d2d_rx_r); %+
10*log10(gamrnd(m_s,omega/m_s,1));

%Computation of received INR at base station
clear P_rec_I
P_rec_I = Pt -N + K - 10.*n_path.*log10(d2d_tx_r); %+
10*log10(gamrnd(m_s,omega/m_s,1));
PL = K - 10.*n_path.*log10(d2d_tx_r);

P_SNR_dB(ii) = P_rec_desired;
P_INR_dB = P_rec_I;
P_SNR_dB_new(ii) = P_rec_desired;

% calculate S/(I+N) for the D2D link
P_rec_interf = P_interf -N + K - 10.*n_path.*log10(d_ur);
P_I = 10^(P_rec_interf/10);
I_noise = P_I + 1;
P_D2D_I(ii) = P_rec_interf;
% D2D SINR without PC
P_SINR_dB(ii) = P_SNR_dB(ii)-10*log10(I_noise);
P_SINR_dB_new(ii) = P_SNR_dB_new(ii)-10*log10(I_noise);

% PC if INR at base station is above threshold
if P_INR_dB >= SNR_th
    Pt_new = SNR_th + N - a*PL;
    P_SNR_dB_new(ii) = Pt_new - N + K - 10.*n_path.*log10(d2d_rx_r);
    % D2D SINR with PC
    P_SINR_dB_new(ii) = P_SNR_dB_new(ii)-10*log10(I_noise);
end

end

bins=100;
NN=num_snapshots;

```



```

figure(1)
[n xout]=hist(P_SNR_dB, bins);
bar(xout, (n/NN)*(bins/(2*max(abs(xout))))))
axis([-30 50 0 0.1])
title('Histogram of D2D SNR without PC')
ylabel('PDF')
xlabel('D2D SNR (dB)')

```

```

figure(2)
[n2 xout1_PC]=hist(P_SNR_dB_new, bins);
bar(xout1_PC, (n2/NN)*(bins/(2*max(abs(xout1_PC)))));
axis([-30 50 0 0.1])
title('Histogram of D2D SNR with PC')
ylabel('PDF')
xlabel('D2D SNR (dB)')

```

```

SNR=[-30:0.5:50];
for kk=1:length(SNR)
    count=0;
    count_PC=0;
    for ii=1:num_snapshots
        if P_SNR_dB(ii)<=SNR(kk)
            count = count+1;
        end
        if P_SNR_dB_new(ii)<=SNR(kk)
            count_PC = count_PC+1;
        end
    end
    cdf(kk)=count/num_snapshots;
    cdf_PC(kk) = count_PC/num_snapshots;
end

```

```

figure(3)
plot(SNR, cdf, 'r-')
hold on
plot(SNR, cdf_PC, 'b-')
ylabel('CDF of SNR')
xlabel('D2D SNR (dB)')
legend('D2D SNR without PC', 'D2D SNR with PC')
title('CDF for SNR with path loss factor \alpha=3')

```

```

figure(4)
[n xout_l]=hist(P_SINR_dB, bins);

bar(xout_l, (n/NN)*(bins/(2*max(abs(xout_l))))))
axis([-30 50 0 0.1])
title('Histogram of D2D SINR without PC')
ylabel('PDF')

```

```

xlabel('D2D SINR (dB)')

figure(5)
[n2 xout_PC_I]=hist(P_SINR_dB_new, bins);
bar(xout_PC_I, (n2/NN)*(bins/(2*max(abs(xout_PC_I)))));
axis([-30 50 0 0.1])
title('Histogram of D2D SINR with PC')
ylabel('PDF')
xlabel('D2D SINR (dB)')

SINR=[-30:0.5:50];
for kk=1:length(SINR)
    count=0;
    count_PC=0;
    for ii=1:num_snapshots
        if P_SINR_dB(ii)<=SINR(kk)
            count = count+1;
        end
        if P_SINR_dB_new(ii)<=SINR(kk)
            count_PC = count_PC+1;
        end
    end
    cdf_I(kk)=count/num_snapshots;
    cdf_PC_I(kk) = count_PC/num_snapshots;
end
figure(6)
plot(SINR, cdf_I, 'r-')
hold on
plot(SINR, cdf_PC_I, 'b-')
ylabel('CDF of SINR')
xlabel('D2D SINR (dB)')
legend('D2D SINR without PC', 'D2D SINR with PC')
title('CDF for SINR with a single interferer and path loss factor \alpha=3')

figure(7)
[n2 xout_rec_I]=hist(P_D2D_I, bins);
bar(xout_rec_I, (n2/NN)*(bins/(2*max(abs(xout_rec_I)))));
axis([-30 50 0 0.1])
title('Histogram of Interference Power at D2D receiver')
ylabel('PDF')
xlabel('Interference INR (dB)')

figure(8)
scatter(0, 0, 'd')
hold on
scatter(real(d2d_tx_loc), imag(d2d_tx_loc), '*k')
hold on

```

