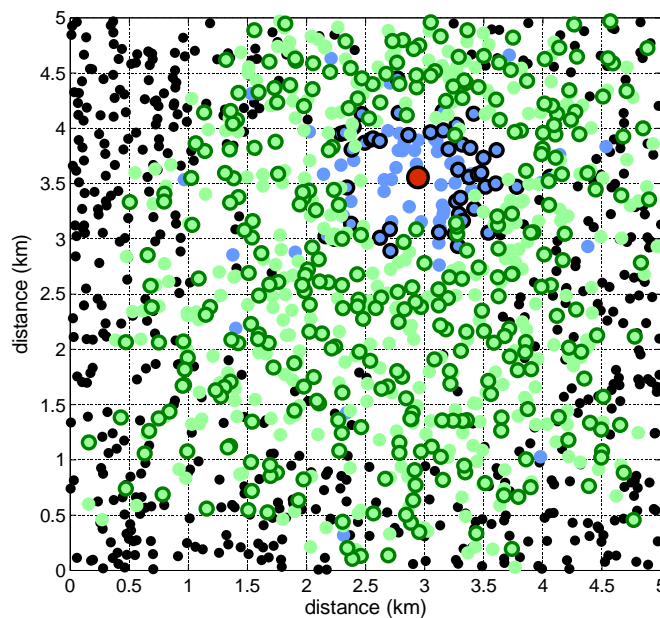


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη συστημάτων ενημέρωσης κοινού
σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης
με τη χρήση δικτύου 4G»



Του φοιτητή
Κάλφα Γεωργίου
Αρ. Μητρώου: 513065

Επιβλέπων
Αθανάσιος Ιωσηφίδης
Αναπληρωτής Καθηγητής

Ημερομηνία 18/09/2020

Τίτλος Δ.Ε.: Μελέτη συστημάτων ενημέρωσης κοινού σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης με τη χρήση δικτύου 4G

Κωδικός Δ.Ε. 18184

Όνοματεπώνυμο φοιτητή Κάλφας Γεώργιος
Όνοματεπώνυμο εισηγητή Αθανάσιος Ιωσηφίδης

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 24-10-2018

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 18-09-2020

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Κάλφα Γεωργίου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε κατά την περίοδο των ακαδημαϊκών ετών 2018-2020, στα πλαίσια του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του τμήματος “Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων” του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος υπό την επίβλεψη του κ. Αθανάσιου Ιωσηφίδη, αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος. Στη εργασία μελετώνται τα συστήματα ενημέρωσης κοινού σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης με τη χρήση δικτύου 4G. Αφορμή για την παρούσα μελέτη στάθηκε η προσπάθεια βελτίωσης των παρόντων συστημάτων ενημέρωσης κοινού όταν υπάρχουν περιπτώσεις καταστροφής, όπως για παράδειγμα σεισμοί, πυρκαγιές κ.ά., ερευνώντας κυρίως εκείνες τις περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν υπάρχουν αρκετοί διαθέσιμοι σταθμοί βάσης για την μετάδοση ενός μηνύματος έκτακτης ανάγκης και προκειμένου να καταστεί αυτό δυνατό χρησιμοποιείται επικοινωνία μεταξύ των συσκευών.

Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται τα συστήματα ενημέρωσης κοινού σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης με τη χρήση δικτύου 4G-LTE. Στις περισσότερες περιπτώσεις, όταν υπάρχουν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, πολλοί χρήστες χάνουν την κάλυψη από το σταθμό βάσης είτε λόγω βλάβης του σταθμού είτε λόγω αυξημένης τηλεπικοινωνιακής συμφόρησης. Ως πιθανός τρόπος επίλυσης του προβλήματος αυτού ερευνάται η ProSe (Proximity services) επικοινωνία, συγκεκριμένα το μοντέλο της D2D επικοινωνίας γνωστό και ως Sidelink στο πλαίσιο του LTE, που επιτρέπει την άμεση επικοινωνία μεταξύ κινητών χωρίς την παρουσία σταθμών βάσης. Στο πλαίσιο αυτό, μελετώνται οι παράμετροι που σχετίζονται με τη δυνατότητα μεταφοράς ενός μηνύματος έκτακτης ανάγκης, όταν έχει απομείνει ένας μόνο σταθμός βάσης σε μια περιοχή, ο οποίος καλύπτει ένα μικρό μόνο μέρος της. Εξετάζονται τα είδη των τηλεπικοινωνιακών κινήσεων των κινητών που βρίσκονται εντός κάλυψης (VoIP, background ή DDA και active traffic), οι παράμετροι ασυνεχούς λήψης (DRX) των εντός και εκτός κάλυψης κινητών καθώς και οι πιθανότητες σφάλματος των φυσικών καναλιών του κλασσικού LTE και των καναλιών του Sidelink. Λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους αυτές δημιουργείται ένα μοντέλο συστήματος στο λογισμικό του MATLAB για να προσομοιωθεί κατά πόσο είναι εφικτό να αποσταλεί ένα επείγον μήνυμα σε όλα (αν είναι δυνατό) τα κινητά της περιοχής, καθώς και η χρονική διάρκεια που χρειάζεται για να επιτευχθεί αυτό. Τα σχετικά αποτελέσματα που προκύπτουν μετά την προσομοίωση δείχνουν να είναι εφικτή η μεταφορά ενός μηνύματος έκτακτης ανάγκης στις συνθήκες που έχουν περιγραφεί και μάλιστα με αρκετά ικανοποιητικούς χρόνους που για μια περιοχή 25 km² μπορεί να είναι της τάξης μερικών μόλις δευτερολέπτων, ανάλογα και με την παραμετροποίηση του συστήματος.

«Study of public information systems in emergency situations using 4G communications»

George Kalfas

Abstract

In this thesis we study public information systems during emergency situations using the 4G-LTE network. In most cases, when emergency situations occur, many users lose their coverage from the base station either due to base station failure or increased telecommunication congestion. We suggest a possible solution by utilizing the ProSe (proximity services) communication, specifically, the D2D communication model also known as Sidelink in the framework of LTE, which allows direct communication between mobiles without the presence of base stations. In this context, we study the system parameters related with the capability of transferring an emergency message when a single base station has been left active in a geographical area, which can cover only a small part of it. We examine the types of telecommunication traffic (VoIP, background or DDA and active traffic) of in coverage mobiles, the discontinuous reception (DRX) parameters of in and out of coverage mobiles as well as the probabilities of error of the physical channels of classic LTE and the channels of LTE Sidelink. By taking into account these parameters, we create a system model using MATLAB so that to simulate the feasibility of transferring an emergency message to all (if possible) the mobiles of the region, together with the time required to achieve this. The derived, through simulation, results show that it is possible to convey an emergency message with the conditions described previously and with quite satisfactory times which can be in the order of just a few seconds for a geographical region of 25 km², depending on the parametrization of the system.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Αθανάσιο Ιωσηφίδη για την άψογη επιστημονική καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας και για την ουσιαστική στήριξη και βοήθειά του στις δυσκολίες που αντιμετώπισα. Επίσης, ευχαριστώ τους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη	vi
Abstract	vii
Ευχαριστίες	viii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Σχημάτων	xi
Κατάλογος Πινάκων	xi
Συντομογραφίες.....	xii
Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1: Το σύστημα κινητών επικοινωνιών LTE.....	4
1.1 Εισαγωγή.....	4
1.2 Γενική δομή του Resource grid.....	4
1.3 Δομή και κατανομή των φυσικών καναλιών	5
1.3.1 Περιεχόμενα καναλιών LTE	5
1.3.2 Κατανομή πόρων στο πλέγμα για UL/DL	6
1.3.3 PSS/SSS.....	6
1.3.4 PBCH.....	7
1.3.5 PDSCH	7
1.4 Τηλεπικοινωνιακή κίνηση	7
1.4.1 Καταστάσεις RRC IDLE και RRC Connected.....	8
1.4.2 Κίνηση φωνής (Voice over IP - VoIP)	8
1.4.3 Κίνηση background traffic ή DDA.....	8
1.4.4 Ενεργή (active) κίνηση	9
1.5 Ασυνεχής λήψη (Discontinuous Reception - DRX).....	9
1.6 Πληροφορίες συστήματος (SIB - System Block Information)	10
1.6.1 Ειδοποίηση (paging).....	11
Κεφάλαιο 2: LTE-Sidelink και Device-to-Device (D2D) επικοινωνία	14
2.1 D2D επικοινωνία.....	14
2.2 Sidelink επικοινωνία	15
2.2.1 Σενάρια κάλυψης κινητών	16
2.2.2 Κανάλια του LTE-Sidelink	16
2.3 Διαδικασία καθορισμού και επιλογής πόρων μετάδοσης.....	17
2.4 Διαδικασία αποστολής PSCCH	17

2.5 Διαδικασία αποστολής PSSCH.....	19
2.5.1 Mode 1 επικοινωνία, επιλογή υποπλαισίου και RB	19
2.5.2 Mode 2 επικοινωνία, επιλογή υποπλαισίου και RB	19
2.6 Παράδειγμα εφαρμογής.....	22
Κεφάλαιο 3: Μοντελοποίηση συστήματος	23
3.1 Μοντελοποίηση DRX και τηλεπικοινωνιακής κίνησης	23
3.1.1 Κινητά που χάνουν την κάλυψη.....	23
3.1.2 Κινητά που βρίσκονται εντός κάλυψης	23
3.1.3 Παράμετροι υπολογισμού DRX.....	23
3.1.4 Κατανομή πακέτων και υπολογισμός της άφιξής τους.....	24
3.2 Απώλειες.....	25
3.3 BLER.....	26
3.4 Επίλογος	30
Κεφάλαιο 4: Προσομοίωση και ανάλυση κώδικα συστήματος.....	31
4.1 Μεταβλητές και διάγραμμα ροής.....	31
4.2 Ανάλυση του πίνακα Mobiles και Resources	33
4.2.1 Πίνακας Mobiles	33
4.2.2 Πίνακας Resources	36
4.3 Προσομοίωση DRX διαδικασίας	37
4.4 Εύρεση εντός κάλυψης κινητών	37
4.5 Mode 1 επικοινωνία	38
4.6 Λήψεις καναλιών από mode 1 επικοινωνία	41
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα	44
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και πιθανές βελτιώσεις	53
Βιβλιογραφία.....	55
Παράρτημα Α: Κώδικας.....	56

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Κατανομή πόρων στο UL.....	5
Σχήμα 1.2: Κατανομή πόρων στο DL.....	6
Σχήμα 1.3: Κατανομή πακέτων ανά συνεδρία (Session)	7
Σχήμα 1.4: DRX κύκλοι και Timer.....	9
Σχήμα 1.5: Κατανομή SIB και SFN.....	10
Σχήμα 2.1: Δομή υποπλαισίων για Sidelink.....	15
Σχήμα 2.2: Απεικόνιση τριών σεναρίων κάλυψης.....	15
Σχήμα 2.3: Κατανομή υποπλαισίων για Mode 1	17
Σχήμα 2.4: Πλέγμα για $n_{\text{prscch}} = 55$	20
Σχήμα 3.1: BLER για το shared κανάλι και σηματοθορυβική σχέση	26
Σχήμα 3.2: BLER-SNR για το PSCCH.....	26
Σχήμα 3.3: BLER-SNR προσέγγιση για το PSCCH.....	27
Σχήμα 3.4: BLER-SNR προσέγγιση για το PBSCCH.....	27
Σχήμα 3.5: BLER-SINR προσέγγιση για το PDCCH.....	28
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ροής.....	31
Σχήμα 4.2: Πίνακας Mobiles στήλες 1-10	34
Σχήμα 4.3: Πίνακας Mobiles στήλες 11-20	34
Σχήμα 4.4: Πίνακας Resources.....	35
Σχήμα 5.1α: Πορεία κάλυψης κινητών 0-1s.....	46
Σχήμα 5.1β: Πορεία κάλυψης κινητών 1.5-4s.....	47
Σχήμα 5.2: Σύγκριση 3 σεναρίων για κινητά που λαμβάνουν την πληροφορία βάσει χρόνου	48
Σχήμα 5.3: Σενάριο 1, $\text{INC_DRX} = 1280\text{ms}$, $\text{OUT_DRX} = 1280\text{ms}$, αριθμός μεταδόσεων 8 και 15.....	48
Σχήμα 5.4: Ποσοστά λήψης κινητών και δημιουργία πομπών για $\text{PUE} = 21,26$ και 31dBm	49
Σχήμα 5.5: Λήψεις των κινητών και δημιουργία πομπών βάσει του κατωφλίου	50
Σχήμα 5.6: Σενάριο 1, ποσοστά λήψης κινητών και δημιουργίας πομπών βάσει κύκλου DRX.....	50
Σχήμα 5.7: Σενάριο 1, ποσοστά λήψης κινητών για διαφορετικές τιμές πυκνότητας	51

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Τα κανάλια του LTE	4
Πίνακας 1.2: Υποπλαίσια αφύπνισης του UE για FDD.....	11
Πίνακας 2.1: TRP Bitmap	19
Πίνακας 2.2: Καθορισμός X_{trp} και K_{trp}	20
Πίνακας 4.1: Πίνακας Mobiles στήλες 1-10	32
Πίνακας 4.2: Πίνακας Mobiles στήλες 11-20	33
Πίνακας 5.1: Παράμετροι προσομοίωσης συστήματος	43
Πίνακας 5.2: Παράμετροι για 1 ^ο σενάριο.....	44
Πίνακας 5.3: Παράμετροι για 2 ^ο σενάριο.....	45
Πίνακας 5.4: Παράμετροι για 3 ^ο σενάριο.....	45

Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
3GPP	3 rd Generation Partnership Program
D2D	Device-to-Device
CDMA	Code Division Multiple Access
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
CAZAC	Constant Amplitude Zero Autocorrelation Codes
CDM	Code Division Multiplexing
CQI	Channel Quality Indicator
DCCH	Dedicated Control Channel
DCH	Dedicated Channel
DCI	Downlink Control Information
DDA	Diverse Data Applications
DL-SCH	Downlink shared channel
DRX	Discontinuous Reception
eNB	eNodeB
eNodeB	E-UTRAN NodeB
EWTS	Earthquake and Tsunami Warning System
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
HARQ	Hybrid Automatic Repeat-request
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
LTE	Long Term Evolution
MCS	Modulation and Coding Scheme
MIB	Master Information Block
OFDM	Orthogonal Frequency-division Multiplexing
PBCH	Physical Broadcast Channel
PCFICH	Physical Control Format Information Channel
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PF	Paging Frame
PO	Paging Occasion

PHICH	Physical Hybrid-ARQ Control Channels
PRB	Physical Resource Block
ProSe	Proximity Services
PSBCH	Physical Sidelink Broadcast Channel
PSCCH	Physical Sidelink Control Channel
PSDCH	Physical Sidelink Discovery Channel
P-SLLS	Primary Sidelink Synchronization Signals
PSS	Primary Synchronization Signals
PSSCH	Physical Sidelink Shared Channel
PUCCH	Physical Uplink Control Channel
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
QAM	Quadratic Amplitude Modulation
QPSK	Quadratic Phase Shift Keying
RRC	Radio Resource Control
RSRP	Receiver Signal Received Power
SCI	System Control Information
SIB	System Information Block
SINR	Signal-to-noise-interference ratio
SNR	Signal-to-noise ratio
SRS	Sounding Reference Signal
SSS	Secondary Synchronization Signals
TRP	Time Repetition Pattern
UE	User Equipment

Εισαγωγή

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των συστημάτων έκτακτης ανάγκης μέσω του δικτύου LTE-4G. Στις περισσότερες περιπτώσεις, όταν υπάρχουν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, πολλοί χρήστες χάνουν την κάλυψη από το σταθμό βάσης είτε λόγω βλάβης του σταθμού είτε λόγω αυξημένης τηλεπικοινωνιακής συμφόρησης. Για τον λόγο αυτό εξετάζουμε στην παρούσα εργασία την ProSe επικοινωνία, η οποία έχει το προτέρημα της Device-to-Device (D2D) επικοινωνίας, που επιτρέπει την άμεση επικοινωνία μεταξύ δύο κινητών, χωρίς την ύπαρξη σταθμού βάσης. Η άμεση επικοινωνία μπορεί, ανάλογα με το σενάριο, να παρέχει αρκετά οφέλη. Για τον τελικό χρήστη, μπορεί να προσφέρει πολύ υψηλές ταχύτητες δεδομένων χάρη στην εγγύτητα των συσκευών επικοινωνίας. Για το συνολικό σύστημα παρέχει αύξηση της χωρητικότητας μειώνοντας το φόρτο κίνησης από την κυψελοειδή υποδομή. Αυτή η διαδικασία στο πλαίσιο του LTE χαρακτηρίζεται ως Sidelink [1].

Σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης αποστέλλεται από τον σταθμό βάσης στα κινητά εντός κάλυψης ένα μήνυμα EWTS ή CMAS. Αυτό το μήνυμα περιέχει πληροφορίες που ονομάζονται SIB, οι οποίες παρέχουν στο κινητό διαφόρων ειδών πληροφορίες ανάλογα με την αρίθμηση (SIB1, SIB2 κτλ.) και ανάμεσα σε αυτές υπάρχουν και μηνύματα έκτακτης ανάγκης. Παρότι λοιπόν στέλνεται ένα τέτοιο μήνυμα από το σταθμό βάσης προς τα κινητά εντός κάλυψης, εκμεταλλευόμαστε την προαναφερθείσα ιδιαιτερότητα του D2D και εξετάζουμε κατά πόσο είναι εφικτό να σταλεί ένα μήνυμα ανάγκης από κινητό σε κινητό, τι χρονική διάρκεια απαιτείται για να επιτευχθεί αυτή η αποστολή και εν τέλει πόσοι χρήστες το λαμβάνουν.

Προκειμένου να εξετάσουμε τα παραπάνω, προσομοιώνουμε το προτεινόμενο σύστημα στο λογισμικό του Matlab για ένα αστικό περιβάλλον όπου έχει απομείνει μόνο ένας ενεργός σταθμός βάσης. Λαμβάνουμε υπόψη το DRX (ασυνεχής λήψη) και το είδος της τηλεπικοινωνιακής κίνησης των κινητών [2] για να έχουμε ένα όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικό μοντέλο. Καθορίζουμε επίσης κάποια όρια (SNR, εναπομείνασα ισχύς μπαταρίας, σωστή αποκωδικοποίηση του PDCCH/SIB) που πρέπει να τηρούν τα εντός κάλυψης κινητά, για να μπορούν να γίνουν πομποί για την D2D επικοινωνία. Υπολογίζοντας τη συματοθορυβική σχέση που έχει ένα κινητό όταν εκπέμπει ο σταθμός βάσης βάσει ενός γενικά αποδεκτού μοντέλου ραδιοδιάδοσης εκτιμούμε το BLER και άρα στην πιθανότητα σωστής αποκωδικοποίησης των καναλιών PDCCH και SIB. Για να λάβει ένα κινητό το μήνυμα (EWTS) του σταθμού βάσης πρέπει να αποκωδικοποιήσει πρώτα το PDCCH σωστά, μετά το SIB1 και τέλος το SIB11 που περιέχει το μήνυμα έκτακτης ανάγκης. Εφόσον λοιπόν κάποιο κινητό γίνεται πομπός χωρίζουμε την επικοινωνία σε 2 στάδια. Χαρακτηρίζουμε με βάση όσα αναφέρονται στο [3] ως mode 1 την κατάσταση όπου ένα εντός κάλυψης κινητό-πομπός επικοινωνεί με ένα εκτός κάλυψης κινητό και ως mode 2 την επικοινωνία ενός εκτός κάλυψης κινητού-πομπού με ένα άλλο εκτός κάλυψης κινητό. Στο πλαίσιο αυτό προσομοιώνουμε τα κανάλια sidlenk (PBSCCH, PSCCH, PSSCH) και υπολογίζουμε τα BLER τους. Η προσομοίωση επαναλαμβάνεται για πολλές διαφορετικές τυχαίες χωροθετήσεις σταθμού βάσης και κινητών, προκειμένου να καταλήξουμε σε μια μέση τιμή για τον αριθμό των κινητών και τον χρόνο που απαιτείται για να λάβουν το μήνυμα εκτάκτου ανάγκης. Μελετάμε τέλος διαφορετικά σενάρια και ένα σύνολο παραμέτρων του μοντέλου που έχουν σημαντική επίδραση στην απόδοση του προτεινόμενου συστήματος.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις προσομοιώσεις συμπεραίνουμε ότι το προαναφερθέν μοντέλο που εκμεταλλεύεται την επικοινωνία μεταξύ των κινητών φαίνεται να είναι εφικτό ως προς την μεταφορά ενός μηνύματος έκτακτης ανάγκης και μάλιστα με αρκετά ικανοποιητικούς χρόνους.

Η εργασία χωρίζεται σε έξι επιμέρους κεφάλαια.

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο σύστημα επικοινωνιών LTE, την δομή του πλέγματος και των φυσικών καναλιών που το διέπουν. Επίσης αναφέρονται τα είδη τηλεπικοινωνιακών κινήσεων των κινητών, αναλύοντας και τις βασικές διαδικασίες του DRX και SIB.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται εμβάθυνση της έννοιας της D2D επικοινωνίας και του Sidelink. Κατόπιν, αναλύονται οι mode 1 και 2 τύποι επικοινωνίας, τελειώνοντας με ένα παράδειγμα εφαρμογής της Sidelink επικοινωνίας.

Το 3^ο κεφάλαιο αποτελεί την μοντελοποίηση του συστήματος και περιέχει τις παραμέτρους που επιλέχθηκαν για τη προσομοίωση, καθώς και την προσομοίωση του DRX και τηλεπικοινωνιακής κίνησης

Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε στην διπλωματική με ένα διάγραμμα ροής αλλά και επιμέρους ανάλυση κομματιών κώδικα, όπου αυτό κρίθηκε απαραίτητο.

Στο 5^ο κεφάλαιο δίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ανάλογα με τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν

Τέλος το 6^ο κεφάλαιο περιέχει τα συμπεράσματα και τις μελλοντικές πιθανές βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν.

Κεφάλαιο 1: Το σύστημα κινητών επικοινωνιών LTE

1.1 Εισαγωγή

Το σχήμα μετάδοσης LTE downlink βασίζεται σε OFDM που είναι ένα ελκυστικό σχήμα μετάδοσης για διάφορους λόγους. Λόγω της σχετικά μεγάλης διάρκειας των συμβόλων OFDM σε συνδυασμό με ένα κυκλικό πρόθεμα (cyclic prefix), το OFDM παρέχει υψηλό βαθμό σταθερότητας έναντι της επιλεκτικότητας συχνότητας καναλιού. Αν και η αλλοίωση που οφείλεται σε ένα κανάλι επιλογής συχνότητας μπορεί, καταρχήν, να αντιμετωπιστεί με εξίσωση από την πλευρά του δέκτη, η πολυπλοκότητα μιας τέτοιας εξισορρόπησης αρχίζει να γίνεται δύσκολη για εφαρμογή σε μια συσκευή σε μεγαλύτερα εύρη ζώνης και ειδικά σε συνδυασμό με προηγμένα σχήματα μετάδοσης πολλαπλών κεραιών, όπως η χωρική πολυπλεξία (spatial multiplexing). Επομένως, το OFDM είναι μια ευέλικτη επιλογή για LTE για την οποία υπάρχει ένα μεγάλο εύρος ζώνης.

Η ανερχόμενη ζεύξη LTE (uplink) βασίζεται επίσης στη μετάδοση OFDM. Ωστόσο, για να ενεργοποιηθεί η υψηλή ισχύς απόδοσης του ενισχυτή στην πλευρά της συσκευής, λαμβάνονται διαφορετικά μέσα για τη μείωση της κυβικής μέτρησης των μεταδόσεων uplink. Μία από τις βασικές αρχές του LTE είναι η μετάδοση κοινόχρηστου καναλιού (shared channel), που είναι πόροι χρονικής συχνότητας που μοιράζονται δυναμικά μεταξύ των χρηστών. Ο προγραμματιστής (scheduler) είναι μέρος του επιπέδου MAC (αν και συχνά θεωρείται καλύτερα ως ξεχωριστή οντότητα) και ελέγχει την εκχώρηση πόρων uplink και downlink σε σχέση με το λεγόμενο PRB. Αυτά τα ζευγάρια αντιστοιχούν σε 1ms με εύρος ζώνης 180KHz. Το φυσικό επίπεδο είναι υπεύθυνο για την κωδικοποίηση, επεξεργασία HARQ, διαμόρφωση, επεξεργασία πολλαπλών κεραιών και χαρτογράφηση του σήματος στους κατάλληλους πόρους στο πεδίο της χρονικής συχνότητας. Διαχειρίζεται επίσης τη χαρτογράφηση των καναλιών μεταφοράς σε φυσικά κανάλια.

Η μετάδοση δεδομένων σε downlink, uplink και sidelink χρησιμοποιεί τους τύπους καναλιών μεταφοράς DL-SCH, UL-SCH και SL-SCH, αντίστοιχα. Υπάρχει το πολύ ένα ή, στην περίπτωση χωρικής πολυπλεξίας, 7 ζευγάρια μπλοκ μεταφοράς ανά TTI σε DL-SCH, UL-SCH, ή SL-SCH. Το φυσικό κανάλι αντιστοιχεί στο σύνολο των πόρων χρονικής συχνότητας που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ενός συγκεκριμένου καναλιού μεταφοράς και κάθε κανάλι μεταφοράς χαρτογραφείται σε ένα αντίστοιχο φυσικό κανάλι.

Εκτός από τα φυσικά κανάλια με αντίστοιχο κανάλι μεταφοράς, υπάρχουν επίσης φυσικά κανάλια χωρίς αντίστοιχο κανάλι μεταφοράς. Αυτά τα κανάλια, γνωστά ως κανάλια ελέγχου L1 / L2, χρησιμοποιούνται για πληροφορίες ελέγχου κατερχόμενης ζεύξης (DCI), παρέχοντας στη συσκευή τις απαραίτητες πληροφορίες για σωστή λήψη και αποκωδικοποίηση της μετάδοσης δεδομένων downlink, πληροφορίες ελέγχου uplink (UCI) που χρησιμοποιούνται για την παροχή του χρονοδιαγράμματος και το πρωτόκολλο HARQ με πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της συσκευής [1].

1.2 Γενική δομή του Resource grid

Στο LTE (Long Term Evolution) ένα σήμα είναι οργανωμένο σε πλαίσια (frames) των 10ms, καθένα από τα οποία αποτελείται από υποπλαίσια (subframes) των 1ms τα οποία με τη σειρά τους χωρίζονται σε slot των 0.5ms. Αυτά τα υποπλαίσια περιλαμβάνουν 14 OFDM σύμβολα και κάθε OFDM σύμβολο περιλαμβάνει πολλά QPSK ή QAM σύμβολα. Ανάλογα με το εύρος ζώνης συχνοτήτων που επιλέγεται -το οποίο είναι αρκετά ευέλικτο στο LTE με εύρη ζώνης που κυμαίνονται σε 1.4 ,3 ,5 ,10 ,15 και 20MHz- έχουμε αντίστοιχα 6,15,25,50,75 και 100 Resource Blocks ή για συντομία (όπως θα

αναφέρονται από εδώ και στο εξής) RBs. Το κάθε RB αποτελείται από 7 σύμβολα (για κανονικό cyclic prefix) και 12 υποφέροντα. Οι μεταδόσεις χρηστών Uplink αποτελούνται από δεδομένα χρήστη uplink (PUSCH), αιτήματα τυχαίας πρόσβασης (PRACH), κανάλια ελέγχου χρήστη (PUCCH) και σήματα αναφοράς ήχου (SRS). Οι μεταδόσεις FDD και TDD uplink έχουν τα ίδια φυσικά κανάλια και σήματα. Η μόνη διαφορά είναι ότι τα πλαίσια TDD περιλαμβάνουν ένα ειδικό υποπλαίσιο, μέρος του οποίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετάδοση SRS και PRACH uplink. Το παρακάτω σχήμα 1.1 δείχνει μέρος ενός πλαισίου ανερχόμενης ζεύξης LTE και περιέχει μια κατανομή για κάθε τύπο καναλιού ανερχόμενης ζεύξης. Το σχήμα ισχύει τόσο για TDD όσο και για FDD. Ο Χρήστης Α έχει εκχώρηση PUSCH [RB 2, slot 0-1] και ο Χρήστης Β έχει κατανομή PUSCH [RB 9-13, slot 0-1].

Στις επόμενες ενότητες περιγράφονται τα χαρακτηριστικά του LTE που σχετίζονται με το μοντέλο που αναπτύχθηκε για τη μεταφορά των επειγόντων μηνυμάτων με τη χρήση της ProSe επικοινωνίας. Ειδικότερα, δίνεται έμφαση στην κάτω ζεύξη για την επικοινωνία του ΣΒ με τα κινητά που είναι εντός κάλυψης.

1.3 Δομή και κατανομή των φυσικών καναλιών

1.3.1 Περιεχόμενα καναλιών LTE

Στον πίνακα που ακολουθεί βλέπουμε τα κανάλια που χρησιμοποιούνται στο LTE και την πληροφορία που μεταφέρουν.

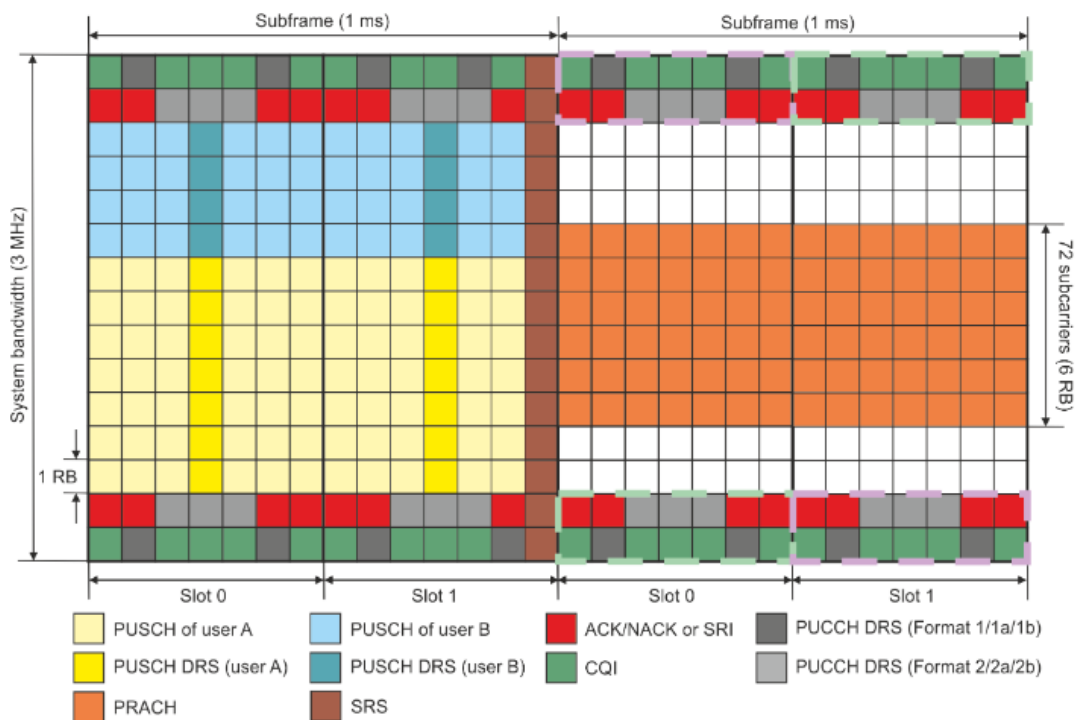
Πίνακας 1.1 Τα κανάλια του LTE

Φυσικό Κανάλι	Πληροφορία	UL/DL
PSS (Primary Sync. Channel)	Αρχικός συγχρονισμός του UE με το δίκτυο και την κυψέλη	DL
SSS (Secondary Sync. Channel)		DL
PBCH (Broadcast Channel)	Μεταφέρει το κανάλι μεταφοράς BCH	DL
PDDCH (Downlink Control)	Μεταφέρει Downlink Control Information(DCI): Ενημερώνει το UE για την εκχώρηση πόρων των καναλιών PCH και DL-SCH και πληροφορίες HARQ του DL-SCH	DL
PCFICH (Control Format Info)	Ενημερώνει το UE σχετικά με τον αριθμό των OFDM συμβόλων που χρησιμοποιούνται για το PDCCH	DL
PHICH (HARQ Indicator)	Μεταφέρει τα ACK/NACK του HARQ για μεταδόσεις της άνω	DL

	ζεύξης	
PDSCH (Downlink Shared)	Μεταφέρει το DL-SCH και το PCH.	DL
PUCCH (Uplink Control)	Μεταφέρει Uplink Control Information (UCI): HARQ ACK/NACK, CQI, δείκτες για την χωρική πολυπλεξία (PMI, RI).	UL
PUSCH (Uplink Shared)	Μεταφέρει το UL-SCH.	UL

1.3.2 Κατανομή πόρων στο πλέγμα για UL/DL

Η κατανομή των καναλιών στις uplink συχνότητες για ένα σύστημα 3MHz φαίνεται παρακάτω.

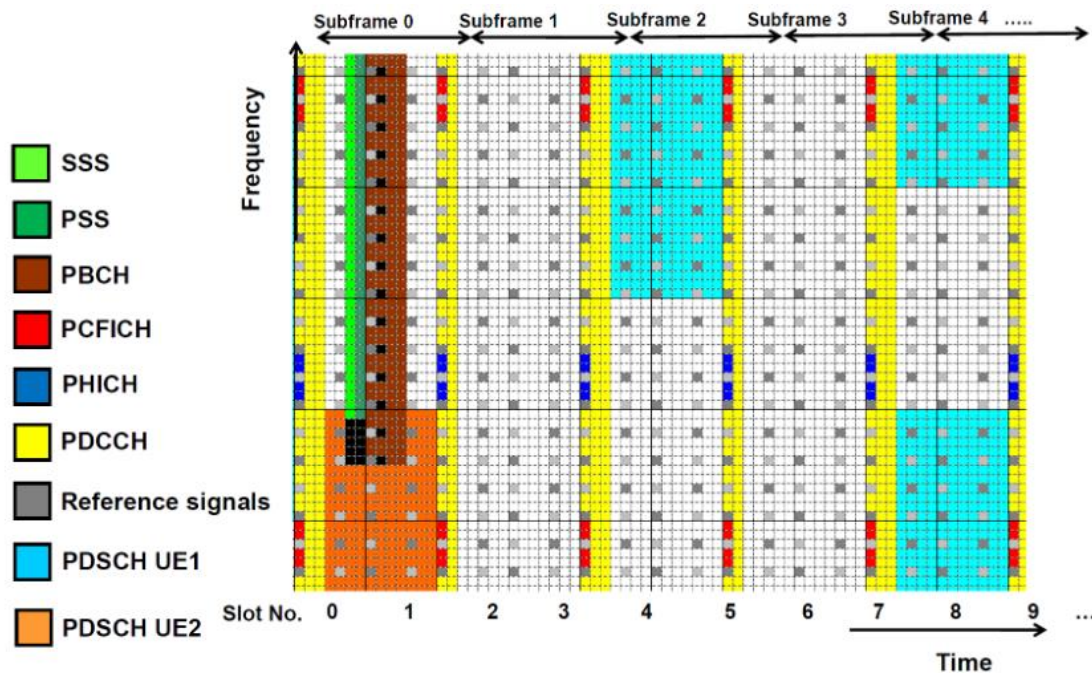


Σχήμα 1.1 Κατανομή πόρων στο UL [4]

1.3.3 PSS/SSS

Το PSS κατασκευάζεται από Zadoff-Chu ακολουθίες μήκους 63 με εξαιρετικές ιδιότητες συσχέτισης. Χρησιμοποιούνται 3 διαφορετικές ακολουθίες, μια για κάθε cell ID (0,1,2) και χρησιμοποιούνται 62 υποφέροντα στο κέντρο του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Τα υπόλοιπα υποφέροντα μέχρι το 72 μένουν κενά. Για τα SSS χρησιμοποιούνται κυκλικές μετατοπίσεις ακολουθιών μήκους 31 με πολύ καλές ιδιότητες συσχέτισης. Δύο διαφορετικές ακολουθίες χρησιμοποιούνται σε κάθε cell (SS0 και SS1), Ο συνδυασμός SSS0-PSS δείχνει την αρχή του frame, ο συνδυασμός SSS1-PSS δείχνει το μέσο του

frame. Ορίζονται επίσης 168 μοναδικοί συνδυασμοί μετατοπίσεων των SSS0 και SS1 οι οποίοι καθορίζουν το CellID group [2].



