



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Τμήμα Διδακτικής της Τεχνολογίας και Ψηφιακών
Συστημάτων

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδίαση δικτύων υψηλών ταχυτήτων, ασύρματης
πρόσβασης, συμβατών με το πρότυπο 3GPP LTE

Όνοματεπώνυμο : Ιωάννου Ιωάννης

Επιβλέπων : Αναπλ. Καθηγητής Δεμέστιχας Παναγιώτης

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εξέλιξη στο χώρο των ασύρματων τηλεπικοινωνιών είναι ραγδαία με αποτέλεσμα να προσφέρονται συνεχώς στους καταναλωτές καινούριες υπηρεσίες και φορητές συσκευές. Το διαθέσιμο φάσμα φαίνεται ανίκανο να εξυπηρετήσει την τεράστια ζήτηση που αναμένεται στα επόμενα χρόνια, με αποτέλεσμα η ανάγκη για εξεύρεση νέων πόρων να κρίνεται επιτακτική. Δεδομένου ότι το ραδιοφάσμα είναι περιορισμένο, αναπτύσσονται μέθοδοι για την καλύτερη διαχείριση του ήδη υπάρχοντος φάσματος. Στα πλαίσια αυτής της φιλοσοφίας προτάθηκε από την 3GPP το πρότυπο πάνω στο οποίο θα σχεδιάζονταν το μελλοντικό ασύρματο δίκτυο. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε παράλληλα σε δύο στάδια, καθώς αναπτύχθηκε το νέο ραδιοδίκτυο, *LTE*, και το νέο δίκτυο κορμού, *EPS*.

Για την καλύτερη διαχείριση του ραδιοδικτύου προτάθηκε η Λειτουργική Αρχιτεκτονική, η οποία μέσω συγκεκριμένων οντοτήτων καταφέρνει να φέρει εις πέρας όλες τις απαραίτητες διεργασίες μεταξύ των στοιχείων του δικτύου. Η οντότητα που μελετήθηκε περαιτέρω στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας είναι η *DSNPM (Dynamic Self-Organizing Network Planning and Management Tool)*. Η συγκεκριμένη οντότητα είναι υπεύθυνη για μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες ενέργειες που λαμβάνονται στα πλαίσια της διαχείρισης του δικτύου. Με βάση τους κατάλληλους αλγόριθμους η οντότητα *DSNPM* αποφασίζει για την αναδιάρθρωση που απαιτείται στο δίκτυο προκειμένου να εξυπηρετηθούν όλοι οι ενεργοί χρήστες, έστω και σε βασικό επίπεδο ποιότητας, χωρίς να επηρεαστούν οι δείκτες ποιότητας του τηλεπικοινωνιακού παρόχου.

Σκοπός της εργασίας είναι η περαιτέρω βελτίωση της οντότητας *DSNPM* με τη λήψη αποδοτικότερων και δικαιότερων αποφάσεων. Για αυτό το λόγο αναπτύχθηκε και προστέθηκε ο αλγόριθμος *CPP-DSA*, για την πλήρη κάλυψη των απαιτήσεων όλων των χρηστών.

Τέλος, προτείνεται και μία τεχνική η οποία αναμένεται πως θα μειώσει το χρόνο υπολογισμού της βέλτιστης αναδιάρθρωσης, όπως προκύπτει από έρευνα που διεξήχθη στα πλαίσια της εργασίας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά το πέρας της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Δεμέστιχα Παναγιώτη, για την εμπειριστατωμένη καθοδήγησή του και το συνεχές και πραγματικό ενδιαφέρον για την πρόοδο που παρουσίαζε η διπλωματική εργασία σε όλη τη διάρκειά της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος το διδάκτορα κ. Σαατσάκη Άγγελο, ο οποίος με την αμέριστη βοήθειά του και την πολύτιμη πείρα του συνετέλεσε στο να ξεπεραστούν οποιεσδήποτε απορίες και δυσκολίες που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	- 3 -
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	- 4 -
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	- 7 -
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	- 10 -
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 12 -
1.2 ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ LTE.....	- 13 -
1.3 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	- 14 -
1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	- 15 -
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ.....	- 16 -
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 16 -
2.2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ 3GPP ΓΙΑ ΤΟ LTE	- 17 -
2.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ OFDM	- 19 -
2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ <i>IFFT/FFT</i> ΓΙΑ ΤΗΝ <i>OFDM</i> ΜΕΤΑΔΟΣΗ	- 22 -
2.5 ΕΙΣΟΔΟΣ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΠΡΟΘΕΜΑΤΟΣ.....	- 24 -
2.6 ΣΥΜΒΟΛΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	- 26 -
2.7 ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΑΣΙΚΩΝ OFDM ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	- 26 -
2.7.2. Αριθμός φερόντων.....	- 28 -
2.7.3 Μέγεθος κυκλικού προθέματος.....	- 29 -
2.8 Η <i>OFDM</i> ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΚΑΙ ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ.....	- 30 -
2.9 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ <i>LTE</i>	- 31 -
2.9.1 <i>OFDMA</i> και η βασική δομή ενός πλαισίου <i>LTE</i>	- 31 -
2.9.2 <i>SC-FDMA</i>	- 34 -
ΑΝΑΘΕΣΗ ΦΕΡΟΝΤΩΝ ΣΤΙΣ ΚΥΨΕΛΩΤΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	- 37 -
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 37 -
3.2 ΣΧΗΜΑΤΑ (<i>SCHEMES</i>) ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	- 37 -
3.3 FIXED SUBCARRIER ALLOCATION – ΠΑΓΙΑ ΑΝΑΘΕΣΗ ΦΕΡΟΝΤΩΝ	- 39 -
3.4 DYNAMIC SUBCARRIER ALLOCATION – ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΘΕΣΗ ΦΕΡΟΝΤΩΝ.....	- 40 -
3.4.1 Συγκεντρωτικά <i>DSA</i> σχήματα.....	- 41 -
3.4.2 Κατανεμημένα <i>DSA</i> σχήματα	- 42 -
3.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ <i>FSA</i> ΚΑΙ <i>DSA</i> ΣΧΗΜΑΤΩΝ	- 42 -
3.6 HYBRID SUBCARRIER ALLOCATION – ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΑΝΑΘΕΣΗ ΦΕΡΟΝΤΩΝ	- 44 -
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	- 45 -
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 45 -
4.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	- 47 -
4.2.1 <i>Context</i>	- 47 -
4.2.2. <i>Profiles</i>	- 48 -

4.2.3 <i>Policies</i>	- 49 -
4.3 ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	- 50 -
4.4 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΝΩΣΙΑΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΥΠΑΡΧΟΝ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ...	51 -
4.5 ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΟΥ CONTEXT.....	- 53 -
4.6 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ CONTEXT MATCHING	- 55 -
4.7 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ RDQ-A.....	- 56 -
4.7.1 <i>Δεδομένα εισόδου</i>	- 57 -
4.7.2 <i>Έξοδος συστήματος</i>	- 58 -
4.8 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ OFDM ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ	- 61 -
4.8.1 <i>Αλγόριθμος Hungarian</i>	- 62 -
4.8.2 <i>Αλγόριθμος advanced Dynamic</i>	- 63 -
4.8.3 <i>Αλγόριθμος Basic-CPP-DSA</i>	- 63 -
4.8.4 <i>Αλγόριθμος Max-SNR</i>	- 64 -
4.8.5 <i>Αλγόριθμος CPP-DSA</i>	- 64 -
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΟΝΤΟΤΗΤΑ DSNPM	- 67 -
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 67 -
5.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	- 67 -
5.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ	- 68 -
5.3.1 <i>Dynamic Self-Organized Network Planning and Management - DSONPM</i> -	70 -
5.3.2 <i>Dynamic Spectrum Management - DSM</i>	- 72 -
5.3.3 <i>Joint Radio Resource Management - JRRM</i>	- 73 -
5.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ	- 74 -
5.5 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΓΙΑ LTE.....	- 76 -
5.6 ΟΝΤΟΤΗΤΑ DSNPM	- 77 -
5.7 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ DSNPM.....	- 81 -
5.8 ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ	- 83 -
5.9 GENERATOR	- 86 -
5.9.1 <i>Επεκτάσεις του Generator</i>	- 87 -
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	- 89 -
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 89 -
6.2 ΑΛΛΑΓΗ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ <i>LTE</i>	- 91 -
6.3 ΑΛΛΑΓΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ <i>LTE</i>	- 93 -
6.4 ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ	- 94 -
ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗΣ OFDMA ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	- 99 -
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 99 -
7.2 ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ.....	- 99 -
7.3 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	- 100 -
7.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	- 102 -
7.4.1 <i>Περίπτωση 1^η</i>	- 102 -
7.4.2 <i>Περίπτωση 2^η</i>	- 103 -

7.4.3 Περίπτωση 3 ^η	- 104 -
7.4.4 Περίπτωση 4 ^η	- 104 -
7.4.5 Περίπτωση 5 ^η	- 105 -
7.4.6 Περίπτωση 6 ^η	- 106 -
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	- 109 -
8.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	- 109 -
8.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΒΕΛΤΙΩΣΗ	- 110 -
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	- 111 -

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2. 1 Η μορφή του παλμού και το εύρος κάθε φέροντος της τεχνολογίας <i>OFDM</i> .	19 -
Εικόνα 2. 2 Διάστημα μεταξύ των <i>OFDM</i> φερόντων.	20 -
Εικόνα 2. 3 Διαμόρφωση <i>OFDM</i> .	20 -
Εικόνα 2. 4 Το <i>OFDM</i> πλέγμα χρόνου – συχνότητας. Οι στήλες αντιστοιχούν σε <i>OFDM</i> σύμβολα και οι γραμμές σε <i>OFDM</i> φέροντα.	22 -
Εικόνα 2. 5 Διαμόρφωση <i>OFDM</i> με επεξεργασία <i>IFFT</i> .	23 -
Εικόνα 2. 6 Αποδιαμόρφωση <i>OFDM</i> με επεξεργασία <i>FFT</i> .	24 -
Εικόνα 2. 7 Χρονική διασπορά και αντίστοιχα λαμβανόμενο σήμα.	24 -
Εικόνα 2. 8 Εισαγωγή κυκλικού προθέματος.	25 -
Εικόνα 2. 9 Το πλέγμα χρόνου-συχνότητας παρουσία συμβόλων αναφοράς.	26 -
Εικόνα 2. 10 Παρεμβολές σε ένα φέρον, συναρτήσει της κανονικοποιημένης διασποράς <i>Doppler</i> $f_{Doppler}/\Delta f$.	28 -
Εικόνα 2. 11 Το φάσμα ενός βασικού <i>OFDM</i> καναλιού 5 MHz συγκρινόμενο με το φάσμα ενός <i>WCDMA</i> καναλιού.	29 -
Εικόνα 2. 12 Πολλαπλή πρόσβαση χρηστών με <i>OFDM</i> τεχνολογία : (a) downlink (b) uplink	30 -
Εικόνα 2. 13 Κατανεμημένη πολλαπλή πρόσβαση.	31 -
Εικόνα 2. 14 Δομή ενός πλαισίου <i>LTE</i> .	32 -
Εικόνα 2. 15 Απεικόνιση των πόρων κατά το downlink.	33 -
Εικόνα 2. 16 Τα σήματα αναφοράς ανάμεσα στους στοιχειώδεις πόρους.	34 -
Εικόνα 2. 17 Οι στοιχειώδεις πόροι και το διάστημα των φερόντων παραμένει όμοιο με του downlink.	35 -

Εικόνα 2. 18 Το υποπλαίσιο του uplink και η δομή της σχισμής. Ένα υποπλαίσιο αποτελείται από δύο ισοκατανεμημένες σχισμές. Κάθε σχισμή αποτελείται από έξι ή επτά <i>blocks</i> αναλόγως με το είδος του κυκλικού προθέματος.....	- 36 -
Εικόνα 2. 19 Ανάθεση πόρων κατά το <i>uplink</i>	- 36 -
Εικόνα 3. 1 FSA για a) N=3 και b) N=7.	- 39 -
Εικόνα 4. 1 Τυπικό ασύρματο δίκτυο στην B3G εποχή.....	- 45 -
Εικόνα 4. 2 Παραδοσιακό σύστημα διαχείρισης ασύρματων δικτύων.....	- 50 -
Εικόνα 4. 3 Είσοδος γνωσιακών χαρακτηριστικών στη διαδικασία διαχείρισης. ...	52 -
Εικόνα 4. 4 Μηχανισμός απόκτησης καινούριου context.....	- 53 -
Εικόνα 4. 5 Βήματα του αλγορίθμου Context Matching.	- 56 -
Εικόνα 4. 6 Γενική περιγραφή του RDQ-A προβλήματος.	- 57 -
Εικόνα 4. 7 Οι φάσεις επίλυσης του RDQ-A προβλήματος.....	- 60 -
Εικόνα 5. 1 Επισκόπηση της Λειτουργικής Αρχιτεκτονικής (<i>Functional Architecture</i>).....	- 70 -
Εικόνα 5. 2 Σύνοψη του DSONPM.	- 71 -
Εικόνα 5. 3 DSM module approach.	- 73 -
Εικόνα 5. 4 Μία πιθανή χαρτογράφηση της (a) Αρχιτεκτονικής του δικτύου LTE (b) Αρχιτεκτονικής του συστήματος LTE.....	- 76 -
Εικόνα 5. 5 Αρχική μορφή <i>DSNPM</i>	- 78 -
Εικόνα 5. 6 Profiles Tab.	- 79 -
Εικόνα 5. 7 Policies Tab.....	- 80 -

Εικόνα 5. 8 Ενεργοποίηση της διαδικασίας βελτιστοποίησης από το χρήστη όταν εμφανίζεται συμφόρηση σε κάποιο στοιχείο του δικτύου.	- 81 -
Εικόνα 5. 9 Πρώτη λύση που προκύπτει μέσω του αλγορίθμου RDQ-A.	- 82 -
Εικόνα 5. 10 Αποτελέσματα πρώτης ανάθεσης μέσω του αλγορίθμου RDQ-A.	- 83 -
Εικόνα 5. 11 Παρουσίαση φερόντων και πομποδεκτών που ανατέθηκαν σε τεχνολογίες OFDMA.	- 84 -
Εικόνα 5. 12 Αποτελέσματα τελικής ανάθεσης για φέροντα με OFDMA τεχνολογία.	- 85 -
Εικόνα 5. 13 Αρχική μορφή του Generator.	- 86 -
Εικόνα 5. 14 Επιλογή μεγέθους του καναλιού στον Generator.	- 88 -
Εικόνα 6. 1 Αύξηση του χρόνου εκτέλεσης των υπολογισμών με την αύξηση του εύρους του υπό εξέταση καναλιού.	- 97 -
Εικόνα 6. 2 Αύξηση του συνολικού ρυθμού μετάδοσης με την αύξηση του εύρους του υπό εξέταση καναλιού.	- 97 -
Εικόνα 6. 3 Η κατάληψη των πόρων του υπό μελέτη καναλιού ανά περίπτωση. ...	- 98 -
Εικόνα 7. 1 Εισαγωγή της τεχνικής της μάθησης στη λήψη αποφάσεων.	- 100 -
Εικόνα 7. 2 Ποσοστά ανάθεσης φερόντων βασικής κλάσης και στις έξι περιπτώσεις που μελετήθηκαν.	- 107 -
Εικόνα 7. 3 Ποσοστά ανάθεσης φερόντων μεσαίας κλάσης και στις έξι περιπτώσεις που μελετήθηκαν.	- 107 -
Εικόνα 7. 4 Ποσοστά ανάθεσης φερόντων υψηλής κλάσης και στις έξι περιπτώσεις που μελετήθηκαν.	- 108 -

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2. 1	Το διαθέσιμο φάσμα για downlink διαιρούμενο σε PRB.....	- 32 -
Πίνακας 5. 1	Αριθμός φερόντων για κάθε κανάλι σύμφωνα με [17].	- 87 -
Πίνακας 6. 1	Αντιστοιχία ρυθμού μετάδοσης με το ρυθμό διαμόρφωσης.	- 89 -
Πίνακας 6. 2	Αντιστοιχία προφίλ με ρυθμό μετάδοσης.....	- 90 -
Πίνακας 6. 3	Αριθμός <i>chunk</i> και φερόντων για ένα κανάλι 10 MHz.	- 91 -
Πίνακας 6. 4	Αποτελέσματα για αλλαγή εμβέλειας.	- 92 -
Πίνακας 6. 5	Αποτελέσματα για αλλαγή χωρητικότητας.	- 93 -
Πίνακας 6. 6	Αποτελέσματα για αλλαγή κατανομής χρηστών σε κανάλι 5 MHz. -	94 -
Πίνακας 6. 7	Αποτελέσματα για αλλαγή της κατανομής των χρηστών σε κανάλι 10 MHz και 15 MHz.....	- 95 -
Πίνακας 7. 1	Παράδειγμα για κανάλι 5MHz και κατανομή υπηρεσιών κατά 40/30/30.....	- 102 -
Πίνακας 7. 2	Παράδειγμα για ποσοστιαία κατανομή των φερόντων σε κανάλι 5MHz.	- 103 -
Πίνακας 7. 3	Παράδειγμα για ποσοστιαία κατανομή των φερόντων σε κανάλι 5MHz.	- 103 -
Πίνακας 7. 4	Παράδειγμα για ποσοστιαία κατανομή των φερόντων σε κανάλι 5MHz.	- 104 -

Πίνακας 7. 5 Παράδειγμα για ποσοστιαία κατανομή των φερόντων σε κανάλι 10 MHz. - 105 -

Πίνακας 7. 6 Παράδειγμα για ποσοστιαία κατανομή των φερόντων σε κανάλι 10 MHz. - 105 -

Πίνακας 7. 7 Παράδειγμα για ποσοστιαία κατανομή των φερόντων σε κανάλι 10 MHz. - 106 -

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Σημαντική αύξηση στους χρήστες κινητής τηλεφωνίας παγκοσμίως αναμένεται και για το 2010 σύμφωνα με την επιτροπή τηλεπικοινωνιών του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών, καθώς υπολογίζεται πως ο αριθμός των ενεργών συνδρομητών θα φτάσει τα πέντε δισεκατομμύρια, με τον αριθμό αυτό να αγγίζει τα τέσσερα και μισό δισεκατομμύρια για το 2009. Σύμφωνα με την *ITU (International Telecommunications Union)* η αύξηση που παρατηρείται οφείλεται στις αναβαθμισμένες υπηρεσίες και συσκευές που παρέχονται πλέον στους καταναλωτές.

Η *ITU* αναμένει πως ο αριθμός των συμβολαίων ασύρματης πρόσβασης στο *internet (Mobile Broadband)* θα ξεπεράσει το ένα δισεκατομμύριο, σε παγκόσμια κλίμακα, με τον αντίστοιχο αριθμό το 2009 να αγγίζει τα 600 εκατομμύρια. Είναι πιθανό η ασύρματη πρόσβαση στον παγκόσμιο ιστό, μέσω των φορητών υπολογιστών και των «έξυπνων» συσκευών κινητής τηλεφωνίας, να ξεπεράσει την πρόσβαση από σταθερούς υπολογιστές, μέσα στα επόμενα πέντε χρόνια.

Με βάση αυτά τα δεδομένα και κοιτώντας το μέλλον, η κυρίαρχη ερώτηση είναι πότε θα εφαρμοστούν τα *Beyond 3G* ασύρματα δίκτυα. Κοιτώντας το παρελθόν, η υπηρεσία φωνής ήταν η πρώτη που μπορούσε να εξυπηρετήσει χρήστες εν κινήσει. Η υπηρεσία του γραπτού μηνύματος (*SMS*) ακολούθησε αργότερα ως η πρώτη υπηρεσία για κινητά τηλέφωνα που βασιζόταν σε μετάδοση δεδομένων (*data*). Κατά κάποιο τρόπο μπορεί να θεωρηθεί και ο προπομπός άλλων υπηρεσιών *data*, όπως το *mobile e-mail* και το *mobile Web browsing*. Αυτές οι εφαρμογές είναι πλέον πραγματοποιήσιμες με την είσοδο της

τεχνολογίας μετάδοσης πακέτων (*packet based*) στα ασύρματα δίκτυα και την είσοδο στην αγορά ισχυρότερων φορητών τηλεφωνικών συσκευών. Με τις υπάρχουσες υποδομές τα δίκτυα 3G και 3.5G ανταπεξέρχονται στις απαιτήσεις των χρηστών. Όμως η τάση δείχνει ότι στο μέλλον η ζήτηση θα αυξηθεί και η εύρεση περισσότερων πόρων είναι επιτακτική, δεδομένου ότι το κόστος των διαφόρων υπηρεσιών που απαιτούν πρόσβαση στο διαδίκτυο θα μειώνεται και θα αυξάνεται ο αριθμός των συνδρομητών που θα τις χρησιμοποιούν.

1.2 Μετάβαση στην τεχνολογία LTE

. Το πιο πρόσφατο βήμα στην εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών, αναπτύχθηκε από την 3GPP (*Third Generation Partnership Project*), και συνετέλεσε στη μετάβαση της τεχνολογίας 3G στην τεχνολογία LTE (*Long Term Evolution*), όσον αφορά την ασύρματη πρόσβαση και στην τεχνολογία SAE (*System Architecture Evolution*), όσον αφορά το δίκτυο κορμού. Η αλλαγή στον τρόπο πρόσβασης στο φυσικό επίπεδο, με τη διαίρεση του διαθέσιμου φάσματος σε πολλαπλά φέροντα στενού φάσματος τα οποία είναι ορθογώνια μεταξύ τους, είχε ως αποτέλεσμα την εξάλειψη προβλημάτων των προηγούμενων τεχνολογιών.

Παρόλα αυτά, χρειάζονται και άλλες ενέργειες για να επιτευχθεί ο στόχος της περαιτέρω βελτίωσης της απόδοσης του συστήματος, στα πλαίσια της μέγιστης αποδοτικότητας του φάσματος. Γίνεται σαφές πως απαιτούνται καινοτόμοι μηχανισμοί διαχείρισης του ραδιοδικτύου (*Radio Resource Management*) και υπάρχουν διάφορες τεχνικές που μπορούν να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα του ευμετάβλητου δικτύου, όπως η Δυναμική Ανάθεση Φερόντων (*DSA-Dynamic Subcarrier Assignment*), η Δυναμική Ανάθεση Ισχύος (*APA-Adaptive Power Allocation*) και η Δυναμική Διαμόρφωση (*AM-Adaptive Modulation*). Ο στόχος της *DSA* είναι η εύρεση του βέλτιστου αριθμού φερόντων που χρειάζεται να ανατεθούν σε κάθε χρήστη έτσι ώστε να εξυπηρετείται με τη μέγιστη δυνατή ποιότητα υπηρεσιών. Με την *APA* βρίσκεται η βέλτιστη ανάθεση ισχύος στα φέροντα των χρηστών με στόχο την εξάλειψη των παρεμβολών και της αποτελεσματικότερης επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων. Τέλος, ο

πομπός, σύμφωνα με την *AM*, μπορεί να εκπέμπει σε υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης στα καλύτερης ποιότητας φέροντα, εξασφαλίζοντας αποδεκτό BER (*Bit Error Rate*) σε όλα τα φέροντα.

Όταν προκύπτει κάποια μεταβολή στην κατάσταση του δικτύου θα πρέπει να αντιμετωπίζεται το ταχύτερο δυνατό, με γνώμονα τη διατήρηση των Δεικτών Ποιότητας (*KPI-Key Performance Indicator*) σε ανεκτά επίπεδα. Αυτό συνεπάγεται πως η προσαρμογή του δικτύου σε καινούριες και πιο απαιτητικές συνθήκες πρέπει να πραγματοποιείται με γρηγορότερες και λιγότερο πολύπλοκες διαδικασίες.