```
scatter(real(d2d_rx_loc_macro), imag(d2d_rx_loc_macro), 'ob')
hold on
scatter(real(interf_tx_loc), imag(interf_tx_loc), 'xr')
axis([-1500 1500 -1500 1500])
legend('eNB', 'D2D_tx', 'D2D_rx', 'D2D_interferer')
```

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το σύστημα προσομοίωσης είχε σκοπό να μελετήσει την κατανομή του SNR και SINR μίας επιθυμητής D2D ζεύξης η οποία βρίσκεται τυχαία κατανεμημένη μέσα σε μία μακροκυψέλη και χρησιμοποιεί συχνότητα εκπομπής ίδια με την άνω ζεύξη (uplink) της μακροκυψέλης. Στην προσομοίωση δεν λάβαμε υπόψη την επίδραση της διάλειψης (αν και υπάρχει η πρόβλεψη στον κώδικα Matlab για λήψη με διάλειψη με κατανομή Γάμμα) ενώ το path loss model που επιλέχθηκε ήταν αρκετά απλό με βασική παράμετρο το path loss factor. Επίσης η προσομοίωση έγινε με έναν D2D παρεμβολέα αλλά είναι πολύ εύκολο να προστεθούν παραπάνω D2D παρεμβολείς. Με βάση τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείξαμε την επίπτωση στο D2D SNR μίας επιθυμητής D2D ζεύξης που έχει η χρήση ελέγχου ισχύος αλλά και το INR_th για την προστασία της άνω ζεύξης του eNB αλλά και η επίδραση στο D2D SINR παρεμβολών άλλων D2D ζεύξεων που είναι επίσης τυχαία κατανεμημένες μέσα στην μακροκυψέλη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] *Faustin Ahishakiye (June 2014). Neighbor Discovery and Resource Allocation for Device-to-Device Communication. (Διπλωματική Εργασία) University of Agder*
- [2] *Rawan Alkurd, Raed M. Shubair, Ibrahim Abualhaol (14 February 2015). Survey on Device-to-Device Communications: Challenges and Design Issues*
- [3] *Α.ΓΕΩΡΓΙΑΚΑΚΗΣ (2014) “Study of D2D/V2V Communications using the LTE ProSe Standard” . (Διπλωματική εργασία) Πανεπιστήμιο Πειραιώς*
- [4] *Salam Doumiati, Hassan Artail, David M. Gutierrez-Estevez (2014). A framework for LTE-A Proximity-based Device-to-Device Service Registration and Discovery. Procedia Computer Science*
- [4a] *Shruti Gupta , Suman Kumar , R. Zhang , S. Kalyani , K. Giridhar and L. Hanzo1. Resource Allocation for D2D Links in the FFR and SFR Aided Cellular Downlink*
- [5] *Tao He, Xinquan Ye and Lieying Luo (2016). Resource Allocation for Device-to-Device Communications Underlying Cellular Networks. International Journal of Signal Processing*
- [6] *E. SREE HARSHA¹, T. TIRUPAL²*
¹PG Scholar, GPCET, Kurnool, Andhrapradesh, India.
²Associate Professor, GPCET, Kurnool, Andhrapradesh, India
(August 2014). LTE-Advanced Cellular Networks for D2D Communications. International Journal of Scientific Engineering and Technology Research
- [7] *Magri Hicham, Noredine Abghour and Mohammed Ouzzif (February 2016). DEVICE-TO-DEVICE (D2D) COMMUNICATION UNDER LTE-ADVANCED NETWORKS. International Journal of Wireless & Mobile Networks*
- [8] *A. Rama Krishna¹ , A. S. N. Chakravarthy² and A. S. C. S. Sastry¹*
(Μάρτιος 2017). ¹Department of Electronics and Communication Engineering, K. L. University, Guntur, A.P, India

²*Department of Computer Science Engineering, J. N. T. U. K -UCEV, A. P, India*

UTILIZATION OF SC-FDMA AND OFDMA BASED UPLINK AND DOWNLINK RESOURCES IN LTE-A NETWORK ASSISTED DEVICE TO DEVICE COMMUNICATION FOR EFFECTIVE SPECTRUM MANAGEMENT

[9] *Xingqin Lin, Jeffrey G. Andrews, Amitava Ghosh, Rapeepat Ratasuk (September 2013). An Overview on 3GPP Device to Device Proximity Services*

[10] *Pavel Mach, Member, IEEE, Zdenek Becvar, Member, IEEE, and Tomas Vanek, Member, IEEE (June 2016) . In-Band Device-to-Device Communication in OFDMA Cellular Networks: A Survey and Challenges*

[11] *Chuan Ma, Weijie Wu, Ying Cui, Xinbing Wang (2015). On the Performance of Interference Cancellation in D2D-enabled Cellular Networks*

[12] *Shahid Mumtaz, Jonathan Rodriguez. Smart Device to Smart Device Communication. Springer*

[13] *Udit Narayana Kar, Debarshi Kumar Sanyal (August 2017). An overview of device-to-device communication in cellular networks. The Korean Institute of Communications and Information Sciences*