Σχήμα 1.2 Κατανομή πόρων στο DL [5]

1.3.4 PBCH

Αυτό το κανάλι δεσμεύει πάντα τα 6 μεσαία RBs του resource grid, πιο συγκεκριμένα τα 72 κεντρικά υποφέροντα και βρίσκεται πάντα στις downlink συχνότητες χρησιμοποιώντας διαμόρφωση QPSK. Το κανάλι στέλνεται μια φορά κάθε 10 ms στο πρώτο υποπλαίσιο κάθε πλαισίου, οπότε χρειάζονται 4 συνεχόμενα πλαίσια για να σταλεί ένα κανάλι μεταφοράς (Transport Block).

1.3.5 PDSCH

Αυτή η υποενοότητα εξηγεί την κωδικοποίηση καναλιού μεταφοράς DL-SCH. Ένα μπλοκ μεταφοράς εισέρχεται στην αλυσίδα επεξεργασίας σε κάθε προγραμματισμένο υποπλαίσιο. Τα μπλοκ μεταφοράς κωδικοποιούνται και ταιριάζουν με την χωρητικότητα bit καναλιού PDSCH. Η χωρητικότητα PDSCH εξαρτάται από τις κατανομές PRB, το σχήμα διαμόρφωσης και το σχήμα μετάδοσης. Όλα τα SIB εκπέμπονται από το PDSCH.

1.4 Τηλεπικοινωνιακή κίνηση

Το LTE έχει σχεδιαστεί για να παρακολουθεί τη σημερινή ραγδαία αυξανόμενη κυκλοφορία δεδομένων. Έχει καταστεί αναγκαιότητα για ενίσχυση του συστήματος LTE προκειμένου να επιτευχθούν υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων με λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Το LTE-A στοχεύει να υποστηρίξει μέγιστο ρυθμό δεδομένων 1Gbps το downlink (DL) εκτός από τις υπάρχουσες δυνατότητες LTE. Ο αυξημένος ρυθμός δεδομένων επιτυγχάνεται υιοθετώντας υψηλότερη μετάδοση εύρους ζώνης με συγκέντρωση φορέα, διαμόρφωση υψηλότερης τάξης, προηγμένες τεχνικές κωδικοποίησης και με προηγμένα συστήματα πολλαπλών κεραιών. Υποστήριξη για αυτές τις δυνατότητες έχει ως αποτέλεσμα την εξάντληση της μπαταρίας των συσκευών. Η χρήση των έξυπνων

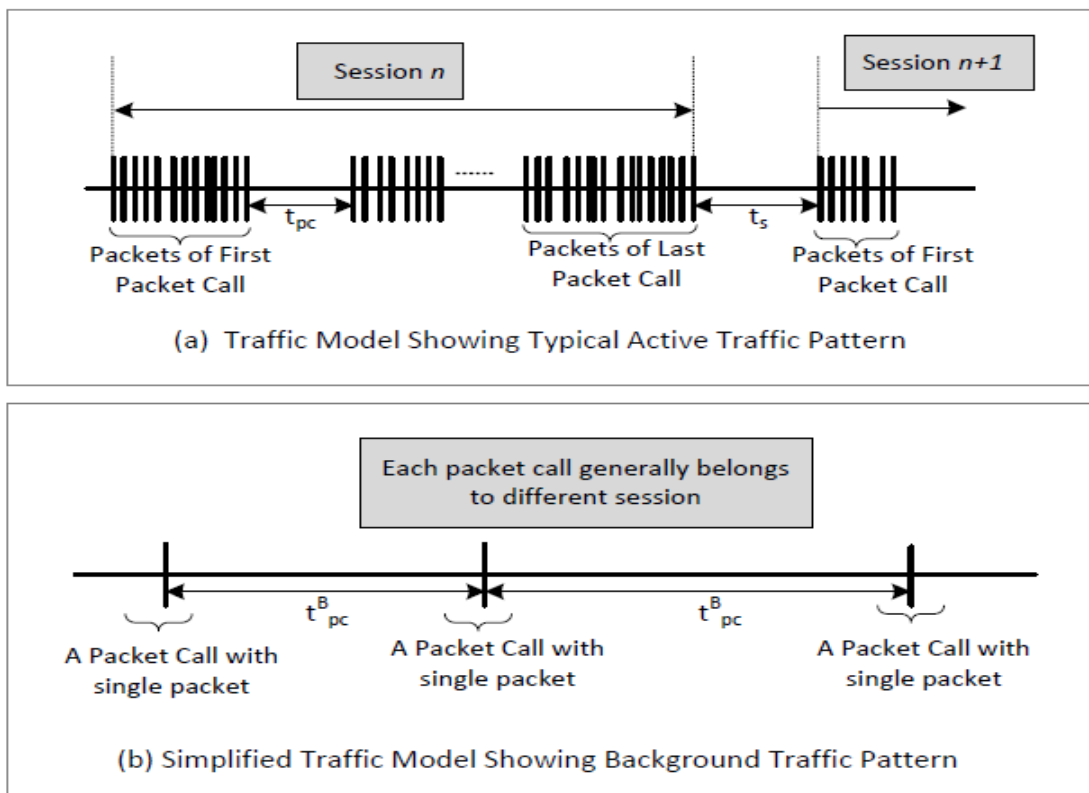
συσκευών (smartphones, tablets κτλ.) έχει δημιουργήσει αυξημένη τηλεπικοινωνιακή κίνηση στο LTE. Αυτές οι έξυπνες συσκευές έχουν επίσης γεννήσει αρκετές νέες εφαρμογές για κινητά στο Διαδίκτυο που ονομάζονται πολυμορφικές εφαρμογές δεδομένων (DDA). Τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας που δημιουργούνται από το DDA είναι αρκετά διαφορετικά από εκείνα των παραδοσιακών εφαρμογών Διαδικτύου. Το DDA εν γένει δημιουργεί μικρά πακέτα πληροφορίας ανάλογα με την κατάσταση του κινητού (RRC_Connected ή Idle) και το πακέτο που είναι να σταλεί [6].

1.4.1 Καταστάσεις RRC IDLE και RRC Connected

Όταν το κινητό βρίσκεται σε idle κατάσταση τότε δεν λαμβάνει μέρος στην λήψη των προαναφερθέντων πακέτων και δεν πραγματοποιεί καμία ενέργεια. Στην περίπτωση που το κινητό είναι σε RRC Connected —και σε ό,τι αφορά την κατανομή των πακέτων— μπορούμε να διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις οι οποίες είναι VoIP, Background traffic ή DDA και Active traffic.

1.4.2 Κίνηση φωνής (Voice over IP - VoIP)

Αυτή η περίπτωση περιγράφει την επικοινωνία μέσω φωνής που μπορεί να έχουν δύο κινητά μεταξύ τους. Αυτά τα πακέτα φωνής έρχονται κάθε 20ms. Η φωνητική δραστηριότητα μεταφράζεται σε bit streams που υιοθετούν τον Adaptive Multirate (AMR) codec, το οποίο με ρυθμό κωδικοποιητή 12,2 kbps επιστρέφει πακέτα μεγέθους 320 bit κάθε 20 ms κατά τη διάρκεια της ομιλίας και 120 bit από Silence Descriptor (SID) πακέτα κάθε 160ms κατά τη διάρκεια της σιωπής [6].



Σχήμα 1.3 Κατανομή πακέτων ανά συνεδρία (Session) [7]

1.4.3 Κίνηση background traffic ή DDA

Λόγω της αυξανόμενης δημοτικότητας της πρόσβασης στο Διαδίκτυο μέσω του LTE δικτύου από έξυπνες συσκευές, πολλές νέες εφαρμογές (όπως εφαρμογές κοινωνικής δικτύωσης, εφαρμογές

ενημέρωσης καιρού, διαδικτυακά παιχνίδια και ούτω καθεξής), δημιουργούν μικρά πακέτα, ακόμη και όταν η συσκευή είναι στην χωρίς επίβλεψη λειτουργία (unattended mode). Αυτό το χαρακτηρίζουμε ως background traffic.

1.4.4 Ενεργή (active) κίνηση

Αυτό το μοντέλο αναφέρεται σε ένα είδος τηλεπικοινωνιακής κίνησης που αφορά streaming, real time gaming και άλλα παρόμοια. Αποτελείται συνήθως από πολλές συνεδρίες με εκθετική κατανομή κατά την άφιξη στο χρονικό πλαίσιο (ts) όπως φαίνεται στο Σχ. 1.3. Κάθε συνεδρία active traffic αποτελείται από πολλές κλήσεις πακέτων με εκθετικά κατανεμημένες ενδιάμεσες ώρες άφιξης πακέτου κλήσης (tpc).

Στο Σχ. 1.3 παρατηρούμε την κατανομή των πακέτων σε κάθε συνεδρία (Session). Στην περίπτωση (α) έχουμε μια τυπική γεωμετρική κατανομή που ακολουθούν τα πακέτα σε κάθε συνεδρία και στην (β) μια εκθετική κατανομή για την άφιξη των πακέτων, όπως αυτά περιγράφονται στο [7]. Στην παρούσα εργασία θεωρούμε ότι μια συνεδρία είναι αρκετή για την αποστολή των πακέτων, καθώς ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ των συνεδριών είναι 60s και άρα καθίσταται πολύ μεγάλος για να μοντελοποιηθεί.

1.5 Ασυνεχής λήψη (Discontinuous Reception - DRX)

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως μια συσκευή μπορεί να είναι είτε RRC Connected είτε RRC IDLE μετά την ενεργοποίησή της. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4, η μετάβαση από τη μία κατάσταση στην άλλη εξαρτάται από την τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Το δίκτυο εκτελεί ένα χρονόμετρο αδράνειας που ονομάζεται RRC χρονόμετρο αδράνειας (RRC Inactivity Timer), για να ρυθμίσει τη συσκευή σε κατάσταση IDLE. Όταν δεν υπάρχει δραστηριότητα πακέτου για μεγάλη διάρκεια (ίση με τον RRC Inactivity Timer) το UE μεταβαίνει σε κατάσταση IDLE από κατάσταση Connected. Ο Timer επαναφέρεται με οποιαδήποτε δραστηριότητα δεδομένων uplink ή downlink. Στο LTE, το UE μπορεί να διαμορφωθεί με μηχανισμό DRX από το RRC τόσο στην Connected όσο και στην Idle κατάσταση. Ωστόσο, οι παράμετροι λειτουργίας και διαμόρφωσης DRX είναι διαφορετικοί σε αυτές τις καταστάσεις. Επειδή η DRX λειτουργία λαμβάνει χώρα κυρίως στην Connected κατάσταση θα εστιάσουμε το ενδιαφέρον μας κυρίως σε αυτήν.

Το DRX καθορίζεται από τις εξής παραμέτρους:

- T_{ON} , On Duration Timer
- T_I , DRX Inactivity Timer
- T_{LC} , Long DRX Cycle
- T_{SC} , Short DRX Cycle
- N_{SC} , drxShortCycleTimer (προαιρετικό στοιχείο)

Ένα UE με διαμόρφωση DRX παρακολουθεί συνεχώς το PDCCH για πιθανή μετάδοση πακέτων DL όταν το T_I , είναι ενεργό. Εάν εκτελείται το T_I , επανεκκινείται σε οποιαδήποτε ένδειξη πακέτου DL κατά τη μετάδοση πακέτων PDCCH ή UL. Κατά τη λήξη του T_I , το UE εισέρχεται σε σύντομο κύκλο DRX. Μετά από διαδοχικούς σύντομους κύκλους NSC, το UE εισέρχεται σε μεγάλο κύκλο DRX. Εάν δεν έχει ρυθμιστεί σύντομος κύκλος DRX, το UE εισέρχεται σε μεγάλο DRX κύκλο κατά τη λήξη του T_I . Το σύντομο DRX ενδέχεται να μην έχει ρυθμιστεί για τηλεπικοινωνιακή κίνηση τύπου background όπου η εξοικονόμηση ενέργειας είναι πρωταρχικού ενδιαφέροντος. Κατά τη διάρκεια

κάθε DRX κύκλου, το UE παραμένει «ξύπνιο» παρακολουθώντας το PDCCH για περίοδο T_{ON} και παραμένει σε «ύπνο» για τον υπόλοιπο κύκλο που ονομάζεται περίοδος ύπνου (sleep period).

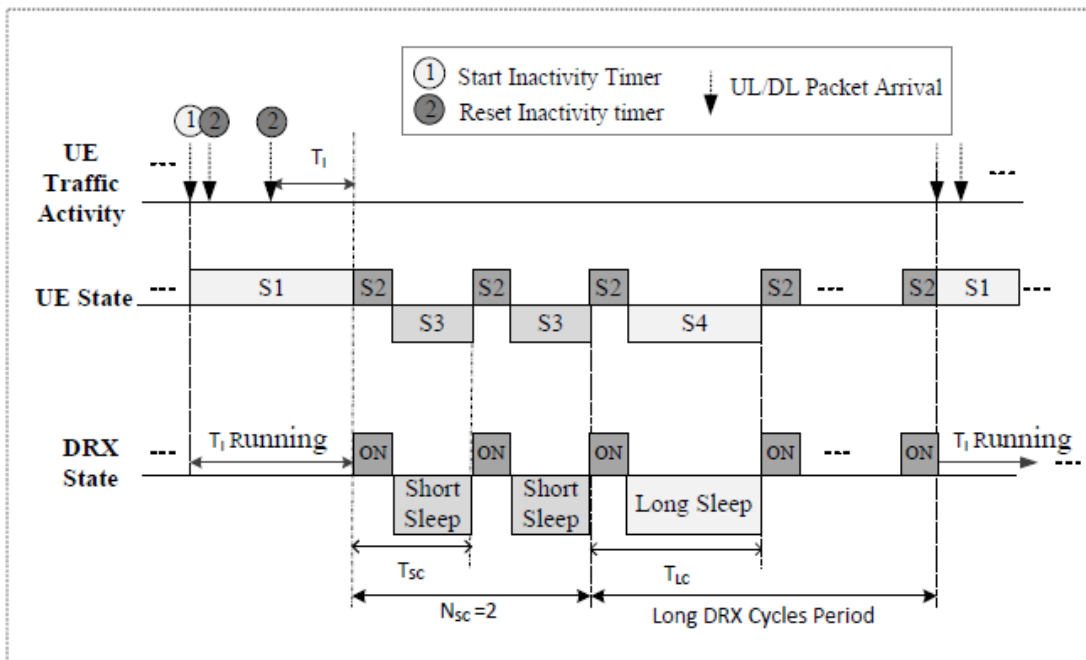
Η περίοδος ύπνου σε μικρό κύκλο (short cycle) δίνεται από τον τύπο:

$$T_{SS} = T_{SC} - T_{ON} \quad (1.1)$$

Η περίοδος ύπνου σε μεγάλο κύκλο (long cycle) δίνεται από τον τύπο:

$$T_{SS} = T_{LC} - T_{ON} \quad (1.2)$$

Ένδειξη πακέτου DL στο PDCCH ή άφιξη πακέτων για μετάδοση uplink (UL) κατά τη διάρκεια του T_{ON} τερματίζει αμέσως τη λειτουργία DRX και ξεκινά T_I . Από την άλλη πλευρά, η άφιξη πακέτων UL κατά τη διάρκεια του ύπνου στο UE μπορεί να τερματίσει τη λειτουργία DRX αμέσως ή μπορεί να περιμένει την επόμενη περίοδο T_{ON} για να τερματιστεί. Να σημειωθεί ότι τα πακέτα DL που έφτασαν στο eNB για τα UE σε περίοδο ύπνου, καθυστερούν πάντα μέχρι την επόμενη περίοδο T_{ON} [7].



Σχήμα 1.4 DRX κύκλοι και Timer [7]

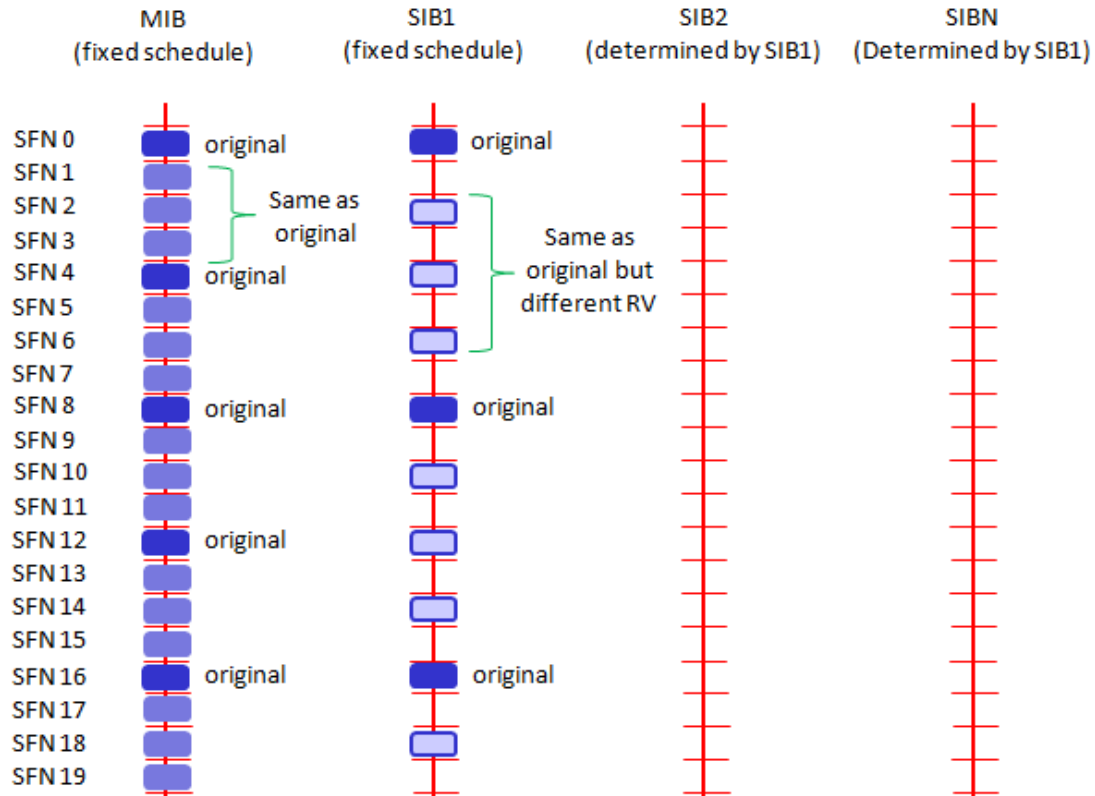
1.6 Πληροφορίες συστήματος (SIB - System Block Information)

Επειδή οι καταστάσεις που θα περιγραφούν στα επόμενα κεφάλαια αφορούν σενάρια έκτακτης ανάγκης είναι σημαντικό να αναφερθεί ο ρόλος και η λειτουργία των SIB. Στο LTE τα MIB, SIB1 και SIB2 πρέπει να μεταδοθούν σε κάθε κυψέλη. Δεδομένου ότι μεταδίδονται πολλά από τα SIB, θα πρέπει να η μετάδοση να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η τοποθεσία (υποπλάσιο) όπου μεταδίδεται ένα SIB να μην είναι το ίδιο υποπλάσιο όπου μεταδίδεται ένα άλλο SIB [8]. Ο κανονισμός των SIB γίνεται ως εξής:

- Το MIB μεταδίδεται σε σταθερούς κύκλους κάθε 4 πλαίσια ξεκινώντας από το SFN 0.

- Το SIB1 μεταδίδεται επίσης σε σταθερούς κύκλους κάθε 8 πλαίσια ξεκινώντας από SFN 0.
- Όλα τα άλλα SIB μεταδίδονται στους κύκλους που καθορίζονται από τα στοιχεία πληροφοριών προγραμματισμού SIB στο SIB1.

Στο παρακάτω σχήμα παρατηρούμε τον τρόπο μετάδοσης των SIB σε σχέση με τα SFN.



Σχήμα 1.5 Καθορισμός SIB και SFN [8]

Για την παρούσα μελέτη εστιάζουμε σε τρία συγκεκριμένα SIB, το SIB1, SIB10 και SIB11. Τα SIB υπ' αριθμόν 10 και 11 αφορούν το EWTS (Earthquake and Tsunami Warning System) το οποίο είναι ένα είδος συστήματος προειδοποίησης για την ειδοποίηση όλων των UE σε μια συγκεκριμένη περιοχή για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όπως σεισμό ή τσουνάμι. Όταν λοιπόν συμβαίνει μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης, το δίκτυο μεταδίδει τις λεπτομέρειες της έκτακτης ανάγκης μέσω SIB 10 / SIB11 και ενημερώνει το UE για να επιτρέψει την αποκωδικοποίηση SIB10 / 11 στέλνοντας ειδικό μήνυμα paging. Όταν ένα UE λαμβάνει αυτό το μήνυμα, πρέπει να αποκωδικοποιήσει το SIB10 / 11 και να εμφανίσει τις πληροφορίες προειδοποίησης στην οθόνη [9].

1.6.1 Ειδοποίηση (paging)

Η διαδικασία του paging εφαρμόζεται για να μεταφέρει ένα UE από την idle κατάσταση στην connected. Βέβαια δεν είναι ο μόνος λόγος ύπαρξής του, χρησιμοποιείται επίσης για να ενεργοποιήσει ένα UE έτσι ώστε να αποκτήσει ξανά πληροφορίες συστήματος είτε για την αποστολή μιας προειδοποίησης EWTS που αναφέρθηκε προηγουμένως ή για την αποστολή μιας CMAS ειδοποίησης (εμπεριέχεται στο SIB12). Το paging που ενεργοποιείται από τον σταθμό βάσης χρησιμοποιείται για να ενημερώσει το UE για αλλαγές στις πληροφορίες του συστήματος, ειδοποιήσεις έκτακτης ανάγκης και άλλα.

Τα UE που βρίσκονται σε RRC_IDLE κατάσταση χρησιμοποιούν το DRX. Αυτός ο κύκλος DRX καθορίζει πόσο συχνά το UE ελέγχει για μηνύματα paging. Ο προεπιλεγμένος κύκλος DRX μεταδίδεται στο SIB 2. Το UE μπορεί επίσης να προτείνει το δικό του μήκος κύκλου DRX εντός του μηνύματος Attach Request and Tracking Area Update Request. Το εύρος των επιτρεπόμενων τιμών είναι το ίδιο με εκείνο που χρησιμοποιείται στο SIB 2. Εάν ένα UE προτείνει τη χρήση του δικού του κύκλου DRX, χρησιμοποιείται ο μικρότερος από τους δύο κύκλους DRX (προτεινόμενος κύκλος από τον σταθμό βάσης και προτεινόμενος κύκλος DRX από UE). Με άλλα λόγια, χρησιμοποιείται το ελάχιστο του προεπιλεγμένου κύκλου DRX και του συγκεκριμένου κύκλου DRX UE. Ο κύκλος paging μετριέται σε πλαίσια και η τιμή που χρησιμοποιείται συνήθως για τους κύκλους paging είναι 128. Επομένως, εάν ένα UE έχει ρυθμίσει τον προεπιλεγμένο κύκλο paging ως 128, αυτό σημαίνει ότι το UE θα ξυπνά μετά από κάθε 1,28 δευτερόλεπτα ακόμη και σε κατάσταση idle, για να δει εάν υπάρχουν πληροφορίες paging για το UE ή όχι. Αφού «ξυπνήσει» εάν δεν εντοπίσει πληροφορίες που σχετίζονται με το UE, θα επιστρέψει σε ύπνο. Το πλαίσιο στο οποίο ξυπνά το UE ονομάζεται Paging Frame (PF). Το UE δεν παραμένει σε σύνδεση και στα 10 υποπλαίσια αλλά ξυπνά σε ένα συγκεκριμένο υποπλαίσιο (π.χ. 0,4, 5 ή 9). Αυτά τα συγκεκριμένα υποπλαίσια εντός ενός πλαισίου paging όταν το UE ξυπνά ονομάζονται Paging Occasion (POs) [10].

Το πλαίσιο στο οποίο θα ξυπνήσει το UE εξαρτάται από τον κύκλο του paging (που συμβολίζεται με T), την τιμή nB που έχει τιμές όπως $4T$, $2T$, T , $T/2$, $T/4$, $T/8$, $T/16$, $T/32$ και το UE_{ID} που είναι $IMSI \bmod 1024$. Το IMSI είναι ο μοναδικός αριθμός ενός συνδρομητή, ο οποίος είναι γνωστός στην κεντρική βάση του συστήματος LTE HSS (Home Subscriber Server), στην κάρτα SIM του συνδρομητή και στην τοπική βάση του MME που εξυπηρετεί το συνδρομητή.

Για να βρει λοιπόν το UE σε ποιο PF θα ξυπνήσει υπολογίζεται το εξής:

$$PF_{Index} = \left(\frac{T}{N}\right) * (UE_{ID} \bmod N) \quad (1.3)$$

όπου,

T , είναι ο κύκλος DRX εκφρασμένος σε πλαίσια

$$N = \min(T, nB)$$

nB , παράμετρος που μεταδίδεται στο SIB2

Αφού έχει καθοριστεί το PF στο οποίο θα ξυπνήσει το UE, πρέπει να βρει το συγκεκριμένο υποπλαίσιο που θα ξυπνήσει. Ένα UE δεν χρειάζεται να ξυπνήσει σε όλα τα υποπλαίσια, αλλά χρειάζεται μόνο να ελέγξει το υποπλαίσιο το οποίο προσδιορίζεται από το Paging Occasion (PO). Ο τύπος για τον υπολογισμό του PO εξάγεται από έναν πίνακα αναζήτησης (βλ. πίνακα 1.2) που χρησιμοποιεί τις δύο παρακάτω παραμέτρους του συστήματος για την εύρεση των υποπλαισίων αφύπνισης της συσκευής.

$$Ns = \max\left(1, \frac{nB}{T}\right) \quad (1.4)$$

$$i_s = \left\lfloor \frac{UE_{ID}}{N} \right\rfloor \bmod Ns \quad (1.5)$$

Μόλις υπολογιστούν οι τιμές Ns και i_s το UE κάνει χρήση του πίνακα αναζήτησης. Η τομή των τιμών i_s και Ns στον πίνακα αναζήτησης δείχνει σε ποια υποπλαίσια θα ξυπνήσει το UE.

Πίνακας 1.2 Υποπλαίσια αφύπνισης του UE για FDD

	$i_s = 0$	$i_s = 1$	$i_s = 2$	$i_s = 3$
$N_s = 1$	Υποπλαίσιο 9	N/A	N/A	N/A
$N_s = 2$	Υποπλαίσιο 4	Υποπλαίσιο 9	N/A	N/A
$N_s = 4$	Υποπλαίσιο 0	Υποπλαίσιο 4	Υποπλαίσιο 5	Υποπλαίσιο 9

Η τιμή του N_s είναι συγκεκριμένη για κάθε κυψέλη, έτσι ώστε οι κυψέλες που μεταφέρουν χαμηλές ποσότητες κίνησης να μπορούν να διαμορφωθούν με τιμή 1 (ένα) για να παρέχουν σχετικά χαμηλή χωρητικότητα paging, ενώ οι κυψέλες που μεταφέρουν υψηλότερες ποσότητες κίνησης μπορούν να ρυθμιστούν με τιμή 4 για παροχή σχετικά υψηλής ικανότητας paging.

Κεφάλαιο 2: LTE-Sidelink και Device-to-Device (D2D) επικοινωνία

2.1 D2D επικοινωνία

Το 3^ο Generation Partnership Project (3GPP) παρουσίασε την δυνατότητα σύνδεσης συσκευής με συσκευή (D2D) (ProSe) Long Term Evolution (LTE) στην έκδοση 12. Η άμεση επικοινωνία είναι μια από τις βασικές λειτουργίες που ορίζονται για την εξυπηρέτηση συσκευών που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση, επιτρέποντάς τους να επικοινωνούν απευθείας χωρίς να χρειάζεται να δρομολογούν επικοινωνίες μέσω του αέρα του LTE και τη χρήση του eNodeB. Η άμεση επικοινωνία προβλέπεται για την υποστήριξη της ενημέρωσης του κοινού για λόγους ασφαλείας, για άμεση επικοινωνία σε περίπτωση βλάβης του δικτύου λόγω καταστροφής ή σε περιοχές που δεν διαθέτουν κάλυψη δικτύου, όπως για παράδειγμα σε απομακρυσμένες τοποθεσίες ή μέσα σε κτίρια.

Το ProSe καθορίζει τον τρόπο λειτουργίας για εξοπλισμό χρήστη με δυνατότητα ProSe (UE) με βάση τον τύπο των σεναρίων κάλυψης που αναλύονται στο κεφάλαιο 2.2.1. Όταν τα UE βρίσκονται εντός της κάλυψης δικτύου, οι λειτουργίες ProSe υποστηρίζονται από το Evolved Packet Core (EPC) του LTE και τη διεπαφή αέρα. Το eNodeB κατανέμει τους διαθέσιμους πόρους δικτύου, όπως για παράδειγμα χρονισμούς και εύρος ζώνης.

Επιπλέον, το ProSe ορίζει δύο τρόπους λειτουργίας για τον προγραμματισμό πόρων: Mode 1 (λειτουργία 1), όπου το eNodeB εκτελεί τον προγραμματισμό πόρων για όλα τα UE που ασχολούνται με την άμεση επικοινωνία, όπως συμβαίνει με τον προγραμματισμό των downlink και uplink στο LTE. Στην Mode 2 (λειτουργία 2), η συμβολή του eNodeB περιορίζεται όσον αφορά την κατανομή πόρων και έτσι κάθε κινητό είναι υπεύθυνο για τον προγραμματισμό των πόρων του εντός του εκχωρημένου εύρους ζώνης που δίνεται για D2D. Παρόλο που η άμεση επικοινωνία στον τρόπο λειτουργίας 2 μπορεί να λειτουργήσει κατά την κάλυψη εντός δικτύου, αυτή επιτρέπει επίσης σε εξουσιοδοτημένα UE να επικοινωνούν, όταν δεν εμπίπτουν στην κάλυψη δικτύου, δηλαδή, όπου δεν υπάρχει υποστήριξη διασύνδεσης αέρα LTE και συντονισμός πόρων επικοινωνίας. Η άμεση επικοινωνία εκτός κάλυψης βασίζεται σε προκαθορισμένες παραμέτρους επικοινωνίας που έχουν ρυθμιστεί πριν από την ανάπτυξη σε κάθε UE με δυνατότητα ProSe από φορείς εκμετάλλευσης δικτύου [11].

Η D2D επικοινωνία προσφέρει ποικίλα πλεονεκτήματα για επικοινωνίες δικτύου όπως για παράδειγμα μικρότερους χρόνους καθυστέρησης, λιγότερη τηλεπικοινωνιακή συμφόρηση και εξοικονόμηση ενέργειας. Χωρίζονται σε 2 κατηγορίες:

- Άμεση αναγνώριση (Direct Discovery): επιτρέπει στους χρήστες να «διαφημίζουν» και να ανακαλύπτουν περιεχόμενο ενδιαφέροντος στο άμεσο περιβάλλον τους (έως μερικές εκατοντάδες μέτρα) ή να μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ συσκευών μέσω LTE.
- Άμεση επικοινωνία: χρησιμοποιείται για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης ή ενημέρωσης κοινού.

Στη παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την άμεση επικοινωνία, καθώς μας ενδιαφέρει το σενάριο ενημέρωσης του κοινού σε περίπτωση γεγονότος έκτακτης ανάγκης (φυσικές καταστροφές, μη επαρκής κάλυψη δικτύου), που μπορούν να οδηγήσουν σε κινδύνους για τη δημόσια ασφάλεια.

2.2 Sidelink επικοινωνία

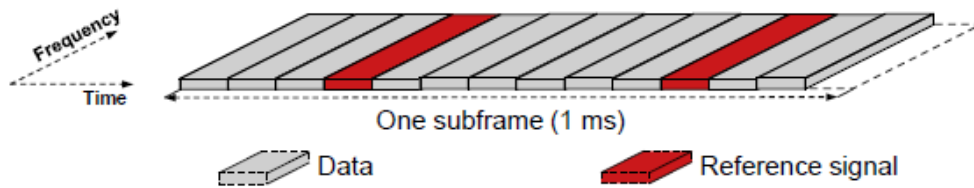
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας γειτονικών συσκευών χωρίς την χρήση του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση του Sidelink LTE. Μια από τις πρώτες αποφάσεις που πρέπει να πάρει το LTE είναι αν θα χρησιμοποιήσει ξανά κάποιους από τους ίδιους πόρους που εφαρμόστηκαν στο uplink και downlink. Έτσι αποφασίστηκε ότι θα χρησιμοποιούνται μόνον οι uplink συχνότητες, με διαμόρφωση SC-FDMA και πόρους από το uplink. Η Sidelink-LTE συνδεσιμότητα θα πρέπει να είναι δυνατή στο κανονικό φάσμα (LTE), συμπεριλαμβανομένου και του ζευγαριού FDD και TDD. Κατά συνέπεια, η καλή συνύπαρξη μεταξύ των μεταδόσεων Sidelink και των κανονικών κυψελοειδών (downlink / uplink) μεταδόσεων στο ίδιο φάσμα υπήρξε βασική απαίτηση για το σχεδιασμό του LTE Sidelink.

Ωστόσο, η Sidelink συνδεσιμότητα μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί σε φάσμα που δεν χρησιμοποιείται από εμπορικά κινητά δίκτυα. Ένα παράδειγμα αυτού είναι η περίπτωση χρήσης της για τη δημόσια ασφάλεια (δηλ. περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης) για την οποία είναι συγκεκριμένο το φάσμα που έχει εκχωρηθεί σε πολλές χώρες-περιοχές. Σε περίπτωση ζευγαρωμένου φάσματος, η συνδεσιμότητα λαμβάνει χώρα στο τμήμα ανερχόμενης ζεύξης του φάσματος. Κατά συνέπεια, συσκευές που υποστηρίζουν τη συνδεσιμότητα αυτή για μια συγκεκριμένη ζώνη FDD πρέπει να είναι σε θέση να λαμβάνουν επίσης και στη ζώνη ανερχόμενης ζεύξης. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι για τους οποίους η συνδεσιμότητα πλευρικού συνδέσμου λαμβάνει χώρα στη ζώνη ανερχόμενης σύνδεσης του φάσματος FDD.

- Οι τυπικοί κανόνες αφορούν συνήθως τι και πώς μεταδίδουν οι συσκευές, αλλά δεν περιορίζουν στο τι και πώς λαμβάνουν. Από τυπικής απόψεως, η συνδεσιμότητα στο φάσμα ανερχόμενης ζεύξης είναι επομένως πιο απλή σε σύγκριση με τη Sidelink συνδεσιμότητα στο φάσμα της κατερχόμενης ζεύξης, καθώς το δεύτερο θα συνεπαγόταν μετάδοση συσκευής στο φάσμα που θεωρείται ότι χρησιμοποιείται για μετάδοση δικτύου.
- Από άποψη εφαρμογής σε συσκευή, είναι λιγότερο περίπλοκο να συμπεριληφθούν πρόσθετες λειτουργίες στο δέκτη (υποστήριξη για λήψη σε μια ζεύξη uplink) σε σύγκριση με τις απαιτήσεις του πομπού σε περίπτωση που η sidelink επικοινωνία θα λάμβανε χώρα σε ζώνες downlink.