1.3 Στόχος της εργασίας

Για την αποτελεσματική διαχείριση του ραδιοδικτύου στα μελλοντικά συστήματα ασύρματων επικοινωνιών αναπτύχθηκε η Λειτουργική Αρχιτεκτονική (*FA, Functional Architecture*) η οποία αποτελεί τη συνένωση διαφορετικών μηχανισμών διαχείρισης, με τον κάθε ένα από αυτούς να εκτελεί διαφορετικές λειτουργίες. Στα πλαίσια της εργασίας θα επικεντρωθούμε στην οντότητα *DSNPM (Dynamic Self-Organizing Network Planning and Management Tool)* της οποίας ο στόχος είναι η λήψη μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων αποφάσεων για τις ενέργειες αναδιάρθρωσης που απαιτούνται στο δίκτυο.

Ο μηχανισμός διαχείρισης *DSNPM* κάνει χρήση των *DSA* αλγορίθμων και των πλεονεκτημάτων που απορρέουν από τη χρήση τους, για να υπολογίσει την καταλληλότερη ανάθεση φερόντων στους χρήστες, λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα από την ποιοτική κατάσταση του διαύλου. Σε κάθε χρήστη είναι δυνατόν να του ανατεθούν περισσότερα του ενός φέροντα, κάτι το οποίο εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως η θέση του χρήστη, το είδος της υπηρεσίας που επιθυμεί, το προφίλ του, αλλά και την πολιτική του τηλεπικοινωνιακού παρόχου. Το γεγονός που βοηθά στο να παρθεί η βέλτιστη απόφαση είναι ότι το τερματικό του χρήστη γνωρίζει κάθε στιγμή την ποιότητα όλων των φερόντων.

Στα πλαίσια της εργασίας θα προσπαθήσουμε να βελτιώσουμε τη λειτουργία της οντότητας *DSNPM*, με την εισαγωγή νέων παραμέτρων και αλγορίθμων στη διαδικασία εξεύρεσης της ιδανικής διάρθρωσης του δικτύου. Επίσης θα πραγματοποιηθεί και μία μελέτη για την εφαρμογή και γνωσιακών τεχνικών στα πλαίσια της εύρεσης της λύσης, έτσι ώστε να διαπιστωθεί εάν συντρέχει λόγος για την εισαγωγή τους στο μηχανισμό διαχείρισης.

1.3 Δομή της εργασίας

Μετά το πρώτο κεφάλαιο της εισαγωγής, ακολουθεί στο δεύτερο κεφάλαιο μία αναλυτική παρουσίαση των τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία *LTE* και των παραμέτρων που επηρεάζουν την απόδοση του δικτύου. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές κατηγορίες ανάθεσης των φερόντων ενός καναλιού, καθώς και τα προτερήματα και μειονεκτήματα κάθε μίας εξ αυτών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνονται τα δεδομένα από το τηλεπικοινωνιακό περιβάλλον και οι αλγόριθμοι αναγνώρισης και βελτιστοποίησης με τους οποίους λαμβάνονται οι αποφάσεις αναδιάρθρωσης. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η Λειτουργική Αρχιτεκτονική ως μία ολοκληρωμένη πρόταση διαχείρισης των ασύρματων δικτύων της *B3G* εποχής και οι οντότητες διαχείρισης που την αποτελούν. Στη συνέχεια αναλύεται η οντότητα *DSNPM* και παρουσιάζονται οι επεκτάσεις που έγιναν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αποτελέσματα από προσομοιώσεις που έγιναν με τη χρήση της οντότητας *DSNPM* και στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται η τεχνική μάθησης που αναμένεται να μειώσει το χρόνο επεξεργασίας της οντότητας διαχείρισης. Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια γενικά συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω μελέτη σε μελλοντική έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

2.1 Εισαγωγή

Για αρκετά χρόνια υπήρχε η τάση στα δίκτυα ενσύρματης πρόσβασης να μεταβούν από κυκλώματα *circuit-switched* (ολοκληρωμένου κυκλώματος) σε κυκλώματα *packet-switched* (μετάδοσης πακέτων), με χρήση της IP τεχνολογίας. Ως εκ τούτου, οι πάροχοι σταθερών δικτύων μεταφέροντας τις τηλεφωνικές τους υπηρεσίες σε μία αρχιτεκτονική μετάδοσης πακέτων προσφέρουν παράλληλα τηλεφωνία αλλά και πρόσβαση στο *internet*. Στα ασύρματα δίκτυα δεν έχει εφαρμοστεί ευρέως η τάση αυτή, παρά μόνο σε κάποιες περιοχές, στα πλαίσια πιλοτικών προγραμμάτων. Και αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούνται σήμερα στα 3G και 3.5G δίκτυα, βασίζονται στην *circuit-switched* τεχνολογία στο ραδιοδίκτυο αλλά και στο δίκτυο κορμού. Η προαναφερθείσα μετάβαση θα επιφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως οικονομικότερα δίκτυα και ολοκληρωτική χρήση της IP τεχνολογίας σε όλο το δίκτυο.

Επίσης, η συνεχής απαίτηση για αύξηση του φάσματος τονίζει την αδυναμία των συστημάτων 3G και 3.5G να ανταπεξέρθουν στις σύγχρονες ανάγκες. Για αυτό το λόγο αποφασίστηκε στην 3GPP το 2005 να ξεκινήσουν οι εργασίες για τη σχεδίαση ενός καινούριου δικτύου που θα βασίζεται αποκλειστικά στην τεχνολογία μετάδοσης πακέτων. Αυτή η ερευνητική προσπάθεια εκτελέστηκε σε δύο προγράμματα. Το πρόγραμμα *LTE* επικεντρώθηκε στη σχεδίαση ενός νέου ραδιοδικτύου. Κατόπιν, ξεκίνησε και η έρευνα για το καινούριο δίκτυο κορμού που ονομάστηκε *SAE*. Στη συνέχεια συνδυάστηκαν σε ένα πρόγραμμα με το όνομα *EPS* (*Evolved Packet System*). Από τότε όμως η σύντηξη *LTE* καθιερώθηκε, καθώς αντιπροσωπεύει και το γενικό όρο *EPS*.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δοθεί μία λεπτομερέστερη εικόνα των τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης, ξεκινώντας από την τεχνολογία OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) και στη συνέχεια ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση της τεχνολογίας LTE.

2.2 Βασικοί στόχοι της 3GPP για το LTE

Πέρα από την είσοδο της τεχνολογίας μετάδοσης πακέτων, κρίθηκε απαραίτητο να βελτιωθούν και άλλοι παράμετροι που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην απόδοση ενός συστήματος ασύρματης πρόσβασης. Έτσι, τέθηκαν προς υλοποίηση και οι ακόλουθοι στόχοι :

- Μείωση του χρόνου που απαιτείται για αλλαγή της κατάστασης (*status*) των φορητών συσκευών, δεδομένου ότι στα σημερινά δίκτυα *HSPA* ο χρόνος που απαιτείται για μία φορητή συσκευή να συνδεθεί με το δίκτυο και να επικοινωνήσει με αυτό, είναι σχετικά μεγάλος. Αυτή η καθυστέρηση έχει αρνητικό αντίκτυπο στη χρηστικότητα μιας υπηρεσίας, διότι γίνεται αισθητή στο χρήστη όταν προσπαθεί να χρησιμοποιήσει κάποια υπηρεσία μέσω του Internet από την κατάσταση της αδράνειας. Έτσι, αποφασίστηκε ότι η σχεδίαση του δικτύου θα έπρεπε να λάβει υπόψη και τον περιορισμό, η μετάβαση από την κατάσταση της αδράνειας (*Idle*) στην πλήρη σύνδεση (*Fully connected*) να διαρκεί λιγότερο από 100 *ms*.
- Μείωση της λανθάνουσας καθυστέρησης στο επίπεδο του χρήστη – ένα ακόμη μειονέκτημα των σημερινών ασύρματων δικτύων σε σχέση και με τα σταθερά δίκτυα, είναι η καθυστέρηση στη μετάδοση. Καθώς η καθυστέρηση ανάμεσα σε ένα υπολογιστή και σε ένα *DSL* δίκτυο είναι 15 *ms*, σε ένα δίκτυο *HSPA* η καθυστέρηση είναι περίπου 50 *ms*. Για το *LTE* αποφασίστηκε πως η καθυστέρηση στο φυσικό στρώμα, στον αέρα, θα πρέπει να είναι της τάξεως των 5 *ms* για μία ζεύξη από άκρο σε άκρο.

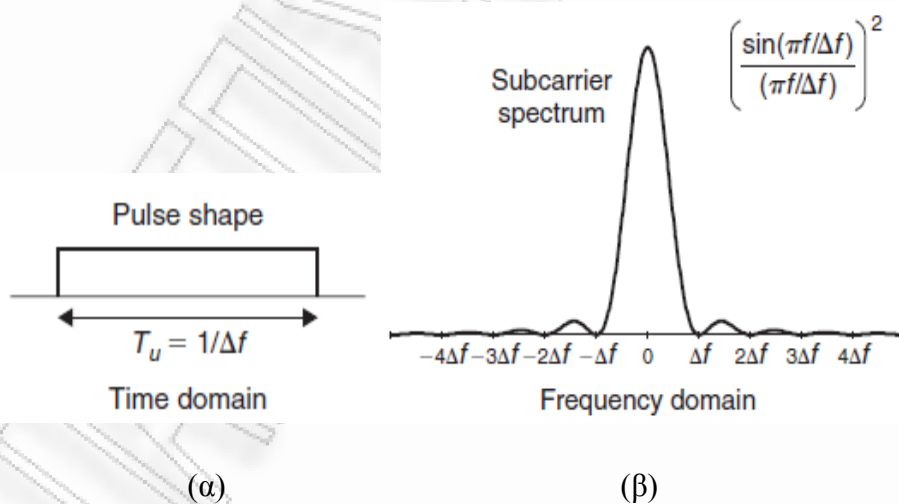
- Κλιμακωτό φάσμα – τα *HSPA* δίκτυα περιορίζονται στο φάσμα των *5MHz*. Υψηλότερο *throughput* μπορεί να επιτευχθεί αυξάνοντας το φάσμα του καναλιού (φορέα). Για κάποιες εφαρμογές ένα κανάλι φάσματος *5 MHz* είναι πολύ μεγάλο, ενώ σε άλλες περιπτώσεις είναι ανεπαρκές. Για αυτό εισάγεται η έννοια του κλιμακωτού φάσματος.
- Αύξηση του *throughput* – στο καινούριο σύστημα θα πρέπει να επιτυγχάνεται *throughput* της τάξεως των *100 Mbit/s* σε ιδανικές συνθήκες.
- Βελτίωση στη φορητότητα και κάλυψη – η απόδοση του νέου συστήματος σε εν κινήσει χρήση θα πρέπει να κυμαίνεται σε εξαιρετικά επίπεδα για χαμηλές ταχύτητες, μικρότερες των *15 km/h*, να έχει καλή απόδοση για ταχύτητες έως *120 km/h* και τέλος να διατηρεί σύνδεση με το δίκτυο και σε ταχύτητες έως *350 km/h*. Όσον αφορά την κάλυψη, η βέλτιστη απόδοση θα ισχύει για ακτίνα έως *5 km*, με μικρή πτώση της απόδοσης για ακτίνες εμβέλειας της τάξεως των *5-30 km*, ενώ θα πρέπει να είναι λειτουργικές και σε ακτίνες της τάξεως των *100 km*.

Το φυσικό επίπεδο της τεχνολογίας *LTE* είναι πολύ αποτελεσματικό στη μετάδοση δεδομένων αλλά και μηνυμάτων ελέγχου μεταξύ των βελτιωμένων σταθμών βάσης (*Enhanced Base Station - eNodeB*) και των συσκευών των χρηστών (*User Equipment - UE*). Στο φυσικό επίπεδο εφαρμόζονται προηγμένες τεχνολογίες, καινοτόμες για το χώρο των κυψελωτών συστημάτων. Σε αυτές τις τεχνολογίες περιλαμβάνονται οι *OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)* και *MIMO (Multiple Input Multiple Output)*. Συγκεκριμένα, στο *downlink (DL)* χρησιμοποιείται η τεχνολογία *OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)*, και στο *uplink (UL)* η τεχνολογία *SC-FDMA (Single Carrier – Frequency Division Multiple Access)*.

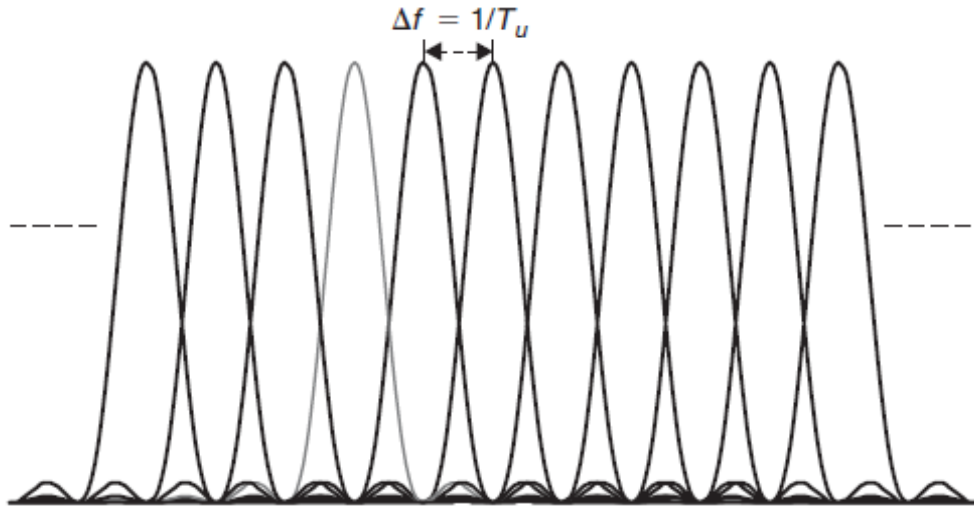
2.3 Βασικές αρχές του OFDM

Η μετάδοση με *OFDM* γίνεται με τη χρήση πολλών φερόντων (*subcarriers*). Τα βασικά γνωρίσματα της μετάδοσης *OFDM* που τη διαφοροποιούν από τις υπόλοιπες τεχνολογίες είναι τα εξής :

- Ο σχετικά μεγάλος αριθμός φερόντων μικρού εύρους (*narrowband subcarriers*). Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως στη μετάδοση *OFDM* ένα κανάλι με εύρος φάσματος ίσο με 20 MHz διαχωρίζεται σε εκατοντάδες φέροντα, εν αντιθέσει με τη μετάδοση *WCDMA*, όπου το αντίστοιχο κανάλι διαιρείται σε τέσσερα φέροντα με εύρος φάσματος 5 MHz .
- Ο παλμός είναι ορθογώνιος, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.1.α, οπότε το εύρος κάθε φέροντος έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στην εικόνα 2.1.β.
- Η διαφορά συχνότητας ανάμεσα στα φέροντα είναι πολύ μικρή και προκύπτει από τη σχέση $\Delta f = 1/T_u$, όπου T_u είναι ο χρόνος διαμόρφωσης ενός συμβόλου, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.2.

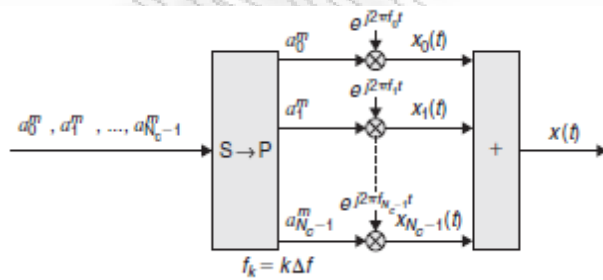


Εικόνα 2. 1 Η μορφή του παλμού και το εύρος κάθε φέροντος της τεχνολογίας *OFDM*.



Εικόνα 2. 2 Διάστημα μεταξύ των OFDM φερόντων.

Στην εικόνα 2.3 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται η διαμόρφωση OFDM. Αποτελείται από N_c πολύπλοκους διαμορφωτές, με τον καθένα να αντιστοιχεί σε ένα φέρον.



Εικόνα 2. 3 Διαμόρφωση OFDM.

Ένα OFDM σήμα για το διάστημα $mT_u \leq t < (m+1)T_u$ εκφράζεται από τη σχέση :

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} x_k(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k^{(m)} e^{j2\pi k\Delta f t} \quad (2.1)$$

όπου $x_k(t)$ είναι το k -οστό διαμορφωμένο φέρον με συχνότητα $f_k = k \cdot \Delta f$ και $a_k^{(m)}$ είναι το σύμβολο διαμόρφωσης που εφαρμόζεται στο k -οστό φέρον κατά τη διάρκεια του m -οστού OFDM διασυμβολικού διαστήματος, όπως στο διάστημα $mT_u \leq t < (m+1)T_u$. Διαπιστώνουμε πως στη μετάδοση OFDM, κατά τη διάρκεια κάθε διαστήματος ενός OFDM συμβόλου, N_c διαμορφωμένα σύμβολα

μεταδίδονται παράλληλα. Τα σύμβολα μπορεί να έχουν διαμορφωθεί με οποιαδήποτε από τις δυνατές περιπτώσεις, όπως QPSK, 16QAM και 64QAM.

Ο αριθμός των *OFDM* φερόντων κυμαίνεται από λιγότερα από εκατό έως και κάποιες χιλιάδες, αναλόγως με το διάστημα ανάμεσά τους που κυμαίνεται από εκατοντάδες kHz έως ελάχιστα kHz, αντίστοιχα. Η επιλογή του εν λόγω διαστήματος εξαρτάται από το είδος του περιβάλλοντος το οποίο καλείται να εξυπηρετηθεί. Τελικά, ο συνολικός αριθμός των φερόντων προκύπτει από το μέγεθος του καναλιού. Χαρακτηριστικά, αναφέρεται πως για την τεχνολογία *3GPP LTE* το διασυμβολικό διάστημα ισούται με 15 kHz.

Ο όρος *Orthogonal Frequency Division Multiplex* οφείλεται στο γεγονός ότι δύο διαμορφωμένα *OFDM* φέροντα $x_{k_1}(t)$ και $x_{k_2}(t)$ είναι ορθογώνια μεταξύ τους για το χρονικό διάστημα $mT_u \leq t < (m+1)T_u$ και ισχύει :

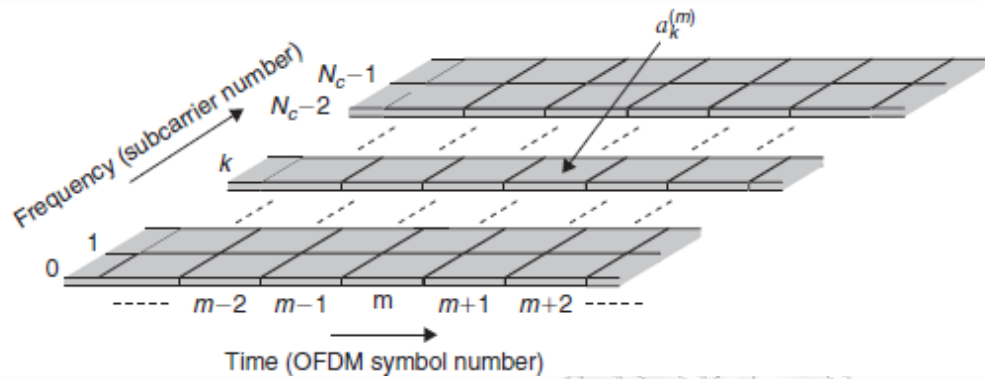
$$\int_{mT_u}^{(m+1)T_u} x_{k_1}(t)x_{k_2}^*(t)dt = \int_{mT_u}^{(m+1)T_u} a_{k_1}a_{k_2}^*e^{j2\pi k_1\Delta f t} dt = 0 \text{ για } k_1 \neq k_2 \quad (2.2)$$

Θεωρούμε πως η μετάδοση *OFDM* συμβόλων μπορεί να αποτυπωθεί ως η διαμόρφωση ενός σετ από ορθογώνιες συναρτήσεις $\varphi_k(t)$, όπου :

$$\varphi_k(t) = \begin{cases} e^{j2\pi k\Delta f t} & 0 \leq t < T_u \\ 0 & \text{Διαφορετικά} \end{cases} \quad (2.3)$$

Το φυσικό υπόστρωμα για τη μετάδοση *OFDM* απεικονίζεται στην εικόνα 2.4 σαν ένα πλέγμα χρόνου – συχνότητας, με τις στήλες να αντιστοιχούν σε *OFDM* σύμβολα, και τις γραμμές σε *OFDM* φέροντα.

Λαμβάνοντας υπόψη την ορθογωνιότητα των φερόντων, όπως προκύπτει και από τη σχέση (2.2), είναι σαφές πως σε ιδανικές συνθήκες, μετά την αποδιαμόρφωση των φερόντων δεν θα προκληθούν παρεμβολές μεταξύ τους. Διαπιστώνεται πως η αποφυγή των παρεμβολών δεν οφείλεται μόνο στη διαίρεση του φάσματος, κάτι που συμβαίνει και σε άλλες μεθόδους διαμόρφωσης, αλλά και στη συγκεκριμένη δομή στις συχνότητες των φερόντων σε συνδυασμό με την επιλογή συγκεκριμένου διαστήματος Δf , ίσο με το ρυθμό μετάδοσης συμβόλων ανά φέρον $1/T_u$.



Εικόνα 2. 4 Το *OFDM* πλέγμα χρόνου – συχνότητας. Οι στήλες αντιστοιχούν σε *OFDM* σύμβολα και οι γραμμές σε *OFDM* φέροντα.

2.4 Επεξεργασία *IFFT/FFT* για την *OFDM* μετάδοση

Η αρχιτεκτονική που έχει επιλεγθεί για την *OFDM* μετάδοση επιτρέπει την υλοποίησή της με μικρή πολυπλοκότητα μέσω του *Fast Fourier Transform (FFT)*, ο οποίος είναι πολύ αποτελεσματικός υπολογιστικά.

Για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας αυτής της μεθόδου, θεωρούμε ένα χρονοδιακριτό *OFDM* σήμα για το οποίο ο ρυθμός δειγματοληψίας f_s είναι πολλαπλάσιος του διασυμβολικού διαστήματος Δf , δηλαδή ισχύει : $f_s = 1/T_s = N\Delta f$. Καθώς το γινόμενο $N_c \cdot \Delta f$ θεωρείται ως το ονομαστικό εύρος του *OFDM* σήματος, αυτό υποδηλώνει πως το N ξεπερνά επαρκώς το N_c .