[14] *AIDILA PRADINI. Power Control and Resource Allocation for Device-to-Device Communications in Cellular Networks. KTH Information and Communication Technology. SWEDEN 2013*

[15] *Syed Tariq Shah, Jaheon Gu, Syed Faraz Hasan and Min Young Chung (2015). SC-FDMA-based resource allocation and power control scheme for D2D communication using LTE-A uplink resource. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*

[16] *Serveh Shalmashi and Slimane Ben Slimane (2014). Cooperative Device-to-Device Communications in the Downlink of Cellular Networks. IEEE Wireless Communication and Networking Conference (WCNC), Istanbul, Turkey, April 2014*

[17] *Lingyang Song, Dusit Niyato, Zhu Han, Ekram Hossain (12 March 2015). Wireless Device-to-Device Communications and Networks.*

- [18] *Thouraya Toukabri (2016). CVS: a Framework architecture for D2D-based Cellular Vehicular Services in 4G networks and beyond, 1-9*
- [19] *Dimitris Tsolkas, Eirini Liotou, Nikos Passas and Lazaros Merakos (2014). LTE-A Access, Core, and Protocol Architecture for D2D Communication. Springer International Publishing Switzerland*
- [20] *Eirini Eleni Tsiropoulou, Aggelos Kapoukakis, Symeon Papavassiliou (2016). Uplink resource allocation in SC-FDMA wireless networks: A survey and taxonomy. School of Electrical and Computer Engineering, National Technical University of Athens, Athens 15780, Greece*
- [21] *Zhibo Wang, Hui Tian, and Nannan Chen (2014). Reliability Improvement Using Power Control in Device-to-Device Networks. JOURNAL OF NETWORKS*
- [22] *ΑΝΔΡΕΑΣ ΧΑΤΖΗΔΑΚΗΣ (2015). ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΠΡΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗ & ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ. ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ*
- [23] www.us.anritsu.com .Anritsu Company (2009). LTE Resource Guide
- [24] www.sharetechnote.com *Frame Structure – Downlink*

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

ACK - Acknowledgement

APP – Application

BPSK – Binary Phase Shift Keying

CEU – Cellular Edge User

CP – Cyclic Prefix

CSMA – Carrier-sense Multiple Access

D2D – Device to device

DEU – D2D Edge User

DFFR – Dynamic Fractional Frequency Reuse

DFT – Discrete Fourier Transform

DL - Downlink

EPC – Evolved Packet Core

EU – Edge User

FDD – Frequency Division Duplex

FFR – Fractional Frequency Reuse

FRF – Frequency Reuse Factor

HSS – Home Subscriber Server

IAR – Interference Avoidance Request

ICI – Inter Cell Interference

IDFT – Inverse Discrete Fourier Transform

INR – Interference to Noise Ratio

LR – Long Range

LTE – Long Term Evolution

MAC – Medium Access Control

MBS – Macrocell Base Station

NFC – Near Field Communication

OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing

PBCH – Physical Broadcast Channel

PCFICH – Physical Control Format Indicator Channel
PDCCH – Physical Downlink Control Channel
PDN – Packet Data Network
PDSCH – Physical Downlink Shared Channel
PF – Proportional Fair
PHICH – Physical Hybrid automatic repeat request Indicator Channel
PLMN – Public Land Mobile Network
PRB – Physical Resource Blocks
PSB – Priority Subbands
P-SS – Primary Synchronization Signal
QoS – Quality of Service
QPSK – Quaternary Phase Shift Keying
RB – Resource Block
RS – Reference Signal
SBs – Subcarrier Bands
SC-FDMA – Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SFR – Soft Frequency Reuse
SIC – Successive Interference Cancellation
SNR – Signal to Noise Ratio
SR – Sort Range
S-SS – Secondary Synchronization Signal
TTI – Transmission Time Intervals
UE – User Equipment
UL - Uplink
WiFi – Wireless Fidelity
WLAN – Wireless Local Area Network
3GPP – 3rd Generation Partnership Project
16-QAM – 16 level Quadrature Amplitude Modulation