Με παρόμοιο τρόπο, σε περίπτωση TDD η Sidelink σύνδεση συνδέεται με τα υποπλαίσια της ανερχόμενης ζεύξης. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι, ενώ οι προδιαγραφές 3GPP καθορίζουν εάν η συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων (FDD) είναι για downlink ή uplink, η διαμόρφωση του TDD downlink / uplink καθορίζεται από το δίκτυο, κατά κανόνα σε επίπεδο κυψέλης. Πρέπει επίσης να γίνει κατανοητό ότι η Sidelink σύνδεση είναι ουσιαστικά μονής κατεύθυνσης, με την έννοια ότι όλες οι τρέχουσες μεταδόσεις Sidelink-LTE είναι ουσιαστικά εκπομπές μετάδοσης χωρίς σχετικό σήμα ελέγχου προς την αντίθετη κατεύθυνση. Μπορεί φυσικά να υπάρχουν μεταδόσεις από μια συσκευή A που λαμβάνονται από μια συσκευή B και ταυτόχρονα, μεταδόσεις από τη συσκευή B που λαμβάνονται από τη συσκευή A αλλά αυτές είναι τότε, εντελώς ανεξάρτητες μεταδόσεις. Εκτός από τη χρήση του φάσματος ανερχόμενης ζεύξης, η Sidelink επικοινωνία επαναχρησιμοποιεί επίσης τη βασική δομή της μετάδοσης PUSCH. Έτσι, όλες οι μεταδόσεις Sidelink -με εξαίρεση τα σήματα συγχρονισμού (SLSS)- βασίζονται σε DFT-spread OFDM με δομή υποπλαισίου όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1.

Να σημειωθεί ότι, σε περίπτωση μετάδοσης Sidelink, το τελευταίο σύμβολο OFDM του υποπλαισίου δεν μεταδίδεται. Αυτό γίνεται προκειμένου να δημιουργηθεί ο χρόνος ασφάλειας (guard time) που απαιτείται όταν γίνεται εναλλαγή μεταξύ μετάδοσης και λήψης Sidelink [1].

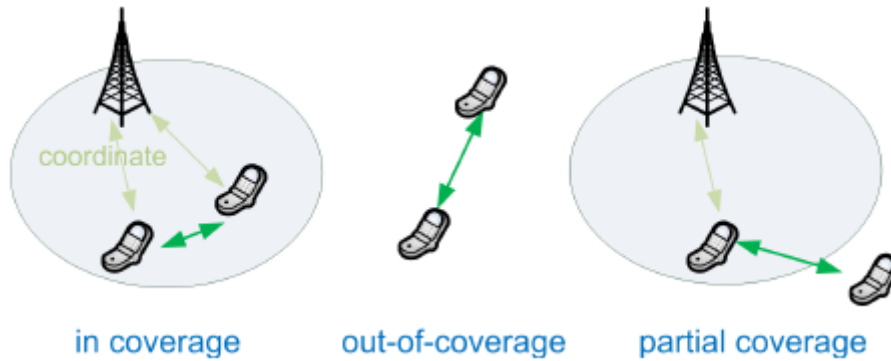


Σχήμα 2.1 Δομή υποπλαισίων για Sidelink [1]

2.2.1 Σενάρια κάλυψης κινητών

Υπάρχουν 3 σενάρια κάλυψης των κινητών που ορίζονται από το ProSe12.

- Το κινητό είναι εντός κάλυψης.
- Το κινητό βρίσκεται σε μερική κάλυψη.
- Το κινητό είναι εκτός κάλυψης.



Σχήμα 2.2 Απεικόνιση τριών σεναρίων κάλυψης [3]

Ας εξηγήσουμε λοιπόν εν συντομία κάθε σενάριο τι ακριβώς περιγράφει. Για τις πρώτες δύο περιπτώσεις όταν ένα τουλάχιστον κινητό βρίσκεται σε μερική ή πλήρη κάλυψη, το δίκτυο του LTE μπορεί να καθορίσει την επικοινωνία μεταξύ των γειτονικών κινητών. Μια καινούργια πλευρά της άμεσης επικοινωνίας είναι η δυνατότητα επικοινωνίας κινητών χωρίς την βοήθεια του δικτύου· σε αυτή την περίπτωση αναφέρεται το τρίτο σενάριο. Για συσκευές με κάλυψη δικτύου, μπορεί να πραγματοποιηθεί σύνδεση στο sidelink σε κατάσταση RRC_CONNECTED, δηλαδή όταν η συσκευή διαθέτει σύνδεση RRC στο δίκτυο. Ωστόσο, μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί σε κατάσταση RRC_IDLE, στην οποία η συσκευή δεν διαθέτει αποκλειστική σύνδεση με το δίκτυο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ένα κινητό που βρίσκεται σε κατάσταση RRC_IDLE δεν είναι συνώνυμο με το ότι δεν καλύπτεται. Μια συσκευή σε κατάσταση RRC_IDLE ενδέχεται να εξακολουθεί να βρίσκεται υπό κάλυψη δικτύου και στη συνέχεια θα έχει πρόσβαση.

2.2.2 Κανάλια του LTE-Sidelink

Αναφερθήκαμε προηγουμένως στα φυσικά κανάλια που εφαρμόζονται στο LTE (βλ. Πίνακα 1.1). Η έκδοση 12 του προτύπου LTE ορίζει το sidelink ως μια νέα διεπαφή με ένα σύνολο αποτελούμενο από κανάλια μεταφοράς και φυσικά κανάλια, με συναφή φυσικά σήματα για την υποστήριξη της ανάπτυξης της άμεσης επικοινωνίας D2D. Έτσι, καθορίζονται τα παρακάτω κανάλια:

- PSBCH: αυτό το κανάλι μεταφέρει τον αριθμό του πλαισίου που θα γίνει η μετάδοση, το εύρος ζώνης και την επεξεργασία TDD UL/DL.
- PSCCH: αυτό το κανάλι είναι ανάλογο του PDDCH, μεταφέρει το μήνυμα SCI (System Control Information) το οποίο περιέχει πληροφορίες για την εκχώρηση των πόρων του PSSCH καναλιού. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στέλνεται πριν το PSSCH κανάλι.
- PSSCH: μεταφέρει τα δεδομένα sidelink μέσω του αέρα χρησιμοποιώντας QPSK ή 16QAM κωδικοποίηση.
- PSDCH: περιέχει το μήνυμα αναγνώρισης (discovery message) το οποίο δηλώνει πού βρίσκεται το κινητό. Στο σενάριο που μελετήθηκε δεν υπάρχει αυτό το κανάλι.

Επίσης έχουμε τα ακόλουθα φυσικά σήματα συγχρονισμού. Τα σήματα αποκωδικοποίησης (DMRS) και τα PSSS-SSSS, που χρειάζονται για να γίνει ο συγχρονισμός μεταξύ των κινητών που βρίσκονται εκτός κάλυψης και δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα σήματα του σταθμού βάσης (eNodeB) [11]. Ως επικουρικό αλλά μη απαραίτητο στοιχείο μπορεί να συμπεριληφθεί (στο PSBCH) το SyncTxControl, το οποίο περιέχει το networkControlledSyncTx, που έχει μια Boolean τιμή 0 ή 1. Εάν αυτό το στοιχείο εμπεριέχεται και είναι ρυθμισμένο σε 1, το UE στέλνει τα SLSS και MIB-SL κάθε 40ms, ασχέτως αν έχει δεδομένα να μεταδώσει. Αν το στοιχείο είναι ρυθμισμένο στο 0, το UE δεν στέλνει σήματα συγχρονισμού [3].

2.3 Διαδικασία καθορισμού και επιλογής πόρων μετάδοσης

Για την Sidelink επικοινωνία, έχει υιοθετηθεί το σκεπτικό των «δεξαμενών πόρων», απόδοση του αγγλικού όρου resource pools. Μια δεξαμενή πόρων είναι ένα υπό-σεν από φυσικά σήματα, ουσιαστικά ομιλούμε για τα υποπλάισια και RBs που είναι διαθέσιμα στο κινητό για μετάδοση. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορούν να κατανεμηθούν αυτοί οι πόροι. Για την Sidelink επικοινωνία ισχύουν τα εξής:

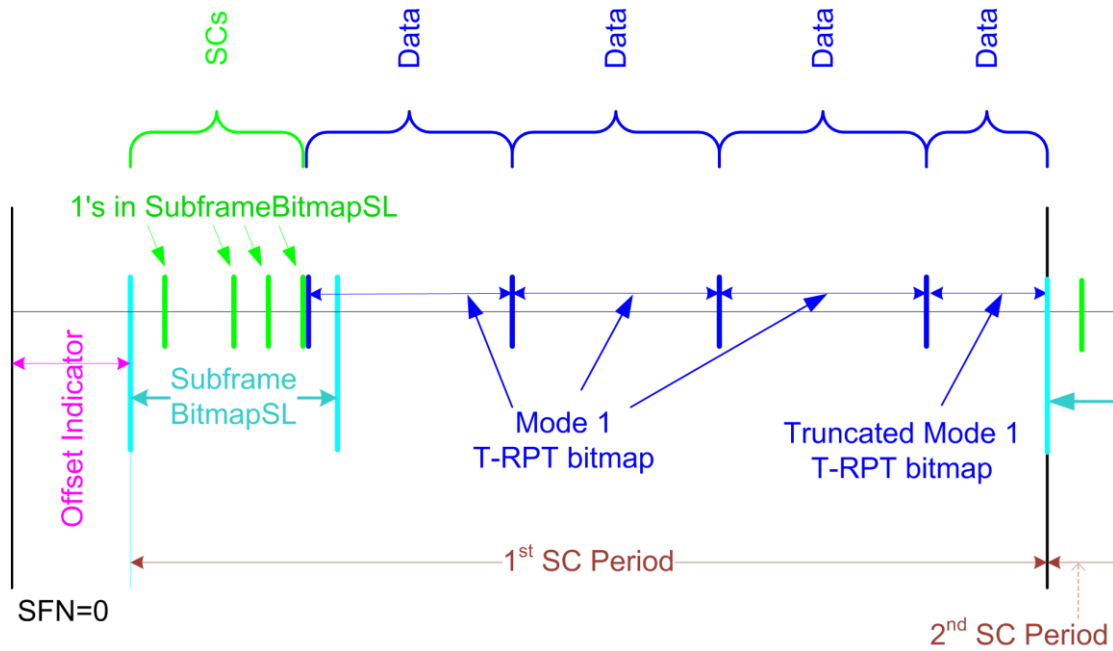
- Μια PSCCH δεξαμενή υποπλαισίων που καθορίζει τα διαθέσιμα υποπλάισια για αποστολή PSCCH.
- Μια PSCCH δεξαμενή RBs που καθορίζει τα διαθέσιμα RBs για αποστολή PSCCH.
- Μια PSSCH δεξαμενή υποπλαισίων που καθορίζει τα διαθέσιμα υποπλάισια για αποστολή PSSCH.
- Μια PSSCH δεξαμενή RBs που καθορίζει τα διαθέσιμα RBs για αποστολή PSSCH.

Υπάρχουν 2 τύποι (modes) επικοινωνίας που υλοποιούνται από το Sidelink. Στην mode 1 οι πόροι μιας συσκευής έχουν ανατεθεί μέσω ενός scheduling grant του δικτύου που τους καθορίζει από τα προαναφερθέντα PSCCH και PSSCH. Στην mode 2 επικοινωνία, η ίδια η συσκευή πρέπει να επιλέξει αυτόνομα το σεν των πόρων των PSCCH και PSSCH [1]. Στο πεδίο του χρόνου, η sidelink επικοινωνία βασίζεται στις λεγόμενες PSCCH περιόδους ενώ κάθε περίοδος αποτελείται από 1024 πλαίσια ή 10240 υποπλάισια. Για την περίπτωση του FDD, που είναι και αυτή που θα βασίσουμε την προσομοίωσή μας, το μήκος αυτής της περιόδου μπορεί να πάρει τις τιμές 40,80,160 και 320 υποπλαισίων, υπενθυμίζοντας ότι η διάρκεια ενός υποπλαισίου είναι 1ms. Άρα, για παράδειγμα, αν επιλεγεί το μήκος των 40ms, θα έχουμε μια Sidelink περίοδο που θα επαναλαμβάνεται κάθε 40ms.

2.4 Διαδικασία αποστολής PSCCH

Το PSCCH μεταδίδεται μια φορά κάθε περίοδο (Σχ. 2.3). Ένα bitmap -για την ακρίβεια το SubframeBitmapSL- καθορίζει σε ποια subframes θα γίνει η μετάδοση. Σε μια PSCCH περίοδο υπάρχουν διαφορετικές δεξαμενές υποπλαισίων και RBs για το PSCCH και το PSSCH κανάλι. Εάν

έχουμε 40bits, τα πρώτα 8 αφορούν το control και τα υπόλοιπα το data region και για τον καθορισμό των RBs ακολουθείται μια διαφορετική διαδικασία σε σχέση με τα υπόλοιπα κανάλια. Χρησιμοποιείται η έννοια των «κάτω» και «πάνω» περιοχών -λαμβάνοντας υπόψιν φυσικά ότι τα μεσαία RBs του πλέγματος είναι δεσμευμένα ήδη για την αποστολή του PSBCH καναλιού- που καθορίζονται με τους δείκτες S1 και S2 αντίστοιχα. Αυτοί οι δείκτες δείχνουν το πρώτο και το τελευταίο σέτ από RBs. Η παράμετρος M_{pscch} δείχνει τον αριθμό των διαθέσιμων RBs σε καθένα από τα δύο σέτ που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Η αποστολή δηλαδή του καναλιού γίνεται σε δύο συνεχόμενα subframes μια «πάνω» και μια «κάτω». Για να γνωρίζει όμως το UE ακριβώς ποια υποπλαισία και RBs θα χρησιμοποιήσει μέσα σε αυτή τη περίοδο (PSCCH) χρησιμοποιεί την παράμετρο n_{pscch} , η οποία επιλέγεται είτε από το δίκτυο μέσω του scheduling grant (συγκεκριμένα στο DCI5) για mode 1 είτε αυτόνομα από το UE για mode 2.



Σχήμα 2.3 Κατανομή υποπλαισίων Mode 1 [3]

Δηλαδή για mode 1 έχουμε,

$$0 \leq n_{pscch} \leq \left(\frac{MPSCCH}{2} \right) \quad (2.1)$$

Ο καθορισμός της τιμής αυτής της παραμέτρου ορίζεται ως εξής για τα mode 1 και 2:

Για mode 2 έχουμε,

$$0 \leq n_{pscch} \leq \left\lfloor \frac{MPSCCH_{RP}}{2} \right\rfloor * L_{pscch} \quad (2.2)$$

όπου $MPSCCH$ ο αριθμός των διαθέσιμων RBs και L_{pscch} ο αριθμός των διαθέσιμων υποπλαισίων δηλαδή των μπιτ που έχουν τεθεί σε 1 (από το SubframeBitmapSL) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετάδοση.

Για το πού θα λάβει χώρα η πρώτη μετάδοση ισχύουν τα κάτωθι:

$$a1 = \lfloor npscch / Lpscch \rfloor \quad (3.3) \quad (2.3)$$

και

$$b1 = npscch \bmod Lpscch \quad (2.4)$$

Όπου το a1 καθορίζει ποιο RB θα χρησιμοποιηθεί και b1 το υποπλαίσιο στο οποίο θα σταλεί. Για την δεύτερη μετάδοση έχουμε τα εξής:

$$a2 = \left\lfloor \frac{npscch}{Lpscch} \right\rfloor + \lfloor MPSCCH_{RP} / 2 \rfloor \quad (2.5)$$

και

$$b2 = (npscch + 1 + \left\lfloor \frac{npscch}{Lpscch} \right\rfloor) \bmod (Lpscch - 1) \bmod (Lpscch) \quad (2.6)$$

Για την περίπτωση που υπάρχει mode 2 επικοινωνία οι παραπάνω τύποι διαφοροποιούνται ως προς το επιτρεπόμενο εύρος του npscch, ως εξής:

$$npscch \leq 0, 1, \dots, \left(\left\lfloor \frac{MPSCCH_{RP}}{2} \right\rfloor * Lpscch - 1 \right) \quad (2.7)$$

2.5 Διαδικασία αποστολής PSSCH

Το PSSCH στέλνεται αμέσως μετά το τελευταίο υποπλαίσιο που έχει τεθεί σε 1 από την PSCCH περίοδο, ένα σετ από 4 συνεχόμενα subframes από το data region επιλέγεται με βάση το bitmap του κάθε κινητού (ITRP) που δείχνει τα subframes τα οποία θα χρησιμοποιηθούν. Ο παρακάτω πίνακας (βλ. Πίνακα 2.1) ενημερώνει για τις πληροφορίες που χρειαζόμαστε για να χρησιμοποιηθεί σωστά το προαναφερθέν bitmap.

- Το ITRP είναι ο αριθμός (index) του bitmap από 0-106 , τα 107-127 είναι δεσμευμένα.
- Το KTRP δείχνει πόσα bits είναι 1 , δηλαδή πόσα subframes μπορούν να χρησιμοποιηθούν.
- Το NRTP στην περίπτωση μας είναι φεξαρισμένο στο 8, διότι έχουμε FDD.
- Επιλέγεται τυχαία για κάθε UE.

2.5.1 Mode 1 επικοινωνία, επιλογή υποπλαισίου και RB

Σε αυτήν την κατάσταση δεν υπάρχει περιορισμός στην επιλογή του bitmap. Ας υποθέσουμε ότι το κινητό επιλέγει το ITRP = 35 και το επαναλαμβάνει περιοδικά -εννοείται για το πέρας του χρόνου που έχουμε επιλέξει- αυτό σημαίνει ότι τα 2 τελευταία υποπλαίσια είναι διαθέσιμα για αποστολή του PSSCH. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως χρειάζονται τέσσερα συνεχόμενα υποπλαίσια για την ολοκληρωμένη αποστολή του, άρα για αυτή την περίπτωση θα χρειάζονταν 16ms για το PSSCH. Για την επιλογή του RB είναι διαθέσιμο όλο το εύρος του πλέγματος.

2.5.2 Mode 2 επικοινωνία, επιλογή υποπλαισίου και RB

Όταν πια είμαστε σε device-to-device επικοινωνία έχουμε τον εξής περιορισμό στην επιλογή του bitmap: Οι επιτρεπόμενες τιμές ITRP αντιστοιχούν στις τιμές KTRP όπου ικανοποιείται η συνθήκη $K_{trp} = K_i$, με την τιμή του I να κυμαίνεται με βάση την εξίσωση:

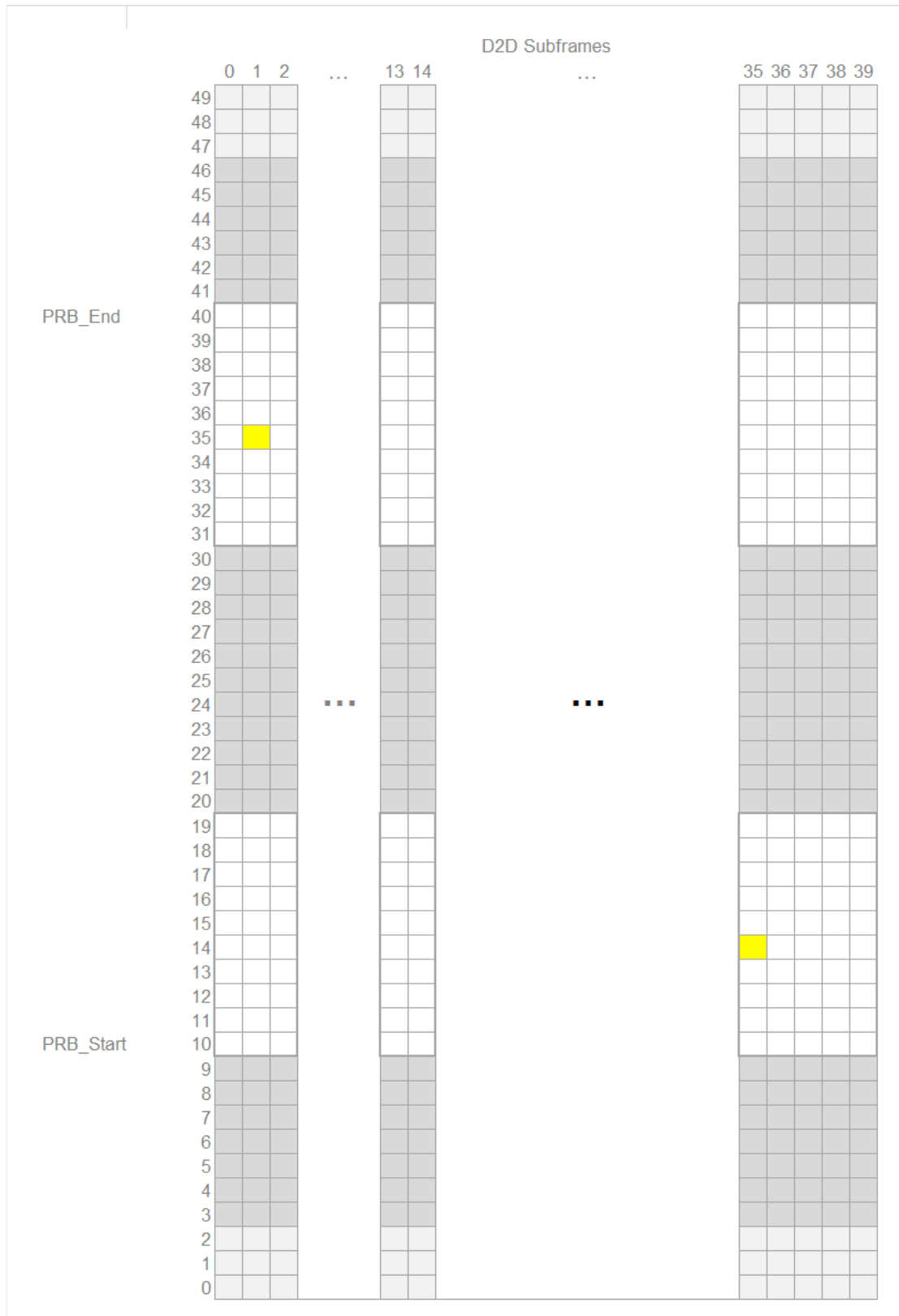
$$0 \leq i \leq X_{TRP} \quad (2.8)$$

Οι τιμές που μπορεί να πάρει το X_{TRP} ορίζονται από τον πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.1:TRP Bitmap

I_{TRP}	k_{TRP}	$(b_0, b_1, \dots, b_N - 1)$	I_{TRP}	k_{TRP}	$(b_0, b_1, \dots, b_N - 1)$	I_{TRP}	k_{TRP}	$(b_0, b_1, \dots, b_N - 1)$
0	1	(1,0,0,0,0,0,0,0)	37	4	(1,1,1,0,1,0,0,0)	74	4	(0,1,1,1,0,0,0,1)
1	1	(0,1,0,0,0,0,0,0)	38	4	(1,1,0,1,1,0,0,0)	75	4	(1,1,0,0,1,0,0,1)
2	1	(0,0,1,0,0,0,0,0)	39	4	(1,0,1,1,1,0,0,0)	76	4	(1,0,1,0,1,0,0,1)
3	1	(0,0,0,1,0,0,0,0)	40	4	(0,1,1,1,1,0,0,0)	77	4	(0,1,1,0,1,0,0,1)
4	1	(0,0,0,0,1,0,0,0)	41	4	(1,1,1,0,0,1,0,0)	78	4	(1,0,0,1,1,0,0,1)
5	1	(0,0,0,0,0,1,0,0)	42	4	(1,1,0,1,0,1,0,0)	79	4	(0,1,0,1,1,0,0,1)
6	1	(0,0,0,0,0,0,1,0)	43	4	(1,0,1,1,0,1,0,0)	80	4	(0,0,1,1,1,0,0,1)
7	1	(0,0,0,0,0,0,0,1)	44	4	(0,1,1,1,0,1,0,0)	81	4	(1,1,0,0,0,1,0,1)
8	2	(1,1,0,0,0,0,0,0)	45	4	(1,1,0,0,1,1,0,0)	82	4	(1,0,1,0,0,1,0,1)
9	2	(1,0,1,0,0,0,0,0)	46	4	(1,0,1,0,1,1,0,0)	83	4	(0,1,1,0,0,1,0,1)
10	2	(0,1,1,0,0,0,0,0)	47	4	(0,1,1,0,1,1,0,0)	84	4	(1,0,0,1,0,1,0,1)
11	2	(1,0,0,1,0,0,0,0)	48	4	(1,0,0,1,1,1,0,0)	85	4	(0,1,0,1,0,1,0,1)
12	2	(0,1,0,1,0,0,0,0)	49	4	(0,1,0,1,1,1,0,0)	86	4	(0,0,1,1,0,1,0,1)
13	2	(0,0,1,1,0,0,0,0)	50	4	(0,0,1,1,1,1,0,0)	87	4	(1,0,0,0,1,1,0,1)
14	2	(1,0,0,0,1,0,0,0)	51	4	(1,1,1,0,0,0,1,0)	88	4	(0,1,0,0,1,1,0,1)
15	2	(0,1,0,0,1,0,0,0)	52	4	(1,1,0,1,0,0,1,0)	89	4	(0,0,1,0,1,1,0,1)
16	2	(0,0,1,0,1,0,0,0)	53	4	(1,0,1,1,0,0,1,0)	90	4	(0,0,0,1,1,1,0,1)
17	2	(0,0,0,1,1,0,0,0)	54	4	(0,1,1,1,0,0,1,0)	91	4	(1,1,0,0,0,0,1,1)
18	2	(1,0,0,0,0,1,0,0)	55	4	(1,1,0,0,1,0,1,0)	92	4	(1,0,1,0,0,0,1,1)
19	2	(0,1,0,0,0,1,0,0)	56	4	(1,0,1,0,1,0,1,0)	93	4	(0,1,1,0,0,0,1,1)
20	2	(0,0,1,0,0,1,0,0)	57	4	(0,1,1,0,1,0,1,0)	94	4	(1,0,0,1,0,0,1,1)
21	2	(0,0,0,1,0,1,0,0)	58	4	(1,0,0,1,1,0,1,0)	95	4	(0,1,0,1,0,0,1,1)
22	2	(0,0,0,0,1,1,0,0)	59	4	(0,1,0,1,1,0,1,0)	96	4	(0,0,1,1,0,0,1,1)
23	2	(1,0,0,0,0,0,1,0)	60	4	(0,0,1,1,1,0,1,0)	97	4	(1,0,0,0,1,0,1,1)
24	2	(0,1,0,0,0,0,1,0)	61	4	(1,1,0,0,0,1,1,0)	98	4	(0,1,0,0,1,0,1,1)
25	2	(0,0,1,0,0,0,1,0)	62	4	(1,0,1,0,0,1,1,0)	99	4	(0,0,1,0,1,0,1,1)
26	2	(0,0,0,1,0,0,1,0)	63	4	(0,1,1,0,0,1,1,0)	100	4	(0,0,0,1,1,0,1,1)
27	2	(0,0,0,0,1,0,1,0)	64	4	(1,0,0,1,0,1,1,0)	101	4	(1,0,0,0,0,1,1,1)
28	2	(0,0,0,0,0,1,1,0)	65	4	(0,1,0,1,0,1,1,0)	102	4	(0,1,0,0,0,1,1,1)
29	2	(1,0,0,0,0,0,0,1)	66	4	(0,0,1,1,0,1,1,0)	103	4	(0,0,1,0,0,1,1,1)
30	2	(0,1,0,0,0,0,0,1)	67	4	(1,0,0,0,1,1,1,0)	104	4	(0,0,0,1,0,1,1,1)
31	2	(0,0,1,0,0,0,0,1)	68	4	(0,1,0,0,1,1,1,0)	105	4	(0,0,0,0,1,1,1,1)
32	2	(0,0,0,1,0,0,0,1)	69	4	(0,0,1,0,1,1,1,0)	106	8	(1,1,1,1,1,1,1,1)
33	2	(0,0,0,0,1,0,0,1)	70	4	(0,0,0,1,1,1,1,0)	107-127		reserved
34	2	(0,0,0,0,0,1,0,1)	71	4	(1,1,1,0,0,0,0,1)			
35	2	(0,0,0,0,0,0,1,1)	72	4	(1,1,0,1,0,0,0,1)			

Επειδή στο σενάριο της προσομοίωσης μας χρησιμοποιούμε FDD, αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να έχουμε μέχρι $Ktrp = 2$, λόγω των περιορισμών που τέθηκαν από τον πίνακα 2.2. Αντί δηλαδή να έχουμε πια στη διάθεσή μας 107 bitmap, τώρα έχουμε 36 και επειδή το $Ktrp = 2$ γνωρίζουμε ότι στην βέλτιστη περίπτωση θα χρειαστούν τουλάχιστον 16ms για την αποστολή.



Σχήμα 2.4 Πλέγμα για $n_{pscch}=55$ [3]

Πίνακας 2.2: Καθορισμός X_{TRP} και K_{trp}

	X_{TRP}	K_0	K_1	K_2	K_3	K_4
FDD and TDD with UL/DL configuration 1,2,4,5	3	1	2	4	-	-
TDD with UL/DL configuration 0	5	1	2	3	4	5
TDD with UL/DL configuration 3,6	4	1	2	3	4	-

2.6 Παράδειγμα εφαρμογής

Ας πάρουμε ένα παράδειγμα. Χάριν απλότητας εστιάζουμε μόνο στη μετάδοση με mode 1 (απονομή πόρων προγραμματισμένη από το eNB μέσω DCI5) και σε εύρος ζώνης σήματος 10 MHz (50 RB) για την ανερχόμενη ζεύξη (uplink). Υπενθυμίζεται ότι χρησιμοποιείται η λειτουργία FDD. Δύο ζευγάρια από RBs είναι διαθέσιμα ανά υποπλαίσιο (καθορίζεται από PRB_Start, PRB_End), όπου το PRB_Num έχει οριστεί σε 10. Επομένως, MPSCCH είναι 20 RB. Το nPSCCH πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0 και 99 και στο παράδειγμά μας θα υποθέσουμε ότι είναι 55. Οπότε, με αυτές τις παραμέτρους θα πραγματοποιηθεί η πρώτη μετάδοση PSCCH χρησιμοποιώντας το 5ο RB στο υποπλαίσιο # 5 της περιόδου SC και η δεύτερη μετάδοση θα χρησιμοποιεί το 15ο RB στο υποπλαίσιο # 1. Οι καταληφθέντες πόροι σημειώνονται με κίτρινο χρώμα στο σχήμα 2.4. Ανά UE το eNB θα εκχωρήσει μια διαφορετική τιμή για npscch έτσι ώστε τα κινητά να χρησιμοποιούν διαφορετικούς πόρους και να αποφύγουν έτσι τις συγκρούσεις [3].

Κεφάλαιο 3: Μοντελοποίηση συστήματος

3.1 Μοντελοποίηση DRX και τηλεπικοινωνιακής κίνησης

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, τα κινητά δεν μένουν συνεχώς σε κατάσταση RRC_Connected. Για αυτό το λόγο πρέπει να λάβουμε υπόψη τον κύκλο ύπνου που περνάει το UE και να καθορίσουμε τις στιγμές (υποπλαίσια) στα οποία μπορεί να ακούσει το PDDCH κανάλι που εκπέμπει ο σταθμός βάσης. Εφόσον ένα UE αποκωδικοποιήσει σωστά το προαναφερθέν κανάλι, προσπαθεί να αποκωδικοποιήσει το SIB1 και έπειτα το SIB11 το οποίο περιέχει το μήνυμα έκτακτης ανάγκης. Εάν συμβούν όλα τα παραπάνω τότε το UE θεωρείται εντός κάλυψης του σταθμού βάσης και μπορεί, αν πληροί και κάποιες ακόμα συνθήκες (που θα αναφερθούν στη συνέχεια) να γίνει πομπός. Για την υλοποίηση των ανωτέρω θεωρούμε ότι έχουμε τα παρακάτω σενάρια.

3.1.1 Κινητά που χάνουν την κάλυψη

Σε αυτή την περίπτωση τα κινητά ψάχνουν για δίκτυα κινητής της περιοχής (τα οποία γνωρίζουν ποια είναι σε ότι αφορά την κεντρική συχνότητά τους και το εύρος ζώνης βάσει πληροφοριών συστήματος και ενδεχομένως γνώσης θέσης μέσω GPS) κάθε DRX περίοδο ως εξής: Αν τα κινητά έχουν ενημερωθεί ότι υπάρχει κατάσταση έκτακτης ανάγκης και ως εκ τούτου έχουν προσαρμόσει τη λειτουργία τους, καθορίζουν ένα DRX της τάξης των 320 ms στο οποίο έχουν activity 80 ms για μετρήσεις δικτύων. Υποθέτουμε ότι υπάρχουν 8-10 δίκτυα στην περιοχή (όλοι οι πάροχοι και όλες οι διαφορετικές τεχνολογίες – RAT – που υπάρχουν σε μια περιοχή). Γνωρίζοντας τις φέρουσες συχνότητες και το εύρος ζώνης, απαιτούνται περί τα 4-5 ms για την μέτρηση του RSSI (Received Signal Strength Indication) σε κάθε δίκτυο. Απαιτούνται επίσης 40 ms για τη μέτρηση που αφορά ProSe επικοινωνία δηλαδή γύρω στα 80-100 ms activity εντός της περιόδου DRX. Αν δεν εντοπίσουν κάποιο δίκτυο, τότε επαναλαμβάνουν τη διαδικασία κάθε DRX. Αν βρουν δίκτυο, ξεκινούν τη διαδικασία συγχρονισμού με αυτό.

3.1.2 Κινητά που βρίσκονται εντός κάλυψης

Τα κινητά ακούν το σταθμό βάσης και χρησιμοποιούν DRX ανάλογα με την κίνηση. Σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης η τηλεπικοινωνιακή κίνηση αυξάνεται επειδή οι συνδρομητές προσπαθούν να επικοινωνήσουν όλοι μαζί. Ωστόσο τα System Information σήματα (BCCH) εκπέμπονται στο downlink και μέσω αυτών τα κινητά μπορούν να λάβουν τις απαραίτητες πληροφορίες από τα SIB10/11 (ETWS) ή SIB12 (CMAS). Οι συνδρομητές έχουν DRX ανάλογα με το είδος κίνησης. Αμέσως μετά όλοι προσπαθούν να επικοινωνήσουν. Όταν πολλοί συνδρομητές είναι ενεργοί (είτε RRC_CONNECTED είτε έχουν στείλει RACH) ακόμη κι όταν δεν υπάρχουν αρκετοί πόροι για να εξυπηρετηθούν τα κινητά που ζητούν να εξυπηρετηθούν, επειδή αυτά ακούν συνέχεια το PDDCH για να δουν αν τους έχουν εκχωρηθεί πόροι, θα ακούσουν πολύ γρήγορα το PDCCH που τους ενημερώνει για την ύπαρξη ETWS/CMAS καθώς αυτό εκπέμπεται σε κάθε υποπλαίσιο. Σε αυτή την περίπτωση το DRX είναι πολύ μικρό (αντιστοιχεί για παράδειγμα σε κατάσταση που έχουμε πολλούς ταυτόχρονους χρήστες φωνής οι οποίοι έχουν μικρό DRX).

3.1.3 Παράμετροι υπολογισμού DRX

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τα προηγούμενα σενάρια προχωρούμε ξεχωρίζοντας τέσσερις περιπτώσεις τηλεπικοινωνιακής κίνησης και κάνοντας μια τυχαία κατανομή για αυτή για τα κινητά που βρίσκονται εντός κάλυψης και υπολογίζουμε το DRX του κάθε UE. Οι τέσσερις περιπτώσεις είναι οι εξής:

- Κινητά που έχουν τηλεπικοινωνιακή κίνηση τύπου φωνής (VoIP)
- Κινητά που έχουν τηλεπικοινωνιακή κίνηση τύπου Active traffic
- Κινητά που έχουν τηλεπικοινωνιακή κίνηση τύπου DDA ή background
- Κινητά που προσπαθούν να επικοινωνήσουν ταυτόχρονα

Οι τρεις πρώτες περιπτώσεις είναι οι ίδιες που αναφέρθηκαν στο κεφ. 1.4, αναφέρονται όμως σε «φυσιολογικές» καταστάσεις κίνησης για αυτό προσθέτουμε και μια τέταρτη περίπτωση η οποία προκύπτει λόγω της κατάστασης έκτακτης ανάγκης που υπάρχει στο σενάριο προσομοίωσής μας.