Με βάση αυτούς τους ισχυρισμούς το χρονοδιακριτό *OFDM* σήμα μπορεί να εκφραστεί από την εξής σχέση :

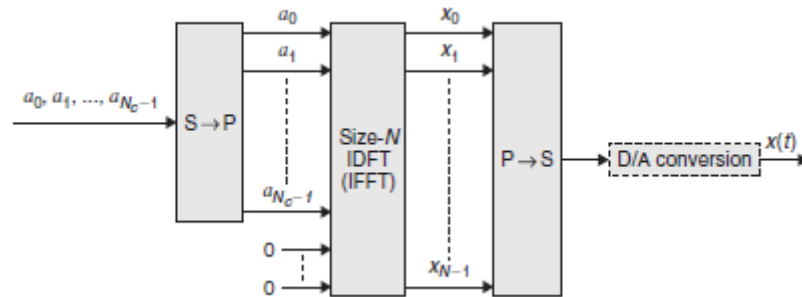
$$x_n = x(nT_s) = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k e^{j2\pi k \Delta f n T_s} = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k e^{j2\pi k n / N} = \sum_{k=0}^{N-1} a'_k e^{j2\pi k n / N} \quad (2.4)$$

όπου

$$a'_k = \begin{cases} a_k & 0 \leq k < N_c \\ 0 & N_c \leq k < N \end{cases} \quad (2.5)$$

Έτσι, η ακολουθία x_n είναι ο, μεγέθους N , Αντίστροφος Μετασχηματισμός Fourier (*Inverse Discrete Fourier Transform*) των συμβόλων διαμόρφωσης $a_0, a_1,$

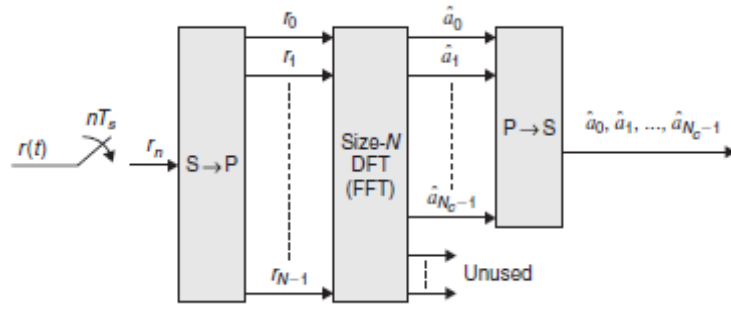
\dots, a_{N_c-1} επεκταμένη με μηδενικά έως το μήκος N . Άρα, η *OFDM* διαμόρφωση μπορεί να υλοποιηθεί μέσω του *IDFT* ακολουθούμενη από ψηφιακή προς αναλογική μετατροπή, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.5. Θα πρέπει να τονιστεί πως ο λόγος N/N_c θα μπορούσε να είναι μη ακέραιος. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως για την τεχνολογία *LTE* της *3GPP* ο αριθμός των φερόντων N_c είναι περίπου ίσος με 600 για ένα κανάλι της τάξεως των 10 MHz. Το μέγεθος του *IFFT* τότε μπορεί να επιλεγεί ίσο με $N = 1024$. Αυτό αντιστοιχεί σε ένα ρυθμό δειγματοληψίας ίσο με $f_s = N\Delta f = 15,36 \text{ MHz}$, όπου $\Delta f = 15 \text{ kHz}$ είναι το διάστημα μεταξύ των φερόντων.



Εικόνα 2.5 Διαμόρφωση *OFDM* με επεξεργασία *IFFT*.

Είναι αναγκαίο να γίνει αντιληπτό ότι η *IDFT/IFFT* υλοποίηση της *OFDM* διαμόρφωσης και κατά συνέπεια το ακριβές *IDFT/IFFT* μέγεθος, είναι επιλογές του πομπού και δεν αποτελούν κάποια προδιαγραφή της ασύρματης πρόσβασης. Έτσι, τίποτα δεν εμποδίζει τη χρήση μεγαλύτερου μεγέθους *IFFT*, της τάξεως του 2048, ακόμα και για λιγότερα *OFDM* φέροντα.

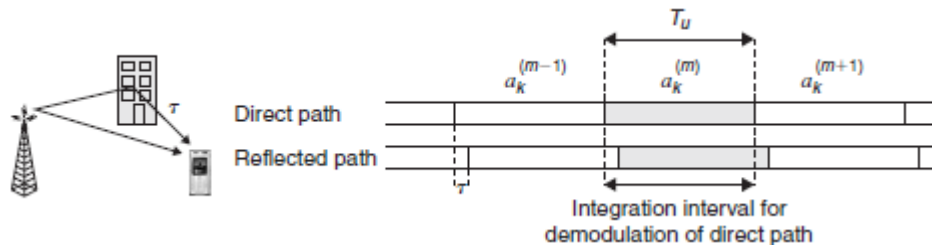
Η επεξεργασία *FFT* μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την *OFDM* αποδιαμόρφωση, με τρόπο παρόμοιο με της διαμόρφωσης, αντικαθιστώντας τους N_c παράλληλους διαμορφωτές με δειγματοληψία με ρυθμό $f_s = 1/T_s$ ακολουθούμενη από μεγέθους N *DFT/FFT*, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.6 Αποδιαμόρφωση OFDM με επεξεργασία FFT.

2.5 Είσοδος Κυκλικού Προθέματος

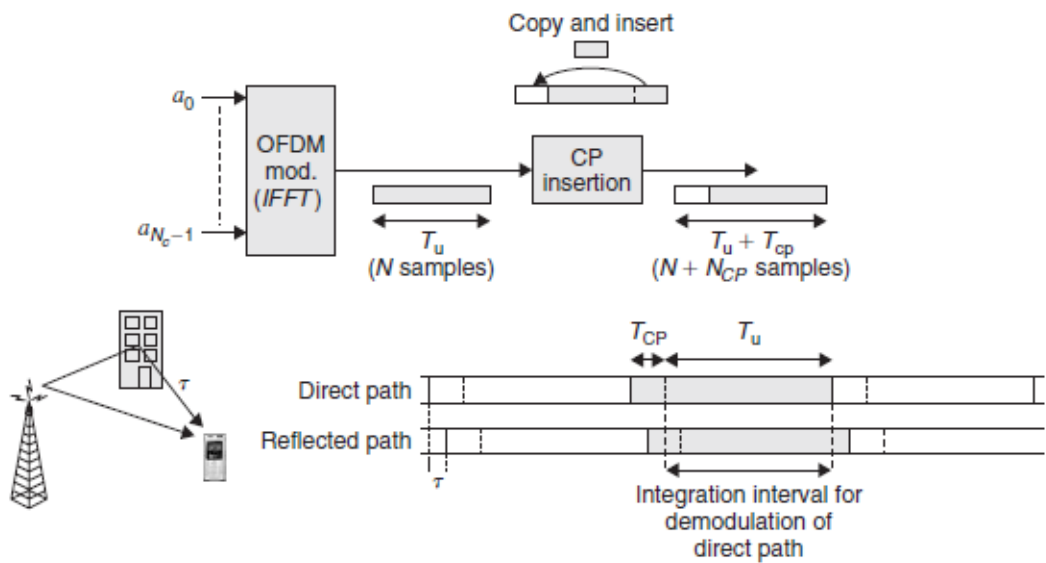
Σε πραγματικές συνθήκες, στην περίπτωση ενός καναλιού με διασπορά στο χρόνο (*time dispersive*), η ορθογωνιότητα των φερόντων χάνεται μερικώς. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό σε ένα κανάλι ευάλωτο στη χρονική διασπορά, είναι ότι το διάστημα αποδιαμόρφωσης μίας τροχιάς (*path*) θα επικαλύπτει τα όρια ενός συμβόλου άλλης τροχιάς, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.7 Χρονική διασπορά και αντίστοιχα λαμβανόμενο σήμα.

Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα εισάγεται το κυκλικό πρόθεμα (*Cyclic Prefix*). Ουσιαστικά, με την εισαγωγή του κυκλικού προθέματος, το τελευταίο κομμάτι του OFDM συμβόλου αντιγράφεται και τοποθετείται στην αρχή του συμβόλου, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.8.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μήκους του OFDM συμβόλου από T_u σε $T_u + T_{CP}$, όπου T_{CP} είναι το μήκος του κυκλικού προθέματος, ενώ παράλληλα μειώνεται ο ρυθμός μετάδοσης των συμβόλων.



Εικόνα 2. 8 Εισαγωγή κυκλικού προθέματος.

Πρακτικά, η εισαγωγή του κυκλικού προθέματος πραγματοποιείται στην έξοδο του εκπεμπόμενου *IFFT*. Η εισαγωγή του κυκλικού προθέματος υποδηλώνει ότι τα τελευταία N_{CP} δείγματα του *IFFT* μπλοκ μήκους N , αντιγράφονται και εισάγονται στην αρχή του μπλοκ, αυξάνοντας το μέγεθος του μπλοκ από N σε N_{CP} . Στην πλευρά του δέκτη, τα αντίστοιχα δείγματα απορρίπτονται πριν την *OFDM* αποδιαμόρφωση, με επεξεργασία *DFT/FFT*.

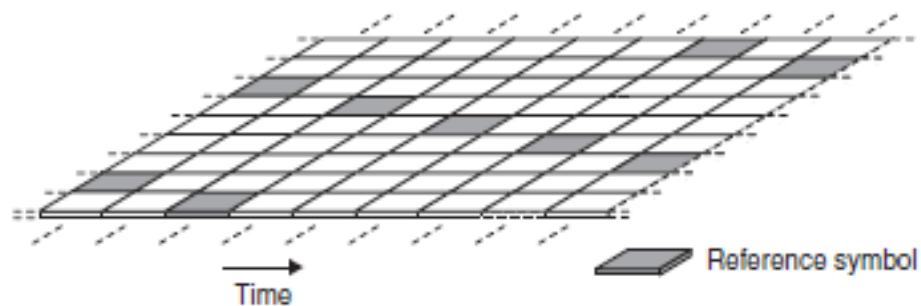
Γενικά, η εισαγωγή του κυκλικού προθέματος είναι ευεργετική καθώς εξαλείφει την ευαισθησία ενός *OFDM* σήματος στη χρονική διασπορά, εφόσον η χρονική διασπορά δεν ξεπερνά το μήκος του κυκλικού προθέματος. Παρουσιάζονται όμως και κάποια μειονεκτήματα τα οποία αξίζει να αναφέρουμε. Με την είσοδο του κυκλικού προθέματος, ουσιαστικά, μόνο ένα κλάσμα $T_u / (T_u + T_{CP})$ της λαμβανόμενης ισχύος χρησιμοποιείται στον *OFDM* αποδιαμορφωτή, με αποτέλεσμα να παρατηρείται απώλεια ισχύος. Επιπροσθέτως, παρατηρείται και απώλεια φάσματος, διότι μειώνεται ο ρυθμός μετάδοσης συμβόλων, χωρίς να υπάρχει και αντίστοιχη μείωση στο συνολικό φάσμα της σηματοδοσίας.

Θα πρέπει να γίνει κατανοητό πως το κυκλικό πρόθεμα δεν είναι απαραίτητο να καλύψει εξ ολοκλήρου τη χρονική διασπορά του καναλιού. Γενικά, επικρατεί μία εξισορρόπηση ανάμεσα στην απώλεια ισχύος λόγω του κυκλικού προθέματος και στη φθορά του σήματος λόγω της χρονικής διασποράς

που δεν καλύπτεται από το κυκλικό προθέμα, και περαιτέρω μείωση της φθοράς του σήματος λόγω της αύξησης του κυκλικού προθέματος δεν δικαιολογεί την αντίστοιχη απώλεια ισχύος.

2.6 Σύμβολα αναφοράς

Για να γίνει η αποδιαμόρφωση του μεταδιδόμενου συμβόλου της διαμόρφωσης a_k και να επιτραπεί η ορθή αποκωδικοποίηση της μεταδιδόμενης πληροφορίας στην πλευρά του δέκτη, θα πρέπει να εισαχθούν κάποια σύμβολα αναφοράς στη σηματοδοσία. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.9 εισάγονται περιοδικά σύμβολα αναφοράς (*reference symbols*), είτε πιλοτικά σύμβολα (*pilot symbols*), στο πλέγμα χρόνου-συχνότητας. Ο δέκτης αναγνωρίζοντας τα σύμβολα αναφοράς, μπορεί στη συνέχεια να εκτιμήσει το κανάλι γύρω από αυτά. Η πυκνότητα των συμβόλων αναφοράς τόσο στο χρόνο, όσο και στη συχνότητα θα πρέπει να είναι επαρκής, για να είναι σε θέση να εκτιμά το πλέγμα χρόνου-συχνότητας στο σύνολό του.



Εικόνα 2.9 Το πλέγμα χρόνου-συχνότητας παρουσία συμβόλων αναφοράς.

2.7 Επιλογή βασικών OFDM παραμέτρων

Οι βασικές παράμετροι που θα πρέπει να καθοριστούν στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί η διαμόρφωση *OFDM* είναι οι εξής :

- Το διάστημα ανάμεσα στα φέροντα Δf (*Subcarrier Spacing*).

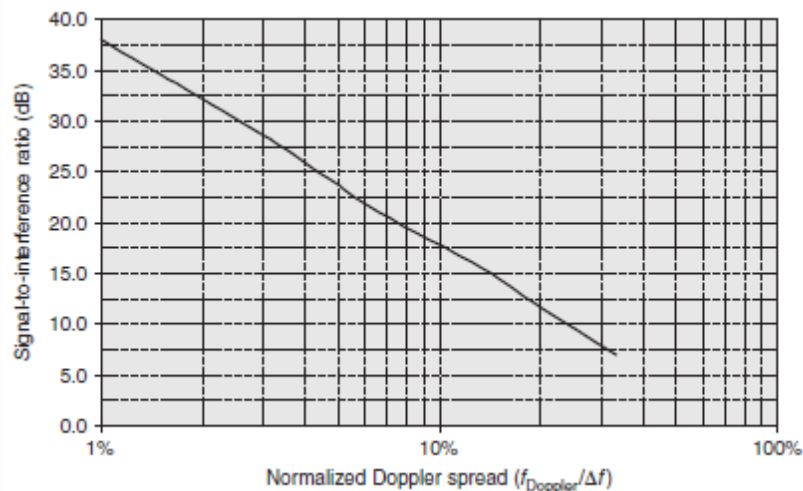
- Ο αριθμός των φερόντων N_c , ο οποίος σε συνδυασμό με το διάστημα των φερόντων καθορίζει το συνολικό μέγεθος του διαθέσιμου καναλιού.
- Το μήκος του κυκλικού προθέματος, T_{CP} . Μαζί με το διάστημα ανάμεσα στα φέροντα $\Delta f = 1/T_u$, το μήκος του κυκλικού προθέματος καθορίζει τη συνολική διάρκεια ενός OFDM συμβόλου $T = T_u + T_{CP}$, είτε ισοδύναμα, το ρυθμό μετάδοσης συμβόλων.

2.7.1 Διάστημα OFDM φερόντων

Δύο είναι οι βασικοί παράγοντες που παίζουν καταλυτικό ρόλο στην τελική απόφαση του διαστήματος των φερόντων :

- Πρέπει, είτε το διάστημα των OFDM φερόντων να είναι όσο το δυνατό μικρότερο, είτε το T_u όσο το δυνατό μεγαλύτερο, για να μειωθεί η κεφαλή του κυκλικού προθέματος $T_{CP} / (T_u + T_{CP})$.
- Αντιθέτως, το μικρό διάστημα ανάμεσα στα φέροντα αυξάνει την ευαισθησία της OFDM μετάδοσης στη διασπορά *Doppler*.

Στην πλευρά του δέκτη απαιτείται η διατήρηση της ορθογωνιότητας των φερόντων, μετά τη μετάδοσή του από το φυσικό κανάλι. Συνήθως όμως η ορθογωνιότητα χάνεται λόγω της διασποράς *Doppler* με αποτέλεσμα να παρατηρείται παρεμβολή μεταξύ των φερόντων (*Inter-Subcarrier Interference*). Στην εικόνα 2.10 απεικονίζεται η αναλογία του σήματος προς τις παρεμβολές (*SNR: Signal to Noise-Interference Ratio*) ενός φέροντος, η οποία οφείλεται στην παρεμβολή μεταξύ δύο γειτονικών φερόντων, σε συνάρτηση με την κανονικοποιημένη διασπορά *Doppler*. Αξίζει να αναφερθεί πως η συνολική παρεμβολή μεταξύ των φερόντων στην οποία υπόκειται ένα φέρον είναι μεγαλύτερη από αυτή που παρουσιάζεται στην εικόνα 2.10, καθώς προκύπτει από περισσότερα του ενός φέροντα.



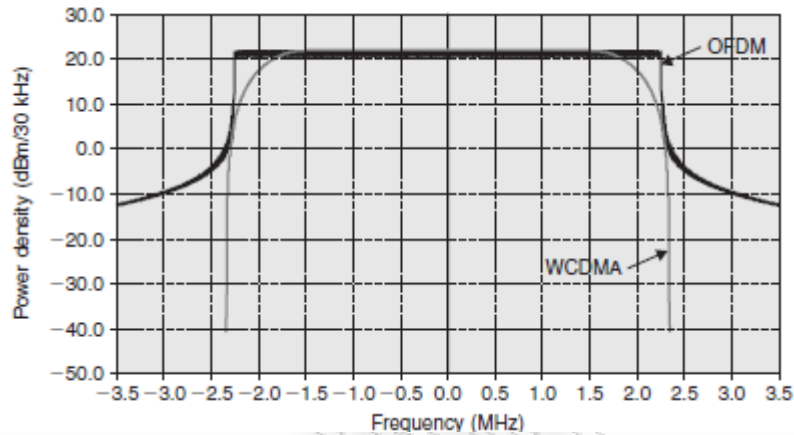
Εικόνα 2. 10 Παρεμβολές σε ένα φέρον, συνάρτησι της κανονικοποιημένης διασποράς *Doppler* $f_{Doppler}/\Delta f$.

Στην πράξη η παρεμβολή μεταξύ των φερόντων που μπορεί να γίνει αποδεκτή εξαρτάται κατά πολύ από την υπηρεσία που καλείται να εξυπηρετήσει και από το μέγεθος της εξασθένησης που έχει υποστεί. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως στην περίπτωση των συνόρων μιας μεγάλης κυψέλης όπου η αναλογία σήματος προς θόρυβο (*SNR*) είναι μικρότερη, επιτυγχάνονται και μικρότεροι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων. Σε αυτή την περίπτωση μία επιπλέον εξασθένηση λόγω της παρεμβολής μεταξύ των φερόντων, όπως της διασποράς *Doppler*, θα είναι αμελητέα. Στην περίπτωση όμως που το *SNR* είναι υψηλό, όπως για παράδειγμα σε μικρές κυψέλες με χαμηλή κίνηση, ή σε μικρή απόσταση από το σταθμό βάσης, το ίδιο μέγεθος παρεμβολών θα έχει σημαντική επίπτωση στο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

2.7.2. Αριθμός φερόντων

Το μέγεθος ενός *OFDM* καναλιού προκύπτει από τη σχέση $N_c \cdot \Delta f$, δηλαδή των αριθμό των φερόντων επί το διάστημα μεταξύ των φερόντων. Ωστόσο, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.11, το φάσμα ενός *OFDM* σήματος φθίνει πολύ αργά εκτός του βασικού σήματος και ιδιαίτερος πιο αργά σε σχέση με το αντίστοιχο *WCDMA* σήμα. Ο λόγος για αυτή την εκτός-εύρους εκπομπή (*out-of-band emission*) ενός *OFDM* σήματος, είναι η χρήση ορθογώνιων παλμών, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.11, δημιουργώντας πλευρικούς λοβούς που φθίνουν

σχετικά αργά. Χρειάζεται κάποιο είδος φιλτραρίσματος για να μειωθούν αυτού του είδους οι εκπομπές. Αυτό γίνεται με το διάστημα φύλαξης (*guard band*), σε ένα ποσοστό περίπου 10% του σήματος, κάτι που συνεπάγεται πως σε ένα κανάλι εύρους 5 MHz, το βασικό OFDM σήμα θα έχει εύρος 4.5 MHz. Αν θεωρήσουμε πως το διάστημα των φερόντων είναι 15 kHz για την τεχνολογία LTE, αυτό αντιστοιχεί περίπου σε 300 φέροντα για ένα κανάλι των 5 MHz.



Εικόνα 2. 11 Το φάσμα ενός βασικού OFDM καναλιού 5 MHz συγκρινόμενο με το φάσμα ενός WCDMA καναλιού.

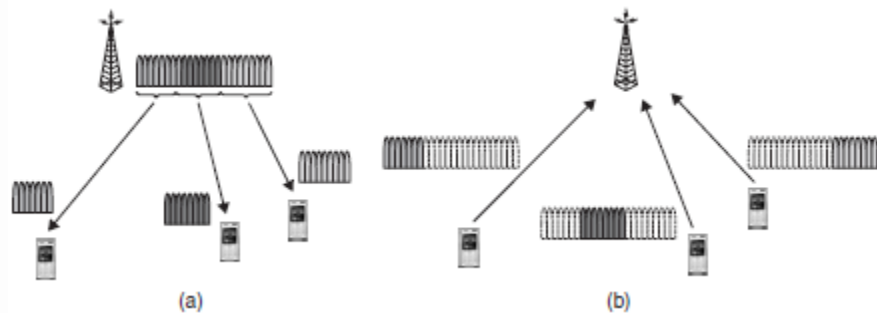
2.7.3 Μέγεθος κυκλικού προθέματος

Θεωρητικά το κυκλικό πρόθεμα T_{CP} θα έπρεπε να καλύψει το σύνολο της χρονικής διασποράς που εκτιμάται ότι θα συναντήσει το εκάστοτε φέρον. Εντούτοις, όπως έχει προαναφερθεί, η αύξηση του κυκλικού προθέματος, χωρίς την αντίστοιχη μείωση του διαστήματος των φερόντων Δf , συνεπάγεται μια επιπρόσθετη επιβάρυνση στην ισχύ αλλά και στο εύρος του φάσματος. Ειδικά η απώλεια της ισχύος συνεπάγεται ότι καθώς το μέγεθος μίας κυψέλης αυξάνεται και η απόδοση του συστήματος περιορίζεται, υπάρχει ένα είδος αντισταθμίσιμου ανάμεσα στην απώλεια ισχύος λόγω του κυκλικού προθέματος και στην αλλοίωση του σήματος λόγω της χρονικής διασποράς που δεν καλύπτεται από το κυκλικό πρόθεμα. Συμπεραίνουμε πως παρόλη την αύξηση της χρονικής διασποράς που προκύπτει με την αύξηση του μεγέθους μιας κυψέλης, δεν κρίνεται απαραίτητη και η αύξηση του κυκλικού προθέματος πέρα από κάποιο μέγεθος της κυψέλης, διότι η αντίστοιχη απώλεια ισχύος θα είχε μεγαλύτερο

αρνητικό αντίκτυπο, σε σύγκριση με την αλλοίωση του σήματος λόγω της μη κάλυψης της χρονικής διασποράς από το κυκλικό πρόθεμα.

2.8 Η OFDM τεχνολογία για πολυπλεξία και πολλαπλή πρόσβαση των χρηστών

Μέχρι στιγμής έχουμε θεωρήσει πως όλα τα OFDM φέροντα μεταδίδονται από τον ίδιο πομπό προς ένα συγκεκριμένο δέκτη. Εντούτοις, η OFDM διαμόρφωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την πολυπλεξία, διαφορετικά την πολλαπλή πρόσβαση, των χρηστών επιτρέποντας την ταυτόχρονη εκπομπή / λήψη, προς / από πολλαπλά τερματικά, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.12.

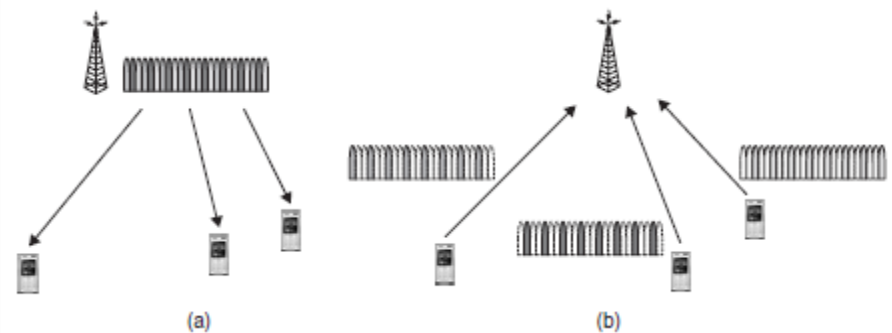


Εικόνα 2. 12 Πολλαπλή πρόσβαση χρηστών με OFDM τεχνολογία : (a) downlink (b) uplink .

Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.12 a) στο *downlink* σε κάθε διάστημα ενός OFDM συμβόλου διαφορετικά υποσύνολα του συνόλου των φερόντων χρησιμοποιούνται για μετάδοση σε διαφορετικές φορητές τερματικές συσκευές. Παρομοίως, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.12 b) στο *uplink* σε κάθε διάστημα ενός OFDM συμβόλου διαφορετικά υποσύνολα του συνόλου των φερόντων χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων από τις φορητές τερματικές συσκευές. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται και ο όρος OFDMA–*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*.