Οι παράμετροι που εφαρμόστηκαν για τους υπολογισμούς δίνονται από τις αναφορές [6],[7] και [12].

Για UE σε κατάσταση RRC_Connected με τηλεπικοινωνιακή κίνηση τύπου φωνής (VoIP) έχουμε:

- Ο DRX long cycle (μεγάλος κύκλος DRX) είναι 20 ms
- Ο Timer $T1_{ON}$ διαρκεί για 1 με 2 ms
- Ο DRX Inactivity Timer(κύκλος αδράνειας DRX) διαρκεί για 4 ms
- Δεν υπάρχει short cycle (σύντομος κύκλος)

Για UE σε κατάσταση RRC_Connected με τηλεπικοινωνιακή κίνηση τύπου Active traffic έχουμε:

- Ο DRX long cycle (μεγάλος κύκλος DRX) είναι 320 ms
- Ο Timer $T1_{ON}$ διαρκεί για 4 ms
- Ο DRX Inactivity Timer(κύκλος αδράνειας DRX) διαρκεί για 30 ms
- Ο short cycle (σύντομος κύκλος) διαρκεί για 80 ms
- Το πλήθος των σύντομων κύκλων είναι 10

Για UE σε κατάσταση RRC_Connected με τηλεπικοινωνιακή κίνηση τύπου DDA ή background traffic έχουμε:

- Ο DRX long cycle (μεγάλος κύκλος DRX) είναι 320 ms
- Ο Timer $T1_{ON}$ διαρκεί για 4 ms
- Ο DRX Inactivity Timer(κύκλος αδράνειας DRX) διαρκεί για 30 ms

Για UE σε κατάσταση IDLE έχουμε έναν μεγάλο κύκλο DRX που διαρκεί 320 ή 1280 ms.

3.1.4 Κατανομή πακέτων και υπολογισμός της άφιξής τους

Εφόσον τώρα πια έχει δημιουργηθεί η τηλεπικοινωνιακή κίνηση των κινητών με βάση το DRX τους, μπορούμε να υπολογίσουμε την άφιξη των πακέτων. Αρχικά χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του πίνακα 1.2 από το κεφ.1 υπολογίζουμε το paging occasion των χρηστών που βρίσκονται εντός κάλυψης και είναι σε IDLE κατάσταση. Γνωρίζοντας τον DRX κύκλο για τους χρήστες με τύπο VoIP βρίσκουμε (με τυχαίο τρόπο) πότε θα σταλεί ένα πακέτο μέσα στα 20 ms που διαρκεί ο κύκλος. Για τους χρήστες που βρίσκονται σε active κατάσταση δημιουργούμε μια τυχαία κατανομή πακέτων, ανάλογα με το αντίστοιχο είδος τηλεπικοινωνιακής κίνησης που έχουν. Επειδή όμως δεν γνωρίζουμε πότε θα «έρθει» ένα πακέτο σε ένα session, διαλέγουμε μια τυχαία στιγμή μέσα στην διάρκειά του και ορίζουμε εκείνη την τυχαία στιγμή ως την ώρα που έφτασε. Για παράδειγμα, εάν υποθέσουμε ότι ένα session διαρκεί 20 sec, δεν μπορούμε να ξέρουμε ότι το πακέτο θα φτάσει στο 1^ο ms, για αυτό διαλέγουμε μια τυχαία στιγμή (με βάση τον αριθμό υποπλαισίων που κυμαίνεται η προσομοίωσή μας) π.χ. στα 5000 ms , βρίσκουμε σε τι κατάσταση DRX βρίσκεται και το ενημερώνουμε καταλλήλως. Τέλος, για την περίπτωση των DDA χρηστών ακολουθείται η ίδια διαδικασία με αυτήν των active.

Στη συνέχεια, αφού έχουμε βρει και δημιουργήσει το είδος της τηλεπικοινωνιακής κίνησης κάθε UE (εντός κάλυψης), πρέπει να βρεθεί η στιγμή στην οποία τα εντός κάλυψης κινητά θα λάβουν το SIB11. Για να το υλοποιήσουμε αυτό, εντοπίζουμε το υποπλαίσιο στο οποίο υπάρχει SIB1 μετά την αποκωδικοποίηση του PDCCH που συμβαίνει την πρώτη φορά που ενεργοποιείται το κινητό. Αυτά τα κινητά θα παραμείνουν σε ενεργή κατάσταση για όλα τα υπόλοιπα υποπλαίσια. Τέλος, δημιουργούμε και το DRX για τα υπόλοιπα UE εκτός κάλυψης, έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης εικόνα της κίνησης και των DRX όλων των κινητών.

3.2 Απώλειες

Η προσομοίωσή μας γίνεται για ανοιχτό αστικό περιβάλλον αλλά το μοντέλο καναλιών μπορεί να προσαρμοστεί και για άλλες περιπτώσεις. Για να υπολογίσουμε τις απώλειες των κινητών από το σταθμό βάσης χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο μοντέλο καναλιών που ακολουθούμε (B1) [13] ορίζονται οι παρακάτω παράμετροι υπενθυμίζοντας ότι η κεντρική συχνότητα f_c στο LTE είναι 2.6GHz και το εύρος ζώνης (B) 180KHz.

Οι απώλειες ελεύθερου χώρου δίνονται από τον τύπο:

$$PL_{free} = 20\log_{10}(d(m)) + 46.4 + 20\log_{10}\left(\frac{f_c}{5}\right) \quad (3.1)$$

όπου,

$d(m)$ η απόσταση του εκάστοτε κινητού από το σταθμό βάσης σε m

f_c η κεντρική συχνότητα εκφρασμένη σε GHz.

Έπειτα υπολογίζουμε την απόσταση breakpoint:

$$d_{BP}(m) = (4h'_{BS}h'_{MS}f_c)/c \quad (3.2)$$

όπου,

$H'_{BS} = H_{BS} - 1.0m$ το ύψος του σταθμού βάσης

$H'_{MS} = H_{MS} - 1.0m$ το ύψος του UE

f_c η κεντρική συχνότητα σε Hz

c η ταχύτητα φωτός $3 * 10^8 m/s$

Εάν το κινητό είναι LOS (Line of Sight), δηλαδή έχει οπτική επαφή με τον σταθμό βάσης και $d_{BP}(m) < d_{UE-BS}$:

$$PL_{LOS} = 40\log_{10}(d(m)) + 9.45 - 17.3\log_{10}(h'_{BS}) - 17.3\log_{10}(h'_{MS}) + 2.7\log_{10}\left(\frac{f_c}{5}\right) \quad (3.3)$$

Αλλιώς αν $d_{BP}(m) \geq d_{UE-BS}$,

$$PL_{LOS} = 22.7\log_{10}(d(m)) + 41 + 20\log_{10}\left(\frac{f_c}{5}\right) \quad (3.4)$$

Για την περίπτωση που το κινητό είναι NLOS (No Line of Sight), δηλαδή δεν έχει οπτική επαφή με τον σταθμό βάσης:

$$PL_{NLOS} = (44.9 - 6.55\log_{10}(h_{BS})) * \log_{10}(d(m)) + 41 + 20\log_{10}\left(\frac{f_c}{5}\right) \quad (3.5)$$

όπου, τίθεται $H_{BS} = 10m$, δεδομένου ότι μιλάμε για σταθμούς βάσης χαμηλότερα από το ύψος των κτιρίων.

Η πιθανότητα ενός κινητού να είναι LOS δίνεται από :

$$Pr_{LOS} = \min\left(\frac{18}{d(m)}, 1\right) * \left(1 - \exp\left(-\frac{d(m)}{36}\right)\right) + \exp\left(-\frac{d(m)}{36}\right) \quad (3.6)$$

Οι συνολικές απώλειες ορίζονται από:

$$PL_{B1_{total}} = \max(PL_{free}, PL) \quad (3.7)$$

Σε όλες τις προαναφερθείσες απώλειες αφαιρείται το κέρδος του σταθμού βάσης που είναι 15 dBi ενώ προστίθεται και shadow fading που είναι 3 για LOS και 4 για NLOS.

Αφού έχουμε βρει τις απώλειες των κινητών σε σχέση με το σταθμό βάσης, υπολογίζεται η στάθμη της ισχύος λήψεως για να καθοριστεί έπειτα το SNR.

Η ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης είναι 26dBm, όμως επιζητούμε την ισχύ εκπομπής με βάση τον συνολικό αριθμό των RBs και τον αριθμό RBs που ορίζουμε ότι χρειάζονται για τη μετάδοση του μηνύματος, το οποίο στην προκειμένη είναι 8. Οπότε έχουμε:

$$P_{BS_RB} = PBS - 10\log_{10}(RB_{total}) + 10\log_{10}(RB_{traffic}) \quad (3.8)$$

όπου,

PBS , η ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης

RB_{total} , ο συνολικός αριθμός των RBs

$RB_{traffic}$, ο αριθμός των RBs για τη μετάδοση του μηνύματος

Για τον υπολογισμό της ισχύος λήψης του UE έχουμε:

$$Pr_{UE} = P_{BS_RB} - PL_{B1_{total}} - BodyLoss - CableLoss \quad (3.9)$$

όπου,

P_{BS_RB} , η ισχύς εκπομπής του σταθμού ανά RB

$PL_{B1_{total}}$, οι συνολικές απώλειες

$BodyLoss$, οι απώλειες σώματος

$CableLoss$, απώλειες λόγω καλωδίων (2dB)

Το SNR υπολογίζεται από τον κάτωθι τύπο:

$$SNR_{UE-BS} = Pr_{UE} - P_n - F \quad (3.10)$$

όπου η ισχύς θορύβου είναι,

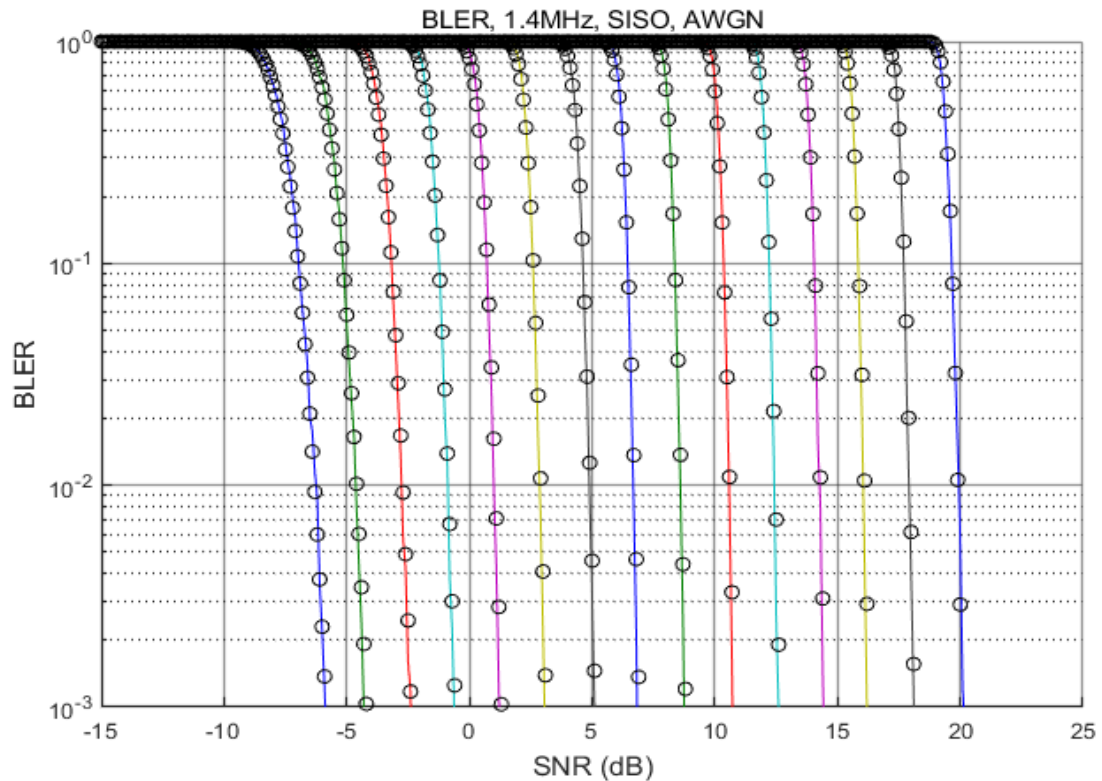
$$P_n = -174 + 10\log_{10}(B * RB_{traffic}) \quad (3.11)$$

και η εικόνα θορύβου $F = 7dB$

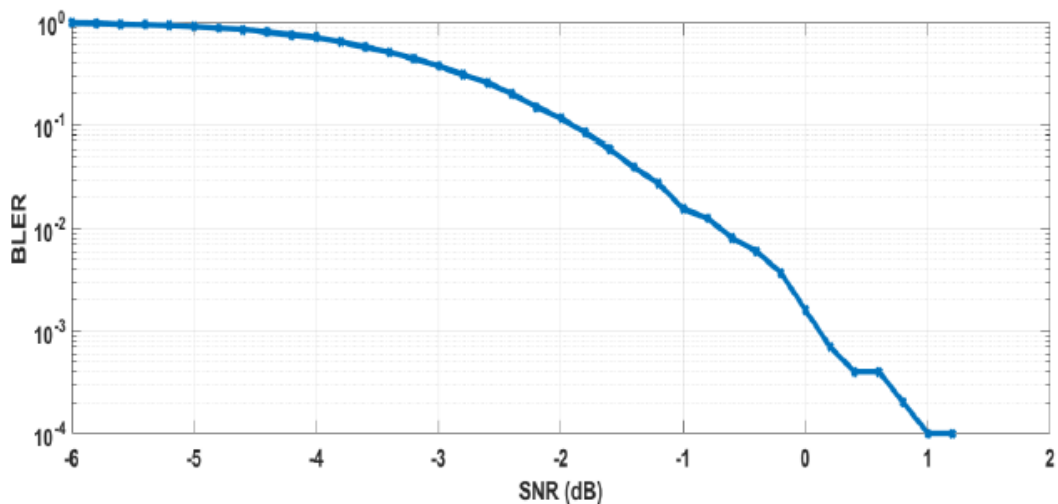
3.3 BLER

Επιλέχθηκε ένα MCS=5 για BLER=10%, λόγω της καλής σηματοθρομβικής σχέσης που υπάρχει. Με βάση αυτό το MCS, μπορούμε να διαπιστώσουμε το όριο με το οποίο καθορίζουμε ποια κινητά είναι

εντός κάλυψης του σταθμού βάσης. Το όριο που επιλέγεται για το SNR με βάση τα προηγούμενα είναι 2.5dB .



Σχήμα 3.1 BLER για το shared κανάλι και σηματοθορυβική σχέση [14]

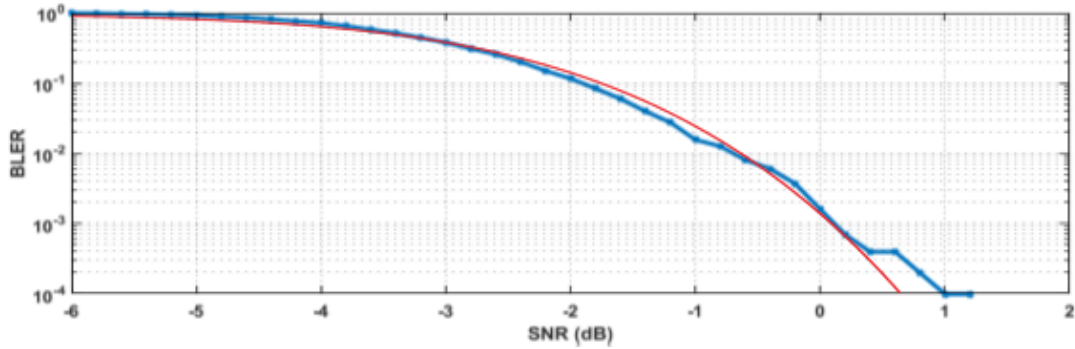


Σχήμα 3.2 BLER-SNR για το PSCCH [15]

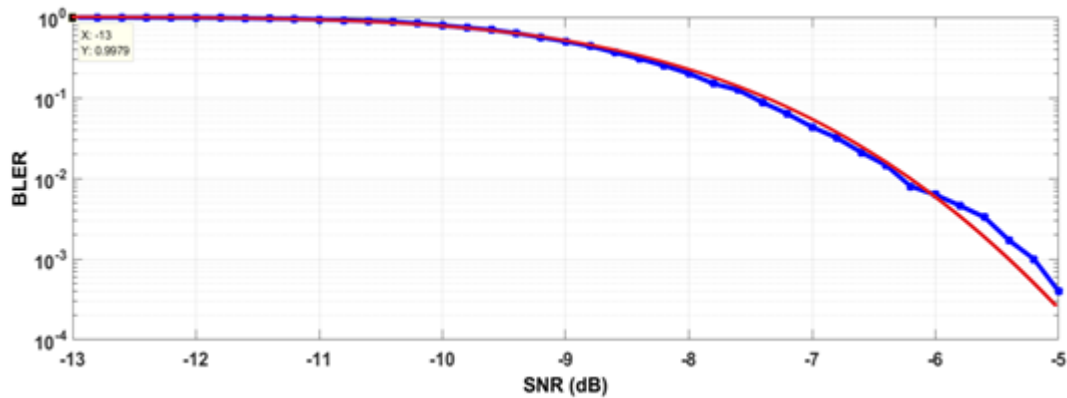
Για την διαδικασία καθορισμού του BLER των sidelink καναλιών ακολουθείται μια μέθοδος προσέγγισης του BLER σε σχέση με το SNR, όπως αναφέρουν σχετικά οι Jian Wang, Richard Rouil στο κείμενο BLER Performance Evaluation of LTE Device-to-Device Communications [15]. Γίνεται ρύθμιση των τιμών έτσι ώστε να προσεγγίζεται η καμπύλη όσο το δυνατόν περισσότερο και να προκύπτει μια πραγματική τιμή του BLER για το PSCCH και PSSCH κανάλι. Για τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ BLER και SNR για το κανάλι AWGN, στο μεταδιδόμενο σήμα περιλαμβάνεται

πρόσθετος λευκός Gaussian θόρυβος. Μεταβάλλοντας την ισχύ θορύβου, έχει προσομοιωθεί η μετάδοση σήματος και η λήψη για να μετρηθεί το BLER σε διαφορετικά επίπεδα SNR.

Το σχήμα 3.3 απεικονίζει το BLER έναντι SNR μιας εκπομπής για PSCCH. Να υπενθυμίσουμε ότι υπάρχουν δύο πανομοιότυπες εκπομπές για κάθε μπλοκ μεταφοράς στο PSCCH. Όπως μπορούμε να δούμε στο σχήμα, το BLER μειώνεται με την αύξηση του SNR. Η προσέγγιση που έγινε για την παρούσα εργασία φαίνεται με μια κόκκινη γραμμή στο σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.3 BLER-SNR προσέγγιση για PSCCH



Σχήμα 3.4 BLER-SNR προσέγγιση για PBSCH

Για τον υπολογισμό του BLER για το PSCCH κανάλι ισχύει ο κάτωθι τύπος:

$$BLER = qfunc \left(\frac{\log(1 + g) - a}{\sqrt{\frac{2g}{b(g+1)}}} \right) \quad (3.12)$$

όπου ,

$$g = 10^{0.1(SNR)}$$

$$a = 0.376$$

$$b = 73$$

Οι παραπάνω τιμές ρυθμίστηκαν έτσι ώστε να προκύπτει μια καλή προσέγγιση του αρχικού σχήματος 3.5. Για το κανάλι του PBSCH ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία προσέγγισης με το PSCCH κανάλι.

Όπως είναι ευδιάκριτο από το παραπάνω σχήμα, προκύπτει μια καλή προσέγγιση της αρχικής καμπύλης (μπλε) με αυτήν που δημιουργήθηκε από τους δικούς μας υπολογισμούς (κόκκινη). Η εξίσωση που εκφράζει το BLER και οι σταθερές που τη διέπουν έχει ως εξής:

$$BLER = qfunc \left(\frac{\log(1 + g) - a1}{\sqrt{40 \frac{g}{(b1(g + 1))}}} \right) \quad (3.13)$$

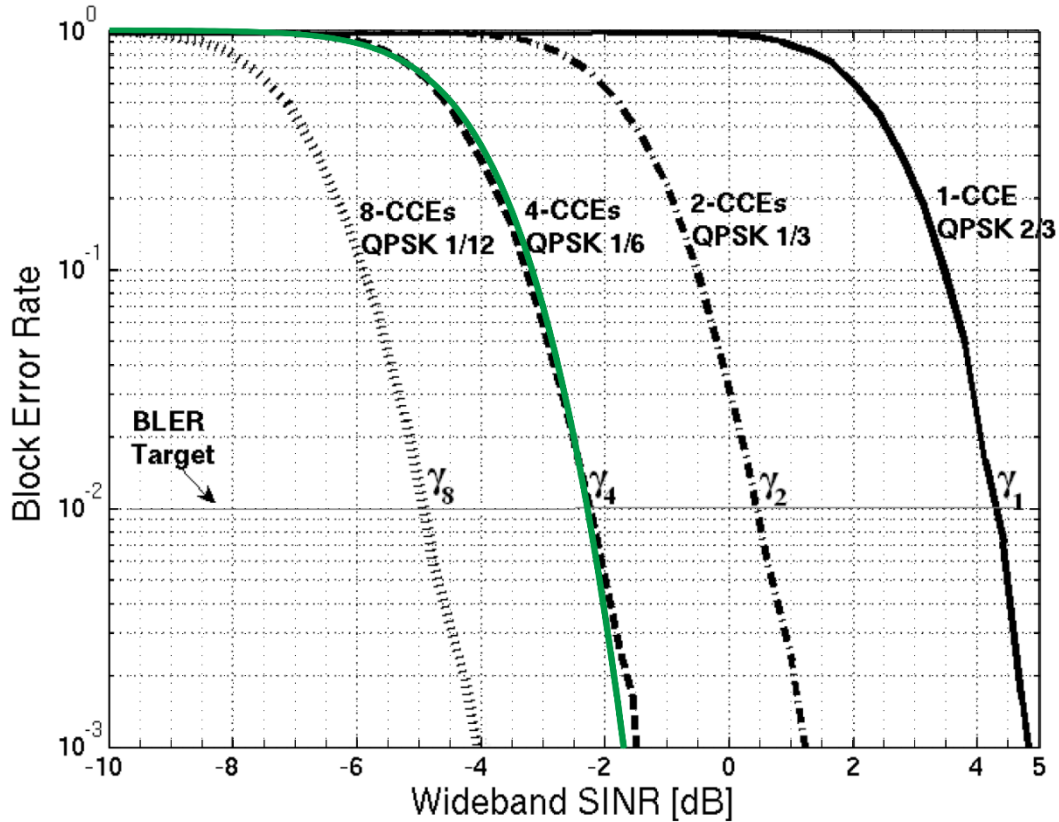
όπου,

$$g = 10^{(0.1(SNR))/c}$$

$$a1 = 0.88$$

$$b1 = 800$$

$$c1 = 0.09$$



Σχήμα 3.5 BLER-SINR προσέγγιση για PDDCH

Για τον υπολογισμό του BLER του καναλιού του PDCCH εφαρμόζουμε την ίδια διαδικασία προσέγγισης με τα προηγούμενα κανάλια, χρησιμοποιώντας μια αρχική εικόνα [16] με αξιόπιστα αποτελέσματα για την προσέγγιση. Η δική μας προσέγγιση διακρίνεται με μια πράσινη γραμμή.

$$BLER = qfunc \left(\frac{\log(1 + g) - a2}{\sqrt{2.25 \frac{g}{(b2(g + 1))}}} \right) \quad (3.14)$$

όπου,

Κεφάλαιο 3

$$g = 10^{(0.1(SNR))/c}$$

$$a2 = 0.305$$

$$b1 = 120$$

3.4 Επίλογος

Θεωρητικά θα χρειαζόταν να ξέρουμε και το BLER των σημάτων συγχρονισμού PSSS/SSSS, όμως υποθέτουμε ότι αν ένα UE λαμβάνει σωστά το PSBCH είναι μάλλον απίθανο να μη λαμβάνει τα κανάλια συγχρονισμού. Τα προαναφερθέντα κανάλια έχουν σχέση μόνο με τη λαμβανόμενη ισχύ και την ενδεχόμενη παρεμβολή, όμως λόγω των πολύ καλών ακολουθιών Zadoff-Chu θεωρούμε ότι αν λαμβάνει το PSBCH λαμβάνει και τα PSSS/SSSS.

Κεφάλαιο 4: Προσομοίωση και ανάλυση κώδικα συστήματος

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί το διάγραμμα ροής και τα κύρια τμήματα του κώδικα που χρησιμοποιήθηκαν, τα οποία είναι απαραίτητα για την κατανόηση της υλοποίησης της προσομοίωσης του συστήματος. Λόγω του μεγέθους του κώδικα θα αναλυθεί αρχικά η βασική νοοτροπία του σε μια απλοποιημένη μορφή όπως ακολουθεί στο σχήμα 4.1 και θα ακολουθήσει αναλυτικότερη περιγραφή των υποτμημάτων σε επόμενα σχήματα.

4.1 Μεταβλητές και διάγραμμα ροής

Για την αρχικοποίηση των μεταβλητών καθορίζουμε τις εξής global μεταβλητές:

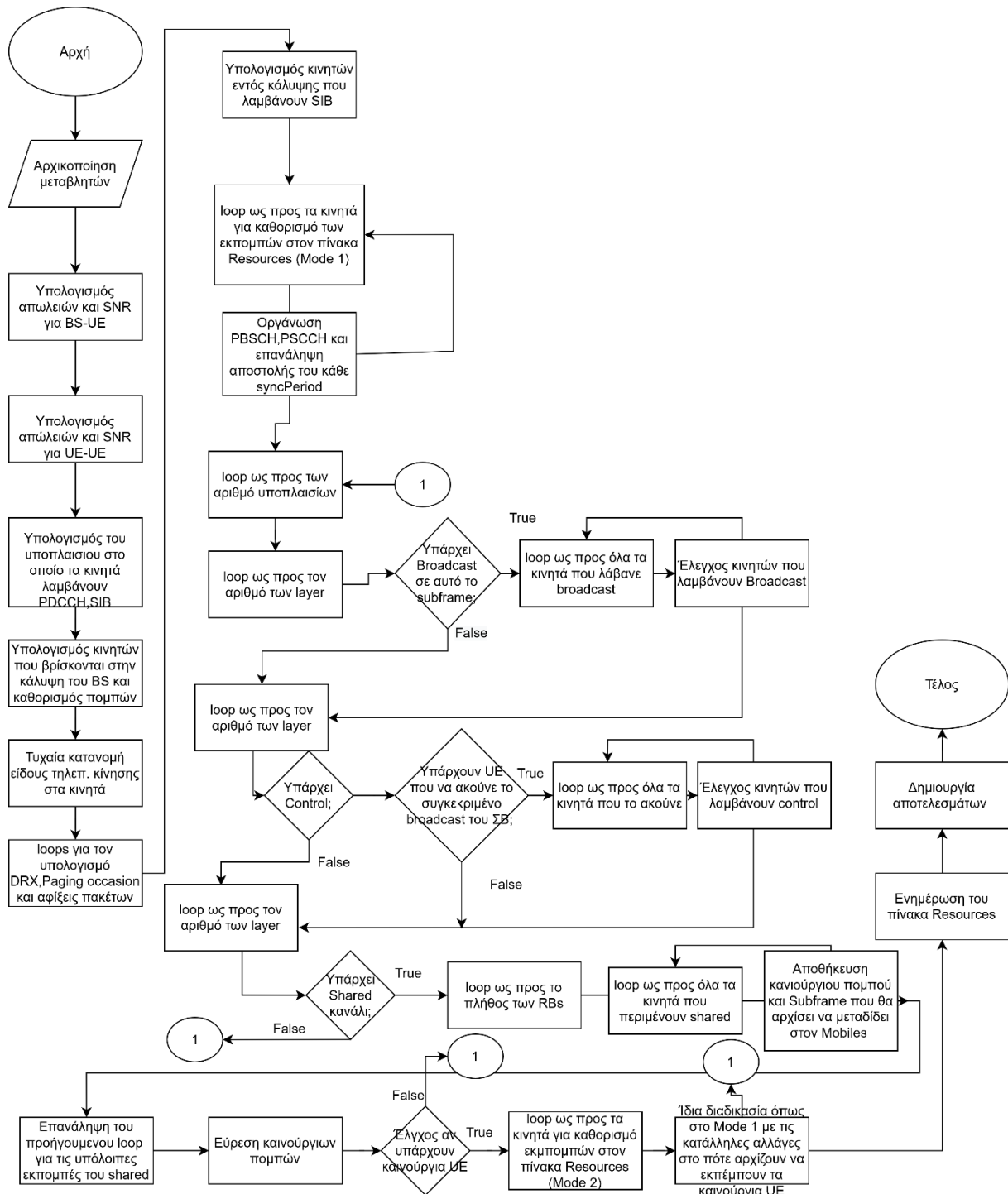
- [BSx,BSy], η θέση των σταθμών βάσης σύμφωνα με την συνάρτηση Poisson
- [MSx,MSy], η θέση των κινητών σύμφωνα με την συνάρτηση Poisson
- lambda_BS , η πυκνότητα του αριθμού των σταθμών βάσης
- lambda_MS , η πυκνότητα του αριθμού των κινητών
- region_dimensions , οι διαστάσεις της περιοχής η οποία θα προσομοιωθεί
- B, το εύρος ζώνης
- TotalNumofRB , ο συνολικός αριθμός των RB
- SLperiod, η διάρκεια μιας sidelink περιόδου
- numTotSubframes, ο συνολικός αριθμός των subframes
- numofLayers, ο αριθμός των layers
- number_of_trans, ο αριθμός των μεταδόσεων
- Resources , ο πίνακας που περιέχει τις εκπομπές όλων των πομπών
- RB_traffic, ο αριθμός των RBs που χρειάζονται για την αποστολή της πληροφορίας
- Mobiles, ο πίνακας που περιέχει όλες τις πληροφορίες για όλα τα κινητά

Οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- BLERcalculation, υπολογίζει το BLER και μπορεί να δεχτεί διάφορες παραμέτρους. Στην περίπτωση μας λαμβάνουμε υπόψη το SNR, τον αριθμό εκπομπής C, τον αριθμό επανεκπομπής RV και τον αριθμό των RB που ορίζεται για το traffic κανάλι.
- Csproissproc, μια ομοιόμορφη τυχαία κατανομή Poisson για την τυχαία δημιουργία του σταθμού βάσης και των κινητών στο χώρο.
- DRX_Update_DDA,
- DRX_Update_Active,
- DRX_Update_Act,

Επίσης φορτώνεται ο εξής πίνακας:

- bitmaps PSSCH_bmps, ο οποίος περιέχει τα στοιχεία του πίνακα 3.1 για να μπορεί να γίνεται η κατανομή των bitmaps στα UE.



Σχήμα 4.1 Διάγραμμα ροής

Για καλύτερη κατανόηση του παραπάνω διαγράμματος ροής ακολουθούν επεξηγήσεις των επιμέρους κουτιών. Να σημειωθεί ότι ο αριθμός 1 που βρίσκεται μέσα σε ένα κύκλο δηλώνει επιστροφή στον κύριο βρόχο ο οποίος αφορά τα κινητά που είναι ενεργά στο εκάστοτε υποπλαίσιο του βρόχου. Αυτό έγινε για αποφυγή περιττών γραμμών που θα μείωναν την αναγνωσιμότητα του διαγράμματος.

- Για τους υπολογισμούς των απωλειών (BS-UE) ακολουθούμε τα μοντέλα που περιγράφηκαν στο κεφ. 3. Δημιουργούμε ένα βρόχο για όλα τα κινητά για να μπορούμε να υπολογίσουμε

SNR και απώλειες. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία κάνουμε το ίδιο για τα κινητά (UE-UE), διότι στη mode 2 επικοινωνία χρειαζόμαστε πια απώλειες και SNR μεταξύ των κινητών.

- Τα κινητά που θα θεωρηθούν εντός κάλυψης πρέπει να έχουν αποκωδικοποιήσει σωστά το SIB. Οπότε με ένα βρόχο ελέγχουμε πρώτα αν έχει ληφθεί σωστά το PDDCH και στη συνέχεια το SIB.
- Εφόσον βρούμε τα κινητά εντός κάλυψης δημιουργούμε την τηλεπικοινωνιακή κίνηση των κινητών αυτών βάσει του είδους της.
- Αφού βρεθούν οι πιθανοί εντός κάλυψης πομποί, δημιουργούμε ένα βρόχο μόνο για αυτά τα κινητά για να οργανωθούν οι εκπομπές των PBSCCH, PSCCH και PSCCH καναλιών.
- Τώρα πια μπαίνουμε στο κύριο βρόχο του οποίου το μέγεθος κυμαίνεται ανάλογα με τον αριθμό των υποπλαισίων που έχουμε διαλέξει.
- Όλοι οι έλεγχοί μας γίνονται για τα κινητά που είναι ενεργά στο εκάστοτε υποπλαίσιο. Εφόσον πια έχουμε αποθηκευμένες τις εκπομπές των εντός κάλυψης πομπών στον πίνακα Resources, ψάχνουμε όλο τον πίνακα για εκπομπή broadcast. Ελέγχουμε με ένα βρόχο, μέσα στον οποίο υπολογίζουμε απώλειες μεταξύ των UE ποιο λαμβάνει σωστά το κανάλι.
- Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για το control αλλά το κινητό που άκουσε επιτυχώς broadcast από ένα UE περιμένει να ακούσει control από το ίδιο.
- Επειδή το shared κανάλι στέλνεται τέσσερις φορές δημιουργούμε τέσσερις όμοιους βρόχους που διαφοροποιούνται μόνο στο BLER.
- Μέσα σε αυτούς τους βρόχους ελέγχουμε σε ποια εκπομπή αποκωδικοποίησε το UE σωστά το κανάλι και σημειώνουμε ότι θα γίνει πια πομπός για mode 2 και πιο συγκεκριμένα τότε θα αρχίσει να εκπέμπει προσθέτοντας απλά 5ms, που θεωρούμε ότι χρειάζεται το UE για να μεταβεί από την κατάσταση δέκτη σε κατάσταση πομπού στο συγκεκριμένο υποπλαίσιο που το έλαβε.
- Μέσα λοιπόν στον ίδιο κύριο βρόχο αν υπάρξει κάποιο κινητό που έγινε πομπός οργανώνουμε τις εκπομπές του με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε προηγουμένως και τώρα πια υπάρχουν και οι δικές του εκπομπές στον πίνακα Resources.

4.2 Ανάλυση του πίνακα Mobiles και Resources

Πριν προχωρήσουμε σε περαιτέρω ανάλυση του κώδικα είναι σημαντικό να γίνει κατανοητός ο λόγος δημιουργίας των 2 αυτών πινάκων.

4.2.1 Πίνακας Mobiles

Αυτός ο πίνακας έχει μέγεθος $20 * \text{length}(\text{MSx})$. Στις 20 στήλες αποθηκεύονται διάφορα χρήσιμα στοιχεία των κινητών, για λόγους ευαναγνωσιμότητας ο πίνακας έχει σπάσει σε 2 κομμάτια.

Πίνακας 4.1 Mobiles, στήλες 1 έως 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Αριθμός UE	MSx	MSy	Reception layer	ARQ (1-4)	SNR	RXID	Είναι πομπός;	TXID	Ισχύς
1									
2									
...									