Στην εικόνα 2.12 θεωρήσαμε πως συνεχόμενα φέροντα χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση προς/από την ίδια τερματική συσκευή. Ωστόσο, η κατανομή των φερόντων προς/από τα τερματικά μπορεί να πραγματοποιηθεί όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 2.13. Σε αυτή την περίπτωση η κατανομημένη

πολλαπλή πρόσβαση έχει ως ενδεχόμενο τον περαιτέρω διαφορισμό της συχνότητας, καθώς κάθε μετάδοση διαχέεται σε μεγαλύτερο εύρος φάσματος.



Εικόνα 2. 13 Κατανεμημένη πολλαπλή πρόσβαση.

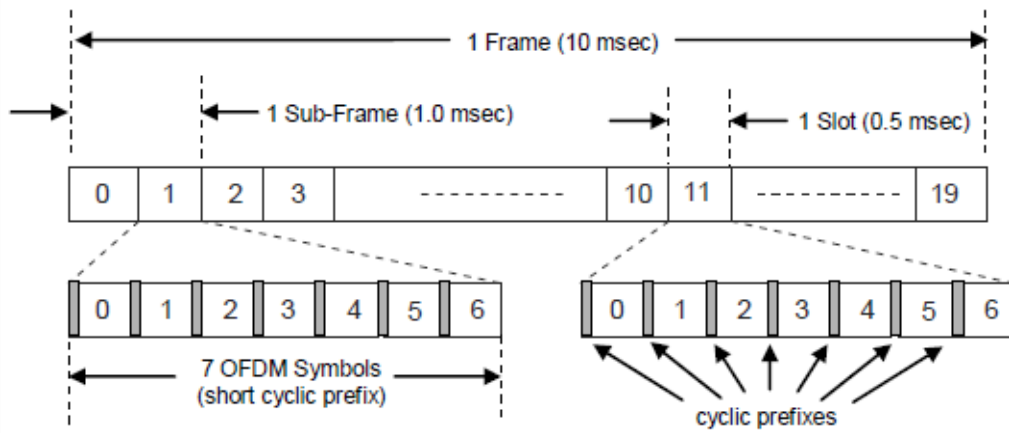
2.9 Τεχνολογία LTE

2.9.1 OFDMA και η βασική δομή ενός πλαισίου LTE

Όπως προαναφέραμε, η μέθοδος *OFDMA* εφαρμόζεται για την πολυπλεξία που απαιτείται για το *downlink* στο *LTE*. Παρόλο που εισάγει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στη διαχείριση των πόρων, είναι μακρά καλύτερη σε εφαρμογές μετάδοσης πακέτων, με βάση την αποδοτικότητα και τη λανθάνουσα καθυστέρηση. Στην *OFDMA* γίνεται ανάθεση συγκεκριμένου αριθμού φερόντων στους χρήστες και για καθορισμένο χρονικό διάστημα. Αυτά αναφέρονται ως μπλοκ φυσικών πόρων (*PRBs-Physical Resource Blocks*) στις προδιαγραφές του *LTE*. Με αυτό τον τρόπο θεωρούμε πως τα *PRB* έχουν διάσταση στο χρόνο και στη συχνότητα. Η ανάθεση των *PRB* γίνεται από τους σταθμούς βάσης (*eNodeB*) με βάση μία συγκεκριμένη συνάρτηση. Η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται στο *downlink* είναι είτε *QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying)*, είτε *16-QAM*, είτε *64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation)*.

Ένα πλαίσιο *LTE* έχει διάρκεια 10 ms , όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.14. Διαιρείται σε 10 υποπλαίσια, τα οποία έχουν διάρκεια 1 ms το καθένα. Κάθε υποπλαίσιο διαιρείται περαιτέρω σε δύο σχισμές (*slots*), κάθε μία διάρκειας 0.5 ms , διαφορετικά 2000 slots/sec . Οι σχισμές αποτελούνται είτε από 6, είτε από 7 *OFDM* σύμβολα, κάτι το οποίο εξαρτάται από το κυκλικό πρόθεμα που

χρησιμοποιείται, ανάλογα με το αν είναι το κανονικό ή το εκτεταμένο, αντίστοιχα.



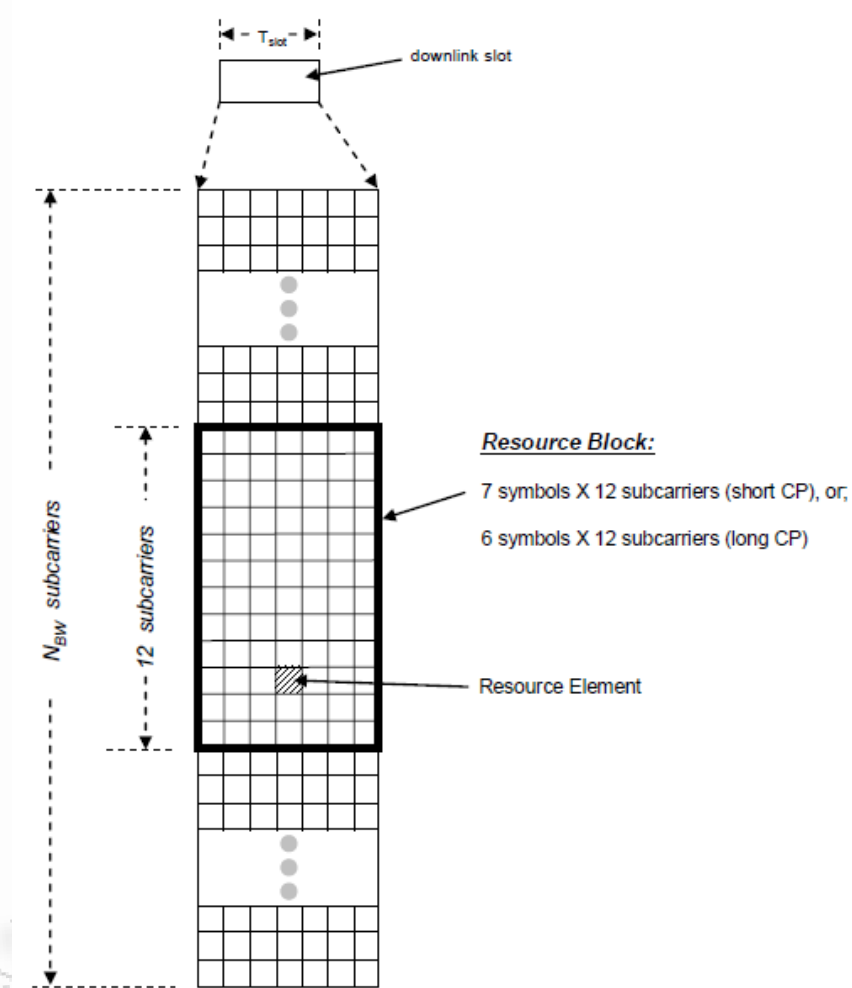
Εικόνα 2. 14 Δομή ενός πλαισίου LTE.

Ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων φερόντων εξαρτάται από το συνολικό μέγεθος του καναλιού του συστήματος. Οι προδιαγραφές του LTE καθορίζουν τις απαιτούμενες παραμέτρους για κανάλια που έχουν φάσμα της τάξεως των 1.25MHz έως 20MHz, όπως φαίνεται και στον πίνακα 2.1. Ένα PRB καθορίζεται πως αποτελείται από 12 συνεχόμενα φέροντα, με διάρκεια μίας σχισμής (0.5 ms), ενώ σε ένα κανάλι 20 MHz αντιστοιχούν 100 PRB. Ένα PRB είναι η μικρότερη ποσότητα από τους διαθέσιμους πόρους, που μπορεί να ανατεθεί από το διαχειριστή του συστήματος των σταθμών βάσης (BSS–Base Station Scheduler). Δεδομένου ότι στη διαμόρφωση 64-QAM αποστέλλονται 6 bits ανά σύμβολο, σε ένα κανάλι με εύρος 20 MHz, ο μέγιστος ρυθμός *downlink* θεωρητικά αγγίζει τα 100 Mbits/sec. Αυτή η τιμή προκύπτει από την εξής σχέση, 100 resource blocks/20 MHz * 12 φέροντα/resource block * 6 bits/symbol * 2000 slots/sec * 7 symbols/slot = 100.8 Mbits/sec.

Bandwidth (MHz)	1.25	2.5	5.0	10.0	15.0	20.0
Subcarrier bandwidth (kHz)	15					
Physical resource block (PRB) bandwidth (kHz)	180					
Number of available PRBs	6	12	25	50	75	100

Πίνακας 2. 1 Το διαθέσιμο φάσμα για *downlink* διαιρούμενο σε PRB.

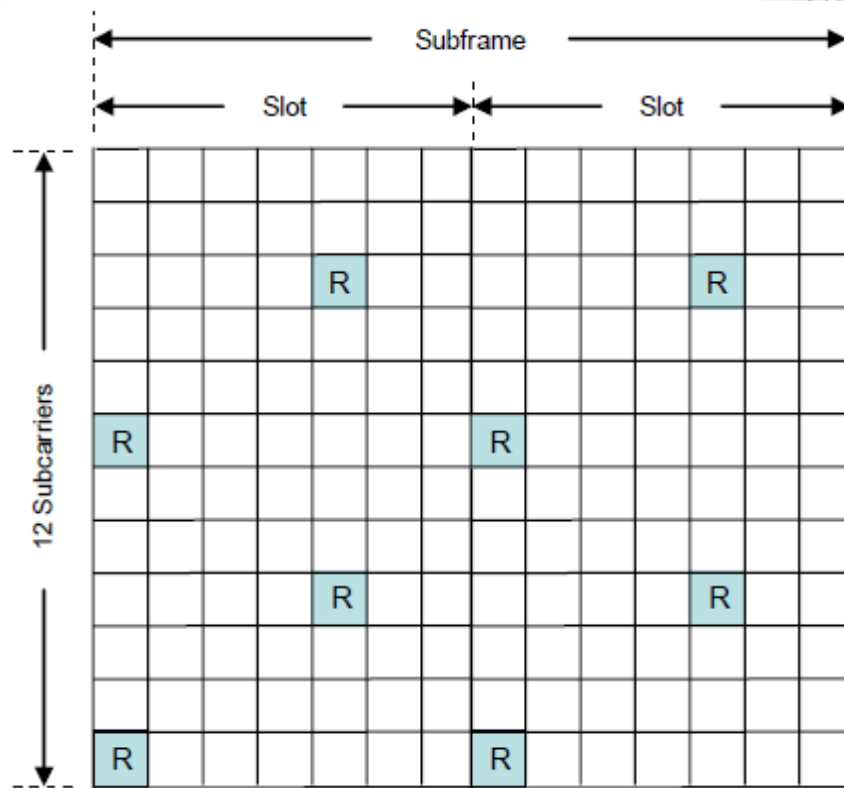
Το μεταδιδόμενο σήμα κατά το *downlink* αποτελείται από N_{BW} φέροντα με διάρκεια N_{syms} για τα *OFDM* σύμβολα. Στην εικόνα 2.15 αναπαρίσταται η εν λόγω δομή με τη μορφή ενός δικτυώματος. Κάθε κουτί του δικτυώματος, αναπαριστά ένα φέρον για μία περίοδο και αναφέρεται ως στοιχειώδες πόρος (*resource element*). Αξίζει να σημειώσουμε πως στις *MIMO* εφαρμογές, αναλογεί ένα δικτύωμα, των πόρων, για κάθε κεραία εκπομπής.



Εικόνα 2.15 Απεικόνιση των πόρων κατά το *downlink*.

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες μετάδοσης πακέτων, στην *LTE* δεν χρησιμοποιείται το «προοίμιο» (*preamble*) για να διευκολύνει την εκτίμηση του καναλιού, το συγχρονισμό και άλλα. Χρησιμοποιούνται σήματα αναφοράς (*reference signals*) στα *PRB* όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.16. Τα σήματα αναφοράς εκπέμπονται κατά τη διάρκεια του πρώτου ($1^{ου}$) και πέμπτου ($5^{ου}$) *OFDM* συμβόλου κάθε σχισμής όταν χρησιμοποιείται το μικρό κυκλικό πρόθεμα,

και κατά τη διάρκεια του πρώτου ($1^{ου}$) και τέταρτου ($4^{ου}$) *OFDM* συμβόλου όταν χρησιμοποιείται το μακρύ κυκλικό πρόθεμα.



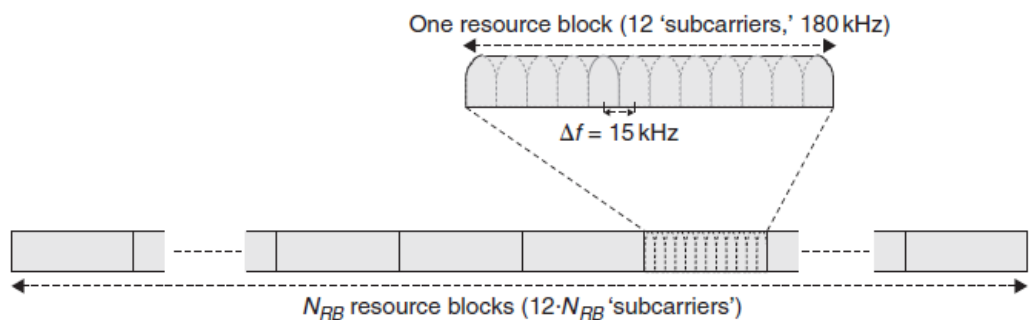
Εικόνα 2. 16 Τα σήματα αναφοράς ανάμεσα στους στοιχειώδεις πόρους.

Παρατηρούμε πως τα σήματα αναφοράς εκπέμπονται κάθε έκτο φέρον. Επί πλέον, τα σήματα αναφοράς συντονίζονται (*staggered*) στο χρόνο και στη συχνότητα. Η απόκριση του καναλιού στα φέροντα που μεταφέρουν τα σήματα αναφοράς μπορεί να υπολογιστεί απευθείας. Η παρεμβολή (*interpolation*) χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί η απόκριση του καναλιού στα εναπομείναντα φέροντα.

2.9.2 SC-FDMA

Οι ανάγκες του *LTE* στο *uplink* διαφέρουν από αυτές στο *downlink*. Ένας σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη είναι και η κατανάλωση ενέργειας στα τερματικά των χρηστών. Επίσης το υψηλό *PAPR* και η σχετιζόμενη μείωση της αποδοτικότητας είναι σημαντικές παράμετροι. Έτσι, θεωρήθηκε πως

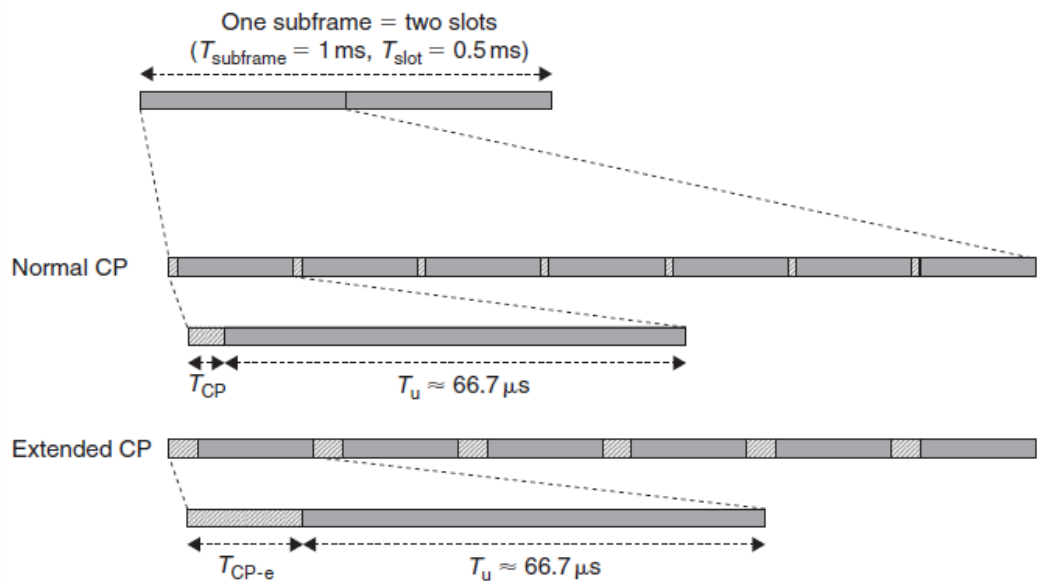
έπρεπε να βρεθεί μία εναλλακτική λύση του *OFDM* και το *SC-FDMA* (*Single Carrier-Frequency Domain Multiple Access*) ταιριάζει με τις απαιτήσεις του *uplink* για το *LTE*. Η βασική αρχιτεκτονική εκπομπής και λήψης είναι σχεδόν ταυτόσημη με αυτή του *OFDMA*, και προσφέρει την ίδια προστασία από την πολυδιάδοση (*multipath*). Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.17 το διάστημα μεταξύ των φερόντων ισούται με $\Delta f=15\text{kHz}$ και οι στοιχειώδεις πόροι αποτελούνται από δώδεκα φέροντα, όπως και στο *downlink*.



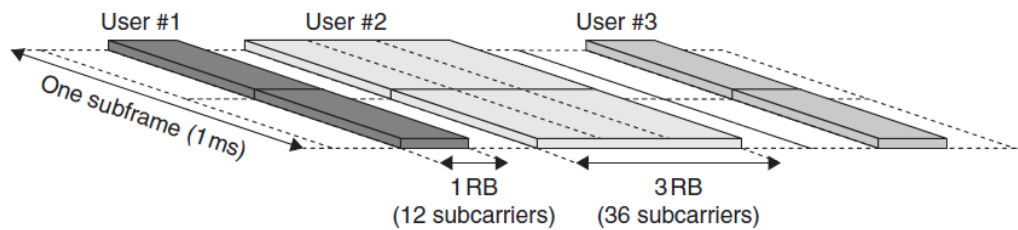
Εικόνα 2. 17 Οι στοιχειώδεις πόροι και το διάστημα των φερόντων παραμένει όμοιο με του *downlink*.

Όσον αφορά τη δομή στο χρόνο, το *uplink* στην *LTE* είναι παρόμοια με αυτή του *downlink* καθώς ένα υποπλαίσιο 1ms αποτελείται από δύο ισοκατανεμημένες σχισμές διάρκειας $T_{\text{slot}}=0.5\text{ms}$. Επίσης, και στο *uplink* καθορίζονται δύο διαφορετικά κυκλικά προθέματα, το κανονικό και το εκτεταμένο, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.18.

Εν αντιθέσει με το *downlink*, στο *uplink* οι στοιχειώδεις πόροι που ανατίθενται σε ένα τερματικό θα πρέπει να είναι συνεχόμενοι στο πεδίο των συχνοτήτων, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.19. Όπως και στο *downlink*, οι στοιχειώδεις πόροι στο *uplink* αποτελούνται από 12 φέροντα .



Εικόνα 2. 18 Το υποπλαίσιο του uplink και η δομή της σχισμής. Ένα υποπλαίσιο αποτελείται από δύο ισοκαταναμημένες σχισμές. Κάθε σχισμή αποτελείται από έξι ή επτά *blocks* αναλόγως με το είδος του κυκλικού προθέματος.



Εικόνα 2. 19 Ανάθεση πόρων κατά το *uplink*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΘΕΣΗ ΦΕΡΟΝΤΩΝ ΣΤΙΣ ΚΥΨΕΛΩΤΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

3.1 Εισαγωγή

Η τεχνολογική εξέλιξη διευκόλυνε την αλματώδη ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών και τη χρήση φορητών τερματικών που κάνουν χρήση ασύρματων εφαρμογών. Αυτή η αλματώδης αύξηση του αριθμού των χρηστών σε συνδυασμό με τις αυξημένες ανάγκες για φάσμα λόγω των εφαρμογών πολυμέσων, απαιτεί αποτελεσματική επαναχρησιμοποίηση του λιγοστού διαθέσιμου φάσματος. Η αποδοτική χρήση του φάσματος είναι σημαντική και για έναν ακόμη λόγο. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των σταθμών βάσης σε μία περιοχή περιορίζεται όταν χρησιμοποιείται αποτελεσματικά το φάσμα, διότι μειώνεται ο αριθμός των σταθμών βάσης που απαιτούνται για να εξυπηρετήσουν την ίδια περιοχή. Οι βασικοί παράγοντες που απέτρεπαν την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων ήταν οι παρεμβολές που οφειλόταν είτε στο περιβάλλον, είτε σε άλλες φορητές συσκευές.

3.2 Σχήματα (*schemes*) ανάθεσης καναλιών

Το ραδιοφάσμα μπορεί να χωριστεί σε σετ από ανεξάρτητα φέροντα τα οποία δεν προκαλούν παρεμβολές μεταξύ τους. Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα εφόσον τηρούν κάποιες βασικές προϋποθέσεις. Θεωρούμε το σετ $S_i(k)$ ως το (i) σετ ασύρματων τερματικών που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του ίδιου καναλιού k . Με βάση συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του ασύρματου περιβάλλοντος, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ταυτόχρονα το ίδιο κανάλι k σε ένα άλλο σετ j , δεδομένου ότι τα μέλη των σετ i και j έχουν την απαραίτητη απόσταση μεταξύ τους. Όλα τα σετ που χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι ονομάζονται ομοκαναλικά (*co-channel*). Η ελάχιστη απόσταση

επαναχρησιμοποίησης στην οποία παρατηρούνται ανεκτά επίπεδα παρεμβολών, ονομάζεται ομοκαναλική απόσταση επαναχρησιμοποίησης (*co-channel reuse distance*). Τα σχήματα ανάθεσης καναλιών μπορούν να διαχωριστούν σε διαφορετικές κατηγορίες, αναλόγως με το κριτήριο σύγκρισης. Για παράδειγμα, όταν ο αλγόριθμος ανάθεσης συχνοτήτων συγκρίνεται με βάση το πώς θα διαχωριστούν τα ομοκαναλικά κανάλια, τότε προκύπτουν οι εξής κατηγορίες :

- Πάγια ανάθεση φερόντων (*FSA-Fixed Subcarrier Allocation*)
- Δυναμική ανάθεση φερόντων (*DSA-Dynamic SubcarrierAllocation*)
- Υβριδική ανάθεση φερόντων (*HSA-Hybrid SubcarrierAllocation*)

Στα FSA σχήματα, μία περιοχή διχοτομείται σε ένα αριθμό κυψελών και ένας αριθμός φερόντων ανατίθεται σε κάθε κυψέλη ανάλογα με το σχέδιο επαναχρησιμοποίησης που ακολουθείται και την αναμενόμενη ποιότητα σήματος που απαιτείται. Τα FSA σχήματα είναι πολύ απλά, ωστόσο, δεν προσαρμόζονται στις αλλαγές που πραγματοποιούνται στις συνθήκες του τηλεπικοινωνιακού φορτίου. Για να μπορέσει να αντιμετωπιστεί αυτό το μειονέκτημα, εισήχθησαν τα DSA σχήματα.

Στα σχήματα DSA, θεωρούμε πως όλα τα φέροντα βρίσκονται σε μία «δεξαμενή» και ανατίθενται στις εκάστοτε κλήσεις με την προϋπόθεση να τηρείται το κριτήριο για την ποιότητα του σήματος. Είναι γεγονός πως η πολυπλοκότητα των DSA σχημάτων είναι μεγαλύτερη από αυτή των FSA, ωστόσο αυτή η διαφορά υποσκελίζεται από την τεράστια διαφορά σε ευελιξία και προσαρμοστικότητα. Παρόλα αυτά, τα DSA σχήματα είναι λιγότερο αποτελεσματικά σε σχέση με τα FSA σχήματα, σε συνθήκες υψηλού τηλεπικοινωνιακού φόρτου. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα αναπτύχθηκαν τα HSA σχήματα.