Πίνακας 4.2 Mobiles, στήλες 11 έως 20

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Αριθμός καναλιού	Ληφθέν κανάλι από UE	Offset	Bitmap	Pathloss	Υποπλάισιο στο οποίο έγινε πομπός	Οργάνωση εκπομπών για mode 2	ARQ SIB11 (1-4)	Πότε έλαβε data	Είδος τηλεπ. κίνησης

Ας δούμε λοιπόν τη λειτουργία κάθε στήλης:

1. Αποθηκεύεται ο αριθμός (index) κάθε κινητού
2. Η θέση του κινητού στον άξονα X
3. Η θέση του κινητού στον άξονα Y
4. Αν έλαβε το κινητό από το σταθμό βάσης, σημειώνουμε τον αριθμό 1
5. Σε ποια εκπομπή έλαβε το κινητό από τον σταθμό βάσης
6. Το SNR του εκάστοτε κινητού
7. Εάν το κινητό έχει λάβει από τον σταθμό βάσης παίρνει το ID 9999
8. Εάν πληρούνται οι συνθήκες για το SNR και την ισχύ και άρα το κινητό μπορεί να γίνει πομπός τότε συμπληρώνουμε σε αυτή την στήλη τον αριθμό 1
9. Σε αυτή τη στήλη μπαίνει σαν αύξων αριθμός το ID προσθέτοντας 2000, 3000, ανάλογα με το αν το reception layer ήταν 1, 2 ...
10. Η ισχύς του κινητού
11. Ο αριθμός του καναλιού που έχει αποκωδικοποιήσει σωστά το UE. Όταν έχει λάβει σωστά το μήνυμα από το σταθμό βάσης αποκτά την τιμή 10. Όταν έχει λάβει σωστά Broadcast θα πάρει την τιμή 1 και για Control την τιμή 2. Επειδή το shared κανάλι στέλνεται τέσσερις φορές, ορίζουμε ότι εάν ληφθεί με την πρώτη παίρνει την τιμή 11 και για κάθε επόμενη εκπομπή προστίθεται 1 δηλαδή έχουμε 12,13,14.
12. Εάν κάποιο UE λαμβάνει μήνυμα από άλλο UE, εδώ σημειώνεται από ποιο UE έλαβε το εκάστοτε κανάλι. Για παράδειγμα εάν το κινητό 345 λάβει από το κινητό 245 τότε το Mobiles (345, 12) =245. Αυτή η στήλη είναι ιδιαίτερος χρήσιμη διότι μας επιτρέπει να γνωρίζουμε από ποιο UE λήφθηκε ένα κανάλι και από πού περιμένει να «ακούσει» και τα υπόλοιπα κανάλια.
13. Εδώ αποθηκεύονται τα offset για broadcast και control κανάλι.

14. Εδώ αποθηκεύονται τα bitmap.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.0033	1.0094	0	0	-3.4354	0	1	0	34
2	2	0.0081	4.4735	0	0	-5.0527	0	0	0	6
3	3	0.0126	3.9497	0	0	14.7453	0	1	0	38
4	4	0.0156	0.2151	0	0	-1.7837	0	0	0	71
5	5	0.0165	1.6619	0	0	-2.7075	0	0	0	15
6	6	0.0188	2.4037	0	0	-4.0325	0	1	0	97
7	7	0.0241	0.7334	0	0	24.0570	0	0	0	3
8	8	0.0262	3.4617	0	0	-2.7957	0	1	0	49
9	9	0.0278	2.2505	0	0	-0.4466	0	1	0	87
10	10	0.0280	2.0683	0	0	13.1453	0	1	0	24
11	11	0.0286	1.6166	0	0	14.0638	0	1	0	67
12	12	0.0289	4.7230	0	0	14.5651	0	1	0	68
13	13	0.0297	2.6927	0	0	-0.4747	0	1	0	95
14	14	0.0328	3.6006	0	0	-4.4452	0	1	0	45
15	15	0.0342	3.8409	0	0	6.7326	0	1	0	22
16	16	0.0360	4.2983	0	0	40.7271	0	1	0	24
17	17	0.0413	3.4306	0	0	-3.8980	0	1	0	95
18	18	0.0450	1.6562	0	0	6.3134	0	1	0	64
19	19	0.0452	3.3966	0	0	-6.4076	0	0	0	6
20	20	0.0497	4.1144	0	0	0.6698	0	1	0	46
21	21	0.0523	0.5498	0	0	25.1825	0	0	0	15
22	22	0.0545	3.1265	0	0	6.1346	0	1	0	61
23	23	0.0624	4.2883	0	0	-4.4925	0	1	0	25
24	24	0.0703	4.6622	0	0	21.6758	0	0	0	20
25	25	0.0710	2.0407	0	0	-2.2529	0	1	0	55

Σχήμα 4.2 Πίνακας Mobiles στήλες 1-10

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
13	28	0	0	127.6438	1043	1	0	0	0
13	56	0	0	129.2675	0	0	0	0	0
11	15	0	0	109.4604	1978	1	0	0	0
0	86	0	0	133.7800	0	0	0	0	0
12	75	0	0	126.9221	0	0	0	0	0
13	26	0	0	128.2461	1502	1	0	0	0
11	28	0	0	100.1528	0	0	0	0	0
12	32	0	0	125.0925	1891	1	0	0	0
12	6	0	0	124.6608	1682	1	0	0	0
11	30	0	0	111.0641	1507	1	0	0	0
11	59	0	0	110.1509	1892	1	0	0	0
11	45	0	0	109.2152	2351	1	0	0	0
12	6	0	0	124.6893	1562	1	0	0	0
13	65	0	0	128.3447	1799	1	0	0	0
11	32	0	0	116.3354	1845	1	0	0	0
11	23	0	0	81.6388	2214	1	0	0	0
13	65	0	0	128.0435	1799	1	0	0	0
11	59	0	0	117.9014	1692	1	0	0	0
14	14	0	0	130.6224	0	0	0	0	0
11	23	0	0	123.5449	2174	1	0	0	0
11	31	0	0	99.0246	0	0	0	0	0
11	93	0	0	117.5206	1876	1	0	0	0
13	64	0	0	128.0975	2115	1	0	0	0
11	45	0	0	102.5389	0	0	0	0	0
13	58	0	0	126.4673	1672	1	0	0	0

Σχήμα 4.3 Πίνακας Mobiles στήλες 11-20

15. Σε αυτή τη στήλη σημειώνουμε τις απώλειες κάθε κινητού.

16. Σε ποιο υποπλαίσιο έγινε πομπός.

Κεφάλαιο 4

17. Εάν για ένα UE έχουν οργανωθεί οι εκπομπές του για mode 2, σε αυτή τη στήλη μπαίνει η τιμή 1 ως δικλείδα ασφαλείας για να μην ξαναυπολογιστούν οι εκπομπές του.

18. Αυτή η στήλη μάς δείχνει αν έχει ληθεί σωστά (και σε ποια εκπομπή) το SIB.

19. Σε ποιο υποπλαίσιο έλαβε δεδομένα.

20. Τι είδους τηλεπικοινωνιακή κίνηση έχει το κινητό (όπως αναφέρθηκε στο κεφ. 2.4 έχουμε 3 είδη τηλεπικοινωνιακής κίνησης: Active traffic, background traffic, VoIP)

Τα Σχ. 4.2 και 4.3 δείχνουν δύο στιγμιότυπα (στήλες 1-10 και στήλες 11-20) του πίνακα Mobiles όπως υλοποιήθηκε στο MATLAB.

4.2.2 Πίνακας Resources

Columns 1 through 10

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	31157	41157	0
0	0	0	0	31042	0	41042	31157	41157	0
0	0	0	0	31042	0	41042	31157	41157	0
0	0	0	0	31042	21183	41042	31157	41157	0
0	0	0	21216	31042	21091	41042	31157	41157	0
0	0	0	0	31042	0	41042	31157	41157	0
0	0	0	0	31042	0	41042	0	0	0
0	0	31039	0	0	0	0	0	0	31076
0	0	31039	0	0	0	0	0	0	31076
0	0	31039	0	0	0	0	0	0	31076
0	0	31039	0	0	0	0	0	0	31076
0	0	31039	0	0	0	0	0	0	31076
0	0	31039	0	0	31059	41059	0	0	31076
0	0	0	0	0	31059	41059	0	0	0
0	0	21125	0	0	31059	41059	0	0	0
0	0	0	0	0	31059	41059	0	0	0
0	0	21103	0	0	31059	41059	21188	0	0
0	0	0	0	0	31059	41059	0	0	0
0	0	0	0	0	0	21021	0	0	0
0	0	21076	0	0	0	0	0	0	0
11076	11125	11216	0	11091	11142	11188	0	0	11126
11076	11125	11216	0	11091	11142	11188	0	0	11126
11076	11125	11216	0	11091	11142	11188	0	0	11126
11076	11125	11216	0	11091	11142	11188	0	0	11126
11076	11125	11216	0	11091	11142	11188	0	0	11126
11076	11125	11216	0	11091	11142	11188	0	0	11126
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	31103
0	0	0	0	0	0	21183	0	0	31103
0	0	0	0	21216	0	21091	0	0	31103
0	0	0	0	0	0	0	0	0	31103
0	0	0	0	0	0	0	0	0	31103
0	0	0	31116	0	31024	41116	51116	0	61116
0	0	0	31116	0	31024	41116	51116	0	61116
0	0	0	31116	0	31024	41116	51116	0	61116
0	0	0	31116	0	31024	41116	51116	0	61116
0	0	41229	31116	0	31024	41116	51116	0	61116
0	0	41229	31116	0	31024	41116	51116	0	61116
0	0	41229	21125	0	0	0	0	0	0
0	0	41229	0	0	0	0	0	0	0
0	21103	41229	0	0	0	0	0	21188	0
21007	0	41229	0	0	0	0	21142	0	0
21197	0	0	0	0	21021	0	0	0	0
0	21076	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Σχήμα 4.4 Πίνακας Resources

Αυτός ο πίνακας περιλαμβάνει τις εκπομπές των UE που έχουν γίνει πομποί. Τα κανάλια μέσα στο πίνακα ορίζονται ως εξής:

- Το PBSCCH, παίρνει την τιμή 10000
- Το PSCCH, παίρνει την τιμή 20000
- Το PSSCH, παίρνει την τιμή 30000 για την πρώτη εκπομπή και προσθέτουμε 10000 για κάθε μια από τις επόμενες τρεις εκπομπές.
- Σε αυτές τις τιμές προσθέτουμε πάντα τον αριθμό του UE οπότε ξέρουμε το κάθε UE που εκπέμπει το εκάστοτε κανάλι.

Ας πάρουμε για παράδειγμα το Σχ. 4.4 που απεικονίζει τον πίνακα Resources για 10 ms στα υποπλάισια 100-110. Το σχήμα που απεικονίζεται αφορά μεταδόσεις mode 1 και mode 2.

Μελετώντας λοιπόν τον πίνακα 5.4 μπορούμε να συμπεράνουμε για παράδειγμα τα εξής.

- Το UE υπ' αριθμόν 1125 εκπέμπει PBSCCH κανάλι στο υποπλάισιο 101 στα μεσαία RBs. Εκπέμπει PSCCH στο (RB=17, υποπλ. 102) και στο (RB=42, υποπλ. 103).
- Το UE υπ' αριθμόν 1042 κάνει την πρώτη εκπομπή του PSSCH στο (RB=4-9, υποπλ.105) και την δεύτερη εκπομπή στο (RB=4-9, υποπλ.107).

4.3 Προσομοίωση DRX διαδικασίας

Όπως έγινε κατανοητό από τα προηγούμενα κεφάλαια, τα κινητά σε πραγματικές συνθήκες δεν είναι συνεχώς σε κατάσταση RRC_Connected, οπότε θα πρέπει να προσομοιωθούν όλες οι διαδικασίες που περιγράφηκαν στα κεφ.1.4-1.6. Για παράδειγμα για την ρύθμιση του DRX των εκτός κάλυψης κινητών έχουμε τα εξής:

```

OutCov = find(Mobiles(:,7)~=9999);
numofOutCoverageMobiles = length(OutCov);
% Create out of coverage DRX profile for total number of frames
ue_activity = 1:DRX_on_OOC;
ue_DRX = ue_activity;
maxsf = ue_DRX(end);
i=1;
while maxsf<=numTotSubframes
    new_sf = ue_activity+i*DRX_lc_OOC;
    ue_DRX = [ue_DRX,new_sf];
    maxsf = max(ue_DRX);
    i=i+1;
end
% Create random DRX cycle for out of coverage mobiles
for mm = 1:numofOutCoverageMobiles
    x = randi(DRX_lc_OOC);
    Mobiles_activity(OutCov(mm),1:length(ue_DRX)) = ue_DRX+x;
end
    
```

4.4 Εύρεση εντός κάλυψης κινητών

Χρησιμοποιώντας τους τύπους που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 3 υπολογίζουμε τις απώλειες των κινητών για BS-UE και UE-UE. Αφού έχουν υπολογιστεί οι τύποι μπορούμε να δούμε ποια UE είναι εντός κάλυψης του σταθμού βάσης σύμφωνα με το PDDCH και SIB.

```

for j=1:numofMobiles
    % find mobiles that will receive PDCCH successfully
    g = 10.^(0.1*Mobiles(j,6));
    
```

Κεφάλαιο 4

```
BLER_PDCCH = qfunc((log(1+g)-aaa)/sqrt(2.25*g/(bbb*(g+1))));
if rand(1)>BLER_PDCCH
    % mobile will receive PDCCH successfully
    % check if it will receive SIB1
    for C=1:4
        BLER_SIB1=BLERCalculation(Mobiles(j,6),C-1,5,NumofSIBRB);
        if rand(1)>BLER_SIB1
            % mobile will receive SIB1 successfully
            Mobiles(j,5)=C; % note when mobile receives SIB1
            % check if it will receive SIB11 successfully
            for C2=1:4
                BLER_SIB11=BLERCalculation(Mobiles(j,6),C2-1,5,NumofSIBRB);
                if rand(1)>BLER_SIB11
                    % mobile will receive SIB1 successfully
                    Mobiles(j,18)=C2; % note when mobile receives SIB11
                    Mobiles(j,4)=1;
                    Mobiles(j,7)=9999;
                    Mobiles(j,11)=10;
                    %ue_counter=ue_counter+1;
                    break;
                end
            end
        end
    end
end
end
end
end
end
```

Στον παραπάνω βρόχο υπολογίζουμε ποια κινητά είναι εντός κάλυψης με τη χρήση της συνάρτησης που υπολογίζει το BLER. Εάν λοιπόν κάποιο UE πληροί την συνθήκη για PDDCH βλέπουμε αν αποκωδικοποιεί σωστά και το SIB. Κατόπιν, ενημερώνονται οι αντίστοιχες στήλες του πίνακα Mobiles.

4.5 Mode 1 επικοινωνία

Για την mode 1 επικοινωνία υλοποιούμε όλα όσα αναφέρθηκαν θεωρητικά στο κεφάλαιο 2 και πιο συγκεκριμένα στις υποενότητες 2.4 και 2.5.

```
PRB_Start = 1;
BRB_low = 23;
BRB_high = 28;
PRB_Num = 25; % Πρέπει PRB_Num>=RB_traffic
PRB_End = 50;
SLRB = [PRB_Start:PRB_Start+PRB_Num-1, PRB_End-PRB_Num+1:PRB_End];
SLRB = sort(SLRB, 'ascend');
le = length(SLRB);
ind = [];
for i=1:le-1
    if SLRB(i)==SLRB(i+1)
        ind = [ind, i];
    end
end
SLRB(ind)=[];
Mpscch = length(SLRB);
Lpscch = 2;
npscch_range_start = 0;
npscch_range_end = floor(Mpscch/2)*Lpscch-1;
```

Το παραπάνω κομμάτι καθορίζει το εύρος στο οποίο θα κυμαίνονται τα RBs του PBSCH καναλιού (όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια δεσμεύουν τα «μεσαία» RB). Επίσης ορίζεται το

συνολικό εύρος των RB καθώς και όλες οι άλλες παράμετροι που αναφέρθηκαν στο κεφ. 2. Όλα γίνονται παραμετρικά για να μπορούν να γίνουν εύκολα αλλαγές που αφορούν την mode 1 και την mode 2 επικοινωνία σε αυτό το κομμάτι του κώδικα. Να σημειωθεί ότι για την ανάλυση του βρόχου της mode 1 επικοινωνίας, λόγω του μεγάλου μεγέθους, ο βρόχος θα χωριστεί σε 3 επιμέρους κομμάτια και κάθε κομμάτι θα αφορά την μετάδοση ενός καναλιού.

```
for j = 1:length(MSx)

    if (Mobiles(j,11) == 10 && Mobiles(j,8) == 1)
        layer =1;
        while any(Resources(BRB_low:BRB_high,Mobiles(j,13),layer))
            layer = layer +1;
        end
        Resources(BRB_low:BRB_high,Mobiles(j,13),layer) = 10000 + Mobiles(j,1);

        %%επανάληψη κάθε 40ms

        for ii=1:number_of_trans
            layer =1;
            while any(Resources(BRB_low:BRB_high,Mobiles(j,13)+ii*SLperiod,layer))
                layer = layer +1;
            end
            Resources(BRB_low:BRB_high,Mobiles(j,13)+ii*SLperiod,layer) = 10000 +
Mobiles(j,1);

        end
    end
end
```

Στο παραπάνω κομμάτι κώδικα, που αφορά την εκπομπή του PBSCCH γίνεται το εξής: ξεκινούμε από το πρώτο layer και ελέγχουμε αν υπάρχει κάποια εκπομπή στο συγκεκριμένο RB και subframe. Εάν συμβαίνει αυτό τότε το πρόγραμμα ψάχνει μέχρι να βρει layer που είναι κενό για εκείνη την εκπομπή και έπειτα προσθέτει και τον αριθμό του UE. Το επόμενο loop υπάρχει για να επαναληφθούν οι εκπομπές κάθε SL περίοδο που στην δικιά μας περίπτωση είναι 40ms.

```
npscch = randi([npscch_range_start npscch_range_end]);

a1 = floor(npscch/Lpscch);
b1 = mod(npscch,Lpscch);
NSLRB_control = SLRB(a1+1);
Subframe_transmit_control = b1+1;
a2 = a1 + floor(Mpscch/2);
b2 = mod(npscch + 1 + mod(a1,Lpscch-1),Lpscch);

NSLRB_control_2 = SLRB(a2+1);
Subframe_transmit_control_2 = b2+1;
layer =1;
while
any(Resources(NSLRB_control,Subframe_transmit_control+Mobiles(j,13),layer))
    layer = layer +1;
end
Resources(NSLRB_control,Subframe_transmit_control+Mobiles(j,13),layer) =
20000 + Mobiles(j,1);
layer =1;
while any(Resources(NSLRB_control_2,Subframe_transmit_control_2 +
Mobiles(j,13),layer))
    layer = layer +1;
end
Resources(NSLRB_control_2,Subframe_transmit_control_2 +
Mobiles(j,13),layer) = 20000 + Mobiles(j,1);
for ii=1:number_of_trans
    layer =1;
```

Κεφάλαιο 4

```
        while
any(Resources(NSLRB_control,Subframe_transmit_control+Mobiles(j,13)+ii*SLperiod,layer))
        layer = layer +1;
        end

Resources(NSLRB_control,Subframe_transmit_control+Mobiles(j,13)+ii*SLperiod,layer)
= 20000 + Mobiles(j,1);

        layer =1;
        while
any(Resources(NSLRB_control_2,Subframe_transmit_control_2+Mobiles(j,13)+ii*SLperiod,layer))
        layer = layer +1;
        end
Resources(NSLRB_control_2,Subframe_transmit_control_2 +
Mobiles(j,13)+ii*SLperiod,layer) = 20000 + Mobiles(j,1);
        end
```

Για την εκπομπή του PSCCH ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με το PBSCCH, καθορίζοντας τα υποπλάγια και τα RBs στα οποία θα σταλεί το κανάλι σύμφωνα με τους τύπους και την μεθοδολογία που αναλύθηκε στο κεφ. 2.4. Οι επαναλήψεις γίνονται και για τις δύο αποστολές του control (μία πάνω, μία κάτω).

```
ITRP = randi([0 105]);
bitmap_shared = find(PSSCH_bmps(ITRP + 1,:));
bitmap_shared_possible_transmission = [ bitmap_shared, bitmap_shared +
8,bitmap_shared+16,bitmap_shared+24];

relative_shared_transmission = bitmap_shared_possible_transmission(1:4);
absolute_shared_transmission = Mobiles(j,13) + Lpscch +
relative_shared_transmission;

consecutiveRBs = 1;
for ii = 1:length(SLRB)-1
    if SLRB(ii)-SLRB(ii+1)~=-1
        consecutiveRBs=0;
    end
end
if consecutiveRBs==1
    NSLRB_start = randi([1 Mpscch-RB_traffic+1]);
else
    if rand<0.5
        NSLRB_start = randi([1 Mpscch/2-RB_traffic+1]);
    else
        NSLRB_start = randi([Mpscch/2 Mpscch-RB_traffic+1]);
    end
end
NSLRB_shared = SLRB(NSLRB_start);
for ii= 1:4
    layer =1;
    while any(Resources(NSLRB_shared:(NSLRB_shared+RB_traffic-
1),Mobiles(j,13)+absolute_shared_transmission(ii),layer))
        layer = layer +1;
    end

Resources(NSLRB_shared:(NSLRB_shared+RB_traffic-
1),Mobiles(j,13)+absolute_shared_transmission(ii),layer) = 30000 + (ii-1)*10000 +
Mobiles(j,1);

end

for ii=1:number_of_trans
    layer =1;
    for iii= 1:4
```

```

        while any(Resources(NSLRB_shared:(NSLRB_shared+RB_traffic-
1),Mobiles(j,13)+absolute_shared_transmission(iii)+ii*SLperiod,layer)
            layer = layer +1;
        end

        Resources(NSLRB_shared:(NSLRB_shared+RB_traffic-
1),Mobiles(j,13)+absolute_shared_transmission(iii)+ii*SLperiod,layer) = 30000 +
(iii-1)*10000 + Mobiles(j,1);
    end

end

```

Για τον υπολογισμό των RBs και των υποπλαισίων αρχικά επιλέγεται ένα τυχαίο bitmap από τον πίνακα που έχουμε φορτώσει. Στην μεταβλητή `bitmap_shared_possible_transmission` αποθηκεύονται τα πιθανά υποπλάγια αποστολής του PSSCH (σε μορφή πίνακα). Στο `absolute_shared_transmission` που εκτείνεται σε όλο το εύρος της shared περιόδου (32ms) βρίσκονται τα υποπλάγια που όντως στάλθηκε το κανάλι συνυπολογίζοντας το τέλος της control περιόδου και το offset του κινητού. Για παράδειγμα εάν επιλεγθεί το ITRP = 8, τότε οι παραπάνω μεταβλητές θα έχουν τις εξής τιμές:

- `bitmap_shared` = [1 2]
- `bitmap_shared_possible_transmission` = [1 2 9 10 17 18 25 26]
- `relative_shared_transmission` = [1 2 9 10]
- `absolute_shared_transmission` = [15 16 23 24]

Η υπόλοιπη διαδικασία παραμένει ίδια με το προηγούμενο κανάλι με τις εξής διαφορές. Επειδή το PSSCH καταλαμβάνει 8 συνεχόμενα RBs ορίζουμε στον πρώτο βρόχο από πού θα ξεκινάει η μετάδοση με βάση το πόσα συνολικά RBs έχουμε διαθέσιμα για sidelink. Το πρόγραμμα έχει επίσης ρυθμιστεί έτσι ώστε αν πέσει έστω ένα RB της οκτάδας πάνω σε άλλη μετάδοση, όλα τα RBs μαζί να πηγαίνουν σε άλλο διαθέσιμο layer με την χρήση της `any`. Προστίθεται και ένας ακόμη βρόχος για να σταλεί το PSSCH τέσσερις φορές.

4.6 Λήψεις καναλιών από mode 1 επικοινωνία

Αφού λοιπόν έχουν οργανωθεί οι εκπομπές των κινητών πρέπει να δούμε ποια από τα κινητά ακούνε τα κανάλια που μεταδίδουν, έτσι ώστε να μπορέσουν έπειτα να καθοριστούν οι καινούργιοι πομποί (mode 2). Να σημειωθεί ότι όλα αυτά συμβαίνουν σε ένα βρόχο που γίνεται πια με βάση το χρόνο, για την ακρίβεια τα υποπλάγια που έχουμε ορίσει— και η διαδικασία έχει ως εξής.

```

for subframe=1:numRunSubframe
    fprintf('subframe = %d\n', subframe);
    ResWorking = Resources(:,subframe,:);a
    ResW = reshape(ResWorking,TotalNumofRB,numofLayers,[]);
    [row,col] = find(ResW);
    maxlayers = max(col);

```

Αρχικά επειδή δεν ξέρουμε πόσα layer θα υπάρξουν, διότι είναι ένας παράγοντας που εξαρτάται από το πόσες εκπομπές θα «πέσουν» η μία πάνω στην άλλη, ανανεώνουμε τον πίνακα κάθε φορά ανάλογα με το πλήθος των layers με τη χρήση της μεταβλητής `ResW`. Τώρα πρέπει να ελεγχθεί εάν στο τρέχον υποπλάσιο υπάρχει κάποια εκπομπή (PBSCCH, PSCCH, PSSCH) και αν αυτή την εκπομπή την «ακούει» κάποιο από τα κινητά εκτός κάλυψης. Αυτή η διαδικασία ξεκινά με ένα βρόχο για να δούμε ποια UE λαμβάνουν το PBSCCH.

Κεφάλαιο 4

```

for layer=1:maxlayers
    if (Resources(NSRLB_Broadcast,subframe,layer)>10000 &&
Resources(NSRLB_Broadcast,subframe,layer)<20000)

        Tx_mobile_Broad = Resources(NSRLB_Broadcast,subframe,layer)-10000;%%να
δω ποιο UE εκπέμπει
        % find which out of coverage mobiles are active during the
        % specific subframe so that it can listen to PSBCH
        [active_mobiles,v]=find(Mobiles_activity==subframe);
        for mm=1:length(active_mobiles)
            j = active_mobiles(mm);
            %%σε αυτή την if κοιτάμε ποιος ακούει broadcast
            if (Mobiles(j,8) ~= 1 && Mobiles(j,4)==0 && Mobiles(j,11)==0)
                PrUE_UE = PUE-PL_UEtotal(Tx_mobile_Broad,j)-Body_loss;
                % interference
                TotalInter = 0;
                for RBused = BRB_low:BRB_high
                    for kk = 1:maxlayers
                        if kk~=layer
                            if ResW(RBused,kk)>0 && ResW(RBused,kk)<20000
                                int_ue = ResW(RBused,kk)-10000;
                                pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue,Tx_mobile_Broad);
                                PrInt_UE_dBm = PUE-pathloss_int_ue-Body_loss-
10*log10(6); % 1/6 της εκπεμπόμενης ισχύος broadcast
                                PrInt_UE = 10^(.1*PrInt_UE_dBm);
                                TotalInter = TotalInter + PrInt_UE;
                            end
                            if ResW(RBused,kk)>20000 && ResW(RBused,kk)<30000
                                int_ue = ResW(RBused,kk)-20000;
                                pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue,Tx_mobile_Broad);
                                PrInt_UE_dBm = PUE-pathloss_int_ue-Body_loss;
                                PrInt_UE = 10^(.1*PrInt_UE_dBm);
                                TotalInter = TotalInter + PrInt_UE;
                            end
                            if ResW(RBused,kk)>30000
                                int_ue = mod(ResW(RBused,kk),10000);
                                pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue,Tx_mobile_Broad);
                                PrInt_UE_dBm = PUE-pathloss_int_ue-Body_loss-
10*log10(RB_traffic); % ισχύς shared channel ανά RB
                                PrInt_UE = 10^(.1*PrInt_UE_dBm);
                                TotalInter = TotalInter + PrInt_UE;
                            end
                        end
                    end
                end
            end
            Pnoise = 10^(.1*Pn_Broad);
            g = 10^(.1*PrUE_UE)/(TotalInter+Pnoise);
            g = g/F;
            SNRUE_UE = 10*log10(g);
            aa=.88;%%σταθερές για τον υπολογισμό του BLER του SL broadcast
            bb=800;%%σταθερές για τον υπολογισμό του BLER του SL broadcast
            cc=.09;%%σταθερές για τον υπολογισμό του BLER του SL broadcast
            g = g/cc;
            BLER_PBSCH = qfunc((log(1+g)-aa)/sqrt(40*g/(bb*(g+1))));
            if rand(1)>BLER_PBSCH
                Mobiles(j,6) = SNRUE_UE;
                Mobiles(j,12) = Tx_mobile_Broad;
                Mobiles(j,11) = 1;%%έλαβε broadcast
                Mobiles(j,15) = PL_UEtotal(Tx_mobile_Broad,j);
                % Το κινητό έχει λάβει το broadcast και άρα
                % παραμένει active στο εξής. Οπότε τίθεται μηδέν
                % στον πίνακα Mobiles_activity
                Mobiles_activity(j,:)=zeros(1,numTotSubframes);
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end

```

Για να δούμε ποια UE ακούει το broadcast κανάλι ψάχνουμε όλο τον πίνακα για εκπομπή PBSCCH στο συγκεκριμένο υποπλαίσιο που βρισκόμαστε στον βρόχο. Δεν ψάχνουμε τυχαία όμως, κοιτάμε για τα κινητά που θα είναι ενεργά στο συγκεκριμένο υποπλαίσιο και άρα έχουν καταρχήν την δυνατότητα να ακούσουν. Αφού υπολογίσουμε και απώλειες (λαμβάνοντας υπόψιν παρεμβολές) με βάση τα RB που χρησιμοποιήθηκαν, μπορούμε να καθορίσουμε αν ένα κινητό εκτός κάλυψης ακούει το broadcast μήνυμα ενός εντός κάλυψης πομπού. Εφόσον τώρα πια το κινητό έχει ακούσει επιτυχώς το κανάλι, το κινητό θα παραμείνει ανοιχτό για την υπόλοιπη διάρκεια της προσομοίωσης. Την ίδια διαδικασία εφαρμόζουμε και για τη λήψη του PSCCH.

Για να δούμε αν κάποιο UE ακούει και αποκωδικοποιεί σωστά το PSSCH ακολουθούμε μια ελαφρώς διαφορετική προσέγγιση σε σχέση με τα προηγούμενα κανάλια. Όπως γνωρίζουμε από τα προηγούμενα κεφάλαια το shared κανάλι στέλνεται τέσσερις φορές μέσα σε μια περίοδο σε 6 συνεχόμενα RBs. Οπότε πρέπει να ελέγχουμε σε ποια από τις εκπομπές έλαβε επιτυχώς το κανάλι. Προσθέτουμε λοιπόν το παρακάτω κομμάτι κώδικα.

```

RV = 0;
                                BLER_shared =
BLERCalculation(SNRUE_UE,RV,5,RB_traffic);
                                if rand(1)>BLER_shared
                                    Mobiles(ue,6) = SNRUE_UE;
                                    Mobiles(ue,11) = 10 + RV +1; %%έλαβε shared
                                    RXperSubframe(subframe)=RXperSubframe(subframe)+1;
                                    Mobiles(ue,4) =
floor(Mobiles(Tx_mobile_control,9)/1000); % Reception layer
                                    % Mobiles(ue,16) = subframe;
                                    if Mobiles(ue,10)>energy_thres
                                        Mobiles(ue,8)=1;

TXperSubframe(subframe)=TXperSubframe(subframe)+1;
                                Mobiles(ue,16) = subframe +
Mode2_trans_offset; %%πότε έγινε πομπός
                                if Mobiles(ue,4)~=0
                                    TXlayers(Mobiles(ue,4)) =
TXlayers(Mobiles(ue,4))+1;
                                Mobiles(ue,9) = (Mobiles(ue,4)+1)*1000 +
TXlayers(Mobiles(ue,4));
                                    end
                                end
                                else
                                    Mobiles(ue,11) = 3; %% δεν έλαβε shared, είναι στην
κατάσταση 3 και περιμένει νέα εκπομπή
                                end

```

Το RV αντιπροσωπεύει τον αριθμό της εκπομπής. Χρεαζόμαστε αυτόν τον αριθμό για να ρυθμίσουμε κατάλληλα την συνάρτηση του BLER. Εάν λοιπόν αποκωδικοποιηθεί σωστά το shared κανάλι σημειώνουμε σε ποιο υποπλαίσιο συνέβη αυτό, καθώς και τον αριθμό εκπομπής. Στη συνέχεια ελέγχουμε αν το UE πληροί τις συνθήκες για να γίνει πομπός και σημειώνουμε σε ποιο υποπλαίσιο θα γίνει πομπός (για mode 2 επικοινωνία). Αν δεν αποκωδικοποιήσει σωστά το κανάλι τότε παίρνει τον αριθμό 3 στην 11^η στήλη, γεγονός που ανακοινώνει στο UE ότι πρέπει να περιμένει για νέα εκπομπή. Αφού βρεθεί ένας ή περισσότεροι καινούργιοι πομποί οργανώνονται οι εκπομπές τους με τον ίδιο τρόπο που αναφέρθηκε στην υποενότητα 4.5.

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα βασίζονται σε τρία σενάρια με διαφοροποιήσεις στις παραμέτρους. Τα 3 σενάρια περιγράφουν την χειρίστη και βέλτιστη περίπτωση από 1 έως 3. Οι λόγοι για τους οποίους κάθε σενάριο χαρακτηρίζεται καλό ή κακό αναφέρονται στη συνέχεια του κεφαλαίου. Υπάρχουν πολλοί παράμετροι που επηρεάζουν την προσομοίωσή μας (βλ Πίνακα 5.1), όμως εμείς εστιάζουμε κυρίως στις εξής, τις οποίες και προσαρμόζουμε ανάλογα με το σενάριο:

- Αριθμός κινητών ανά km²
- Αριθμός μεταδόσεων κάθε SL περίοδο
- Ίσχύς εκπομπής των κινητών
- Όριο κατώφλιου για SNR
- DRX παράμετροι για εντός και εκτός κάλυψης κινητά

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται όλοι οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για την προσομοίωση. Μελετούμε τρία σενάρια και διαφοροποιούμε τις παραμέτρους ανάλογα με το κάθε σενάριο. Τα αποτελέσματα αποτελούν την μέση τιμή 40-50 επαναλήψεων του προγράμματος.