Η ανάθεση των φερόντων μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Αρχικά, ένα φέρον μπορεί να ανατεθεί σε μία κυψέλη με βάση την εμβέλεια κάλυψης της κεραίας και των γειτονικών κεραιών, έτσι ώστε ο λόγος σήματος προς παρεμβολές (SIR-Signal to Interference Ratio) να μην ξεπερνά κάποιο κατώτατο

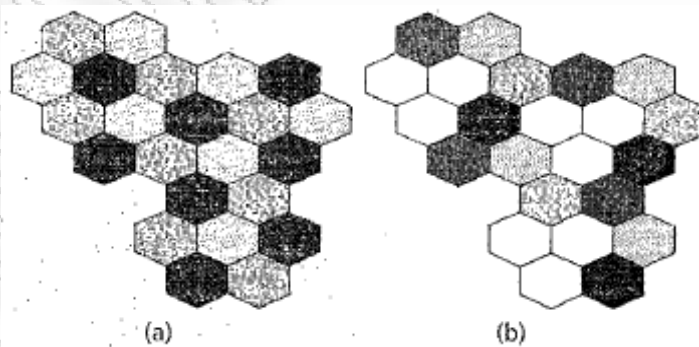
όριο σε όλες τις κυψέλες. Επίσης, θα μπορούσε να γίνει η ανάθεση λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις SIR από τις ασύρματες συσκευές και τους σταθμούς βάσης. Με αυτό τον τρόπο, δεν γίνεται μία τυχαία ανάθεση στην αρχή, αλλά ανατίθενται στις τερματικές συσκευές φέροντα ανάλογα με τις δικές τους μετρήσεις.

3.3 Fixed Subcarrier Allocation – Πάγια ανάθεση φερόντων

Στην πάγια ανάθεση, τα φέροντα ανατίθενται μόνιμα στις αντίστοιχες κυψέλες, όπου και γίνεται η αποκλειστική τους χρήση. Ο συνολικός αριθμός φερόντων C διαιρείται σε σετ, ενώ ο ελάχιστος αριθμός των σετ N που απαιτούνται για να εξυπηρετηθεί όλη η περιοχή κάλυψης εξαρτάται από την απόσταση επαναχρησιμοποίησης s από τη σχέση :

$$N = (1/3)\sigma^2 \text{ για εξαγωνικές κυψέλες} \quad (3.1)$$

Με τον όρο σ προσδιορίζεται ο λόγος D/R_a , όπου με R_a συμβολίζεται η ακτίνα της κυψέλης και με D η φυσική απόσταση μεταξύ των κέντρων των δύο κυψελών. Ο όρος N μπορεί να πάρει συγκεκριμένες τιμές, όπως 3, 4, 7, 9, καθώς θα προκύπτει από τη σχέση $(i+j)^2 - ij$, όπου i και j είναι ακέραιοι. Στην εικόνα 3.1 παρουσιάζεται η ανάθεση φερόντων στις κυψέλες για $N=3$ ($\sigma=3$) και $N=7$ ($\sigma=4.45$), αντίστοιχα.



Εικόνα 3. 1 FSA για a) $N=3$ και b) $N=7$.

Όπως προαναφέρθηκε στα FSA σχήματα ανατίθεται ο ίδιος αριθμός φερόντων σε κάθε κυψέλη. Αυτή η ομοιόμορφη κατανομή τους, είναι αποδοτική όταν και το τηλεπικοινωνιακό φορτίο είναι ομοιόμορφα κατανομημένο. Σε αυτή

την περίπτωση η μέση πιθανότητα αποτυχίας μίας κλήσης ισούται με την αντίστοιχη πιθανότητα σε κάθε κυψέλη ξεχωριστά. Σε πραγματικές συνθήκες όμως το φορτίο δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένο, με αποτέλεσμα η ομοιόμορφη κατανομή των φερόντων να έχει ως αποτέλεσμα πολλές αποτυχημένες κλήσεις σε ορισμένες κυψέλες, ενώ σε κάποιες γειτονικές υπάρχουν ελεύθεροι πόροι. Αυτό συνεπάγεται χαμηλή εκμετάλλευση (*utilization*) του καναλιού. Συνεπώς, θεωρήθηκε αναγκαίο να γίνει ανομοιόμορφη κατανομή των φερόντων στις κυψέλες. Συγκεκριμένα, στην ανομοιόμορφη ανάθεση, ο αριθμός των φερόντων που ανατίθενται σε κάθε κυψέλη εξαρτάται από το φορτίο που έχει κάθε κυψέλη. Οι κυψέλες με μεγαλύτερο φορτίο παίρνουν περισσότερα φέροντα σε σχέση με τις κυψέλες με μικρότερο φορτίο.

3.4 Dynamic Subcarrier Allocation – Δυναμική ανάθεση φερόντων

Τα χαρακτηριστικά του τηλεπικοινωνιακού φορτίου σε ένα κυψελωτό σύστημα παρουσιάζουν μεταβολές ιδίως όταν μελετούνται ανά κυψέλη, κάτι το οποίο σημαίνει πως τα FSA σχήματα δεν εκμεταλλεύονται επαρκώς τους διαθέσιμους πόρους. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη των DSA σχημάτων, όπου δεν υφίσταται οποιαδήποτε σχέση μεταξύ των φερόντων και των κυψελών. Όλα τα φέροντα του συνολικού καναλιού διατηρούνται σε μία «δεξαμενή» και ανατίθενται στις κυψέλες οι οποίες καλούνται να εξυπηρετήσουν καινούριες κλήσεις. Όταν η κλήση, ή οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία, λάβει τέλος, το φέρον επιστρέφει στη «δεξαμενή». Κάθε φέρον που είναι διαθέσιμο μπορεί να ανατεθεί σε οποιαδήποτε κυψέλη, αρκεί να ικανοποιούνται οι αντίστοιχοι περιορισμοί. Γενικά, τα φέροντα προς ανάθεση σε κάποια κυψέλη είναι περισσότερα του ενός και για αυτό η μέθοδος που ακολουθείται θα πρέπει να διαλέγει την καλύτερη δυνατή επιλογή για όλο το σύστημα. Η κεντρική ιδέα είναι να υπολογίζεται το κόστος ανάθεσης όλων των πιθανών φερόντων, και να επιλέγεται εκείνο για το οποίο η συνάρτηση κόστους παρουσιάζει τη μικρότερη τιμή. Η διαφορά ανάμεσα στα DSA σχήματα είναι η συνάρτηση κόστους που χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση και μπορούμε να τα διαχωρίσουμε σε συγκεντρωτικά (*centralized*) και κατανομημένα (*distributed*).

3.4.1 Συγκεντρωτικά DSA σχήματα

Στα συγκεντρωτικά σχήματα ένα φέρον από την κεντρική δεξαμενή ανατίθεται σε μία κλήση για προσωρινή χρήση. Τα σχήματα αυτής της κατηγορίας διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη συνάρτηση κόστους, με βάση την οποία γίνεται η επιλογή του εκάστοτε προς ανάθεση φέροντος. Ενδεικτικά, παρουσιάζονται κάποια συγκεντρωτικά σχήματα :

First Available (FA) – Το απλούστερο DSA σχήμα είναι αυτό του Πρώτου Διαθέσιμου. Το πρώτο διαθέσιμο φέρον που βρίσκεται μέσα στην απόσταση επαναχρησιμοποίησης ανατίθεται στην καινούρια κλήση. Σε αυτή την περίπτωση μειώνεται σημαντικά ο χρόνος επεξεργασίας για την εύρεση της λύσης.

Locally Optimized Dynamic Assignment (LODA) – Η συνάρτηση κόστους βασίζεται στη μελλοντική πιθανότητα αποτυχίας της κλήσης στις γειτονικές κυψέλες από την κυψέλη που ενεργοποιήθηκε η κλήση.

Channel Reuse Optimization Scheme – Η συνάρτηση κόστους έχει ως στόχο τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος, βελτιστοποιώντας την επαναχρησιμοποίηση του φέροντος. Αυτό επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση της απόστασης επαναχρησιμοποίησης.

Selection with Maximum Usage on the Reuse Ring (RING) – Σε αυτή την περίπτωση το υποψήφιο φέρον επιλέγεται με βάση το ποσοστό ανάθεσής του και σε προηγούμενες κλήσεις. Όταν περισσότερα του ενός φέροντα έχουν το ίδιο ποσοστό, επιλέγεται τυχαία κάποιο από αυτά. Εάν δεν είναι κανένα διαθέσιμο εκείνη τη στιγμή, επιλέγεται κάποιο με βάση το σχήμα FA.

Mean Square (MSQ), Nearest Neighbor (NN) – Το σχήμα MSQ επιλέγει το διαθέσιμο φέρον που ελαχιστοποιεί το μέσο τετράγωνο της απόστασης των κυψελών που χρησιμοποιούν το ίδιο φέρον. Στο NN σχήμα επιλέγεται το διαθέσιμο φέρον που καταλαμβάνεται από γειτονική κυψέλη σε απόσταση $\geq \sigma$.

Μετά από προσομοιώσεις διαπιστώθηκε πως το σχήμα NN, παρουσιάζει το μικρότερο ποσοστό αποτυχημένων κλήσεων, σε σχέση με τα υπόλοιπα σχήματα, για συνθήκες με χαμηλό τηλεπικοινωνιακό φορτίο.

3.4.2 Κατανεμημένα DSA σχήματα

Στα κατανεμημένα σχήματα χρησιμοποιείται η πληροφορία είτε για τα διαθέσιμα κανάλια στις γειτονικές κυψέλες, είτε μετρήσεις της έντασης του σήματος. Σε κυψελοειδή σχήματα το φέρον ανατίθεται σε μία κλήση από το σταθμό βάσης που ενεργοποιήθηκε η κλήση. Η διαφορά με τα συγκεντρωτικά σχήματα είναι ότι στα κατανεμημένα, κάθε σταθμός βάσης έχει την απαραίτητη πληροφόρηση για τα διαθέσιμα φέροντα στις γειτονικές κυψέλες. Αυτή η πληροφόρηση ανανεώνεται συνεχώς, ανταλλάσσοντας μηνύματα για την κατάστασή τους με τις γειτονικές κυψέλες. Σε αυτή την περίπτωση προκύπτει μία σχεδόν βέλτιστη (*near optimum*) ανάθεση, με την αντίστοιχη επιβάρυνση όμως στο δίκτυο, λόγω της αυξημένης σηματοδοσίας που ανταλλάσσουν οι κυψέλες.

Ιδιαίτερως σημαντική είναι και η κατηγορία των σχημάτων που προσαρμόζονται ανάλογα με τις μετρήσεις της ποιότητας του σήματος. Σε αυτά τα σχήματα ο σταθμός βάσης χρησιμοποιεί πληροφόρηση για την περιοχή που βρίσκεται στην εμβέλειά του, χωρίς να επικοινωνεί με τις υπόλοιπες κυψέλες του δικτύου. Τα φέροντα μπορούν να ανατεθούν οπουδήποτε, με στόχο τη βελτίωση της χωρητικότητας, είτε τη βελτίωση της ραδιοκάλυψης, πάντα με κατανεμημένο τρόπο. Αυτού του είδους τα σχήματα επιτρέπουν γρήγορη και σε πραγματικό χρόνο επεξεργασία των δεδομένων και τη μέγιστη απόδοση όσον αφορά την ανάθεση των φερόντων ικανοποιώντας τους περιορισμούς επαναχρησιμοποίησής τους. Απεναντίας, αυξάνεται η πιθανότητα για περαιτέρω ομοκαναλικές παρεμβολές, που μπορεί να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα, όπως διακοπή μίας ενεργής κλήσης.

3.5 Σύγκριση FSA και DSA σχημάτων

Γενικά, επικρατεί μία εξισορρόπηση (*trade off*) μεταξύ της ποιότητας των υπηρεσιών, της πολυπλοκότητας εκτέλεσης των αλγορίθμων ανάθεσης φερόντων και της αποτελεσματικής εκμετάλλευσης του φάσματος. Παρατηρείται πως σε συνθήκες χαμηλού τηλεπικοινωνιακού φορτίου τα DSA σχήματα αποδίδουν καλύτερα. Ωστόσο, σε συνθήκες με υψηλό φορτίο τα FSA σχήματα υπερτερούν,

ιδίως σε περιπτώσεις ομοιόμορφης κατανομής του φορτίου. Για μικρό έως και μέτριο φορτίο με ανομοιόμορφη κατανομή τα DSA σχήματα χρησιμοποιούν καλύτερα τα διαθέσιμα φέροντα σε σχέση με τα FSA σχήματα. Στα FSA σχήματα τα φέροντα έχουν προανατεθεί στις κυψέλες, οπότε υπάρχουν περιπτώσεις όπου κάποια διακύμανση στο φορτίο έχει ως αποτέλεσμα να κόβονται κλήσεις σε μία κυψέλη, ενώ υπάρχουν διαθέσιμα ελεύθερα φέροντα στις γειτονικές κυψέλες. Επιπροσθέτως, είναι γεγονός πως ένα κεντρικό σύστημα με χωρητικότητα (*capacity*) C , είναι αποτελεσματικότερο από ένα σύνολο μικρότερων συστημάτων που αθροιστικά έχουν την ίδια χωρητικότητα. Για την ίδια μέση πιθανότητα αποτυχίας μίας κλήσης, το μεγαλύτερο σύστημα πετυχαίνει καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου καναλιού.

Το αίτημα για την έναρξη μίας νέας κλήσης ή κάποιας άλλης υπηρεσίας διαφέρει από κυψέλη σε κυψέλη με τυχαίο τρόπο. Στη δυναμική ανάθεση φερόντων, η ανάθεσή τους γίνεται επίσης με τυχαίο τρόπο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι κυψέλες που εξυπηρετούνται από τα ίδια φέροντα, να απέχουν μεταξύ τους απόσταση αρκετά μεγαλύτερη από την ελάχιστη απόσταση επαναχρησιμοποίησης. Συμπεραίνουμε πως η δυναμική ανάθεση δεν επιτυγχάνει πάντοτε στο να επαναχρησιμοποιήσει τους φορείς όσο καλύτερα γίνεται. Απεναντίας, στη σταθερή ανάθεση οι φορείς ανατίθενται στις κυψέλες, ικανοποιώντας τον περιορισμό της ελάχιστης δυνατής απόστασης επαναχρησιμοποίησης, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο μέγιστος αριθμός επαναχρησιμοποίησης. Αυτός είναι και ο λόγος που σε μεγάλα φορτία η FSA ανάθεση αποδίδει πολύ καλύτερα.

Για τον ίδιο ρυθμό αποτυχημένων κλήσεων, στα DSA σχήματα ο ρυθμός των κλήσεων που αποτυγχάνουν βεβιασμένα (*forced call termination*) είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο στα FSA σχήματα. Αναλυτικότερα, στα FSA σχήματα πρέπει να γίνεται η μεταπομπή από κυψέλη σε κυψέλη σε διαφορετικά φέροντα, διότι τα ίδια φέροντα δεν ανατίθενται σε γειτονικές κυψέλες. Αντιθέτως, στα DSA σχήματα το ίδιο φέρον μπορεί να ανατεθεί και στην καινούρια κυψέλη, υπό την προϋπόθεση ότι δεν προκαλεί ομοκαναλικές παρεμβολές. Στα μικροκυψελωτά συστήματα οι φορητές συσκευές περνούν από διάφορες κυψέλες

με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται δραστικά το φορτίο σε κάθε κυψέλη. Επομένως, απαιτείται ακριβής έλεγχος για να ανταπεξέλθει το σύστημα και η επίκληση των συναρτήσεων ελέγχου είναι πολύ συχνή. Η ευελιξία που χαρακτηρίζει αυτές τις συναρτήσεις είναι πολύ σημαντική για τη γρήγορη εύρεση λύσης, ενώ προσδίδει και μία σταθερότητα στο σύστημα, η οποία δεν υπάρχει σε αντίστοιχες συνθήκες στα FSA σχήματα.

3.6 Hybrid Subcarrier Allocation – Υβριδική Ανάθεση φερόντων

Τα HSA σχήματα αποτελούν μία ανάμιξη των FSA και DSA σχημάτων. Ο συνολικός αριθμός των φερόντων στο διαθέσιμο κανάλι, διαιρείται σε σετ σταθερών και δυναμικών φερόντων. Τα σταθερά σετ αποτελούνται από ένα ονομαστικό (*nominal*) αριθμό φερόντων που ανατίθενται αποκλειστικά σε κυψέλες με βάση τα FSA σχήματα, και σε όλες τις περιπτώσεις προτιμούνται σε σχέση με τα υπόλοιπα φέροντα. Το δεύτερο σετ διαμοιράζεται σε όλους τους χρήστες και χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της ευελιξίας του συστήματος. Όταν σε μία κυψέλη ζητούνται πόροι για μία νέα υπηρεσία και όλα τα ονομαστικά φέροντα είναι κατειλημμένα, ανατίθενται πόροι από το σετ με τα δυναμικά φέροντα. Ο τρόπος ανάθεσης ακολουθεί τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

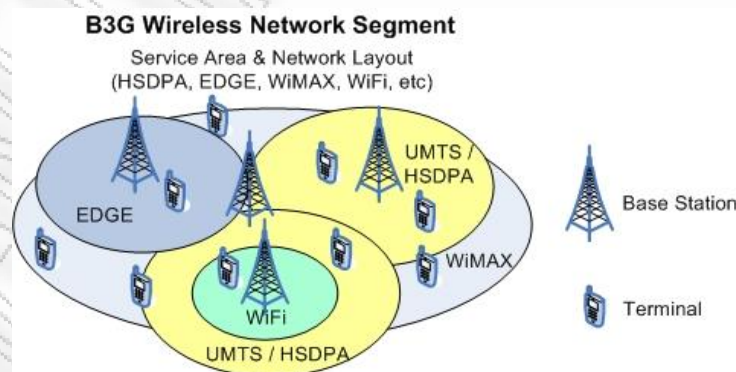
Η αναλογία των σταθερών και δυναμικών φερόντων είναι μία σημαντική παράμετρος που καθορίζει την αποδοτικότητα του συστήματος. Η βέλτιστη αναλογία σε κάθε σύστημα διαφέρει καθώς διαφέρουν οι συνθήκες που επικρατούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του B3G περιβάλλοντος είναι η δυνατότητα αναδιάρθρωσης των πόρων ενός δικτύου, έτσι ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει στις ευμετάβλητες τηλεπικοινωνιακές συνθήκες. Η αναδιάρθρωση στους σταθμούς βάσης πραγματοποιείται μέσω λογισμικού, επιτρέποντας αλλαγή στις τεχνολογίες πρόσβασης και της συχνότητας εκπομπής και λήψης. Επιπλέον, στην αναδιάρθρωση λαμβάνουν μέρος και οι φορητές συσκευές ακολουθώντας τις αλλαγές που πραγματοποιούνται στους σταθμούς βάσης. Στην εικόνα 4.1 παρουσιάζεται ένα τυπικό B3G ασύρματο δίκτυο. Περιλαμβάνει διάφορα σημεία πρόσβασης τα οποία είτε λειτουργούν με μία τεχνολογία πρόσβασης, είτε έχουν ικανότητες προσαρμογής του ραδιοδικτύου μέσω λογισμικού, SDR (*Software Defined Radio*). Σε αυτή την περίπτωση οι σταθμοί βάσης έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν την τεχνολογία πρόσβασης που εφαρμόζουν στους πομποδέκτες τους, ενεργοποιώντας το αντίστοιχο λογισμικό.



Εικόνα 4. 1 Τυπικό ασύρματο δίκτυο στην B3G εποχή.

Ο στόχος για κάθε τηλεπικοινωνιακό πάροχο είναι να παρέχει υπηρεσίες στους χρήστες του με την καλύτερη δυνατή ποιότητα, αλλά και με το μικρότερο

δυνατό κόστος. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος απαιτείται προηγμένη διαχείριση του συστήματος. Οι συνεχιζόμενες αλλαγές στο τηλεπικοινωνιακό φορτίο απαιτούν και την αντίστοιχη αναδιάρθρωση των διαθέσιμων πόρων για να ανταπεξέλθει το σύστημα στις όποιες αλλαγές. Η τελική λύση που εφαρμόζεται στο σύστημα, είναι η βέλτιστη δυνατή, με κριτήρια τη δυνατότητα υλοποίησής της, την αποτελεσματικότητά της και το κόστος υλοποίησής της. Εντούτοις, τα παραδοσιακά συστήματα διαχείρισης εκτελούν χρονοβόρες διαδικασίες. Η αιτία αυτής της καθυστέρησης οφείλεται στον τεράστιο αριθμό των διαθέσιμων λύσεων, αλλά και στην πολυπλοκότητα που εισάγεται με τον έλεγχο όλων αυτών των λύσεων.

Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα ήρθε να δώσει η εισαγωγή των γνωσιακών (*Cognitive*) δικτύων. Γενικά, τα γνωσιακά δίκτυα καθορίζουν τη δράση τους ανάλογα με τα δεδομένα που λαμβάνουν από το εξωτερικό περιβάλλον. Στα γνωσιακά δίκτυα υπάρχει η δυνατότητα της δυναμικής επιλογής της διάρθρωσης του δικτύου, μέσα από λειτουργίες αυτοδιαχείρισης που λαμβάνουν υπόψη τις απαιτήσεις του συστήματος, κάποιες βασικές αρχές του παρόχου και γνώση από παλαιότερες καταστάσεις, έτσι ώστε να διατηρηθούν οι βασικοί δείκτες αποδοτικότητας KPIs (*Key Performance Indicators*) σε ανεχτά επίπεδα και οι χρήστες να παραμείνουν ικανοποιημένοι από τις παρεχόμενες υπηρεσίες.

Η βασική ιδέα που κρύβεται πίσω από τη διαχείριση των γνωσιακών δικτύων είναι η εξής. Αρχικά, το σύστημα έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύσει την πληροφόρηση για καταστάσεις που αντιμετωπίστηκαν στο παρελθόν και τις λύσεις που δόθηκαν. Επίσης, μπορεί να αναγνωρίσει αν η κατάσταση που καλείται να αντιμετωπίσει το σύστημα ταιριάζει με κάποια παλαιότερη της οποίας έχουμε αποθηκευμένη τη λύση της. Οπότε σε περίπτωση που έχει παρουσιαστεί στο παρελθόν γίνεται η ανάθεση της αντίστοιχης λύσης που βρίσκεται αποθηκευμένη στο κεντρικό σύστημα.

4.2 Δεδομένα εισόδου στο σύστημα διαχείρισης

Τα δεδομένα που εισάγονται στο σύστημα διαχείρισης κατηγοριοποιούνται στις εξής κατηγορίες : *context*, *profiles* και *policies*. Στη συνέχεια ακολουθεί λεπτομερέστερη ανάλυση για κάθε κατηγορία ξεχωριστά.

4.2.1 Context

Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται τα στοιχεία του δικτύου και η τρέχουσα κατάστασή τους. Ουσιαστικά, κάθε στοιχείο χρησιμοποιεί διαδικασίες επίβλεψης και ανεύρεσης. Οι διαδικασίες επίβλεψης παρέχουν για κάθε στοιχείο του δικτύου και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, πληροφορίες για τις απαιτήσεις σε κίνηση, τις συνθήκες μετακίνησης, τη διάρθρωση που χρησιμοποιείται και το επίπεδο ποιότητας των υπηρεσιών που παρέχεται. Οι διαδικασίες ανεύρεσης παρέχουν πληροφόρηση για το επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών που μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή άλλης διάρθρωσης στο σύστημα.