Πίνακας 5.1 Παράμετροι προσομοίωσης συστήματος

Παράμετρος προσομοίωσης	Τιμή
Γενικές παράμετροι	
Περιοχή προσομοίωσης	5 km × 5 km
Αριθμός ΣΒ	1
Είδος ΣΒ	Micro, κάτω από το ύψος κτιρίων
Πυκνότητα κινητών	50/km ² , 100/km ²
Συχνότητα λειτουργίας	2.6 GHz
Μοντέλο διάδοσης	Winner Channels (UMi B1)
Ίσχύς εκπομπής ΣΒ	26 dBm
Κέρδος κεραίας ΣΒ	17 dBi
Απώλειες καλωδίων ΣΒ	1 dB
Ίσχύς εκπομπής κινητών	21 dBm, 31 dBm
Κέρδος κεραίας κινητών	0 dBi
Απώλειες σώματος στο κινητό	2 dB
Συντελεστής θορύβου κινητού δέκτη	7 dB
Ίσχύς θορύβου στο δέκτη	-174 dBm/Hz
Αριθμός RB LTE	50 (10 MHz)
Περίοδος SL	40 ms
Αριθμός επανεκπομπών μηνύματος	8
Κατώφλι ενέργειας	20%
Κατώφλι syncThres (κινητά εντός κάλυψης)	2.5 dB
Κατώφλι syncThres (κινητά εκτός κάλυψης)	2.5 dB, 5 dB
Αριθμός RB πληροφορίας	6
DRX παράμετροι κινητών εντός κάλυψης	
DRX σε κατάσταση idle	320 ms

DRX long cycle για VoIP κίνηση	20 ms
DRX Inactivity timer για VoIP κίνηση	1 ms
DRX ON για VoIP κίνηση	1 ms
DRX long cycle για Active κίνηση	320 ms
DRX Inactivity timer για Active κίνηση	30 ms
DRX ON για Active κίνηση	4 ms
DRX short cycle για Active κίνηση	80 ms
DRX αριθμός long cycles	10 ms
DRX long cycle για DDA κίνηση	320 ms
DRX Inactivity timer για DDA κίνηση	4 ms
DRX ON για DDA κίνηση	30 ms
DRX παράμετροι κινητών εκτός κάλυψης	
DRX long cycle	320 ms
DRX ON για μετρήσεις sidelink	40 ms
Ποσοστά είδους κίνησης κινητών εντός κάλυψης	
Χρήστες με κίνηση VoIP	25%
Χρήστες με κίνηση Active	5%
Χρήστες με κίνηση DDA/Background	40%
Χρήστες idle	30%

Το 1^ο σενάριο που μελετούμε είναι η και χειρότερη περίπτωση, διότι θεωρούμε ότι το κύριο ποσοστό των χρηστών είναι σε IDLE κατάσταση. Η ισχύς εκπομπής όμως του κινητού αυξάνεται στα 31dBm, διότι το κινητό γνωρίζει από το μήνυμα EWTS που έχει λάβει ότι πρέπει να εκπέμψει στη μέγιστη ισχύ του. Θεωρούμε ότι η πλειοψηφία των χρηστών είναι σε IDLE κατάσταση, διότι μιλάμε για το γεγονός αμέσως μετά την καταστροφή, όπου οι χρήστες προσπαθούν πρώτα να φτάσουν σε μέρος που είναι ασφαλές και μετά να αρχίσουν να επικοινωνούν. Τα ποσοστά είδους κίνησης αλλάζουν ως εξής:

Πίνακας 5.2 Παράμετροι για 1^ο σενάριο

Σενάριο 1	
DRX παράμετροι κινητών εκτός κάλυψης	
DRX long cycle	1280 ms
DRX ON για μετρήσεις sidelink	40 ms
Ποσοστά είδους κίνησης κινητών εντός κάλυψης	
Χρήστες με κίνηση VoIP	10%
Χρήστες με κίνηση Active	0%
Χρήστες με κίνηση DDA/Background	10%
Χρήστες idle	80%
Χρήστες που προσπαθούν να εκπέμψουν	0%
Γενικές παράμετροι	
Αριθμός μεταδόσεων	15
Κατώφλι syncThres (κινητά εντός κάλυψης)	2.5 dB
Κατώφλι syncThres (κινητά εκτός κάλυψης)	5 dB

Το 2^ο σενάριο που μελετούμε έχει αρκετές ομοιότητες με το 1^ο. Κατανέμουμε τα ποσοστά κίνησης πιο ισορροπημένα προσπαθώντας να προσομοιώσουμε μια λιγότερο ακραία περίπτωση σε σχέση με το πρώτο. Οι παράμετροι που αλλάζουν για αυτό το σενάριο έχουν ως εξής :

Πίνακας 5.3 Παράμετροι για 2ο σενάριο

Σενάριο 2	
DRX παράμετροι κινητών εκτός κάλυψης	
DRX long cycle	1280 ms
DRX ON για μετρήσεις sidelink	40 ms
Ποσοστά είδους κίνησης κινητών εντός κάλυψης	
Χρήστες με κίνηση VoIP	25%
Χρήστες με κίνηση Active	0%
Χρήστες με κίνηση DDA/Background	10%
Χρήστες idle	30%
Χρήστες που προσπαθούν να εκπέμψουν	0%
Γενικές παράμετροι	
Αριθμός μεταδόσεων	15
Κατώφλι syncThres (κινητά εντός κάλυψης)	2.5 dB
Κατώφλι syncThres (κινητά εκτός κάλυψης)	5 dB

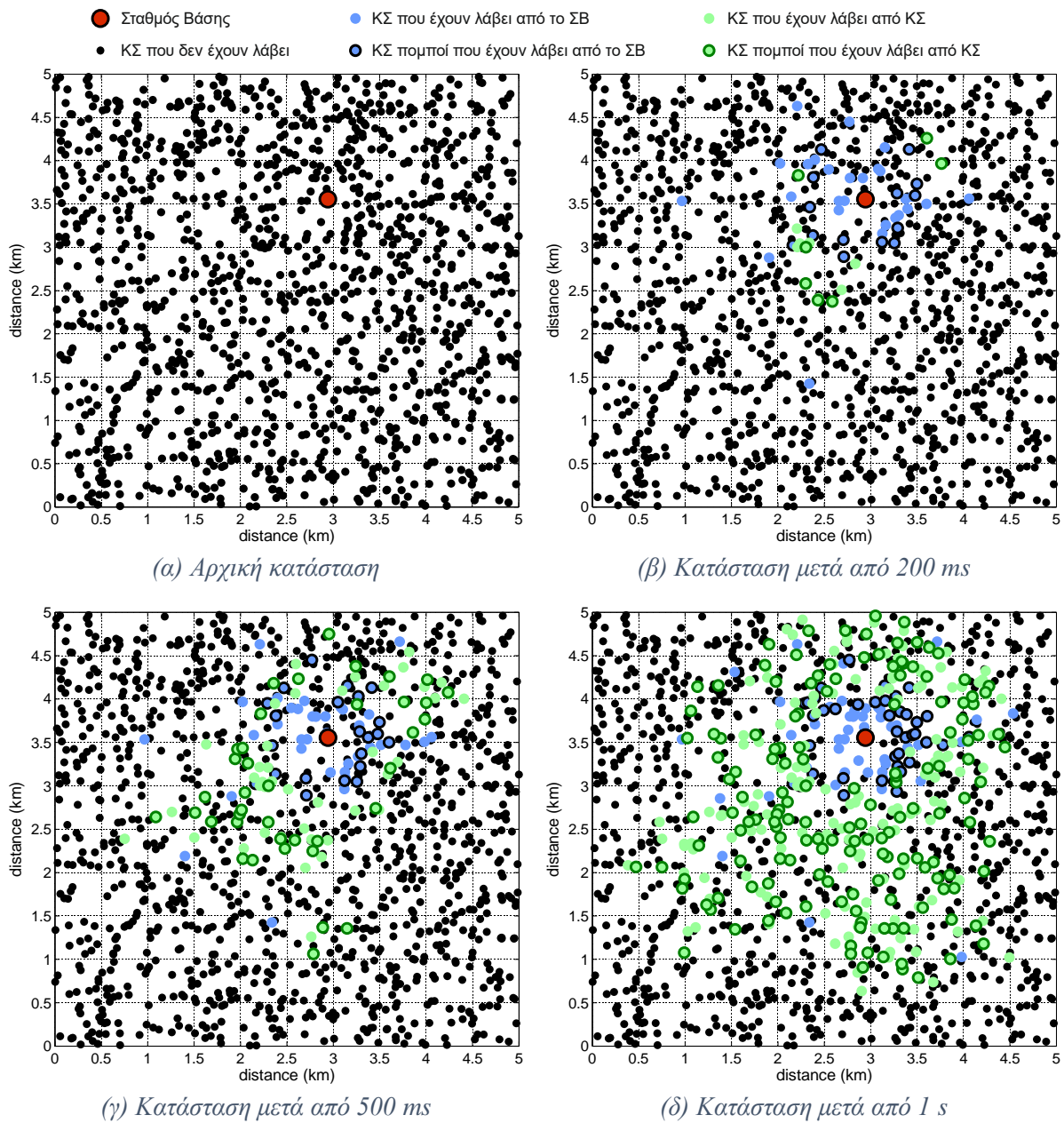
Για το 3^ο σενάριο που θεωρούμε ως το βέλτιστο, προσομοιώνουμε μια κατάσταση όπου το ποσοστό των κινητών που είναι εντός κάλυψης και προσπαθεί να εκπέμψει είναι 50%. Για αυτούς τους χρήστες θεωρούμε ότι ακούν συνέχεια το PSCCH στο downlink, γιατί περιμένουν να τους δοθεί κανάλι PSSCH. Οι παράμετροι ακολουθούν παρακάτω :

Πίνακας 5.4 Παράμετροι για 3^ο σενάριο

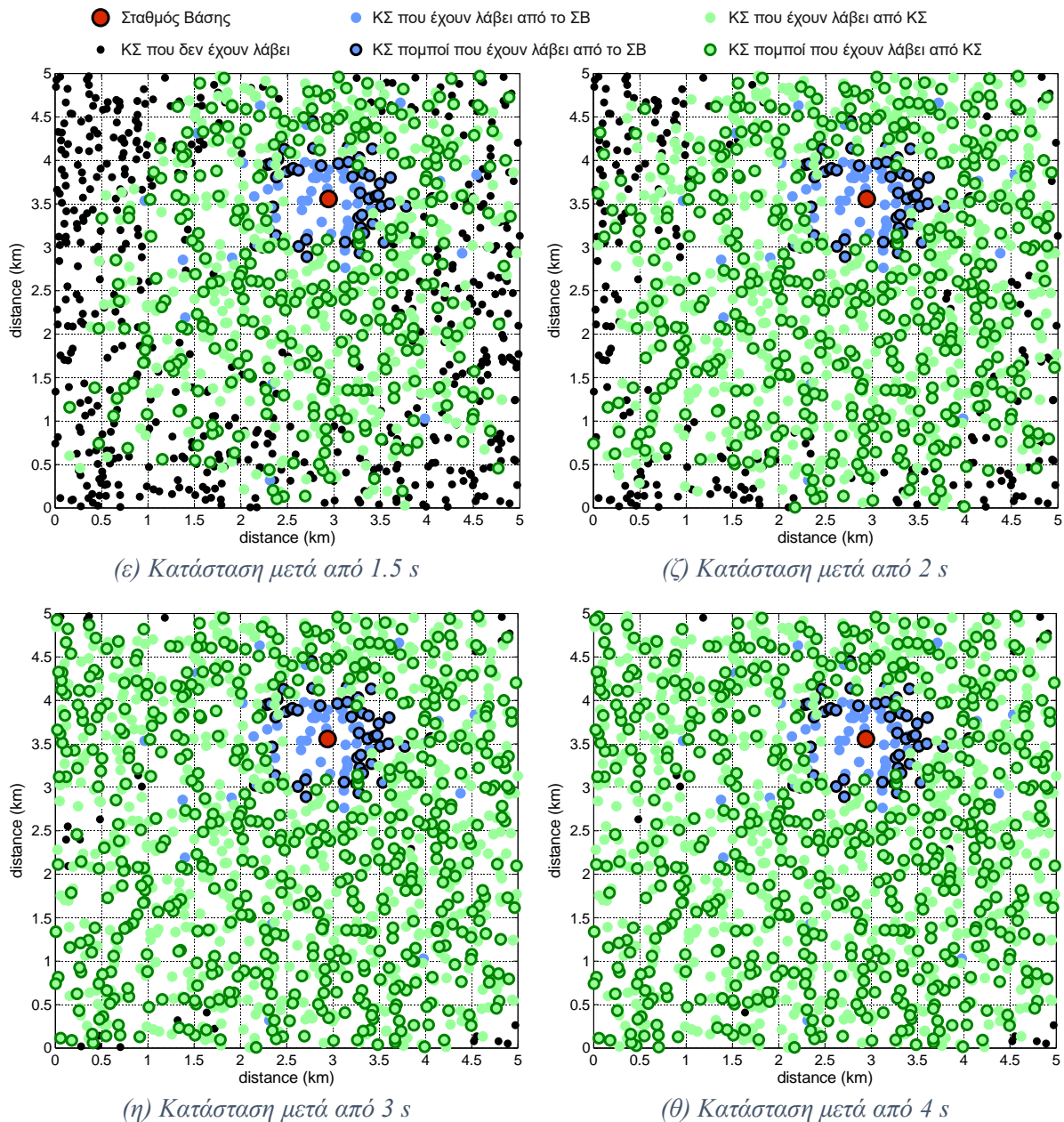
Σενάριο 3	
DRX παράμετροι κινητών εκτός κάλυψης	
DRX long cycle	1280 ms
DRX ON για μετρήσεις sidelink	40 ms
Ποσοστά είδους κίνησης κινητών εντός κάλυψης	
Χρήστες με κίνηση VoIP	25%
Χρήστες με κίνηση Active	5%
Χρήστες με κίνηση DDA/Background	10%
Χρήστες idle	30%
Χρήστες που προσπαθούν να εκπέμψουν	50%
Γενικές παράμετροι	
Αριθμός μεταδόσεων	15
Κατώφλι syncThres (κινητά εντός κάλυψης)	2.5 dB
Κατώφλι syncThres (κινητά εκτός κάλυψης)	5 dB

Στα επόμενα σχήματα (βλ. Σχήμα 5.1 και 5.2) βλέπουμε τον ρυθμό κάλυψης των κινητών από τη στιγμή 0, δηλαδή όταν κανένα κινητό δεν έχει κάλυψη συμπεριλαμβανομένου του σταθμού βάσης μέχρι και την σχεδόν πλήρη κάλυψη των κινητών. Στα σχήματα φαίνεται η πρόοδος της κάλυψης κάθε 0.5ms για το σύνολο των 4 δευτερολέπτων που χρειάστηκαν για τη λήψη του μηνύματος από όλα σχεδόν τα κινητά. Ισχύουν οι παράμετροι που επιλέξαμε για το σενάριο 1 καθώς και τα βασικά αποτελέσματα συνοψίζονται παρακάτω :

- Ο αριθμός των συνολικών κινητών είναι 1287 .
- Ο αριθμός κινητών εντός κάλυψης ΣΒ είναι 100, από τα οποία 46 έγιναν πομποί.
- Ο αριθμός κινητών εκτός κάλυψης ΣΒ είναι 1187, από τα οποία 563 έγιναν πομποί.
- Τα κινητά που έλαβαν το μήνυμα επιτυχώς είναι 1271 από 1287, ποσοστό 98.76%



Σχήμα 5.1α Πορεία κάλυψης κινητών 0-1s

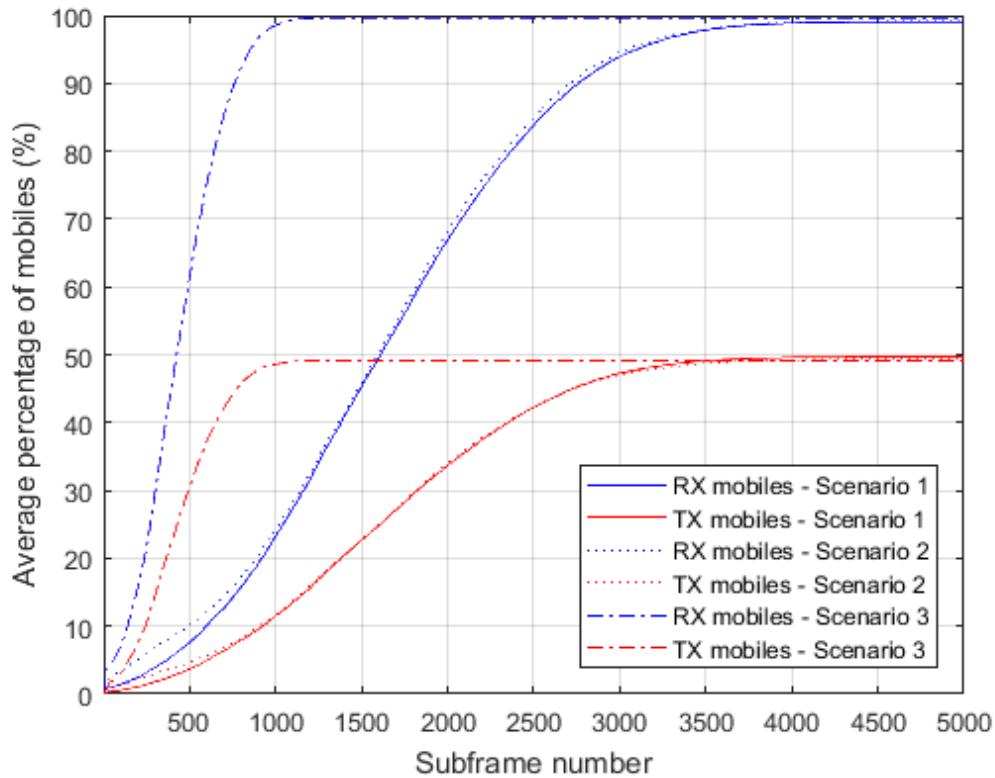


Σχήμα 5.1β Πορεία κάλυψης κινητών 1.5s – 4s

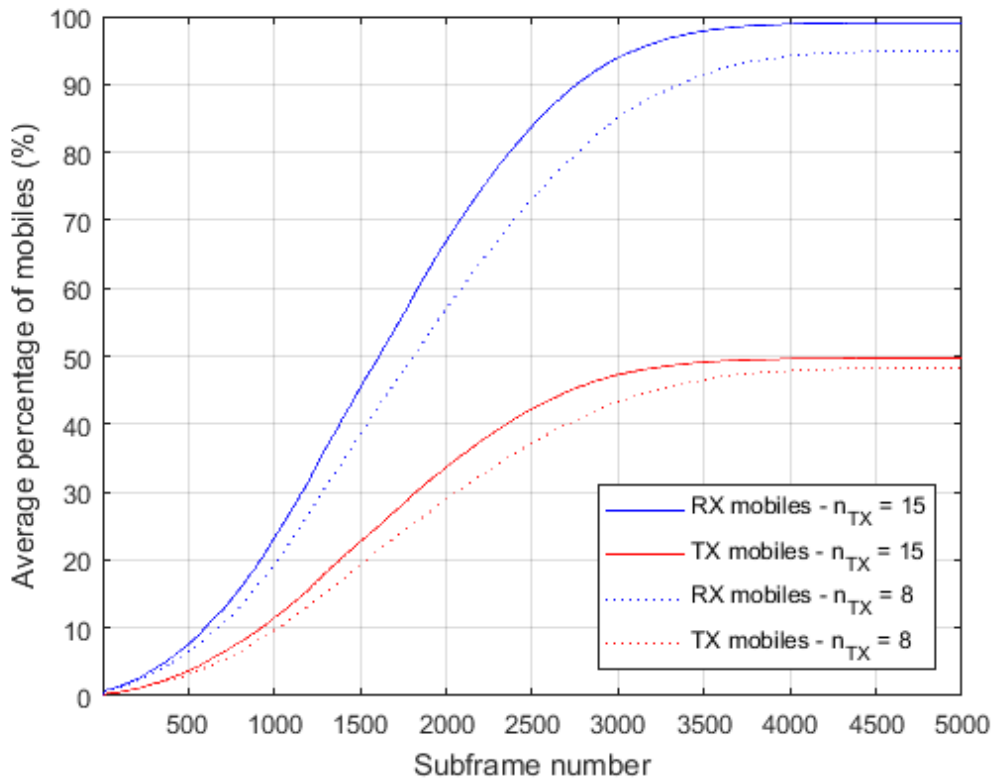
Το Σχ. 5.2 μας δείχνει πόσα κινητά λαμβάνουν την πληροφορία βάσει του χρόνου και για τα 3 σενάρια. Θεωρούμε ότι η ισχύς εκπομπής του κινητού αυξάνεται στα 31dBm, διότι το κινητό γνωρίζει από το μήνυμα EWTS που έχει λάβει ότι πρέπει να εκπέμψει στη μέγιστη ισχύ του:

Για το 1^ο και το 2^ο σενάριο παρατηρούμε ότι σχεδόν όλα τα κινητά λαμβάνουν την πληροφορία σε περίπου 4 δευτερόλεπτα, ενώ για το 3^ο σενάριο παρατηρούμε ότι σχεδόν όλα τα κινητά καλύπτονται μέσα σε μόλις 1 δευτερόλεπτο.

Στο Σχ.5.3 βλέπουμε τις διαφορές για τα ποσοστά κάλυψης κινητών για 8 και 15 μεταδόσεις. Με πορτοκαλί γραμμή φαίνεται το ποσοστό των κινητών που έχουν γίνει πομποί σε σχέση με το χρόνο και με μπλε τα κινητά που λάβανε πληροφορία. Παρατηρούμε ότι σχεδόν όλα τα κινητά έχουν λάβει το μήνυμα μέσα σε περίπου 4 δευτερόλεπτα. Μπορούμε να παρατηρήσουμε την διαφορά που προκύπτει για 8 και 15 μεταδόσεις. Αρχικά παρατηρούμε ότι με 8 μεταδόσεις (διακεκομμένη μπλε γραμμή) καλύπτεται ένα 94% των κινητών και αργάι περισσότερο να φτάσει το μήνυμα, σε αντίθεση



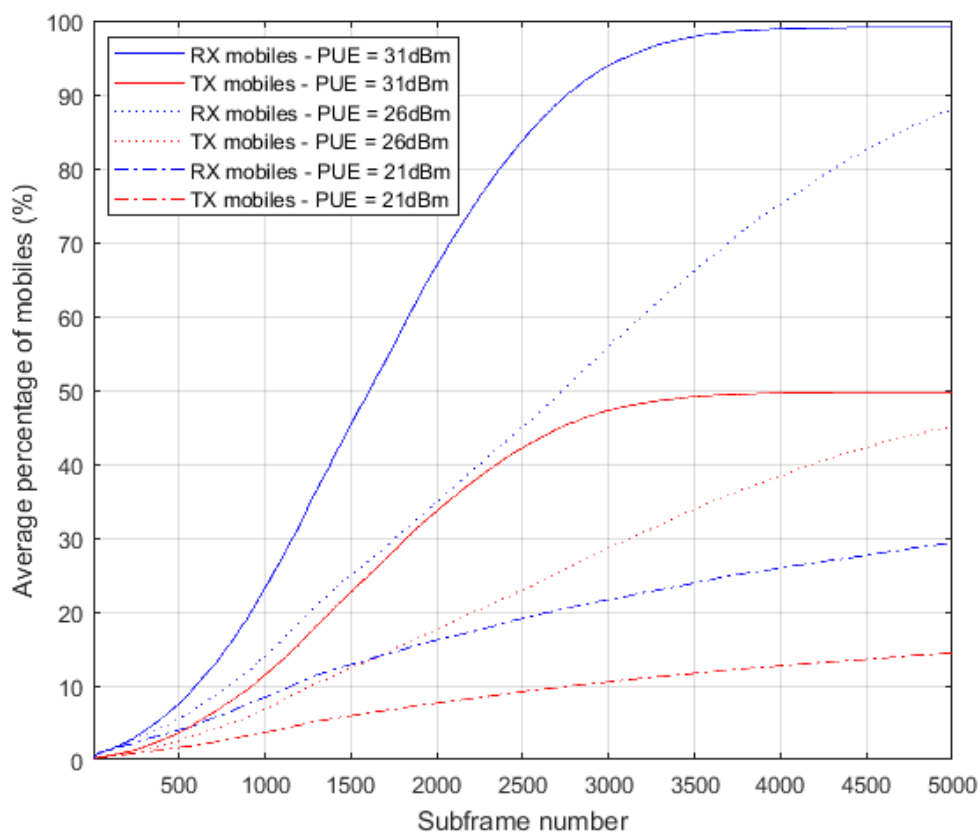
Σχήμα 5.2 Σύγκριση 3 σεναρίων για κινητά που λαμβάνουν την πληροφορία και την δημιουργία πομπών βάσει του χρόνου



Σχήμα 5.3 Σενάριο 1, $INC_DRX = 1280ms$, $OUT_DRX = 1280ms$, αριθμός μεταδόσεων 8 και 15, $syncThres2 = 5dB$

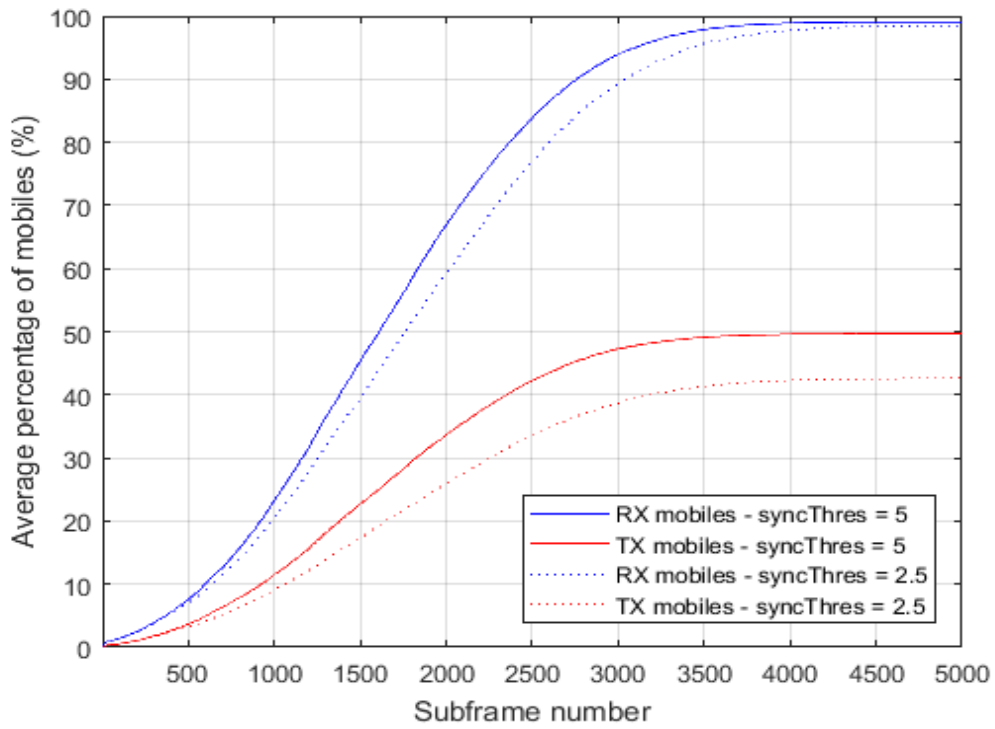
με τις 15 μεταδόσεις (πλήρης μπλε γραμμή). Αυτό συμβαίνει διότι, όταν ο αριθμός των μεταδόσεων είναι 15 έχουμε $40 \times 15 = 600$ ms, το οποίο είναι μικρότερο του κύκλου DRX (1280 ms) και άρα λογικά ο χρόνος δεν επαρκεί για να λάβουν το μήνυμα όλα τα κινητά. Επειδή όμως η ισχύς είναι 31 dBm, δηλαδή τα κινητά δίνουν μεγάλη κάλυψη στην περίπτωση των 15 μεταδόσεων, επαρκεί για να λάβουν όλα τα κινητά το μήνυμα. Αυτό συμβαίνει, διότι ακούν τις εκπομπές περισσότερων από ένα κινητών που είναι πομποί.

Η μεγαλύτερη κάλυψη που δίνουν τα 31 dBm μας επιτρέπει να μειώσουμε τον αριθμό των εκπομπών από 32 σε 15, γιατί αυξάνεται ο αριθμός των πομπών που μπορεί να ακούσει κάθε κινητό. Ας δούμε λοιπόν μια σύγκριση για το 1^ο σενάριο στο σχήμα 5.4, όπου εξετάζουμε τον ρόλο που παίζει η ισχύς εκπομπής του κινητού και παρατηρούμε ότι πράγματι αυξάνεται η ταχύτητα και το ποσοστό κάλυψης των κινητών λόγω της αυξημένης κάλυψης.

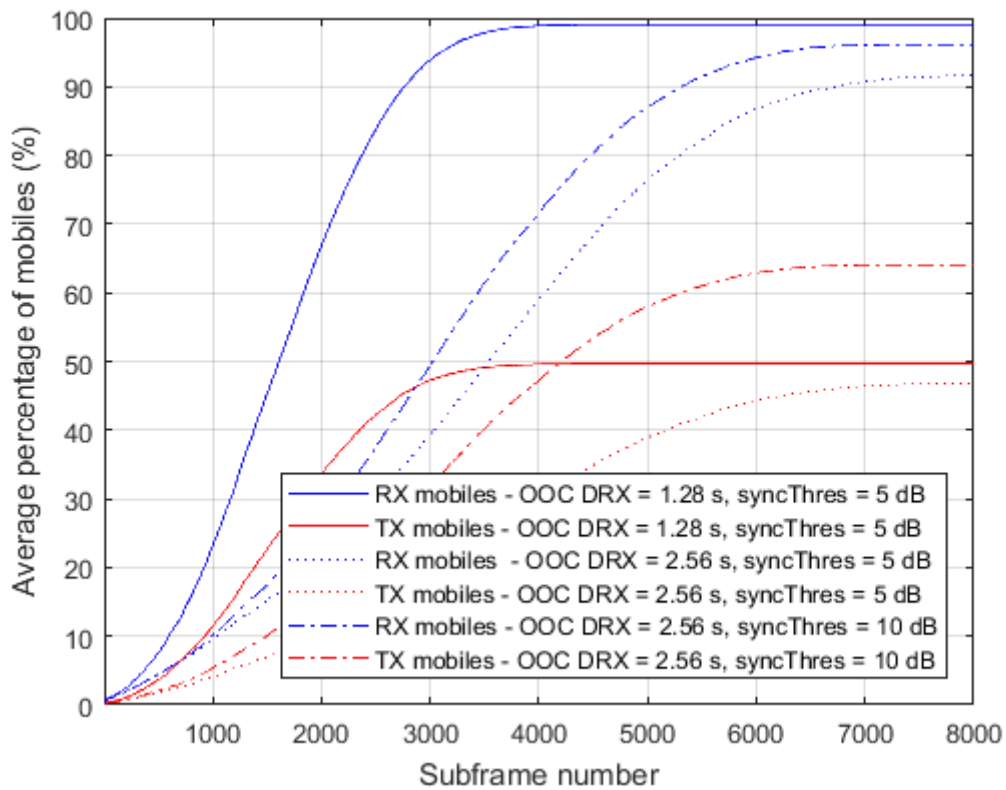


Σχήμα 5.4 Ποσοστό κάλυψης κινητών και δημιουργία πομπών για $PUE = 21, 26$ και 31 dBm για 15 μεταδόσεις

Στο σχήμα 5.5 παρατηρούμε ότι αν αυξηθεί το κατώφλι του SNR έχουμε δημιουργία περισσότερων πομπών και ως συνέπεια μεγαλύτερο ποσοστό λήψης του μηνύματος από τα κινητά. Αυτό συμβαίνει γιατί βελτιώνοντας την σηματοθορυβική σχέση αυξάνουμε και το κατώφλι το οποίο θεωρούμε ότι πρέπει να τηρεί ένα UE για να γίνει πομπός. Όσο μεγαλύτερο είναι τόσο περισσότερα κινητά θα έχουμε. Στο επόμενο στάδιο μελετούμε την επιρροή που έχει στο σύστημά μας η αύξηση του κύκλου DRX για διάφορες τιμές κατωφλίων.



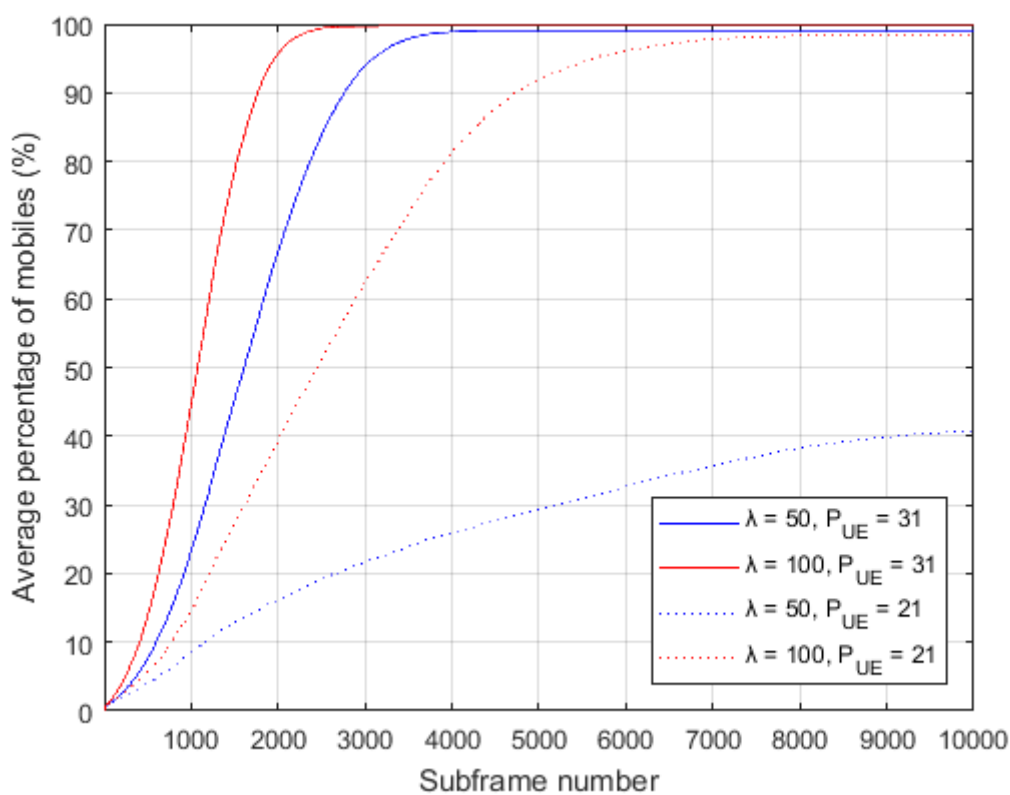
Σχήμα 5.5 Λήψεις κινητών και δημιουργία πομπών βάσει του κατοφλίου



Σχήμα 5.6 Σενάριο 1, Ποσοστά λήψης κινητών και δημιουργίας πομπών βάσει του κύκλου DRX και του SyncThres

Στο σχήμα 5.6 βλέπουμε ότι όταν τα UE έχουν κύκλο DRX = 1.28s και όριο κατωφλίου 5 dB τα κινητά καλύπτονται με τον ίδιο ρυθμό που παρατηρήσαμε και προηγουμένως δηλαδή γύρω στα 4s. Εάν κρατήσουμε το ίδιο όριο κατωφλίου και αυξήσουμε τον κύκλο DRX σε 2.56 είναι φυσικό ότι αργεί περισσότερο η κάλυψη των κινητών, συγκεκριμένα χρειάζονται περίπου 8 s για να φτάσει το μήνυμα σε περίπου 90% των κινητών, διότι η διάρκεια για την οποία μένει αδρανές το κινητό είναι μεγαλύτερη. Ένας τρόπος λοιπόν να βελτιώσουμε την κάλυψη κρατώντας τον προαναφερθέντα κύκλο σταθερό είναι να αυξήσουμε το όριο του κατωφλίου σε 10 dB , δημιουργώντας έτσι περισσότερους πομπούς και άρα περισσότερες ευκαιρίες για τα κινητά να ακούσουν το μήνυμα.

Τέλος, εξετάζουμε το αποτέλεσμα που έχει στο σύστημα η αύξηση της πυκνότητας των κινητών κρατώντας το μέγεθος της περιοχής ίδιο. Θέλουμε να δούμε εάν περισσότερα κινητά οδηγούν σε ποιο αποτελεσματική μετάδοση του μηνύματος έκτακτης ανάγκης.



Σχήμα 5.7 Σενάριο 1, ποσοστά λήψης κινητών για πυκνότητα κινητών ίση με 50 και 100 με ισχύ εκπομπής 21 και 31 dBm

Παρατηρώντας το παραπάνω σχήμα μπορούμε να διακρίνουμε ότι πράγματι η αύξηση του πλήθους των κινητών σε μια περιοχή μπορεί να οδηγήσει μέχρι και σε λήψη του μηνύματος από όλα τα κινητά. Αυτό συμβαίνει διότι τώρα πια έχουμε περισσότερα κινητά κοντά μεταξύ τους και άρα βελτιώνεται το κανάλι τους. Ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου η ισχύς του κινητού είναι 31 dBm έχουμε πλήρη λήψη για 100 κινητά/ km² και σχεδόν πλήρη για 50. Το ενδιαφέρον συμπέρασμα όμως που μπορούμε να αντλήσουμε από το παραπάνω σχήμα είναι ότι ακόμη και αν το κινητό να παραμείνει στην αρχική ισχύ του, που είναι της τάξης των 21dBm, όταν έχουμε 100 κινητά μπορούμε να φτάσουμε μια σχεδόν πλήρη κάλυψη μέσα σε περίπου 7.5 s.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και πιθανές βελτιώσεις

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν τα συστήματα ενημέρωσης κοινού σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης μέσω του 4G-LTE δικτύου. Σκοπός της εργασίας ήταν να διαπιστωθεί κατά πόσο είναι εφικτό να εφαρμοστεί ένα μοντέλο D2D επικοινωνίας -το οποίο στο πλαίσιο του LTE ονομάζεται Sidelink- για την μετάδοση ενός μηνύματος εκτάκτου ανάγκης που λαμβάνουν χρήστες εντός κάλυψης ενός ΣΒ σε χρήστες που βρίσκονται εκτός κάλυψης. Επίσης, εξετάστηκε η χρονική διάρκεια που απαιτείται για την αποστολή του μηνύματος αυτού σε όσο το δυνατόν περισσότερους χρήστες χρησιμοποιώντας πομπούς εντός κάλυψης του ΣΒ (mode 1) και εκτός κάλυψης (mode 2).