Θεωρούμε πως οι N ενεργές υπηρεσίες (*Sessions*) που ανήκουν στο σετ $S=\{s:s=0,1,\dots,N\}$ αποτελούν το τηλεπικοινωνιακό φορτίο στην περιοχή κάλυψης που μελετούμε. Το σετ $SC=\{j:j=0,1,\dots,K\}$ περιλαμβάνει όλα τα διαθέσιμα φέροντα προς ανάθεση στους χρήστες. Οι υποψήφιοι DSA αλγόριθμοι παίρνουν την απαραίτητη πληροφόρηση για το διαθέσιμο κανάλι από τη μέση τιμή του SNR για κάθε φέρον j ($j \in SC$) και για κάθε υπηρεσία s ($s \in S$). Θεωρούμε πως το σετ $N \times K$ SNR τιμών, $SNR = \{snr_{s,j}: snr_{s,j} \in R\}$ προσδίδει την αντίστοιχη πληροφορία για κάθε φέρον j ($j \in SC$) και για κάθε υπηρεσία s ($s \in S$) [10][11].

Ο ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί για κάθε φέρον j ($j \in SC$) που ανατίθεται στην υπηρεσία s ($s \in S$) εξαρτάται από την τιμή SNR, $snr_{s,j}$ [12][13]. Η επιλογή για το ρυθμό διαμόρφωσης (*MR-Modulation Rate*) εξαρτάται από την τιμή SNR και προκύπτει από τη σχέση :

$$MR_{snr_{s,j}} = \begin{cases} k \text{ bits / symbol} & a \leq snr_{s,j} < b \\ l \text{ bits / symbol} & b \leq snr_{s,j} < c \\ m \text{ bits / symbol} & c \leq snr_{s,j} < d \end{cases} \quad (4.1)$$

όπου οι μεταβλητές k, l, m αντιστοιχούν στον αριθμό των bits που μεταδίδονται σε κάθε σύμβολο, ενώ ισχύει η ανίσωση $k < l < m$.

Με βάση τα παραπάνω, ο ρυθμός μετάδοσης για μία υπηρεσία s που της έχει ανατεθεί το φέρον j προκύπτει από τη σχέση :

$$br_{s,j} = SR \times MR(snr_{s,j}) \quad (4.2)$$

όπου SR είναι ο ρυθμός μετάδοσης συμβόλων ανά δευτερόλεπτο και $MR(snr_{s,j})$ είναι ο αριθμός των bits που μεταδίδονται ανά σύμβολο σύμφωνα με την τιμή SNR. Έτσι, ο ρυθμός μετάδοσης μίας υπηρεσίας προκύπτει από τη σχέση :

$$B_s = \sum_j [x_{s,j} \cdot br_{s,j}] \quad (4.3)$$

όπου $x_{s,j} \in \{0,1\}$, για κάθε s, j είναι μία μεταβλητή η οποία καταδεικνύει αν το φέρον j έχει ανατεθεί στην υπηρεσία s με την τιμή (1) διαφορετικά παίρνει την τιμή (0). Η συνολική χωρητικότητα (*Capacity*) που επιτυγχάνεται στην περιοχή κάλυψης προκύπτει από τη σχέση :

$$\sum_s B_s = \sum_s \sum_j [x_{s,j} \cdot br(s,j)] \quad (4.4)$$

Επίσης, για κάθε φέρον j ισχύει :

$$\sum_s x_{s,j} \leq 1, \quad s, j \in S \times SC \quad (4.5)$$

διότι κάθε φέρον μπορεί να ανατεθεί αποκλειστικά σε μία υπηρεσία [13][14].

4.2.2. Profiles

Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται πληροφορίες για τις δυνατότητες των τερματικών και των διαφόρων στοιχείων του δικτύου, καθώς και για τη συμπεριφορά, τις προτιμήσεις, τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς για χρήστες και εφαρμογές. Ουσιαστικά, αυτό το στοιχείο καθορίζει τη διάρθρωση που μπορεί να εφαρμοστεί στα στοιχεία του δικτύου αλλά και στις τερματικές συσκευές.

Όσον αφορά τους χρήστες, σε αυτό το στοιχείο καθορίζονται οι υπηρεσίες που επιθυμούν να απολαύσουν και το επιθυμητό επίπεδο παροχής των υπηρεσιών.

Θεωρούμε πως υπάρχουν M προφίλ διαφορετικών χρηστών, τα οποία ανήκουν στο σετ $P = \{p:p = 0,1,\dots,M\}$. Κάθε προφίλ καταδεικνύει συγκεκριμένο στόχο για το ρυθμό μετάδοσης p_s ($s \in S$) που θα πρέπει να επιτευχθεί για κάθε υπηρεσία. Με αυτό τον τρόπο ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης που επιτυγχάνεται τελικά για κάθε υπηρεσία, όπως προκύπτει από τη σχέση (4.3), θα ισούται με την τιμή p_s όταν είναι διαθέσιμα τα απαραίτητα κανάλια, διαφορετικά θα αποτελεί τη μέγιστη τιμή που μπορεί να επιτευχθεί. Η σχέση που ικανοποιείται σε αυτή την περίπτωση είναι η εξής :

$$\sum_j [x_{s,j} \cdot br(s, j)] \leq p_s \quad (4.6)$$

4.2.3 Policies

Οι αποφάσεις βελτιστοποίησης εκτός από τα κριτήρια των *context* και *profiles* θα πρέπει να εναρμονίζονται και με την εκάστοτε πολιτική (*policy*) και στρατηγική του τηλεπικοινωνιακού παρόχου. Γίνεται σαφές πως η πολιτική των παρόχων καθορίζει τους κανόνες και λειτουργίες (*αλγορίθμους βελτιστοποίησης και διαπραγμάτευσης*) που θα πρέπει να ακολουθηθούν στη διαχείριση του *context*. Χαρακτηριστικά, αυτοί οι κανόνες ορίζουν το επιτρεπόμενο επίπεδο QoS για κάθε εφαρμογή, αναθέτουν τις εφαρμογές σε αντίστοιχες RATs και την επιθυμητή διάρθρωση στους πομποδέκτες.

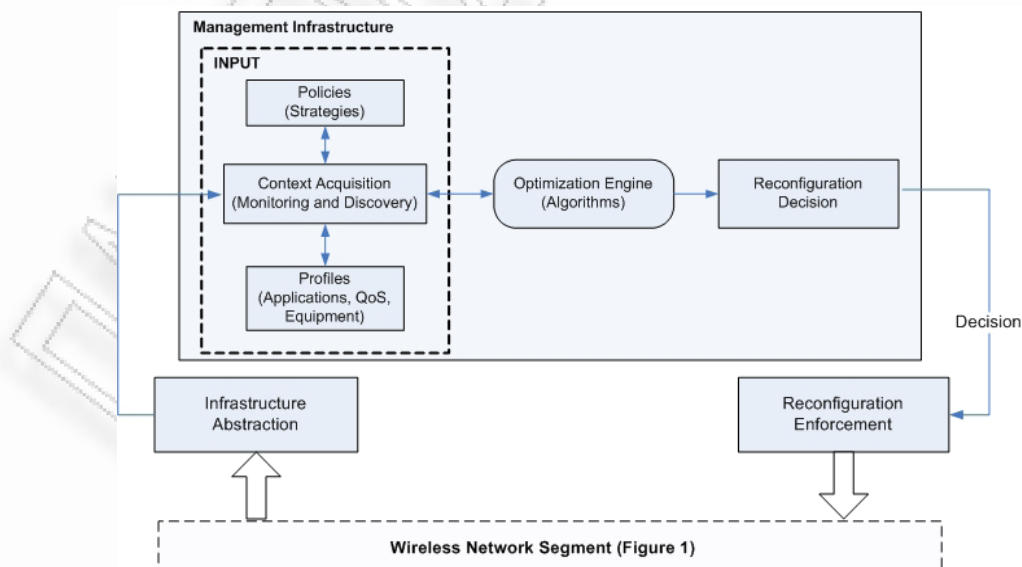
Θεωρούμε ένα σετ από Q πολιτικές (*policies*), $NP = \{np:np = 0,1,\dots,Q\}$, όπου κάθε πολιτική αντιστοιχεί στο μέγιστο επιτρεπτό ρυθμό μετάδοσης, δεδομένης της κατάστασης του δικτύου κορμού αλλά και του ραδιοδικτύου. Θεωρώντας ότι η πολιτική για κάθε υπηρεσία s χαρακτηρίζεται ως np_s ($s \in S$), ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης που επιτυγχάνεται για κάθε υπηρεσία, με βάση τη σχέση (4.3), θα πρέπει να είναι είτε μικρότερος, είτε ίσος με την τιμή της πολιτικής για αυτή την υπηρεσία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να είναι αναγκαία η ικανοποίηση της παρακάτω σχέσης :

$$\sum_j [x_{s,j} \cdot br(s, j)] \leq np_s \quad (4.7)$$

Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις εξής δύο περιπτώσεις. Πρώτον, ο γενικός κανόνας είναι ότι η πολιτική για μία υπηρεσία np_s έχει τιμή είτε μεγαλύτερη, είτε ίση με την τιμή του προφίλ του χρήστη για τη συγκεκριμένη υπηρεσία p_s ($p_s \leq np_s$), σε περιπτώσεις που υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι από το δίκτυο και ο πάροχος θέλει να εξασφαλίσει πως θα ικανοποιηθούν στο μέγιστο όλοι οι πελάτες του. Παρόλα αυτά, υπάρχει και η περίπτωση όπου το τηλεπικοινωνιακό φορτίο είναι υψηλό και η πολιτική του παρόχου, που αποτελεί το ανώτατο όριο για το ρυθμό μετάδοσης ανά υπηρεσία, είναι μικρότερη από την τιμή που έχουν αρκετοί χρήστες στο προφίλ τους ($np_s \leq p_s$).

4.3 Παραδοσιακό σύστημα διαχείρισης ασύρματου δικτύου

Στην εικόνα 4.2, παρουσιάζεται μία συνολική περιγραφή της ήδη υπάρχουσας διαδικασίας διαχείρισης για τα συστήματα B3G. Τα δεδομένα που εισάγονται κατηγοριοποιούνται σε *context*, *profiles* και *policies*. Το αποτέλεσμα προκύπτει εφαρμόζοντας ορισμένες διαδικασίες βελτιστοποίησης, με βάση τα δεδομένα από το εξωτερικό περιβάλλον.



Εικόνα 4. 2 Παραδοσιακό σύστημα διαχείρισης ασύρματων δικτύων.

Το σύστημα διαχείρισης επικοινωνεί με το υπόλοιπο δίκτυο μέσω των διεπιφανειών (*interfaces*) «*infrastructure abstraction*» και «*reconfiguration enforcement*». Η πρώτη παρέχει την απαιτούμενη πληροφορία στο σύστημα διαχείρισης, ενώ η δεύτερη εφαρμόζει τις ενέργειες που καθορίζονται από το σύστημα διαχείρισης.

Γενικά η στρατηγική που ακολουθείται κατά τη διαδικασία βελτιστοποίησης είναι η εύρεση της καλύτερης διάρθρωσης του δικτύου, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί μία αντικειμενική συνάρτηση, που προκύπτει από την ανάθεση των εφαρμογών σε διαφορετικά επίπεδα QoS, το κόστος εφαρμογής κάθε επιπέδου QoS και το κόστος αναδιάρθρωσης.

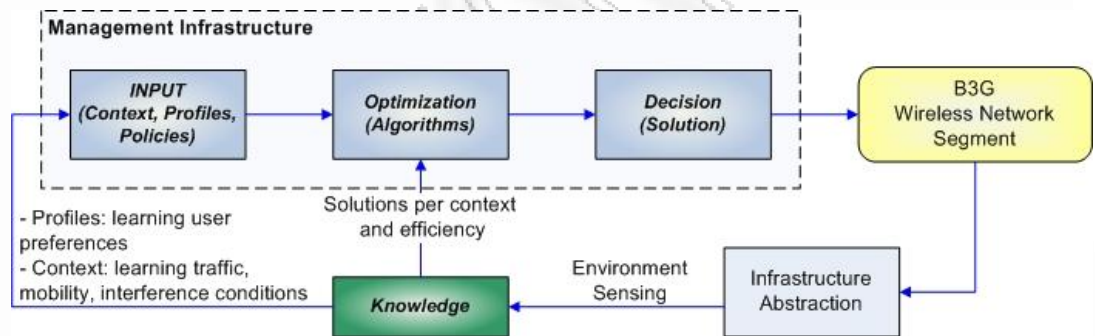
Το αποτέλεσμα της διαδικασίας βελτιστοποίησης αποτελείται από τρία σενάρια ανάθεσης που πρέπει να εφαρμοστούν στην περιοχή κάλυψης. Το πρώτο σενάριο ανάθεσης περιλαμβάνει την ανάθεση των RAT στους διαθέσιμους πομποδέκτες της περιοχής κάλυψης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολλοί πομποδέκτες να αλλάξουν τη RAT στην οποία λειτουργούν. Στο δεύτερο σενάριο περιλαμβάνεται η ανάθεση τηλεπικοινωνιακού φορτίου στους πομποδέκτες. Μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους της διαδικασίας βελτιστοποίησης είναι η εξισορρόπηση του φορτίου. Έτσι, το τηλεπικοινωνιακό φορτίο κατανέμεται ομοιόμορφα στους πομποδέκτες αναλόγως με κάποια χαρακτηριστικά της τεχνολογίας στην οποία λειτουργούν, όπως η εμβέλεια και η χωρητικότητα. Το τρίτο σενάριο περιλαμβάνει την ανάθεση συγκεκριμένων επιπέδων ποιότητας για τις παρεχόμενες υπηρεσίες.

4.4 Εισαγωγή γνωσιακού μηχανισμού στο υπάρχον σύστημα διαχείρισης

Η καθυστέρηση για τη λήψη αποφάσεων που παρατηρείται στα παραδοσιακά συστήματα οφείλεται στο μεγάλο αριθμό των πιθανών λύσεων που πρέπει να ελεγχθούν, υπολογίζοντας την αντικειμενική συνάρτηση. Χαρακτηριστικά, εάν θεωρήσουμε μία κυψέλη με T αναδιαρθρώσιμους πομποδέκτες που υποστηρίζουν R τεχνολογίες πρόσβασης, τότε ο συνολικός

αριθμός των πιθανών διαρθρώσεων για μία μόνο κυψέλη ισούται με R^T . Γίνεται σαφές πως όσο αυξάνει ο αριθμός των πομποδεκτών, των κυψελών αλλά και των RAT που μπορούν να εξυπηρετήσουν οι πομποδέκτες, τόσο αυξάνει η πολυπλοκότητα του συστήματος.

Παρατηρώντας κανείς τις διαδικασίες επίβλεψης του συστήματος διαχείρισης, διαπιστώνει πως κατά τη διάρκεια μίας χρονικής περιόδου λαμβάνονται από το σύστημα παρόμοια *contexts* και οι διαδικασίες βελτιστοποίησης δίνουν παρόμοιες λύσεις. Σαν συνέχεια αυτής της διαπίστωσης αναπτύχθηκε η ιδέα της εισαγωγής γνωσιακών χαρακτηριστικών στις διαδικασίες βελτιστοποίησης. Στην εικόνα 4.3 αποτυπώνεται μία προσέγγιση για το πώς μπορούν να εισαχθούν γνωσιακά χαρακτηριστικά στη διαδικασία διαχείρισης.



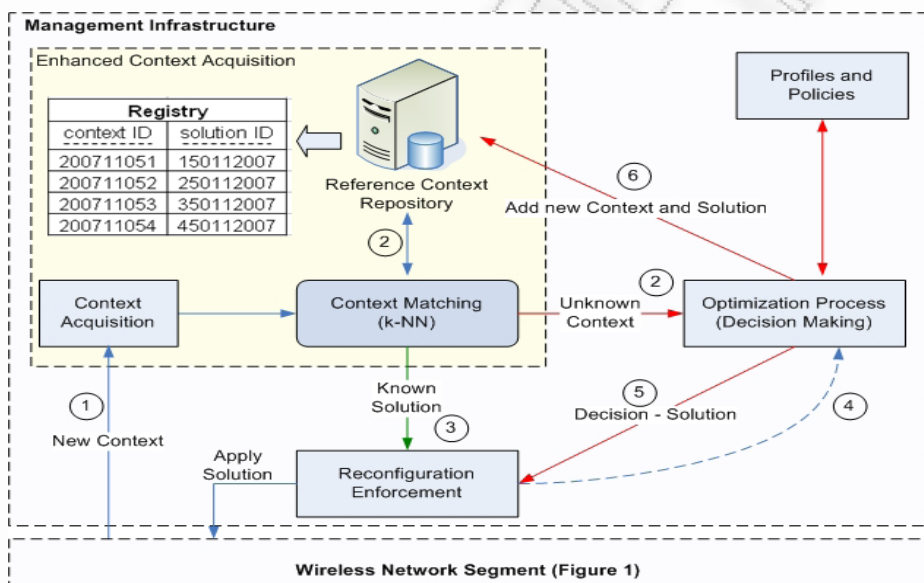
Εικόνα 4.3 Είσοδος γνωσιακών χαρακτηριστικών στη διαδικασία διαχείρισης.

Παρατηρούμε πως στο διάγραμμα ροής των ενεργειών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαχείριση, εισήλθε και το μπλοκ “knowledge” στο οποίο αποτυπώνεται η γνώση που αποκτά το σύστημα μετά από την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος λειτουργίας. Οι απαραίτητες βελτιώσεις εντοπίζονται στο [6]. Πρακτικά, αυτή η προσθήκη θα αποφέρει γνώση και εμπειρία στις διαδικασίες διαχείρισης, κάτι που θα έχει ως αποτέλεσμα γρηγορότερες και πιο αξιόπιστες αποφάσεις. Ανατρέχοντας σε παλιότερες συμπεριφορές, μπορούν να εκτιμηθούν τα περιθώρια QoS ανάλογα με τη διάρθρωση. Παρόμοια, τα στοιχεία του profile μπορούν σταδιακά να μαθαίνουν από τις απαιτήσεις και προτιμήσεις των χρηστών. Επίσης, τα στοιχεία βελτιστοποίησης θα μαθαίνουν από την αποτελεσματικότητα των αποφάσεών τους. Αυτή η γνώση που παράγεται κυρίως

από τεχνικές ενισχυμένης εκμάθησης (*reinforcement learning*) οδηγεί σε καταλληλότερες διαρθρώσεις.

4.5 Απόκτηση Βελτιωμένου Context

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική και η συνολική λειτουργία για την απόκτηση ενός βελτιωμένου context, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.4.



Εικόνα 4.4 Μηχανισμός απόκτησης καινούριου context.

Reference Context Repository. Περιέχει πληροφορία για κάθε context που έχει παρουσιαστεί στο παρελθόν. Η λύση που δόθηκε σε κάθε περίπτωση, μετά τη διαδικασία βελτιστοποίησης, αποθηκεύεται στη μνήμη του συστήματος. Για να διακρίνουμε το υπάρχον context του δικτύου, με ένα context που είναι αποθηκευμένο στη μνήμη, χρησιμοποιούμε τον όρο «context αναφοράς» (*reference contexts*) για όσα είναι αποθηκευμένα στη μνήμη.

Context Matching. Ο στόχος είναι να βρεθεί το πλησιέστερο context αναφοράς για το νέο context. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται βασίζεται στον αλγόριθμο (k-NN) των πλησιέστερων κ-γειτόνων, [7][8]. Γίνεται σύγκριση του παρόντος context με παλαιότερες συνθήκες, έτσι ώστε να αποφασιστεί αν μπορεί

να εφαρμοστεί μία παλαιότερη λύση και να αποτραπεί εξαρχής ο έλεγχος για καινούρια λύση.

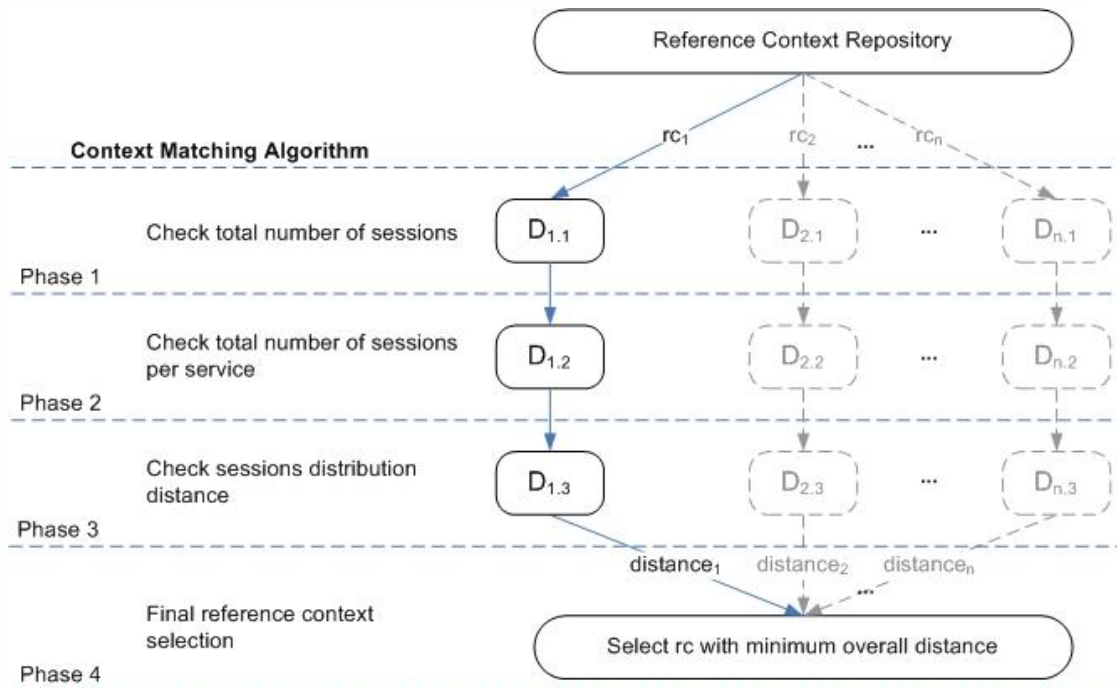
Στην εικόνα 4.4 παρουσιάζονται όλες οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της απόκτησης του context. Στην πρώτη φάση, η ενότητα της απόκτησης του context ανακτά όλα τα απαραίτητα δεδομένα από το δίκτυο. Στη δεύτερη φάση, οι ενότητες *Context Matching* και *Optimization* ενεργοποιούνται. Με το *Context Matching* διαπιστώνεται αν υπάρχει ένα context αναφοράς που να ταιριάζει με το τρέχων context. Παράλληλα, το *Optimization module* ενεργοποιείται έτσι ώστε να διαχειριστεί το context, σαν μία κατάσταση την οποία δεν έχει αντιμετωπίσει ξανά.

Σε τρίτη φάση, το *Context Matching* παραδίδει τον έλεγχο στο *Reconfiguration Enforcement* ή στο *Optimization module*. Το πρώτο επιλέγεται στην περίπτωση που το υπό μελέτη context ταιριάζει με κάποιο παλαιότερο. Το δεύτερο πραγματοποιείται εάν δεν υπάρξει αντιστοίχιση με κάποιο παλαιότερο context. Η *Reconfiguration Enforcement* μπορεί να μεταβιβάσει τον έλεγχο στο *Optimization module*, μέσω της τέταρτης ενότητας, σε περίπτωση που η λύση που προτείνεται στη φάση του *Context Matching* δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Στην πέμπτη φάση, το *Optimization module* ζητά από το *Reconfiguration Enforcement* να εφαρμόσει τις επιθυμητές αλλαγές στο αντίστοιχο κομμάτι του δικτύου. Επιπλέον, στην έκτη φάση, το context και η επίλυση αποστέλλονται στην *repository*, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η άμεση ανάκτηση της λύσης σε περίπτωση που εμφανιστεί ξανά το ίδιο context. Με αυτό τον τρόπο το σύστημα διαχείρισης έχει τη δυνατότητα να μάθει, να εφαρμόσει προηγούμενες λύσεις, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο χρόνος διαχείρισης του context. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται εφόσον οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται στη φάση του *Context Matching*, είναι λιγότεροι από αυτούς που πραγματοποιούνται στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης.