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν μετά την προσομοίωση δείχνουν να είναι εφικτή η μεταφορά ενός μηνύματος έκτακτης ανάγκης στις συνθήκες που έχουν περιγραφεί και μάλιστα με αρκετά ικανοποιητικούς χρόνους οι οποίοι μπορούν για μια περιοχή 25 km² να είναι της τάξης μερικών μόλις δευτερολέπτων, ανάλογα και με την παραμετροποίηση του συστήματος. Η προσομοίωση επαναλήφθηκε για πολλές διαφορετικές τυχαίες χωροθετήσεις σταθμού βάσης και κινητών, προκειμένου να καταλήξουμε σε μια μέση τιμή για τον αριθμό των κινητών και τον χρόνο που απαιτείται για να λάβουν το μήνυμα εκτάκτου ανάγκης. Λάβαμε υπόψη το DRX (ασυνεχής λήψη) και το είδος της τηλεπικοινωνιακής κίνησης των κινητών, για να έχουμε ένα όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικό μοντέλο και καθορίσαμε επίσης κάποια όρια (SNR, εναπομείνουσα ισχύς μπαταρίας, σωστή αποκωδικοποίηση του PDDCH/SIB) που πρέπει να τηρούν τα εντός κάλυψης κινητά, για να μπορούν να γίνουν πομποί για την D2D επικοινωνία.

Αρχικά, χρησιμοποιώντας τις γενικές παραμέτρους που αναφέρονται στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε τον ρυθμό με τον οποίο τα κινητά αποκτούν κάλυψη από το σταθμό βάσης, τον χρόνο που χρειάζεται για να δημιουργηθούν οι πομποί για την mode 1 επικοινωνία καθώς και τον ρυθμό κάλυψης των κινητών που βρίσκονταν εκτός κάλυψης του ΣΒ. Παρατηρήσαμε ότι το μήνυμα μπορεί να φτάσει στο 98.76% των χρηστών μέσα σε μόλις 4 δευτερόλεπτα για μια περιοχή 25 km².

Μελετήσαμε τρία σενάρια που αφορούσαν διάφορες καταστάσεις χρηστών και συσκευών για ένα αστικό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο παραμέτρων του μοντέλου που έχουν σημαντική επίδραση στην απόδοση του προτεινόμενου συστήματος. Εμβαθύνουμε στο χειρίστο σενάριο, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό των UE βρίσκονται σε IDLE κατάσταση, λόγω των πρώτων 4-5 λεπτών που θεωρούμε ότι ο κόσμος προσπαθεί πρώτα να διασωθεί και μετά να επικοινωνήσει. Συμπεράναμε ότι εάν ένα κινητό εκπέμπει στα 31 dBm λόγω της ύπαρξης έκτακτης ανάγκης (γνωρίζει ότι πρέπει να εκπέμπει σε αυτή την ισχύ λόγω του EWTS μηνύματος που έχει λάβει) μπορούν να λάβουν σχεδόν όλα τα κινητά της περιοχής, ακόμη και όταν αριθμός των μεταδόσεων του θεωρητικά δεν επαρκεί για την μετάδοση του μηνύματος σε όλα τα κινητά. Παρατηρήσαμε ότι αυτό συμβαίνει λόγω της μεγαλύτερης κάλυψης που προσφέρεται από το εκάστοτε κινητό, διότι μπορούν περισσότερα κινητά να ακούνε από έναν πομπό.

Συγκρίνοντας διαφορετικές τιμές πυκνότητας κινητών είδαμε ότι ένα αστικό περιβάλλον είναι κατάλληλο για D2D επικοινωνία, διότι το μεγαλύτερο πλήθος κινητών ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, βοηθά στην αποστολή του μηνύματος λόγω της εγγύτητάς τους, σε χρόνους που εκτείνονται από 2 – 8 δευτερόλεπτα ανάλογα με την ισχύ εκπομπής. Ακόμη, έγινε σαφές ότι και στην περίπτωση που έχουμε την αρχική ισχύ εκπομπής του UE (21 dBm), εάν έχουμε 100 κινητά/ km² το μήνυμα μπορεί να φτάσει επιτυχώς σε μεγάλο ποσοστό των χρηστών σε ένα χρόνο της τάξης των 7 δευτερολέπτων.

Συγκρίναμε επίσης διαφορετικούς κύκλους DRX για να δούμε την επίδραση που έχει η αδράνεια των κινητών στο μοντέλο. Όπως είναι λογικό καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι μεγαλύτεροι κύκλοι DRX

σημαίνουν και πιο αργή μετάδοση του μηνύματος όμως είναι ένα πρόβλημα που μπορεί να αντιμετωπιστεί αυξάνοντας το όριο κατωφλίου SNR. Η αύξηση του κατωφλίου έχει ως συνέπεια την δημιουργία περισσότερων πομπών και επομένως τα κινητά εκτός κάλυψης μπορούν να ακούν περισσότερα UE, οπότε έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να αποκωδικοποιήσουν σωστά το μήνυμα.

Για μελλοντικές βελτιώσεις θα μπορούσε να συμπεριληφθεί το σχετικά καινούργιο κανάλι του Sidelink που ονομάζεται discovery (PDSCH) που στέλνεται στο uplink και επιτελεί ουσιαστικά την ίδια δουλειά με το PUSCH. Η χρησιμότητα αυτού του καναλιού είναι ότι δημιουργεί γκρουπ κινητών με ίδια ID και έτσι γίνεται πιο εύκολη η διαδικασία μετρήσεων RSRP διότι το κινητό γνωρίζει ότι όταν βγει από την IDLE κατάσταση πρέπει να ψάξει κατευθείαν για Sidelink επικοινωνία στις uplink συχνότητες. Επίσης, θα μπορούσε να μελετηθεί το ίδιο μοντέλο για διαφορετικά σενάρια περιοχών είτε αστικών είτε σε αγροτικών όπου για παράδειγμα η πυκνότητα των κτιρίων είναι μικρότερη και τα περισσότερα κινητά είναι LOS. Τέλος, είναι ενδιαφέρον να δοκιμαστούν όλοι οι κύκλοι DRX καθώς και διαφορετικά σενάρια τηλεπικοινωνιακών κινήσεων για να μελετηθεί η επιρροή που θα είχαν στο σύστημα.

Βιβλιογραφία

- [1] E. Dahlman, S. Parkvall J. Skold, 4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G, 3rd Edition
- [2] Sergio Herrería-Alonso, Miguel Rodríguez-Pérez, Manuel Fernández-Veiga, Adaptive DRX Scheme to Improve Energy Efficiency in LTE Networks with Bounded Delay, September 2015
- [3] J. Schliez, A. Roessler, Device to Device Communication in LTE Whitepaper, Rhode & Schwartz, September 2015
- [4] Α. Ιωσηφίδης, Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών, Το σύστημα LTE-LTE Advanced, ΔΙ.ΠΑ.Ε
- [5] Nokia Siemens Networks
- [6] Wagas Ahmad Khan, Impact of DRX on VoIP Performance and Battery Life in LTE
- [7] Ali T. Koc, Satish C. Jha, Rath Vannithamby, Murat Torlak, Device Power Saving and Latency Optimization in LTE-A Networks Through DRX Configuration, May 2014
- [8] https://www.sharetechnote.com/html/BasicProcedure_LTE_SIB_Scheduling.html
- [9] https://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_ETWS.html
- [10] <http://www.techtrained.com/paging-procedure-lte/>
- [11] Fernando J. Cintron, Performance Evaluation of LTE Device-to-Device Out-of-Coverage Communication with Frequency Hopping Resource Scheduling, NIST, July 2018
Matlab, Device-to-Device (D2D) Communication for Public Safety in LTE
- [12] Michele Polignano, Dario Vinella, Daniela Laselva, Jeroen Wigard, Troels B. Sørensen, Power Savings and QoS Impact for VoIP Application with DRX-DTX Feature in LTE, 2011
- [13] IST-4-027756 WINNER II D1.1.2 V1.2 WINNER II Channel Models, 30/09/2007
- [14] Σύγκριση τεχνικών Υβριδικής Αίτησης Αυτόματης Επανάληψης και Προσαρμοστικής Διαμόρφωσης – Κωδικοποίησης, Α.ΤΕΙ.Θ Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών
- [15] Jian Wang, Richard Rouil, BLER Performance Evaluation of LTE Device-to-Device Communications, November 2016
- [16] Francesco Capozzi, Daniela Laselva, Frank Frederiksen, Jeroen Wigard, István Z. Kovács, and Preben E. Mogensen, UTRAN LTE Downlink System Performance under Realistic Control Channel Constraints, September 2009

Παράρτημα Α: Κώδικας

```
clear all
clc
close all
load bitmaps PSSCH_bmps

%Simulation window parameters(Andrews Singh paper+winner channel
models+3GPP TR 36.942+TS 36.843)
TotalNumofRB = 50;
lambda_BS = 1; % number of Macro BS per km2
lambda_MS = 50; % number of users per km2
region_dimensions = [5,5]; % dimensions of rectangular region under
consideration in km
SLperiod = 40; %% Sync Subframe Period (in # subframes), 1-160
numTotSubframes = 15000; %% Number of Generated Sidelink Subframes, 0-10240
numRunSubframes = 10000; %% Number of subframes to run the program
numofLayers = 150; %% συνολικός αριθμός layers
numTotRuns = 20; % Συνολικός αριθμός εκτελέσεων (outerloop) του
προγράμματος
number_of_trans = 8; %%αριθμός μεταδόσεων
RXcum = zeros(numTotRuns, numRunSubframes);
TXcum = zeros(numTotRuns, numRunSubframes);
c=3*10^8; %%speed of light
hBS=10; %%height of bs in m
hMS=1.5; %%height of MS in m
h_tonos_BS=hBS - 1; %% in meters
h_tonos_MS=hMS - 1; %%in meters
B=180*10^3; %bandwidth 180KHz
%MCL=70; %%minimum coupling loss for urban area 70db
LOSoffset=0;
NLOSoffset=-5; %%in db
GainBS=17; %%antenna gain 15dbi
GainUE=0;
F=7; %%noise figure 10db
fc=2.6; %%carrier frequency in GHz
PUE=21; %%power of ue 21 dbm
PBS=26; %%power of bs 26 dbm
energy_thres = 20;
syncThres = 2.5; %% προκαθορισμένο όριο για την σύγκριση με SNRUE
προκειμένου να γίνουν πομποί τα πιο μακρινά από το SB κινητά
RB_traffic=6; % number of RB for traffic channel of ProSe transmission
syncThres2 = 5; %% προκαθορισμένο όριο για την σύγκριση με SNRUE
προκειμένου να γίνουν πομποί κινητά που έλαβαν από άλλο κινητό

% DRX configuration of Mobiles under BS coverage
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% DRX parameters

% RRC idle - Mobile traffic status = 0;
DRX_lc_Idle = 320; % long cycle (ms)
T = DRX_lc_Idle/10; % Paging cycle
nB = T;
Ns = 4; % High traffic cell

% RRC_connected VoIP traffic - Mobile traffic status = 1
DRX_lc_VoIP = 20; % long cycle (ms)
DRX_on_VoIP = 1; % ON timer (ms)
```

```

DRX_in_VoIP = 1; % inactivity timer (ms)

% RRC_connected Active traffic - mobile traffic status = 2
DRX_lc_Active = 320; % long cycle (ms)
DRX_on_Active = 4; % ON timer (ms)
DRX_in_Active = 30; % inactivity timer (ms)
DRX_sc_Active = 80; % short cycle (ms)
DRX_ns_Active = 10; % number of short cycles
% RRC_connected Active traffic parameters.
Ppc = 1/7;
inv_lambda_pc = 500;
Pp = 1/21;
inv_lambda_p = 10;

% RRC_connected DDA and background traffic - Mobile traffic status = 3
DRX_lc_DDA = 320; % long cycle (ms)
DRX_on_DDA = 4; % ON timer (ms)
DRX_in_DDA = 30; % inactivity timer (ms)
inv_lambda_pcb = 10000;

% RRC_transmitting (users that have transmitted and expect PDCCH)
% These users are considered always active with no DRX cycle
% Mobile traffic status = 4;
DRX_lc_TX = 0;

% DRX configuration of Mobile with no BS coverage
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% DRX parameters
% Mobile traffic status = 0;
DRX_lc_OOC = 320; % DRC cycle (ms)
DRX_on_OOC = 40; % ON timer (ms) looking for ProSe transmissions

% Percentages of in coverage mobiles' traffic status
pRRC_Idle = 30; % traffic status = 0
pVoIP = 25; % traffic status = 1
pRRC_Active = 5; % traffic status = 2
pRRC_DDA = 40; % traffic status = 3;
pRRC_TX = 0; % traffic status = 4;

PBS_RB = PBS - 10*log10(TotalNumofRB)+10*log10(RB_traffic);%%50,depending
on RBs, ισχύς για RB_traffic=8 RBs
Body_loss = 2;%%body
cable_loss=1;%%cable loss 1dB
Pn=-174+10*log10(B*RB_traffic);%noise energy
dbreakpoint=(4*h_tonos_BS*h_tonos_MS*fc*10^9)/c;%%breakpoint distance,fc in
hz
dbreakpointUE=(4*h_tonos_MS*h_tonos_MS*fc*10^9)/c;

for outerloop = 1:numTotRuns
    fprintf('OUTER LOOP = %d\n', outerloop);
    Resources = zeros(TotalNumofRB,numTotSubframes,numofLayers);%%ενημέρωση
πίνακα
    [BSx,BSy] = cspoisproc(lambda_BS, 'rect', region_dimensions);
    %BS_pos=[BSx',BSy']*1000;
    [MSx,MSy] = cspoisproc(lambda_MS, 'rect', region_dimensions);
    numofMobiles = length(MSx);
    Mobiles_activity = zeros(numofMobiles,numTotSubframes); % Activity
table of mobiles.

```

```

% For in coverage users includes the subframe of first activity. For
out of
% coverage users includes all the subframes programmed to activate RX
% according to DRX configuration.
%MS_pos=[MSx',MSy']*1000;
BSused = randi(length(BSx));
BSx(1:BSused-1)=[];
BSx(2:end)=[];
BSy(1:BSused-1)=[];
BSy(2:end)=[];
TXlayers = zeros(1,50);
RXlayers = zeros(1,50);
MaxLayerperSubframe = zeros(1,numTotSubframes);
MobilesNotReceivedinFirstTX = 0;
counlos=0;
counNlos=0;

Mobiles=zeros(numofMobiles,20);
Mobiles(:,1)=1:numofMobiles;
Mobiles(:,2)=MSx;
Mobiles(:,3)=MSy;
BLER=zeros(1,numofMobiles);%%για σωστό αριθμό λίστας
Mcolor=zeros(numofMobiles,1);%%για τα figures
Msize=50*ones(numofMobiles,1);%%για τα figures

PL_UEtotal=zeros(numofMobiles,numofMobiles);

TXperSubframe = zeros(1,numTotSubframes);
RXperSubframe = zeros(1,numTotSubframes);
for j=1:numofMobiles
    Mobiles(j,10)= randi([1 100]); %%δίνεται ένα τυχαίο ποσοστό
εναπομείναντας μπαταρίας για κάθε UE
end

for i=1:numofMobiles
    plos=rand;
    DistanceBS_UE = sqrt((BSx-Mobiles(i,2)).^2)+(BSy-
Mobiles(i,3)).^2);%calculation of each UEs distance from BS

PLfreespace=20*log10(DistanceBS_UE*1000)+46.4+20*log10(fc/5);%%distance in
m,fc in GHz
    Probabilty_LOS=min(18./(DistanceBS_UE.*1000),1).*(1-exp((-
DistanceBS_UE.*1000)./36))+exp((-DistanceBS_UE.*1000)./36);
    if plos<=Probabilty_LOS && DistanceBS_UE<500
        shadow_fadingLOS=3*randn;
        if dbreakpoint<(DistanceBS_UE*1000)
            Pathloss_LOS=40*log10(DistanceBS_UE*1000)+9.45-
17.3*log(h_tonos_BS)-
17.3*log10(h_tonos_MS)+2.7*log10(fc/5)+shadow_fadingLOS-GainBS;
            PL_B1total(i)=max(PLfreespace,Pathloss_LOS);
            PrUE=PBs_RB-PL_B1total(i)-Body_loss-cable_loss;%%αντι για
pue να μπει pbs
            Mobiles(i,6) =PrUE-Pn-F;%%in db
            counlos=counlos+1;%%LOS UE counter
        else
            Pathloss_LOS=22.7*log10(DistanceBS_UE*1000)+41+20*log10(fc/5)+shadow_fading
LOS-GainBS;%%pathloss if breakpoint>distance A,B,C parameters
            PL_B1total(i)=max(PLfreespace,Pathloss_LOS);
            PrUE=PBs_RB-PL_B1total(i)-Body_loss-cable_loss;%%αντι για
pue να μπει pbs

```

```

        Mobiles(i,6) =PrUE-Pn-F;%%in db
        counlos=counlos+1;%%LOS UE counter
    end
else
    shadow_fadingNLOS=4*randn;
    Pathloss_NLOS=(44.9-
6.55*log10(hBS))*log10(DistanceBS_UE*1000)+5.83*log10(hBS)+18.38+23*log10(f
c)+shadow_fadingNLOS-GainBS;
    % PL=128.1+37.6*log10(DistanceBS_UE*1000);
    PL_B1total(i)=max(PLfreespace,Pathloss_NLOS);
    PrUE=PBS_RB-PL_B1total(i)-Body_loss-cable_loss;%%αντι γλα pue
να μπει pbs
    Mobiles(i,6) = PrUE-Pn-F;%%in dbm
    counNlos=counNlos+1;%%NLOS UE counter
end
end

for jjj=1:numofMobiles
    for kkk = 1:jjj
        if kkk~=jjj
            DistanceUE_UE = sqrt((Mobiles(jjj,2)-Mobiles(kkk,2)).^2+
(Mobiles(jjj,3)-Mobiles(kkk,3)).^2);
            Probabilty_LOS_UE=min(18./(DistanceUE_UE.*1000),1).*(1-
exp((-DistanceUE_UE.*1000)./36))+exp((-DistanceUE_UE.*1000)./36);

PLfreespace=20*log10(DistanceUE_UE*1000)+46.4+20*log10(fc/5);%%distance in
m,fc in GHz
            plos=rand;
            if plos<=Probabilty_LOS_UE
                shadow_fadingLOS_UE=3*randn;
                if dbreakpointUE<DistanceUE_UE*1000
                    Pathloss_LOS_UE=40*log10(DistanceUE_UE*1000)+7.56-
17.3*log(h_tonos_MS)-
17.3*log10(h_tonos_MS)+2.7*log10(fc/5)+shadow_fadingLOS_UE;
                    PL_B1total_UE=max(PLfreespace,Pathloss_LOS_UE);
                else
                    Pathloss_LOS_UE=22.7*log10(DistanceUE_UE*1000)+27+20*log10(fc/5)+shadow_fad
ingLOS_UE;%%pathloss if breakpoint>distance A,B,C parameters
                    PL_B1total_UE=max(PLfreespace,Pathloss_LOS_UE);
                end
            else
                shadow_fadingNLOS_UE=4*randn;
                Pathloss_NLOS_UE=(44.9-
6.55*log10(hMS))*log10(DistanceUE_UE*1000)+5.83*log10(hMS)+18.38+23*log10(f
c)+shadow_fadingNLOS_UE;
                PL_B1total_UE=max(PLfreespace,Pathloss_NLOS_UE);
            end
            PL_UEtotal(jjj,kkk)=PL_B1total_UE;
            PL_UEtotal(kkk,jjj)=PL_B1total_UE;
        end
    end
end
end

% Find in coverage mobiles: Mobiles in coverage are considered the ones
% that can recover PDCCH, SIB1 and SIB11 info.
% For SIB transmission we consider a TBS of size 504 bits, MCS 5 and 6
RB.
aaa=.305; % Parameters for the calculation of PDCCH BLER
bbb=120; % Parameters for the calculation of PDCCH BLER
NumofSIBRB = 6;

```

```

%ue_counter=0;
for j=1:numofMobiles
    % find mobiles that will receive PDCCH successfully
    g = 10.^(0.1*Mobiles(j,6));
    BLER_PDCCH = qfunc((log(1+g)-aaa)/sqrt(2.25*g/(bbb*(g+1))));
    if rand(1)>BLER_PDCCH
        % mobile will receive PDCCH successfully
        % check if it will receive SIB1
        for C=1:4
            BLER_SIB1=BLERCalculation(Mobiles(j,6),C-1,5,NumofSIBRB);
            if rand(1)>BLER_SIB1
                % mobile will receive SIB1 successfully
                Mobiles(j,5)=C; % note when mobile receives SIB1
                % check if it will receive SIB11 successfully
                for C2=1:4
                    BLER_SIB11=BLERCalculation(Mobiles(j,6),C2-
1,5,NumofSIBRB);
                    if rand(1)>BLER_SIB11
                        % mobile will receive SIB1 successfully
                        Mobiles(j,18)=C2; % note when mobile receives
SIB11
                        Mobiles(j,4)=1;
                        Mobiles(j,7)=9999;
                        Mobiles(j,11)=10;
                        %ue_counter=ue_counter+1;
                        break;
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end
end
end

% Κατανομή In Coverage κινητών σε διαφορετικά είδη κίνησης και
υπολογισμός DRX
InCov = find(Mobiles(:,7)==9999);
numofInCoverageMobiles = length(InCov);
traffic_status = zeros(numofMobiles,1);
numofVoIP = floor(pVoIP*numofInCoverageMobiles/100);
i = 0;
while i<numofVoIP
    x = randi(numofInCoverageMobiles,1);
    if Mobiles(InCov(x),20) == 0
        Mobiles(InCov(x),20) = 1;
        i=i+1;
    end
end
numofRRCActive = floor(pRRC_Active*numofInCoverageMobiles/100);
i = 0;
while i<numofRRCActive
    x = randi(numofInCoverageMobiles,1);
    if Mobiles(InCov(x),20) == 0
        Mobiles(InCov(x),20) = 2;
        i=i+1;
    end
end
numofRRCDDA = floor(pRRC_DDA*numofInCoverageMobiles/100);
i = 0;
while i<numofRRCDDA

```

```

        x = randi(numofInCoverageMobiles,1);
        if Mobiles(InCov(x),20) == 0
            Mobiles(InCov(x),20) = 3;
            i=i+1;
        end
    end
end
numofRRCTX = floor(pRRC_TX*numofInCoverageMobiles/100);
i = 0;
while i<numofRRCTX
    x = randi(numofInCoverageMobiles,1);
    if Mobiles(InCov(x),20) == 0
        Mobiles(InCov(x),20) = 4;
        i=i+1;
    end
end
numofIdleInCov = numofInCoverageMobiles-numofVoIP-numofRRCActive-
numofRRCCDDA-numofRRCTX;

% Find when in coverage mobiles will listen to SIB11 according to their
DRX
% parameters for the first time

for mm = 1:numofInCoverageMobiles
    switch Mobiles(InCov(mm),20)
        case 0 % in coverage RRC Idle users
            % find paging occasion
            UE_ID = randi([0,1023]);
            N = min(T,nB);
            PF_index = T/N*mod(UE_ID,N);
            i_s = mod(floor(UE_ID/N),Ns);
            if Ns==1, PO = 9; end
            if Ns==2
                if i_s==0, PO = 4;
                else PO = 9;
                end
            end
            if Ns==4
                if i_s==0, PO = 0;
                elseif i_s==1, PO = 4;
                elseif i_s==2, PO = 5;
                else PO = 9;
                end
            end
            Mobiles_activity(InCov(mm),1) = PF_index*10+PO+1;

        case 1 % in coverage RRC VoIP users

            x = randi(DRX_lc_VoIP);
            if x <= DRX_on_VoIP+DRX_in_VoIP
                Mobiles_activity(InCov(mm),1) = 1;
            else
                Mobiles_activity(InCov(mm),1) = x-1;
            end

        case 2 % in coverage RRC Active users
            % Generate random packet calls according to RRC_Active
traffic
            numofPacketCalls = geornd(Ppc);
            while numofPacketCalls == 0
                numofPacketCalls = geornd(Ppc);
            end
        end
    end
end

```

```

end
%pc_arrival(1) = floor(exprnd(inv_lambda_pc));
traffic_packets=[];
pc_arrival(1) = 1;
numofPackets = geornd(Pp);
while numofPackets == 0
    numofPackets = geornd(Pp);
end
p_arrival = zeros(1,numofPackets);
p_arrival(1) = pc_arrival(1);
for jj = 2:numofPackets
    p_arrival(jj) = p_arrival(jj-
1)+floor(exprnd(inv_lambda_p));
    while p_arrival(jj)==p_arrival(jj-1)
        p_arrival(jj) = p_arrival(jj-
1)+floor(exprnd(inv_lambda_p));
    end
end
traffic_packets = [traffic_packets,p_arrival];
for ii = 2:numofPacketCalls
    pc_arrival(ii) =
traffic_packets(end)+floor(exprnd(inv_lambda_pc));
    numofPackets = geornd(Pp);
    while numofPackets == 0
        numofPackets = geornd(Pp);
    end
    p_arrival = zeros(1,numofPackets);
    p_arrival(1) = pc_arrival(ii);
    for jj = 2:numofPackets
        p_arrival(jj) = p_arrival(jj-
1)+floor(exprnd(inv_lambda_p));
        while p_arrival(jj)==p_arrival(jj-1)
            p_arrival(jj) = p_arrival(jj-
1)+floor(exprnd(inv_lambda_p));
        end
    end
    traffic_packets = [traffic_packets,p_arrival];
end
% Select a random time which corresponds to simulation
subframe
% number 1 to find DRX status and update DRX according to
% traffic
x = randi(max(traffic_packets));
last_packet = find(x>=traffic_packets,1,'last');
traffic_packets(last_packet+1:end)=[];
ue_active = [];
ue_DRX = [];
ue_DRX(1)=1;
ue_active = [];
numofChecks = length(traffic_packets);
while numofChecks>0
    act = find(traffic_packets(1)>ue_DRX);
    if ~isempty(act)
        ue_active = [ue_active,ue_DRX(act)];
        ue_DRX(act)=[];
    else
        tr = find(traffic_packets<=ue_DRX(1));
        traffic_packets(tr)=[];
        ue_active =
[ue_active,ue_DRX(1):ue_DRX(1)+DRX_on_Active+DRX_in_Active-1];
        numofChecks = length(traffic_packets);
    end
end

```

```

        ue_DRX =
DRX_update_Act(ue_active(end)+1,DRX_lc_Active,DRX_on_Active,DRX_sc_Active,D
RX_ns_Active,x);

        end

        end

        ue_active = [ue_active, ue_DRX];
        lai = find(x<=ue_active,1,'first');
        Mobiles_activity(InCov(mm),1) = ue_active(lai)-x+1;

    case 3 % in coverage RRC DDA users
        numofPacketCalls = geornd(Ppc);
        while numofPacketCalls == 0
            numofPacketCalls = geornd(Ppc);
        end
        p_arrival = 1;
        traffic_packets = [];
        for jj = 2:numofPacketCalls
            p_arrival(jj) = p_arrival(jj-
1)+floor(exprnd(inv_lambda_pcB));
            while p_arrival(jj)==p_arrival(jj-1)
                p_arrival(jj) = p_arrival(jj-
1)+floor(exprnd(inv_lambda_pcB));
            end
        end
        traffic_packets = [traffic_packets,p_arrival];
        traffic_packets_or = traffic_packets;
        x = randi(max(traffic_packets));
        last_packet = find(x>=traffic_packets,1,'last');
        traffic_packets(last_packet+1:end)=[];
        ue_active = [];
        ue_DRX = [];
        ue_DRX(1)=1;
        numofChecks = length(traffic_packets);
        while numofChecks>0
            act = find(traffic_packets(1)>ue_DRX);
            if ~isempty(act)
                ue_active = [ue_active,ue_DRX(act)];
                ue_DRX(act)=[];
            else
                tr = find(traffic_packets<=ue_DRX(1));
                traffic_packets(tr)=[];
                ue_active =
[ue_active,ue_DRX(1):ue_DRX(1)+DRX_on_DDA+DRX_in_DDA-1];
                numofChecks = length(traffic_packets);
                ue_DRX =
DRX_update_DDA(ue_active(end)+1,DRX_lc_DDA,DRX_on_DDA,x);
            end

        end

        ue_active = [ue_active, ue_DRX];
        lai = find(x<=ue_active,1,'first');
        Mobiles_activity(InCov(mm),1) = ue_active(lai)-x+1;

    otherwise
        Mobiles_activity(InCov(mm),1)=1;
end
end

```

```

end

% Find when in coverage mobiles receive SIB11
for mm = 1:numofInCoverageMobiles
    % Find next SIB1 instance after PDCCH reception which takes place
the
    % first time the mobile is activated.
    SIB1_sf_first = Mobiles_activity(InCov(mm),1)+1-
mod(Mobiles_activity(InCov(mm),1),2);
    SIB1_sf_rec = SIB1_sf_first + (Mobiles(InCov(mm),5)-1)*2;
    SIB11_sf_rec = SIB1_sf_rec + Mobiles(InCov(mm),18);
    Mobiles(InCov(mm),19) = SIB11_sf_rec;
    RXperSubframe(1,SIB11_sf_rec) = RXperSubframe(1,SIB11_sf_rec)+1;
    % Mobiles will be active from now on so their activation time in
    % Mobiles_activity is set to 0.
    Mobiles_activity(InCov(mm),1)=0;
end

% DRX parameters of out of coverage mobiles
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
OutCov = find(Mobiles(:,7)~=9999);
numofOutCoverageMobiles = length(OutCov);
% Create out of coverage DRX profile for total number of frames
ue_activity = 1:DRX_on_OOC;
ue_DRX = ue_activity;
maxsf = ue_DRX(end);
i=1;
while maxsf<=numTotSubframes
    new_sf = ue_activity+i*DRX_lc_OOC;
    ue_DRX = [ue_DRX,new_sf];
    maxsf = max(ue_DRX);
    i=i+1;
end
% Create random DRX cycle for out of coverage mobiles
for mm = 1:numofOutCoverageMobiles
    x = randi(DRX_lc_OOC);
    Mobiles_activity(OutCov(mm),1:length(ue_DRX)) = ue_DRX+x;
end

%%Υπολογισμός πιθανών πομπών με βάση το SNR και την ενέργεια των
κινητών
%%Sync Subframe Offset Indicator (w.r.t. subframe #0), 0-39, default
config 0
ind2 = find(Mobiles(InCov,10)>=energy_thres &
Mobiles(InCov,6)<=syncThres);
InCovTX = InCov(ind2);
Mobiles(InCovTX,8) = 1;
Mobiles(InCovTX,13) = -1; % προσωρινή τιμή για να υπολογιστεί η τελική
syncOffsetIndicator = 0;
OffsettoAdd = 0;
for mm = 1:length(InCovTX)
    xx = InCovTX(mm);
    % We assume that at least 5 subframes are necessary after
reception
    % until the mobile will start transmission
    TX_possible_sf = Mobiles(InCov(mm),19)+5;
    syncOffsetIndicator = mod(TX_possible_sf,SLperiod);
    OffsettoAdd = syncOffsetIndicator;
    while ~isempty(find(Mobiles(InCovTX,13) == syncOffsetIndicator,1))
&& mm<=SLperiod

```

```

        OffsettoAdd = syncOffsetIndicator+1;
        syncOffsetIndicator = mod(syncOffsetIndicator+1,SLperiod);
    end
    Mobiles(InCovTX(mm),13) = syncOffsetIndicator;
    TX_final_sf = floor(TX_possible_sf/SLperiod)*SLperiod +
OffsettoAdd;
    Mobiles(InCovTX(mm),16) = TX_final_sf;
    TXperSubframe(TX_final_sf) = TXperSubframe(TX_final_sf)+1;
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% MODE 1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%Για τις εκπομπες των πρώτων κινητιών, που έχουν γίνει πομποί απο
σταθμό
%%βάσης

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Broadcast channel = 10000 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Control Channel = 20000 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Shared Channel = 30000, 40000, 50000, 60000 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Status (Κατάσταση) Mobiles(:,11)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Broadcast = 1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Control = 2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Shared = 3,4,5,6 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Οργάνωση Resource Grid βάσει των παραμέτρων %
% Μετρώ τα RBs από 1 μέχρι TotalNumofRB %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
PRB_Start = 1;
BRB_low = 23;
BRB_high = 28;
PRB_Num = 25; % Πρέπει PRB_Num>=RB_traffic
PRB_End = 50;
SLRB = [PRB_Start:PRB_Start+PRB_Num-1,PRB_End-PRB_Num+1:PRB_End];
SLRB = sort(SLRB,'ascend');
le = length(SLRB);
ind = [];
for i=1:le-1
    if SLRB(i)==SLRB(i+1)
        ind = [ind, i];
    end
end
SLRB(ind)=[];
Mpscch = length(SLRB);
Lpscch = 2;
%ResourceBlockOffset = 26;
npscch_range_start = 0;
npscch_range_end = floor(Mpscch/2)*Lpscch-1; %%να τσεκάρω αν χρειάζεται
το -1

% Δημιουργία εκπομπών των in coverage πομπών
for mm = 1:length(InCovTX)
    j = InCovTX(mm);
    % εαν είναι πομπός και έχει αποκωδικοποιήσει σωστά και τα 3 κανάλια
    % το broadcast συν τα control στέλνονται στα πρώτα 8ms ανάλογα με
    % το offset,από εκεί όριζουμε έπειτα πότε θα αρχίσει η shared
    % περίοδος
    shared_period_start = Mobiles(j,16)+7;
    layer =1;

```

```

%NSRLB_Broadcast = randi([21 26]);
% PSBCH (broadcast) channel transmission configuration
while any(Resources(BRB_low:BRB_high,Mobiles(j,16),layer))
    layer = layer +1;
end
Resources(BRB_low:BRB_high,Mobiles(j,16),layer) = 10000 +
Mobiles(j,1);
% επανάληψη κάθε 40ms
for ii=1:number_of_trans
    layer =1;
    while
any(Resources(BRB_low:BRB_high,Mobiles(j,16)+ii*SLperiod,layer))
        layer = layer +1;
    end
    Resources(BRB_low:BRB_high,Mobiles(j,16)+ii*SLperiod,layer) =
10000 + Mobiles(j,1);
end

% PSCCH (control) channel transmission configuration
npscch = randi([npscch_range_start npscch_range_end]);

%%H πρώτη μετάδοση του control θα γίνει στο a1 απου αφορά το RB
%%στο subframe b1 = npscchMODLpscch
a1 = floor(npscch/Lpscch);
b1 = mod(npscch,Lpscch);
NSLRB_control = SLRB(a1+1);
Subframe_transmit_control = b1+1;

%%H δευτερη μετάδοση του control θα γίνει στο a2 απου αφορά το RB
%%στο subframe b2 = npscchMODLpscch
a2 = a1 + floor(Mpscch/2);% + ResourceBlockOffset;
b2 = mod(npscch + 1 + mod(a1,Lpscch-1),Lpscch);
NSLRB_control_2 = SLRB(a2+1);
Subframe_transmit_control_2 = b2+1;

layer =1;
while
any(Resources(NSLRB_control,Subframe_transmit_control+Mobiles(j,16),layer))
    layer = layer +1;
end

Resources(NSLRB_control,Subframe_transmit_control+Mobiles(j,16),layer) =
20000 + Mobiles(j,1);
layer =1;
while any(Resources(NSLRB_control_2,Subframe_transmit_control_2 +
Mobiles(j,16),layer))
    layer = layer +1;
end
Resources(NSLRB_control_2,Subframe_transmit_control_2 +
Mobiles(j,16),layer) = 20000 + Mobiles(j,1);
% επανάληψη κάθε 40ms
for ii=1:number_of_trans
    layer =1;
    while
any(Resources(NSLRB_control,Subframe_transmit_control+Mobiles(j,16)+ii*SLpe
riod,layer))
        layer = layer +1;
    end

Resources(NSLRB_control,Subframe_transmit_control+Mobiles(j,16)+ii*SLperiod
,layer) = 20000 + Mobiles(j,1);