4.6 Αλγόριθμος Context Matching

Ο αλγόριθμος *Context Matching* βασίζεται στον αλγόριθμο k-NN (k-Nearest Neighbor) για να υπολογίσει την «απόσταση» των *patterns* (δηλαδή των γνωστών contexts μέσα στο *Pattern Repository*) και του καινούριου *context* που προέκυψε στο σύστημά μας. Ο σκοπός του CMA είναι να βρει το *pattern*, ανάμεσα σε όλα τα διαθέσιμα *patterns* (P), με τη μικρότερη «απόσταση» από το τρέχων *context* (C) και να ανασύρει την αντίστοιχη λύση με σκοπό να την εφαρμόσει στο δίκτυο. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής, όπως παρουσιάζονται και στην εικόνα 4.5 :

- *Βήμα 1*: Γίνεται έλεγχος για το αν η διαφορά Δ_1 του συνολικού αριθμού χρηστών στο P και στο C είναι μεγαλύτερη ενός συγκεκριμένου κατωφλίου. Εάν όχι, συνεχίζουμε στο Βήμα 2, διαφορετικά σταματά ο έλεγχος για το τρέχων *pattern*.
- *Βήμα 2*: Γίνεται έλεγχος για το αν η διαφορά Δ_2 του συνολικού αριθμού των χρηστών στο P και στο C για κάθε υπηρεσία υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο κατώφλι. Εάν όχι συνεχίζουμε στο Βήμα 3, διαφορετικά σταματά ο έλεγχος για το τρέχων *pattern*.
- *Βήμα 3*: Βρίσκουμε τον 1-Πλησιέστερο Γείτονα (τον Πρώτο Καλύτερο) [8] από το *pattern* P για κάθε χρήστη στο *context* C . Ο αλγόριθμος K-NN χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την απόσταση Δ_3 ανάμεσα σε κάθε χρήστη του C και των γειτόνων του στο P , βασιζόμενο στη θέση τους [8].
- *Βήμα 4*: Ελέγχουμε τη διαφορά Δ_4 του προφίλ ανάμεσα σε κάθε χρήστη του C και του πρώτου καλύτερου στο P . Εάν η διαφορά στο προφίλ δεν είναι μεγαλύτερη ενός συγκεκριμένου κατωφλίου, συνεχίζουμε στο Βήμα 5, διαφορετικά σταματά ο έλεγχος για το τρέχων *pattern*.
- *Βήμα 5*: Υπολογίζουμε την *Context Distance* (CD) για το *pattern* P .
$$CD(P) = D_1 + D_2 + D_3 + D_4$$



Εικόνα 4.5 Βήματα του αλγορίθμου Context Matching.

Το 5^ο βήμα είναι το τελευταίο του παράλληλου ελέγχου όλων των διαθέσιμων patterns από το *Pattern repository*. Σε αυτό το σημείο ο αλγόριθμος θα επιλέξει το pattern με τη μικρότερη τιμή CD, η οποία αντικατοπτρίζει το πλησιέστερο pattern P στο τρέχων context C, καθώς η συνολική «απόσταση» είναι η ελάχιστη δυνατή. Όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 4.4, η λύση που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο pattern ανακτάται από το *Pattern Repository* και αποστέλλεται στο *Reconfiguratyion Enforcement* για να εφαρμοστεί από το δίκτυο B3G.

4.7 Αλγόριθμος RDQ-A

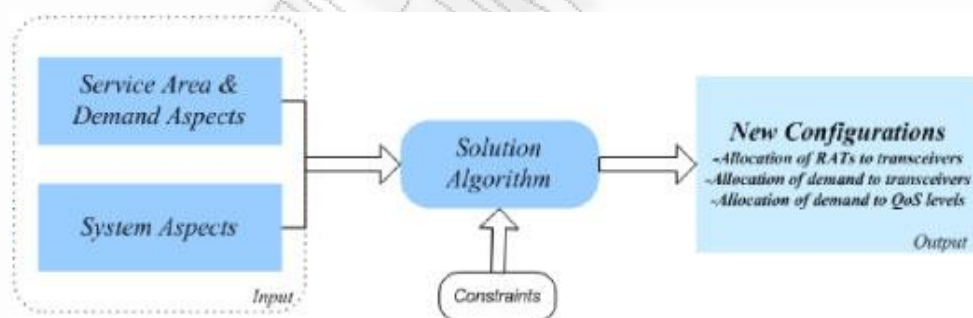
Όπως είδαμε και στην εικόνα 4.4 στην περίπτωση που το υπό μελέτη context δεν έχει εμφανιστεί ξανά, ενεργοποιείται η διαδικασία βελτιστοποίησης. Ο στόχος είναι η ανάπτυξη μίας διαδικασίας επιλογής RAT η οποία θα στοχεύει στη δυναμική επιλογή και προσαρμογή στην καταλληλότερη RAT για όλες τις τερματικές συσκευές στο δίκτυο, δεδομένου των συνθηκών στο δίκτυο και των δυνατοτήτων του συστήματος. Η διαδικασία που αναπτύχθηκε ονομάζεται RDQ-

A (RAT, Demand and QoS – Allocation problem). Η λύση που προκύπτει περιλαμβάνει αρκετές αναδιαρθρώσεις, όπως τις αναθέσεις :

- a. διαθέσιμων RAT στους πομποδέκτες
- b. χρηστών στους πομποδέκτες
- c. χρηστών σε διάφορα επίπεδα ποιότητας (QoS)

Η μέθοδος επίλυσης πραγματοποιείται σε τέσσερις φάσεις, εκ των οποίων κάθε μία αντιστοιχεί σε μία από τις προηγούμενες αναθέσεις και η τέταρτη φάση αφορά την τελική απόφαση. Γενικά, η λύση που προκύπτει είναι δυναμική, καθώς μπορεί να αναφέρεται σε μία κυψέλη, αλλά και σε ένα σετ από κυψέλες, που αποτελούν ένα υποσύστημα του συνολικού συστήματος.

Το πρόβλημα του RDQ-A μπορεί να περιγραφεί από τα δεδομένα εισόδου (*input*) και εξόδου (*output*), που προκύπτουν λαμβάνοντας υπόψη τους σχετικούς περιορισμούς, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.6.



Εικόνα 4. 6 Γενική περιγραφή του RDQ-A προβλήματος.

4.7.1 Δεδομένα εισόδου

Η είσοδος του προβλήματος RDQ-A παρέχει πληροφορίες για το σύστημα, καθώς και για την περιοχή και τις απαιτήσεις σε διάφορες υπηρεσίες.

System aspects: Οι συνιστώσες του συστήματος παρέχουν πληροφορίες για τους διαθέσιμους πομποδέκτες και τις πιθανές RAT που μπορούν να εφαρμοστούν. Το σετ R αντικατοπτρίζει το σετ των διαθέσιμων RAT στο σύστημα. Λόγω της δυναμικής φύσεως του προβλήματος, μελετούμε

προσεγγιστικά ένα σταθμό βάσης που είναι εξοπλισμένος με σελ T από αναδιαρθρώσιμους πομποδέκτες που μπορούν να αλλάξουν παραμέτρους. Επίσης, το σελ R_t (όπου το $t \in T$) αναπαριστά το σελ των RATs με τις οποίες μπορεί να λειτουργήσει ο πομποδέκτης t .

Service area and demand aspects: Θεωρούμε πως το τηλεπικοινωνιακό φορτίο στην περιοχή κάλυψης που ερευνούμε, παράγεται από N ενεργούς χρήστες. Η θέση του κάθε χρήστη $i \in \{0, 1, \dots, N\}$ δηλώνεται ως l_i . Οι υπηρεσίες που προσφέρονται σε κάθε περιοχή κάλυψης συμπεριλαμβάνονται στο σελ $S = \{s: s=0, 1, \dots, |S|\}$. Ο κάθε χρήστης i απαιτεί μία υπηρεσία s_i που ανήκει στο σελ S . Ένας χρήστης που απαιτεί περισσότερες από μία υπηρεσίες θεωρείται σαν ξεχωριστός χρήστης i ανά υπηρεσία.

Επιπροσθέτως, το σελ $Q_s = \{q: q=0, 1, \dots, |Q_s|, s \in S\}$ αναπαριστά το σελ των διάφορων επιπέδων ποιότητας στα οποία προσφέρεται μία υπηρεσία. Παρομοίως, το σελ $R_s = \{r: r=0, 1, \dots, |R_s|, s \in S\}$ αναπαριστά τα RATs μέσω των οποίων προσφέρεται μία υπηρεσία s .

Όταν μία υπηρεσία παρέχεται σε ένα συγκεκριμένο ποιοτικό επίπεδο, απαιτούνται οι τιμές του βαθμού χρησιμοποίησης (*utility volume*) και κατανάλωσης των διαθέσιμων πόρων (*resource consumption*). Συγκεκριμένα, η χρησιμοποίηση για το χρήστη i που χρησιμοποιεί την υπηρεσία s_i με ποιοτικό επίπεδο q_i υποδηλώνεται ως u_{s_i, q_i} $s_i, q_i \in S \times Q_{s_i}$.

4.7.2 Έξοδος συστήματος

Ο αντικειμενικός στόχος του προβλήματος RDQ-A είναι να καθορίσει μία νέα διάρθρωση στο σύστημα. Αναλυτικότερα,

- Η διάρθρωση των πομποδεκτών περιγράφεται μέσω του σελ $A_{RT} = r_t | \forall t \in T$. Κάθε στοιχείο r_t ($r_t \in R_t$) αντιστοιχεί στη RAT που ανατέθηκε στον πομποδέκτη t .

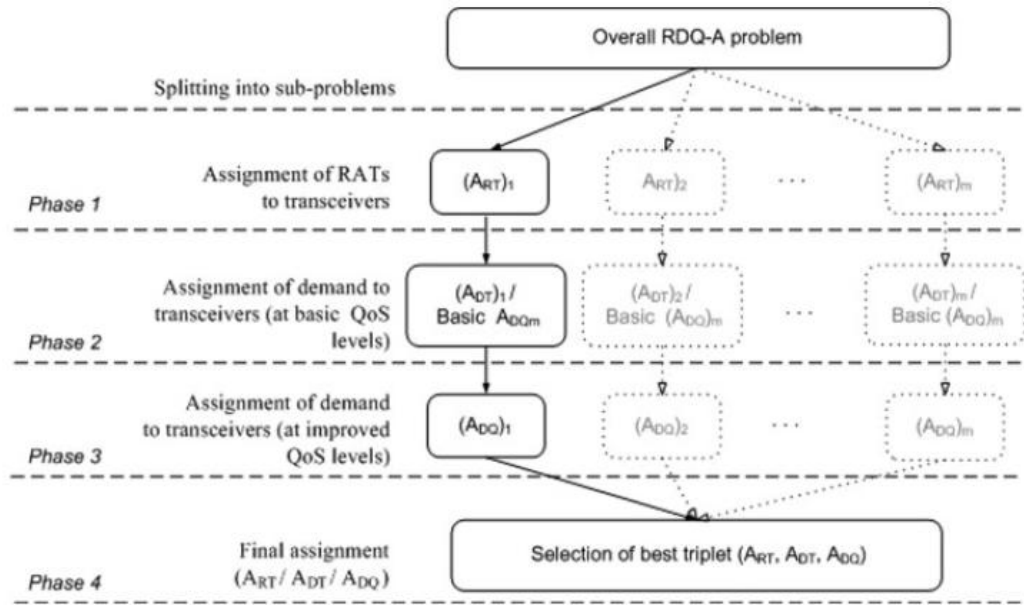
- Η ανάθεση των καινούριων χρηστών σε πομποδέκτες χαρακτηρίζεται από $A_{DT} = t_i | \forall i \in [1N]$. Κάθε στοιχείο t_i αναπαριστά τον πομποδέκτη στον οποίο έχει ανατεθεί ο χρήστης i .
- Τέλος, η ανάθεση των καινούριων χρηστών σε διαφορετικά επίπεδα ποιότητας περιγράφεται από τη σχέση $A_{DQ} = q_i | \forall i \in [1N]$, όπου το κάθε στοιχείο q_i $q \in Q_{s_i}$ είναι το επίπεδο ποιότητας το οποίο ανατίθεται στο χρήστη i .

Οι τρεις αναθέσεις συνιστούν την τριπλέτα της επίλυσης του προβλήματος RDQ-A με βάση την οποία θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί η χρησιμοποίηση που σχετίζεται με τα επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών, ενώ παράλληλα να μειώνεται το κόστος αναδιάρθρωσης.

Η προτεινόμενη μέθοδος επίλυσης για το RDQ-A πρόβλημα πραγματοποιείται σε τέσσερις φάσεις που συνεργάζονται μεταξύ τους, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.7. Κάθε φάση συνεχίζει με τα δεδομένα που λαμβάνει από την προηγούμενη φάση και τα αποτελέσματά της περνούν στην επόμενη φάση.

Αναλυτικότερα, στην πρώτη φάση βρίσκονται όλες οι πιθανές αναθέσεις RAT στους πομποδέκτες (A_{RT}), λαμβάνοντας υπόψη τις συνιστώσες που αναφέραμε προηγουμένως. Κάθε A_{RT} ανάθεση δημιουργεί ένα υποπρόβλημα που χρήζει επίλυσης. Τα υποπροβλήματα που έχουν προκύψει επεξεργάζονται παράλληλα.

Στη δεύτερη φάση, για κάθε ένα από τα υποπροβλήματα, με σταθερή A_{RT} ανάθεση, τα επίπεδα ποιότητας που προσφέρονται στους χρήστες τίθενται στη χαμηλότερη δυνατή τιμή τους, τη βασική A_{DQ} , και η ανάθεση του φορτίου στους πομποδέκτες A_{DT} προκύπτει με βάση τον αντίστοιχο αλγόριθμο.



Εικόνα 4. 7 Οι φάσεις επίλυσης του RDQ-A προβλήματος.

Στην τρίτη φάση ερευνάται η βέλτιστη ανάθεση του φορτίου σε διάφορα επίπεδα ποιότητας A_{DQ} , διατηρώντας την A_{DT} ανάθεση από την προηγούμενη φάση και προσπαθώντας συνεχώς να αυξήσει τα παρεχόμενα επίπεδα ποιότητας.

Μετά τη συμπλήρωση των τριών φάσεων πρέπει να επιλεγεί η βέλτιστη τριπλέτα από τους διάφορους συνδυασμούς. Το κριτήριο που συντελεί στη σωστή επιλογή είναι η μεγιστοποίηση της συνολικής αντικειμενικής συνάρτησης που προκύπτει από το άθροισμα :

$$OF_{tot} (A_{RT}, A_{DT}, A_{DQ}) = \sum_{i \in T} OF_i \quad (4.8)$$

Επίσης, είναι πολύ σημαντικό να εισαχθεί στη διαδικασία επιλογής και το κόστος αναδιάρθρωσης, C_{reconf} , που εισάγεται στο σύστημα με την εκάστοτε επιλογή της τριπλέτας για την επίλυση του συστήματος. Γίνεται σαφές πως ανάμεσα σε δύο επιλογές που έχουν σαν αποτέλεσμα παρόμοια τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση, θα επιλεγεί αυτή που απαιτεί μικρότερο αριθμό αναδιαρθρώσεων. Συγκεκριμένα, δίνεται προτεραιότητα στη λύση που οδηγεί σε μικρότερο όγκο σηματοδοσίας και μικρότερο *firmware download*.

Διακρίνουμε τρεις διαφορετικούς τύπους από πιθανά κόστη που αντικατοπτρίζουν τη σηματοδοσία που πρέπει να ανταλλαχθεί προκειμένου να

γίνει η μετάβαση του συστήματος από μία κατάσταση n σε μία κατάσταση $n+1$. Το κάθε ένα από αυτά τα κόστη συμβάλει προσθετικά στο συνολικό κόστος αναδιάρθρωσης και σχετίζεται είτε με το σταθμό βάσης, είτε με την τερματική συσκευή. Το κόστος που σχετίζεται με το σταθμό βάσης (c_T) έχει να κάνει με τον αριθμό των πομποδεκτών που θα χρειαστεί να αλλάξουν την τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης στην οποία λειτουργούν, έτσι ώστε να γίνει η μετάβαση του συστήματος από την κατάσταση n στην κατάσταση $n+1$. Το κόστος που σχετίζεται με τις τερματικές συσκευές προκύπτει από το κόστος (c_R) της αλλαγής της RAT σε όλες τις τερματικές συσκευές που συμπεριλαμβάνονται στην τελική απόφαση και από το κόστος (c_Q) από το συνολικό αριθμό των βημάτων αύξησης/μείωσης των επιπέδων ποιότητας των υπηρεσιών που παρέχονται στους χρήστες.

Ως εκ τούτου, το συνολικό κόστος αναδιάρθρωσης αντιστοιχεί σε ένα σταθμισμένο (*weighted*) άθροισμα των τριών συνιστωσών, όπως φαίνεται και στη σχέση 4.9 :

$$C_{reconf}(n \rightarrow n+1) = w_1 \cdot c_T + w_2 \cdot c_R + w_3 \cdot c_Q \quad (4.9)$$

όπου τα βάρη w_1 , w_2 και w_3 μπορούν να ρυθμιστούν ανάλογα με τη βαρύτητα που δίνει σε κάθε κόστος ο τηλεπικοινωνιακός πάροχος.

4.8 Αλγόριθμοι βελτιστοποίησης OFDM πρόσβασης

Η λύση που προκύπτει από τον αλγόριθμο RDQ-A προκύπτει με βασικό γνώμονα την αντιμετώπιση της μεταβολής στο δίκτυο που έχει αρνητική επίδραση στις προσφερόμενες υπηρεσίες. Το γεγονός ότι χρειάζεται να βρεθεί σύντομα αυτή η λύση, έχει ως αποτέλεσμα να μην εκμεταλλεύεται στο έπακρο τις δυνατότητες του δικτύου και των φυσικών πόρων που διατίθενται τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Έτσι κρίνεται απαραίτητο να αναπτυχθεί ένας καινούριος αλγόριθμος βελτιστοποίησης ο οποίος θα είναι σε θέση να αποδώσει στους χρήστες ποιότητα υπηρεσιών ανάλογη με αυτή που αντιστοιχεί στο προφίλ τους. Μετά την πρώτη ανάθεση που προκύπτει από τον αλγόριθμο

βελτιστοποίησης RDQ-A κάποιοι χρήστες ανατίθενται σε τεχνολογία UMTS και οι υπόλοιποι σε κάποια τεχνολογία με OFDM πρόσβαση, όπως WiMAX, LTE και IEEE 802.11. Η περαιτέρω βελτιστοποίηση που θα πραγματοποιεί ο καινούριος αλγόριθμος θα αφορά τους χρήστες οι οποίοι έχουν ανατεθεί σε OFDM τεχνολογία πρόσβασης, καθώς σε αυτή την περίπτωση μπορεί να γίνει περαιτέρω βελτίωση με την ανάθεση συγκεκριμένου αριθμού φερόντων σε κάθε χρήστη με κριτήριο το προφίλ του και τις συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο τη δεδομένη στιγμή.

Στις ακόλουθες υποενότητες παρουσιάζονται πέντε υποψήφιοι DSA αλγόριθμοι για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης που αναλύεται από τις σχέσεις (4.1 – 4.7). Οι πρώτοι τέσσερις αλγόριθμοι που θα παρουσιάσουμε λαμβάνουν υπόψη τους μόνο το *context*, εν αντιθέσει με τον τελευταίο αλγόριθμο (CPP-DSA) που λαμβάνει υπόψη και επιπλέον δεδομένα, όπως τα προφίλ και την πολιτική των παρόχων.

4.8.1 Αλγόριθμος Hungarian

Αυτός ο αλγόριθμος βασίζεται στη μέθοδο Hungarian [15][16]. Η μέθοδος αυτή στοχεύει στην επίλυση ενός γενικού προβλήματος ανάθεσης. Συγκεκριμένα, καταφέρνει να επιλύσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το πρόβλημα της ανάθεσης n εργασιών σε n εργάτες σε πολυωνυμικό χρόνο. Για να επιτευχθεί αυτό πραγματοποιούνται υπολογισμοί σε ένα μη αρνητικό πίνακα $n \times n$, όπου το στοιχείο στην i γραμμή και στην j στήλη αντιστοιχούν στο κόστος της ανάθεσης της j εργασίας στον i εργάτη. Ο στόχος είναι η εύρεση μίας ανάθεσης των εργασιών στους εργάτες κατά τρόπο που να εξασφαλίζεται πως το κόστος θα είναι το μικρότερο δυνατό και η απόδοση η μέγιστη δυνατή.

Αυτές οι ιδιότητες της *Hungarian* μεθόδου μπορούν να υιοθετηθούν και για την επίλυση του υπό μελέτη προβλήματός μας, καθώς θα προέκυπτε η βέλτιστη ανάθεση φερόντων σε υπηρεσίες. Αναλυτικότερα, θεωρούμε για είσοδο στη μέθοδο ένα πίνακα $N \times K$, όπου N ο αριθμός των υπηρεσιών και K ο αριθμός των φερόντων, με κάθε στοιχείο του πίνακα να αντιστοιχεί στην εκτιμώμενη τιμή του SNR για μία συγκεκριμένη υπηρεσία (γραμμή) και φέρον (στήλη), αντίστοιχα. Ο στόχος του αλγορίθμου είναι να εντοπίσει την καταλληλότερη ανάθεση φερόντων

στις υπηρεσίες με σκοπό τη μεγιστοποίηση του αθροίσματος της μέσης τιμής του SNR . Η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου είναι $O(K^3)$ όπου K ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων φερόντων. Η βέλτιστη λύση που προκύπτει από τη μέθοδο *Hungarian* χρησιμοποιείται ως αναφορά για τις λύσεις που προκύπτουν από τους υπόλοιπους αλγορίθμους, των οποίων οι λύσεις δεν είναι βέλτιστες.

4.8.2 Αλγόριθμος *advanced Dynamic*

Ο δεύτερος υποψήφιος αλγόριθμος που θα μελετήσουμε είναι ο *advanced Dynamic Algorithm (aDA)* [10]. Ο μη-βέλτιστος αλγόριθμος *aDA* βασίζεται στις προτεραιότητες (*priorities*) και στα βάρη (*weights*) για την ανάθεση των φερόντων. Συγκεκριμένα, αναθέτει τα φέροντα με καλύτερη ποιότητα στα τερματικά με την υψηλότερη προτεραιότητα. Το βάρος ενός φέροντος εκφράζει το πόσο καλά θα χρησιμοποιηθεί από άλλα τερματικά με χαμηλότερη προτεραιότητα από αυτή του τερματικού που έγινε τελικά η ανάθεση. Ο αλγόριθμος τελειώνει τις εργασίες του όταν ανατεθεί σε όλες τις υπηρεσίες από ένα φέρον. Η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου είναι $O(K \times K \times \log(N))$, καθώς η πολυπλοκότητα της ταξινόμησης των N υπηρεσιών είναι $N \times \log(N)$ και πραγματοποιείται για K φέροντα.