```

```

        layer = 1;
        while
any(Resources(NSLRB_control_2,Subframe_transmit_control_2+Mobiles(j,16)+ii*
SLperiod,layer))
            layer = layer + 1;
        end
        Resources(NSLRB_control_2,Subframe_transmit_control_2 +
Mobiles(j,16)+ii*SLperiod,layer) = 20000 + Mobiles(j,1);
    end

    % PSSCH (data) channel transmission configuration
    ITRP = randi([0 105]);
    bitmap_shared = find(PSSCH_bmps(ITRP + 1,:));
    bitmap_shared_possible_transmission = [ bitmap_shared,
bitmap_shared + 8,bitmap_shared+16,bitmap_shared+24];
    relative_shared_transmission =
bitmap_shared_possible_transmission(1:4);
    absolute_shared_transmission = shared_period_start +
relative_shared_transmission ; % Το 7 έγινε Lpscch - να τσεκάρω αν δουλεύει
καλά

    consecutiveRBs = 1;
    for ii = 1:length(SLRB)-1
        if SLRB(ii)-SLRB(ii+1)~= -1
            consecutiveRBs=0;
        end
    end
    if consecutiveRBs==1
        NSLRB_start = randi([1 Mpscch-RB_traffic+1]);
    else
        if rand<0.5
            NSLRB_start = randi([1 Mpscch/2-RB_traffic+1]);
        else
            NSLRB_start = randi([Mpscch/2 Mpscch-RB_traffic+1]);
        end
    end
    NSLRB_shared = SLRB(NSLRB_start);
    for ii = 1:4
        layer = 1;
        while any(Resources(NSLRB_shared:(NSLRB_shared+RB_traffic-
1),absolute_shared_transmission(ii),layer))
            layer = layer + 1;
        end
        Resources(NSLRB_shared:(NSLRB_shared+RB_traffic-
1),absolute_shared_transmission(ii),layer) = 30000 + (ii-1)*10000 +
Mobiles(j,1);
    end
    % επανάληψη κάθε 40ms
    for ii=1:number_of_trans
        layer = 1;
        for iii= 1:4
            while any(Resources(NSLRB_shared:(NSLRB_shared+RB_traffic-
1),absolute_shared_transmission(iii)+ii*SLperiod,layer))
                layer = layer + 1;
            end
            Resources(NSLRB_shared:(NSLRB_shared+RB_traffic-
1),absolute_shared_transmission(iii)+ii*SLperiod,layer) = 30000 + (iii-
1)*10000 + Mobiles(j,1);
        end
    end
    Mobiles(j,10) = Mobiles(j,10) - 1; %%π.χ. χάνει 1% κάθε φορά

```

```

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  MODE 2  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%ITRP = MAX 35
ITRP = randi([0 34]);
SNRUE_UE = zeros;
coun = 0; %%counter για υπολογισμό συνολικών πομπών
BW_broad=6*B;
Pn_Broad=-174+10*log10(BW_broad);%noise energy
BW_control=1*B;
Pn_Control=-174+10*log10(BW_control);%noise energy
BW_shared = 8*B;%%σιτέλνεται 4 φορές σε μια περίοδο
Pn_Shared = -174+10*log10(BW_shared);%noise energy
Mode2_trans_offset = 5;%%πόσα ms θέλει για να μεταβεί από receiver σε
transmitter
%%να βάλω και μεταβλητή ή loop για να ξέρω πόσα layers χρειάστηκαν

NSRLB_Broadcast = 25;%%randi([21 26]);
% Έλεγχος λήψης PSBCH, PSCCH, PSSCH ανά subframe για τα κινητά εκτός
% κάλυψης ΣΒ
for subframe=1:numRunSubframes
    fprintf('OUTER LOOP = %d ,subframe = %d\n', outerloop, subframe);
    ResWorking = Resources(:,subframe,:);
    ResW = reshape(ResWorking,TotalNumofRB,numofLayers,[]);
    [row,col] = find(ResW);
    maxlayers = max(col);
    for layer=1:maxlayers
        if (Resources(NSRLB_Broadcast,subframe,layer)>10000 &&
Resources(NSRLB_Broadcast,subframe,layer)<20000)

            Tx_mobile_Broad =
Resources(NSRLB_Broadcast,subframe,layer)-10000;%%να δω ποιο UE εκπέμπει
            % find which out of coverage mobiles are active during the
            % specific subframe so that it can listen to PSBCH
            [active_mobiles,v]=find(Mobiles_activity==subframe);
            for mm=1:length(active_mobiles)
                j = active_mobiles(mm);
                %%σε αυτή την if κοιτάμε ποιος ακούει broadcast
                if (Mobiles(j,8) ~= 1 && Mobiles(j,4)==0 &&
Mobiles(j,11)==0)

                    PrUE_UE = PUE-PL_UEtotal(Tx_mobile_Broad,j)-
Body_loss;

                    % interference
                    TotalInter = 0;
                    for RBused = BRB_low:BRB_high
                        for kk = 1:maxlayers
                            if kk~=layer
                                if ResW(RBused,kk)>0 &&
ResW(RBused,kk)<20000

                                    int_ue = ResW(RBused,kk)-10000;
                                    pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue,Tx_mobile_Broad);

                                    PrInt_UE_dBm = PUE-pathloss_int_ue-
Body_loss-10*log10(6); % 1/6 της εκπεμπόμενης ισχύος broadcast
                                    PrInt_UE = 10^(.1*PrInt_UE_dBm);
                                    TotalInter = TotalInter + PrInt_UE;
                                end
                            if ResW(RBused,kk)>20000 &&
ResW(RBused,kk)<30000

                                    int_ue = ResW(RBused,kk)-20000;

```

```

pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue,Tx_mobile_Broad);
PrInt_UE_dBm = PUE-pathloss_int_ue-
Body_loss;
PrInt_UE = 10^(.1*PrInt_UE_dBm);
TotalInter = TotalInter + PrInt_UE;
end
if ResW(RBused, kk)>30000
int_ue =
mod(ResW(RBused, kk), 10000);
pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue,Tx_mobile_Broad);
PrInt_UE_dBm = PUE-pathloss_int_ue-
Body_loss-10*log10(RB_traffic); % ισχύς shared channel ανά RB
PrInt_UE = 10^(.1*PrInt_UE_dBm);
TotalInter = TotalInter + PrInt_UE;
end
end
end
Pnoise = 10^(.1*Pn_Broad);
g = 10^(.1*PrUE_UE)/(TotalInter+Pnoise);
g = g/F;
SNRUE_UE = 10*log10(g);
aa=.88;%σταθερές για τον υπολογισμό του BLER του
SL broadcast
bb=800;%σταθερές για τον υπολογισμό του BLER του
SL broadcast
cc=.09;%σταθερές για τον υπολογισμό του BLER του
SL broadcast
g = g/cc;
BLER_PBSCH = qfunc((log(1+g)-
aa)/sqrt(40*g/(bb*(g+1)))));
if rand(1)>BLER_PBSCH
Mobiles(j,6) = SNRUE_UE;
Mobiles(j,12) = Tx_mobile_Broad;
Mobiles(j,11) = 1;%έλαβε broadcast
Mobiles(j,15) = PL_UEtotal(Tx_mobile_Broad,j);
% Να αλλάζει με μικρά βήματα, να εξαρτάται και από το subframe και να
αποθηκεύεται η νέα τιμή στο PL_UEtotal
% Το κινητό έχει λάβει το broadcast και άρα
% παραμένει active στο εξής. Οπότε τίθεται
μηδέν
% στον πίνακα Mobiles_activity
Mobiles_activity(j,:)=zeros(1,numTotSubframes);
end
end
end
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Control Check %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% ResWorking = Resources(:,subframe,:);
% ResW = reshape(ResWorking,TotalNumofRB,numofLayers,[]);
% [row,col] = find(ResWorking);
% maxlayers = max(col);
for layer = 1:maxlayers
RB_control_pos = find(Resources(:,subframe,layer) > 20000 &
Resources(:,subframe,layer) < 30000);
if ~isempty(RB_control_pos)

```

```

        for control_num=1:length(RB_control_pos)
            RBused = RB_control_pos(control_num);
            Tx_mobile_control = Resources(RBused,subframe,layer)-
20000; % να βάλω εδώ το -20000
            ue_check_control = find(Mobiles(:,11)==1 &
Mobiles(:,12)==Tx_mobile_control);
            if ~isempty(ue_check_control)
                for ue_received_broad=1:length(ue_check_control)
                    ue = ue_check_control(ue_received_broad);
                    % pathloss_ues_control = Mobiles(ue,15) +
2*randn; % Να αλλάζει με μικρά βήματα, να εξαρτάται και από το subframe και
να αποθηκεύεται η νέα τιμή στο PL_UEtotal
                    pathloss_ues_control =
PL_UEtotal(Tx_mobile_control,ue); % Να αλλάζει με μικρά βήματα, να
εξαρτάται και από το subframe και να αποθηκεύεται η νέα τιμή στο PL_UEtotal
                    PrUE_UE = PUE-pathloss_ues_control-Body_loss;

                    % interference calculation
                    TotalInter = 0;
                    for kk = 1:maxlayers
                        if kk~=layer
                            if ResW(RBused,kk)>0 &&
ResW(RBused,kk)<20000
                                int_ue = ResW(RBused,kk)-10000;
                                pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue,ue);
                                PrInt_UE_dBm = PUE-pathloss_int_ue-
Body_loss-10*log10(6); % 1/6 της εκπνεόμενης ισχύος broadcast
                                PrInt_UE = 10^(.1*PrInt_UE_dBm);
                                TotalInter = TotalInter + PrInt_UE;
                            end
                            if ResW(RBused,kk)>20000 &&
ResW(RBused,kk)<30000
                                int_ue = ResW(RBused,kk)-20000;
                                pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue,ue);
                                PrInt_UE_dBm = PUE-pathloss_int_ue-
Body_loss;
                                PrInt_UE = 10^(.1*PrInt_UE_dBm);
                                TotalInter = TotalInter + PrInt_UE;
                            end
                            if ResW(RBused,kk)>30000
                                int_ue =
mod(ResW(RBused,kk),10000);
                                pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue,ue);
                                PrInt_UE_dBm = PUE-pathloss_int_ue-
Body_loss-10*log10(RB_traffic);
                                PrInt_UE = 10^(.1*PrInt_UE_dBm);
                                TotalInter = TotalInter + PrInt_UE;
                            end
                        end
                    end
                end
            end
            Pnoise = 10^(.1*Pn_Control);
            g = 10^(.1*PrUE_UE)/(TotalInter+Pnoise);
            g = g/F;
            SNRUE_UE = 10*log10(g);
            %g = 10.^(0.1*(SNRUE_UE));
            a=0.376;%%σταθερές για τον υπολογισμό του BLER
του SL control

```

```

b=73;%%σταθερές για τον υπολογισμό του BLER του
SL control
BLER_Control = qfunc((log(1+g)-
a)./sqrt(2*g./(b*(g+1)))));
if rand(1)>BLER_Control
    Mobiles(ue,6) = SNRUE_UE; %%θέλει j ή ue?
αφού j δεν υπάρχει στο loop
    Mobiles(ue,11) = 2;%%έλαβε control
end
end
end
end
end

%%%%%%Shared%%%%%%%%%%%%%%
for layer = 1:maxlayers
    RB_shared_pos = find(Resources(:,subframe,layer) > 30000 &
Resources(:,subframe,layer) < 40000);
    if ~isempty(RB_shared_pos)
        dif_trans = length(RB_shared_pos)/RB_traffic;
        for kk=1:dif_trans
            RB_shared_pos(kk+1:kk+RB_traffic-1) = [];
        end
        if ~isempty(RB_shared_pos)
            for control_num=1:length(RB_shared_pos)
                Tx_mobile_control =
Resources(RB_shared_pos(control_num),subframe,layer)-30000;
                ue_check_control = find(Mobiles(:,11)==2 &
Mobiles(:,12)==Tx_mobile_control);
                if ~isempty(ue_check_control)
                    for
ue_received_broad=1:length(ue_check_control)
                        ue = ue_check_control(ue_received_broad);
                        %pathloss_ues_control = Mobiles(ue,15) +
2*randn; % Να αλλάζει με μικρά βήματα, να εξαρτάται και από το subframe και
να αποθηκεύεται η νέα τιμή στο PL_UEtotal
                        pathloss_ues_control =
PL_UEtotal(Tx_mobile_control,ue); % Να αλλάζει με μικρά βήματα, να
εξαρτάται και από το subframe και να αποθηκεύεται η νέα τιμή στο PL_UEtotal
                        PrUE_UE = PUE-pathloss_ues_control-
Body_loss;

                        % interference calculation
                        TotalInter = 0;
                        for RBused =
RB_shared_pos(control_num):RB_shared_pos(control_num)+RB_traffic-1
                            for kk = 1:maxlayers
                                if kk~=layer
                                    if ResW(RBused,kk)>0 &&
ResW(RBused,kk)<20000
                                        int_ue = ResW(RBused,kk)-
10000;
                                        pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue,ue);
                                        PrInt_UE_dBm = PUE-
pathloss_int_ue-Body_loss-10*log10(6); % 1/6 της εκπεμπόμενης ισχύος
broadcast

```

```

10^(.1*PrInt_UE_dBm);
PrInt_UE;

ResW(RBused, kk) < 30000
20000;
PL_UEtotal(int_ue, ue);
pathloss_int_ue - Body_loss;
10^(.1*PrInt_UE_dBm);
PrInt_UE;

mod(ResW(RBused, kk), 10000);
PL_UEtotal(int_ue, ue);
pathloss_int_ue - Body_loss - 10*log10(RB_traffic); % κοινό shared channel ανά
RB
10^(.1*PrInt_UE_dBm);
PrInt_UE;

PrInt_UE =
TotalInter = TotalInter +
end
if ResW(RBused, kk) > 20000 &&
int_ue = ResW(RBused, kk) -
pathloss_int_ue =
PrInt_UE_dBm = PUE -
PrInt_UE =
TotalInter = TotalInter +
end
if ResW(RBused, kk) > 30000
int_ue =
pathloss_int_ue =
PrInt_UE_dBm = PUE -
PrInt_UE =
TotalInter = TotalInter +
end
end
end
Pnoise = 10^(.1*Pn_Broad);
g = 10^(.1*PrUE_UE) / (TotalInter + Pnoise);
g = g/F;
SNRUE_UE = 10*log10(g);
%
% SNRUE_UE =
%
% g =
RV = 0;
BLER_shared =
BLERCalculation(SNRUE_UE, RV, 5, RB_traffic);
if rand(1) > BLER_shared
Mobiles(ue, 6) = SNRUE_UE;
Mobiles(ue, 11) = 10 + RV + 1; %% έλαβε
shared
RXperSubframe(subframe) = RXperSubframe(subframe) + 1;
Mobiles(ue, 4) =
floor(Mobiles(Tx_mobile_control, 9) / 1000); % Reception layer
% Mobiles(ue, 16) = subframe;
if Mobiles(ue, 10) > energy_thres &&
Mobiles(ue, 6) <= syncThres2
Mobiles(ue, 8) = 1;
TXperSubframe(subframe) = TXperSubframe(subframe) + 1;

```



```

int_ue = ResW(RBused, kk) -
10000;
pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue, ue);
PrInt_UE_dBm = PUE-
pathloss_int_ue-Body_loss-10*log10(6); % 1/6 της εκπεμπόμενης ισχύος
broadcast
PrInt_UE =
10^(.1*PrInt_UE_dBm);
TotalInter = TotalInter +
PrInt_UE;
end
if ResW(RBused, kk) > 20000 &&
int_ue = ResW(RBused, kk) -
pathloss_int_ue =
PrInt_UE_dBm = PUE-
PrInt_UE =
TotalInter = TotalInter +
PrInt_UE;
end
if ResW(RBused, kk) > 30000
int_ue =
pathloss_int_ue =
PrInt_UE_dBm = PUE-
PrInt_UE =
TotalInter = TotalInter +
PrInt_UE;
end
end
end
end
Pnoise = 10^(.1*Pn_Broad);
g = 10^(.1*PrUE_UE)/(TotalInter+Pnoise);
g = g/F;
SNRUE_UE = 10*log10(g);

%SNRUE_UE = PrUE_UE-Pn_Shared-F;
%g = 10.^(0.1*(SNRUE_UE));
RV = 1;
BLER_shared =
BLERCalculation(SNRUE_UE, RV, 5, RB_traffic);
if rand(1) > BLER_shared
    Mobiles(ue, 6) = SNRUE_UE;
    Mobiles(ue, 11) = 10 + RV + 1; %%έλαβε
shared
RXperSubframe(subframe) = RXperSubframe(subframe) + 1;
Mobiles(ue, 4) =
floor(Mobiles(Tx_mobile_control, 9)/1000); % Reception layer
% Mobiles(ue, 16) = subframe;

```

```

        if Mobiles(ue,10)>energy_thres &&
Mobiles(ue,6)<=syncThres2
            Mobiles(ue,8)=1;

TXperSubframe(subframe)=TXperSubframe(subframe)+1;
            Mobiles(ue,16) = subframe +
Mode2_trans_offset;%%πότε έγινε πομπός
            if Mobiles(ue,4)~=0
                TXlayers(Mobiles(ue,4)) =
TXlayers(Mobiles(ue,4))+1;
                Mobiles(ue,9) =
(Mobiles(ue,4)+1)*1000 + TXlayers(Mobiles(ue,4));
            end
            end
        else
            Mobiles(ue,11) = 4;%% δεν έλαβε shared,
είναι στην κατάσταση 3 και περιμένει νέα εκπομπή
            end
        end

    end

end

end

    RB_shared_pos = find(Resources(:,subframe,layer) > 50000 &
Resources(:,subframe,layer) < 60000);
    if ~isempty(RB_shared_pos)
        dif_trans = length(RB_shared_pos)/RB_traffic;
        for kk=1:dif_trans
            RB_shared_pos(kk+1:kk+RB_traffic-1) = [];
        end
        if ~isempty(RB_shared_pos)
            for control_num=1:length(RB_shared_pos)
                Tx_mobile_control =
Resources(RB_shared_pos(control_num),subframe,layer)-50000;
                ue_check_control = find(Mobiles(:,11)==4 &
Mobiles(:,12)==Tx_mobile_control);
                if ~isempty(ue_check_control)
                    for
ue_received_broad=1:length(ue_check_control)
                        ue = ue_check_control(ue_received_broad);
                        %pathloss_ues_control = Mobiles(ue,15) +
2*randn; % Να αλλάζει με μικρά βήματα, να εξαρτάται και από το subframe και
να αποθηκεύεται η νέα τιμή στο PL_UEtotal
                        pathloss_ues_control =
PL_UEtotal(Tx_mobile_control,ue); % Να αλλάζει με μικρά βήματα, να
εξαρτάται και από το subframe και να αποθηκεύεται η νέα τιμή στο PL_UEtotal
                        PrUE_UE = PUE-pathloss_ues_control-
Body_loss;

                        % interference caclulation
                        TotalInter = 0;
                        for RBused =
RB_shared_pos(control_num):RB_shared_pos(control_num)+RB_traffic-1
                            for kk = 1:maxlayers
                                if kk~=layer
                                    if ResW(RBused, kk)>0 &&
ResW(RBused, kk)<20000

```

```

int_ue = ResW(RBused, kk) -
10000;
pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue, ue);
PrInt_UE_dBm = PUE-
pathloss_int_ue-Body_loss-10*log10(6); % 1/6 της εκπεμπόμενης ισχύος
broadcast
PrInt_UE =
10^(.1*PrInt_UE_dBm);
TotalInter = TotalInter +
PrInt_UE;
end
if ResW(RBused, kk) > 20000 &&
int_ue = ResW(RBused, kk) -
pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue, ue);
PrInt_UE_dBm = PUE-
pathloss_int_ue-Body_loss;
PrInt_UE =
10^(.1*PrInt_UE_dBm);
TotalInter = TotalInter +
PrInt_UE;
end
if ResW(RBused, kk) > 30000
int_ue =
pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue, ue);
PrInt_UE_dBm = PUE-
pathloss_int_ue-Body_loss-10*log10(RB_traffic); % ισχύς shared channel ανά
RB
PrInt_UE =
10^(.1*PrInt_UE_dBm);
TotalInter = TotalInter +
PrInt_UE;
end
end
end
Pnoise = 10^(.1*Pn_Broad);
g = 10^(.1*PrUE_UE)/(TotalInter+Pnoise);
g = g/F;
SNRUE_UE = 10*log10(g);

%SNRUE_UE = PrUE_UE-Pn_Shared-F;
%g = 10.^(0.1*(SNRUE_UE));
RV = 2;
BLER_shared =
BLERCalculation(SNRUE_UE, RV, 5, RB_traffic);
if rand(1) > BLER_shared
    Mobiles(ue, 6) = SNRUE_UE;
    Mobiles(ue, 11) = 10 + RV + 1; %%έλαβε
shared
RXperSubframe(subframe) = RXperSubframe(subframe) + 1;
Mobiles(ue, 4) =
floor(Mobiles(Tx_mobile_control, 9)/1000); % Reception layer
% Mobiles(ue, 16) = subframe;

```

```

        if Mobiles(ue,10)>energy_thres &&
Mobiles(ue,6)<=syncThres2
            Mobiles(ue,8)=1;

TXperSubframe(subframe)=TXperSubframe(subframe)+1;
            Mobiles(ue,16) = subframe +
Mode2_trans_offset;%%πότε έγινε πομπός
            if Mobiles(ue,4)~=0
                TXlayers(Mobiles(ue,4)) =
TXlayers(Mobiles(ue,4))+1;
                Mobiles(ue,9) =
(Mobiles(ue,4)+1)*1000 + TXlayers(Mobiles(ue,4));
            end
            end
        else
            Mobiles(ue,11) = 5;%%δεν έλαβε shared,
είναι στην κατάσταση 5 και περιμένει νέα εκπομπή
            end
        end

    end

end

end

end

RB_shared_pos = find(Resources(:,subframe,layer) > 60000);
if ~isempty(RB_shared_pos)
    dif_trans = length(RB_shared_pos)/RB_traffic;
    for kk=1:dif_trans
        RB_shared_pos(kk+1:kk+RB_traffic-1) = [];
    end
    if ~isempty(RB_shared_pos)
        for control_num=1:length(RB_shared_pos)
            Tx_mobile_control =
Resources(RB_shared_pos(control_num),subframe,layer)-60000;
            ue_check_control = find(Mobiles(:,11)==5 &
Mobiles(:,12)==Tx_mobile_control);
            if ~isempty(ue_check_control)
                for
ue_received_broad=1:length(ue_check_control)
                    ue = ue_check_control(ue_received_broad);
                    %pathloss_ues_control = Mobiles(ue,15) +
2*randn; % Να αλλάζει με μικρά βήματα, να εξαρτάται και από το subframe και
να αποθηκεύεται η νέα τιμή στο PL_UEtotal
                    pathloss_ues_control =
PL_UEtotal(Tx_mobile_control,ue); % Να αλλάζει με μικρά βήματα, να
εξαρτάται και από το subframe και να αποθηκεύεται η νέα τιμή στο PL_UEtotal
                    PrUE_UE = PUE-pathloss_ues_control-
Body_loss;

                    % interference caculation
                    TotalInter = 0;
                    for RBused =
RB_shared_pos(control_num):RB_shared_pos(control_num)+RB_traffic-1
                        for kk = 1:maxlayers
                            if kk~=layer
                                if ResW(RBused,kk)>0 &&
ResW(RBused,kk)<20000

```

```

int_ue = ResW(RBused, kk) -
10000;
pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue, ue);
PrInt_UE_dBm = PUE-
pathloss_int_ue-Body_loss-10*log10(6); % 1/6 της εκπεμπόμενης ισχύος
broadcast
PrInt_UE =
10^(.1*PrInt_UE_dBm);
TotalInter = TotalInter +
PrInt_UE;
end
if ResW(RBused, kk)>20000 &&
int_ue = ResW(RBused, kk) -
pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue, ue);
PrInt_UE_dBm = PUE-
pathloss_int_ue-Body_loss;
PrInt_UE =
10^(.1*PrInt_UE_dBm);
TotalInter = TotalInter +
PrInt_UE;
end
if ResW(RBused, kk)>30000
int_ue =
pathloss_int_ue =
PL_UEtotal(int_ue, ue);
PrInt_UE_dBm = PUE-
pathloss_int_ue-Body_loss-10*log10(RB_traffic); % ισχύς shared channel ανά
RB
PrInt_UE =
10^(.1*PrInt_UE_dBm);
TotalInter = TotalInter +
PrInt_UE;
end
end
end
Pnoise = 10^(.1*Pn_Broad);
g = 10^(.1*PrUE_UE)/(TotalInter+Pnoise);
g = g/F;
SNRUE_UE = 10*log10(g);

%SNRUE_UE = PrUE_UE-Pn_Shared-F;
%g = 10.^(0.1*(SNRUE_UE));
RV = 3;
BLER_shared =
BLERCalculation(SNRUE_UE, RV, 5, RB_traffic);
if rand(1)>BLER_shared
Mobiles(ue, 6) = SNRUE_UE;
Mobiles(ue, 11) = 10 + RV + 1; %%έλαβε
shared
RXperSubframe(subframe)=RXperSubframe(subframe)+1;
Mobiles(ue, 4) =
floor(Mobiles(Tx_mobile_control, 9)/1000); % Reception layer
% Mobiles(ue, 16) = subframe;

```

```

        if Mobiles(ue,10)>energy_thres &&
Mobiles(ue,6)<=syncThres2
            Mobiles(ue,8)=1;

TXperSubframe(subframe)=TXperSubframe(subframe)+1;
            Mobiles(ue,16) = subframe +
Mode2_trans_offset;%%πότε έγινε πομπός
            if Mobiles(ue,4)~=0
                TXlayers(Mobiles(ue,4)) =
TXlayers(Mobiles(ue,4))+1;
                Mobiles(ue,9) =
(Mobiles(ue,4)+1)*1000 + TXlayers(Mobiles(ue,4));
            end
            end
        else
            Mobiles(ue,11) = 0;%% δεν έλαβε shared
4 φορές, να δούμε πώς θα τον χειριστούμε.
            % Το κινητό θα παραμείνει ανοιχτό στο
            % εξής για να λάβει από το ίδιο ή από
άλλο
            % κινητό. Ο πίνακας Mobiles_activity
            % ενημερώνεται προκειμένου να ακούσει
το
            % κινητό επόμενη εκπομπή.

Mobiles_activity(ue,subframe:numTotSubframes) = subframe:numTotSubframes;
            Mobiles(ue,4)=0;
            MobilesNotReceivedinFirstTX =
MobilesNotReceivedinFirstTX+1;
        end
    end
end

end
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Mode 2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%Υπάρχει τώρα πια και μια 17η στήλη που γίνεται 1 αν έχουν
οργανωθεί οι
%%εκπομπές ενός καινούργιου πομπού( mode2 )

ue_model = find(Mobiles(:,8)==1 & Mobiles(:,11)>=11 &
Mobiles(:,17)==0);
if ~isempty(ue_model)
    for new_ues=1:length(ue_model)
        ue_mode2 = ue_model(new_ues);
        layer =1;

        %Να προσθέσουμε ένα random offset στην αρχική εκπομπη?
        Mobiles(ue_mode2,13) = 0; %randi([0 39]);
        shared_period_start =
Mobiles(ue_mode2,13)+Mobiles(ue_mode2,16) + 7;
        while any(Resources(BRB_low:BRB_high,Mobiles(ue_mode2,13) +
Mobiles(ue_mode2,16),layer))
            layer = layer +1;
        end
    end
end

```

```

Resources(BRB_low:BRB_high,Mobiles(ue_mode2,13)+Mobiles(ue_mode2,16),layer)
= 10000 + Mobiles(ue_mode2,1);
    for ii=1:number_of_trans
        layer =1;
        while
any(Resources(BRB_low:BRB_high,Mobiles(ue_mode2,13)+ii*SLperiod +
Mobiles(ue_mode2,16),layer))
        layer = layer +1;
        end

Resources(BRB_low:BRB_high,Mobiles(ue_mode2,13)+ii*SLperiod
+Mobiles(ue_mode2,16),layer) = 10000 + Mobiles(ue_mode2,1);
    end
    npscch = randi([npscch_range_start npscch_range_end]);

    a1 = floor(npscch/Lpscch);
    b1 = mod(npscch,Lpscch);

    NSLRB_control = SLRB(a1+1);
    Subframe_transmit_control = b1+1;
    a2 = a1 + floor(Mpscch/2);% + ResourceBlockOffset;
    b2 = mod(npscch + 1 + mod(a1,Lpscch-1),Lpscch);
    NSLRB_control_2 = SLRB(a2+1);
    Subframe_transmit_control_2 = b2+1;
    layer =1;

    while
any(Resources(NSLRB_control,Subframe_transmit_control+Mobiles(ue_mode2,13)+
Mobiles(ue_mode2,16),layer))
        layer = layer +1;
        end

Resources(NSLRB_control,Subframe_transmit_control+Mobiles(ue_mode2,13)+Mobi
les(ue_mode2,16),layer) = 20000 + Mobiles(ue_mode2,1);
    layer =1;
    while
any(Resources(NSLRB_control_2,Subframe_transmit_control_2 +
Mobiles(ue_mode2,13)+Mobiles(ue_mode2,16),layer))
        layer = layer +1;
        end
    Resources(NSLRB_control_2,Subframe_transmit_control_2 +
Mobiles(ue_mode2,13)+Mobiles(ue_mode2,16),layer) = 20000 +
Mobiles(ue_mode2,1);

    for ii=1:number_of_trans
        layer =1;
        while
any(Resources(NSLRB_control,Subframe_transmit_control+Mobiles(ue_mode2,13)+
ii*SLperiod+Mobiles(ue_mode2,16),layer))
        layer = layer +1;
        end

Resources(NSLRB_control,Subframe_transmit_control+Mobiles(ue_mode2,13)+ii*S
Lperiod+Mobiles(ue_mode2,16),layer) = 20000 + Mobiles(ue_mode2,1);

        layer =1;
        while
any(Resources(NSLRB_control_2,Subframe_transmit_control_2+Mobiles(ue_mode2,
13)+ii*SLperiod+Mobiles(ue_mode2,16),layer))

```

```

        layer = layer + 1;
    end
    Resources(NSLRB_control_2,Subframe_transmit_control_2 +
Mobiles(ue_mode2,13)+ii*SLperiod+Mobiles(ue_mode2,16),layer) = 20000 +
Mobiles(ue_mode2,1);
    end

    ITRP = randi([0 34]);
    bitmap_shared = find(PSSCH_bmps(ITRP + 1,:));
    bitmap_shared_possible_transmission = [ bitmap_shared,
bitmap_shared + 8,bitmap_shared+16,bitmap_shared+24];

    relative_shared_transmission =
bitmap_shared_possible_transmission(1:4);
    absolute_shared_transmission = shared_period_start +
relative_shared_transmission; % Το 7 έγινε Lpscch - να τσεκάρω αν δουλεύει
καλά

    consecutiveRBs = 1;
    for ii = 1:length(SLRB)-1
        if SLRB(ii)-SLRB(ii+1)~= -1
            consecutiveRBs=0;
        end
    end
    if consecutiveRBs==1
        NSLRB_start = randi([1 Mpscch-RB_traffic+1]);
    else
        if rand<0.5
            NSLRB_start = randi([1 Mpscch/2-RB_traffic+1]);
        else
            NSLRB_start = randi([Mpscch/2 Mpscch-
RB_traffic+1]);
        end
    end
    end
    NSLRB_shared = SLRB(NSLRB_start);
    for ii= 1:4
        layer =1;
        % while
Resources(NSRLB_shared:(NSRLB_shared+RB_traffic),Mobiles(ue_mode2,13)+absol
ute_shared_transmission(ii),layer) ~= 0
        while
any(Resources(NSLRB_shared:(NSLRB_shared+RB_traffic-
1),absolute_shared_transmission(ii),layer))
            layer = layer + 1;

        end
        Resources(NSLRB_shared:(NSLRB_shared+RB_traffic-
1),absolute_shared_transmission(ii),layer) = 30000 + (ii-1)*10000 +
Mobiles(ue_mode2,1);

    end

    for ii=1:number_of_trans
        layer =1;
        for iii= 1:4

            while
any(Resources(NSLRB_shared:(NSLRB_shared+RB_traffic-
1),absolute_shared_transmission(iii)+ii*SLperiod,layer))
                layer = layer + 1;
            end
        end
    end

```

```

Resources(NSLRB_shared:(NSLRB_shared+RB_traffic-
1),absolute_shared_transmission(iii)+iii*SLperiod,layer) = 30000 + (iii-
1)*10000 + Mobiles(ue_mode2,1);
end

end

Mobiles(ue_mode2,10) = Mobiles(ue_mode2,10) - 1; %%π.χ.
χάνει 1% κάθε φορά
Mobiles(ue_mode2,17) = 1;%%οργανώθηκαν οι εκπομπές του
end
end

end
% maxTXRXlayers = length(find(TXlayers>0));
% for jj = 1:maxTXRXlayers
%     RXlayers(jj)=length(find(Mobiles(:,4)==jj));
% end
% TXRXlayers = [RXlayers(1:maxTXRXlayers)',TXlayers(1:maxTXRXlayers)'];
% figure
% %bar(TXRXlayers,1.5);grid
%
%plot(1:maxTXRXlayers,RXlayers(1:maxTXRXlayers),1:maxTXRXlayers,TXlayers(1:
maxTXRXlayers));grid
% xlabel('Transmission layer');
% ylabel('Number of mobiles');
% legend('RX mobiles','TX mobiles');
%
RXcum(outerloop,:) =
100*cumsum(RXperSubframe(1:numRunSubframes))/numofMobiles;
TXcum(outerloop,:) =
100*cumsum(TXperSubframe(1:numRunSubframes))/numofMobiles;
% figure
%
plot(1:numRunSubframes,RXcum(outerloop,:),1:numRunSubframes,TXcum(outerloop
,:));axis([1 numRunSubframes 0 100]);grid
% xlabel('Subframe number');
% ylabel('Number of mobiles');
% legend('Info reception','Info transmission');
%
end
meanRXcum = mean(RXcum);
meanTXcum = mean(TXcum);
figure
plot(1:numRunSubframes,RXcum,'b:'); hold on
plot(1:numRunSubframes,meanRXcum,'b-', 'Linewidth',2); hold on
plot(1:numRunSubframes,TXcum,'g:'); hold on
plot(1:numRunSubframes,meanTXcum,'g-', 'Linewidth',2);
axis([1 numRunSubframes 0 100]);grid
xlabel('Subframe number');
ylabel('Percentage of mobiles (%)');

figure
plot(1:numRunSubframes,meanRXcum,1:numRunSubframes,meanTXcum);
axis([1 numRunSubframes 0 100]);grid
xlabel('Subframe number');
ylabel('Average percentage of mobiles (%)');
legend('RX mobiles','TX mobiles');

```

```

prasino_counter = 0;
orange_counter = 0;

for j=1:numofMobiles%%Με αυτό το loop φαίνονται οι χρήστες που λαμβάνουν με
μπλε και οι υπόλοιποι με κόκκινο
    if Mobiles(j,5)>0
        if (Mobiles(j,7)<168 && Mobiles(j,8)==0)
            Mcolor(j,1)='b';
        else
            Mcolor(j,1)='p';
        end
        Mcolor(j,1)='b';
    else
        Mcolor(j,1)='r';
    end

    if (Mobiles(j,8) ==1 )
        Mcolor(j,1)='m';%%οι πομποί που έγιναν στο mode 1 υποδεικνυονται με
πρασινο
        prasino_counter = prasino_counter + 1;
    end

    if (Mobiles(j,12)~=0)
        Mcolor(j,1)='k';
    end
    if (Mobiles(j,12)~=0 && Mobiles(j,11) >=11)
        Mcolor(j,1)='o';%%οι καινούργιοι πομποί mode 2
        orange_counter = orange_counter +1;
    end

end
figure
scatter(MSx,MSy,Msize,Mcolor,'fill')
xlabel('x');ylabel('y');

hold on

scatter(BSx,BSy,100,'c','filled')
xlabel('x');ylabel('y');
title('Κατανομή UE και BS')

```