4.8.3 Αλγόριθμος *Basic-CPP-DSA*

Ο αλγόριθμος *Basic-CPP-DSA (B-CPP-DSA)* λαμβάνει υπόψη μόνο τα δεδομένα από το *context*. Η επιλογή της επόμενης υπηρεσίας όπου θα ανατεθεί ένα φέρον, βασίζεται στη μέση τιμή του SNR για όλα τα διαθέσιμα φέροντα για αυτή την υπηρεσία. Ο αλγόριθμος επιλέγει την υπηρεσία με τη μικρότερη μέση τιμή του SNR , έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι υπηρεσίες με λιγότερα διαθέσιμα φέροντα θα επιλεχθούν πρώτα για ανάθεση, σε σχέση με τις υπόλοιπες υπηρεσίες. Μετά την επιλογή της επόμενης υπηρεσίας ο αλγόριθμος *B-CPP-DSA* επιλέγει το καταλληλότερο από όλα τα διαθέσιμα φέροντα για αυτή την υπηρεσία. Η επιλογή βασίζεται στην ελάχιστη μέση τιμή SNR , αλλά σε αυτή την περίπτωση συνυπολογίζονται τα φέροντα που μπορούν να δώσουν το μέγιστο δυνατό ρυθμό μετάδοσης. Έτσι, η μέση τιμή SNR των φερόντων δεν προκύπτει από όλα τα φέροντα, αλλά μόνο από τα φέροντα που μπορούν να δώσουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Κάθε υπηρεσία στην οποία έχει ανατεθεί φέρον, βγαίνει εκτός της

λίστας ανάθεσης. Ο αλγόριθμος παύει τη λειτουργία του όταν σε όλες τις υπηρεσίες έχουν ανατεθεί φέροντα.

4.8.4 Αλγόριθμος *Max-SNR*

Σε αυτό τον αλγόριθμο επιλέγεται το φέρον και η αντίστοιχη υπηρεσία με τη μέγιστη τιμή *SNR*. Ανατίθεται σε κάθε υπηρεσία από ένα φέρον και ο αλγόριθμος σταματά όταν όλα τα φέροντα ανατεθούν στις υπηρεσίες. Η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου είναι $O(K \times N)$ διότι πρέπει να γνωρίζουμε για κάθε υπηρεσία το φέρον που της αποδίδει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης. Ο σκοπός του αλγορίθμου είναι να ανατεθεί το κάθε φέρον στην υπηρεσία που θα γίνει η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευσή του. Εκ πρώτης όψεως φαίνεται μία πολύ λογική διαδικασία, αλλά στην πραγματικότητα παρατηρείται έλλειψη δικαιοσύνης στον τρόπο που γίνεται η ανάθεση. Χαρακτηριστικά, υποθέτουμε πως η υπηρεσία s_1 μπορεί να εξυπηρετηθεί από φέροντα χαμηλής ποιότητας αλλά και από ένα φέρον A μεσαίας ποιότητας. Επιπλέον, υποθέτουμε πως η υπηρεσία s_2 μπορεί να εξυπηρετηθεί από διάφορα φέροντα υψηλής ποιότητας όπως και από το φέρον A που για αυτή την υπηρεσία αντιστοιχεί με την υψηλότερη μέση τιμή του *SNR*. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο αλγόριθμος *Max-SNR* θα αναθέσει το φέρον A στην υπηρεσία s_2 αντί της υπηρεσίας s_1 , παρόλο που η υπηρεσία s_2 μπορεί να εξυπηρετηθεί εξίσου ικανοποιητικά και από άλλα φέροντα, ενώ για την υπηρεσία s_1 αποτελεί τη μοναδική επιλογή για να εξυπηρετηθεί με τη μέγιστο δυνατό επίπεδο ποιότητας.

4.8.5 Αλγόριθμος *CPP-DSA*

Ο στόχος του αλγορίθμου *CPP-DSA* παραμένει ίδιος με αυτό της βασικής έκδοσης του αλγορίθμου (*B-CPP-DSA*), με τη διαφορά να εντοπίζεται στον αριθμό των διαθέσιμων προς ανάθεση φερόντων. Αναλυτικότερα, στον αλγόριθμο *CPP-DSA* ο αριθμός των διαθέσιμων φερόντων είναι μεγαλύτερος από αυτό των ενεργών υπηρεσιών, ενώ χρησιμοποιείται μεγαλύτερος όγκος πληροφοριών, όπως για το προφίλ των χρηστών και της πολιτικής του παρόχου, για τη λήψη της τελικής απόφασης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ανατίθενται περισσότερα του ενός φέροντα σε μία υπηρεσία όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο. Ο αλγόριθμος τερματίζει τη λειτουργία του είτε όταν καλυφθούν όλες οι

υπηρεσίες με τους απαιτούμενους πόρους, είτε όταν δεσμευτούν όλοι οι απαιτούμενοι πόροι για να ικανοποιήσουν τις ενεργές υπηρεσίες. Τα βήματα που ακολουθούνται κατά τη λειτουργία του αλγορίθμου είναι τα εξής :

Βήμα 1^ο. Υπολογισμός μέσης τιμής του SNR των υπηρεσιών.

Για κάθε υπηρεσία υπολογίζεται η μέση τιμή του SNR, μέσω των διαθέσιμων φερόντων για αυτή την υπηρεσία. Θεωρείται πως υπηρεσίες με χαμηλό επίπεδο SNR αντιμετωπίζουν άσχημες συνθήκες, όσον αφορά την ποιότητα των φερόντων που τους ανατέθηκαν. Προκύπτει πως η υπηρεσία στην οποία θα γίνει πρώτα η ανάθεση, θα έχει τη μικρότερη τιμή SNR.

Βήμα 2^ο. Εύρεση του σετ των φερόντων με τον υψηλότερο ρυθμό διαμόρφωσης.

Δεδομένου ότι έχει επιλεγθεί η υπηρεσία στην οποία θα γίνει η επόμενη ανάθεση, ο αλγόριθμος θα επιλέξει ένα φέρον που μπορεί να παρέχει υψηλό ρυθμό μετάδοσης. Βασίζόμενοι στις τιμές SNR των φερόντων, δημιουργείται ένα υποσύνολο με τα φέροντα με τον υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης.

Βήμα 3^ο. Υπολογισμός της μέσης τιμής του SNR για τα φέροντα ενός υποσυνόλου.

Με δεδομένο το υποσύνολο που περιέχει τα φέροντα που είναι ικανά να παρέχουν τον υψηλότερο δυνατό ρυθμό μετάδοσης, ο αλγόριθμος υπολογίζει τη μέση τιμή του SNR για κάθε ένα από τα φέροντα του υποσυνόλου. Η μέση τιμή του SNR για ένα φέρον υπολογίζεται από τις τιμές του SNR του φέροντος για όλες τις υπηρεσίες που δεν τους έχει γίνει ακόμη ανάθεση.

Βήμα 4^ο. Επιλογή του φέροντος με τη μικρότερη μέση τιμή SNR.

Το φέρον με τη μικρότερη μέση τιμή του SNR θεωρείται πως είναι το φέρον του οποίου η επιλεγμένη υπηρεσία θα εκμεταλλευτεί πλήρως τις δυνατότητές του σε σχέση με τις υπόλοιπες υπηρεσίες που δεν τους έχει ανατεθεί ακόμη κάποιο

φέρον. Αυτό το φέρον είναι υποψήφιο προς ανάθεση για την επιλεγμένη υπηρεσία.

Βήμα 5^ο. Επίτευξη του ρυθμού μετάδοσης.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα φέροντα που έχουν ανατεθεί στην επιλεγμένη υπηρεσία και το υποψήφιο προς ανάθεση φέρον, υπολογίζεται ο ρυθμός μετάδοσης της υπηρεσίας. Σε περίπτωση που ο εκτιμώμενος ρυθμός μετάδοσης υπερβαίνει το στόχο για τη συγκεκριμένη υπηρεσία, ο αλγόριθμος μεταβαίνει στο βήμα 6, διαφορετικά στο βήμα 7.

Βήμα 6^ο. Ανάθεση του υποψήφιου φέροντος στην επιλεγμένη υπηρεσία και απομάκρυνση της υπηρεσίας από τη λίστα.

Καθώς ο εκτιμώμενος ρυθμός μετάδοσης της υπηρεσίας υπερβαίνει το στόχο, το υποψήφιο φέρον θα πρέπει να ανατεθεί μόνιμα στην επιλεγμένη υπηρεσία. Επιπροσθέτως, η συγκεκριμένη υπηρεσία θα πρέπει να απομακρυνθεί από τη λίστα των υπό ανάθεση υπηρεσιών.

Βήμα 7^ο. Ανάθεση φέροντος στην επιλεγμένη υπηρεσία.

Όταν ο εκτιμώμενος ρυθμός μετάδοσης είναι μικρότερος του στόχου θα πρέπει να ανατεθεί το υποψήφιο φέρον στην υπηρεσία και να γίνει εκ νέου έλεγχος στα εναπομείναντα φέροντα για περαιτέρω ανάθεση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΟΝΤΟΤΗΤΑ DSNPM

5.1 Εισαγωγή

Η μετάβαση στις ασύρματες επικοινωνίες της *B3G* εποχής, καλείται να ικανοποιήσει ένα σύνολο από αυστηρές προδιαγραφές, όπως την επίτευξη υψηλού *QoS* (*Quality of Service*) και χρησιμοποίησης των πόρων, καθώς και ελάχιστο χρόνο για τη λήψη αποφάσεων. Ως εκ τούτου κρίνεται απαραίτητη και η αναβάθμιση των συστημάτων διαχείρισης. Συγκεκριμένα, η διαχείριση ενός ευμετάβλητου δικτυακού περιβάλλοντος απαιτεί ευφυείς τεχνικές διαχείρισης, ικανές να εκμεταλλευθούν όσο το δυνατό καλύτερα τους διαθέσιμους πόρους. Πρώτον, η διαχείριση πρέπει να είναι σε θέση να εκμεταλλευτεί το ευμετάβλητο τοπίο, όπως τη διαθεσιμότητα διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης, *RATs*. Δεύτερον, η διαχείριση πρέπει να γίνεται με κατανομημένο τρόπο, έτσι ώστε να είναι γρήγορη, αξιόπιστη και κλιμακωτή. Τρίτον, η διαχείριση θα πρέπει να εφοδιαστεί με γνωσιακές ικανότητες δικτύωσης, έτσι ώστε να επιλέγει δυναμικά τη διάρθρωση του δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη το *context*, τις πολιτικές, τα προφίλ και τις γνωσιακές ικανότητες.

Με βάση τα προηγούμενα, αναπτύχθηκε μία Λειτουργική Αρχιτεκτονική (*FA*, *Functional Architecture*) για την αποτελεσματική διαχείριση του ραδιοδικτύου στα μελλοντικά συστήματα ασύρματων επικοινωνιών.

5.2 Απαιτήσεις για τη διαχείριση και λειτουργία του ελέγχου

Η διαφορετικότητα των ασύρματων υποδομών και η παροχή βελτιωμένων εφαρμογών συντελεί στην αύξηση της πολυπλοκότητας στη διαχείριση και τον

έλεγχο των B3G συστημάτων. Οι απαιτήσεις που θα πρέπει να ικανοποιήσει η λειτουργική αρχιτεκτονική είναι οι εξής :

- Προσωποποίηση, ώστε να εξυπηρετούνται διάφορες κατηγορίες χρηστών.
- Υποστήριξη καθολικού computing, με την ύπαρξη αισθητήρων και WLAN σε όλη την περιοχή που δραστηριοποιείται ο πάροχος.
- Συνεχή επίβλεψη του context, για την αποτελεσματική διαχείριση πολλών δυναμικών αλλαγών και ενίοτε απρόβλεπτων καταστάσεων.
- Αδιάλειπτη παροχή υπηρεσιών, με αποτέλεσμα οι χρήστες να μην αντιλαμβάνονται την διαφορετικότητα των υποδομών μέσω των οποίων εξυπηρετούνται.
- Συνεργασία με εναλλακτικές RAT και παρόχους για την επίτευξη του στόχου της καλύτερης δυνατής συνδεσιμότητας.
- Κλιμάκωση (*scalability*) για την αντιμετώπιση των συχνών επικλήσεων της λειτουργικότητας, λόγω των αλλαγών στο context

5.3 Δομή της λειτουργικής αρχιτεκτονικής

Οι προαναφερόμενες απαιτήσεις για τη διαχείριση και τον έλεγχο των B3G υποδομών συντελεί σε ένα σετ λειτουργιών που θα πρέπει να υποστηρίζει η FA και είναι οι εξής :

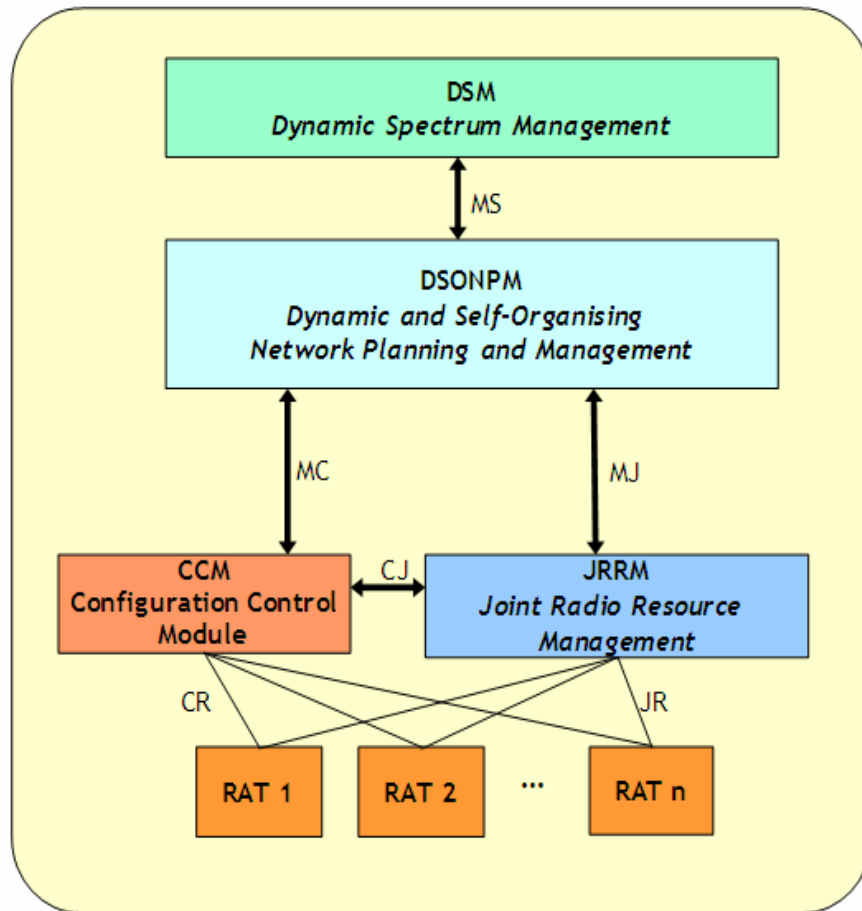
- Λειτουργία απόκτησης του *context*, έτσι ώστε να επιβλέπεται συνεχώς το *context*.
- Διαχείριση των προφίλ για να υποστηρίξει τις απαιτήσεις για προσωποποίηση και καθολικό computing.
- Λήψη αποφάσεων για την παροχή της καλύτερης δυνατής συνδεσιμότητας.

- Συνεργασία ανάμεσα σε διαφορετικές τεχνολογίες και παροχή συνδεσιμότητας με αδιάλειπτο τρόπο.
- Απόκτηση γνώσης βασισμένη σε λειτουργίες εκμάθησης, ιδανικές για να μπορέσει να ανταποκριθεί στην υψηλή πολυπλοκότητα.

Με βάση τα προηγούμενα η προτεινόμενη Λειτουργική Αρχιτεκτονική αποτελεί τη μίξη διαφορετικών μηχανισμών διαχείρισης όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 5.1. Οι διαφορετικοί μηχανισμοί παρουσιάζονται στην εικόνα 5.1 σαν ξεχωριστά λειτουργικά μπλοκ. Αναλυτικότερα, περιλαμβάνονται τα μπλοκ :

1. *Dynamic Self-Organizing Planning and Management (DSO-NPM)*
2. *Dynamic Spectrum Management (DSM)*
3. *Joint Radio Resources Management (JRRM)*
4. *Configuration Control Module (CCM)*

Κάθε ένα από τα μπλοκ ανταποκρίνεται σε μία διαφορετική οικογένεια σεναρίων φορτίου και χρησιμοποίησης, ενώ εξαρτώνται από το φάσμα, τη ζήτηση και το χρόνο. Στο επίπεδο της διαχείρισης, το *DSM* παρέχει μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες συμβουλές για το διαθέσιμο εύρος φάσματος. Το *DSO-NPM* ανταποκρίνεται στη μεσοπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη διαχείριση των αναδιαρθρώσιμων στοιχείων του δικτύου. Στο επίπεδο του ελέγχου, το *JRRM* εκμεταλλεύεται βραχυπρόθεσμα αυτή την πληροφορία με σκοπό να βελτιστοποιήσει τις αποφάσεις του *DSO-NPM* ακολουθώντας τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη ξεχωριστά. Στο τελικό στάδιο το *CCM* εφαρμόζει όλες τις αποφάσεις. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται λεπτομερέστερα τα μπλοκ.

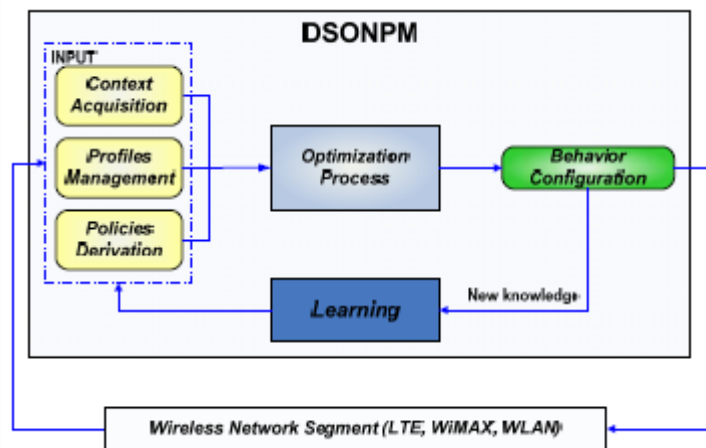


Εικόνα 5.1 Επισκόπηση της Λειτουργικής Αρχιτεκτονικής (*Functional Architecture*).

5.3.1 Dynamic Self-Organized Network Planning and Management - DSONPM

Ο αντικειμενικός σκοπός του DSONPM είναι η λήψη μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων αποφάσεων για τις ενέργειες αναδιάρθρωσης που απαιτούνται στο δίκτυο με γνώμονα συγκεκριμένα δεδομένα εισόδου και πολιτικές του παρόχου, εφαρμόζοντας τεχνικές βελτιστοποίησης, βελτιωμένες με βάση κάποια γνωσιακά ιδιοχαρακτηριστικά..

Ο τρόπος με τον οποίο εισάγονται τα δεδομένα στο μηχανισμό διαχείρισης και το είδος της πληροφορίας που περιλαμβάνουν περιγράφηκε αναλυτικά στην παράγραφο 4.2.



Εικόνα 5.2 Σύνοψη του DSONPM.

Όσον αφορά τις αποφάσεις του *DSONPM*, έχουν ως στόχο την εύρεση της καλύτερης δυνατής διάρθρωσης του δικτύου η οποία μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στα εξής επίπεδα :

- *Επίπεδο εφαρμογών* : Εγγυημένο επίπεδο QoS στις εφαρμογές.
- *Επίπεδο δικτύου* : Κατανομή του τηλεπικοινωνιακού φορτίου σε συγκεκριμένους πομποδέκτες και αντίστοιχες τεχνολογίες πρόσβασης.
- *Φυσικό επίπεδο* : Αριθμός των στοιχείων του δικτύου που θα λάβουν μέρος στην τελική απόφαση, οι RAT που θα ενεργοποιηθούν, η επιλογή φάσματος και οι παράμετροι για τη διάρθρωση κάθε RAT.

Όπως βλέπουμε και στην εικόνα 5.2 μετά την είσοδο των δεδομένων ακολουθεί η διαδικασία βελτιστοποίησης (*Optimization process*). Σε αυτό το στάδιο η διαδικασία βελτιστοποίησης αξιοποιεί τις δυνατότητες των RAT όσον αφορά το ρυθμό μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί και την κάλυψη, έτσι ώστε να παράσχει στους χρήστες το μέγιστο δυνατό επίπεδο QoS. Για να το πετύχει αυτό εξετάζονται διάφορες προσεγγίσεις. Μία από αυτές θα μπορούσε να είναι η εύρεση της βέλτιστης διάρθρωσης, η οποία μεγιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση, που λαμβάνει υπόψη της την ικανοποίηση του χρήστη που προκύπτει

από τα επίπεδα QoS που του παρέχονται, το κόστος παροχής των υπηρεσιών και το κόστος αναδιάρθρωσης [2].

Επίσης, όπως βλέπουμε και στην εικόνα 5.2, το *DSO-NPM* ενισχύεται με χαρακτηριστικά που προκύπτουν μέσω της «μάθησης», αποδίδοντάς του γνώση και εμπειρία. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να αφορούν την απόκτηση του context (η ικανότητα να αναγνωρίζει προηγούμενες καταστάσεις και λύσεις), τη διαχείριση των προφίλ (κάποιες κατηγορίες χρηστών μπορεί να εξυπηρετούνται καλύτερα από μία συγκεκριμένη RAT) και τον καθορισμό της πολιτικής του παρόχου (αποθήκευση των πολιτικών του παρόχου και εκμετάλλευσή τους σε μελλοντικές καταστάσεις). Η γνώση και η εμπειρία μπορεί να βοηθήσει το *DSO-NPM* να προβλέψει προβλήματα και να δράσει προληπτικά για την επίλυσή τους.

5.3.2 Dynamic Spectrum Management - DSM

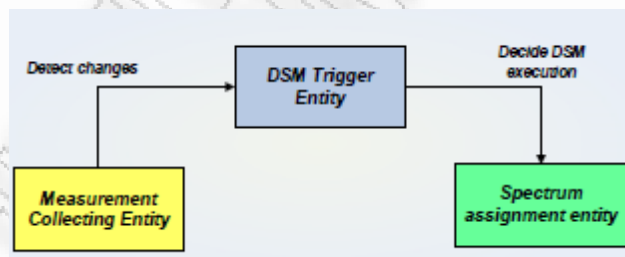
Το λειτουργικό μπλοκ *DSM* επιστρατεύεται σε ενέργειες που αφορούν τη μεσοπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη διαχείριση του φάσματος στα αναδιαρθρώσιμα συστήματα. Οι βασικές του αρμοδιότητες είναι :

- Αποτίμηση της εκμετάλλευσης του φάσματος.
- Εντοπισμός διαθέσιμου φάσματος για ανάθεση και καταμερισμό του φάσματος.
- Παροχή μίας ικανής ποσότητας του φάσματος στις τεχνολογίες πρόσβασης, βασιζόμενο στην εκτίμηση για την εκμετάλλευση του φάσματος και των παραμέτρων του συστήματος.

Θα πρέπει να τονιστεί πως διαχείριση που γίνεται από το *DSM* είναι κεντρική, καθώς τοποθετείται σε κάποιο κόμβο που ελέγχει αρκετά στοιχεία του δικτύου. Οι οντότητες που χρησιμοποιούνται και συμβαδίζουν με όλες τις προηγούμενες απαιτήσεις είναι :

1. Η οντότητα της συλλογής των μετρήσεων, υπεύθυνη για τη συγκέντρωση των μετρήσεων από τους διάφορους κόμβους, όπως τα τερματικά και τις κυψέλες, που βρίσκονται σε ετερογενές περιβάλλον.
2. Η οντότητα που ενεργοποιεί το DSM, η οποία είναι υπεύθυνη για τον εντοπισμό των αλλαγών στην κατανομή του φορτίου και για να πάρει την απόφαση για τη στιγμή που θα πρέπει να εκτελεστεί ο αλγόριθμος ανάθεσης.
3. Η οντότητα ανάθεσης του φάσματος, η οποία είναι υπεύθυνη για την επιλογή του μεριδίου του φάσματος που θα αποδοθεί σε κάθε τεχνολογία πρόσβασης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αναδιάρθρωσης.

Στην εικόνα 5.3 παρουσιάζεται γραφικά η απεικόνιση και η συσχέτιση των τριών οντοτήτων.



Εικόνα 5.3 DSM module approach.

5.3.3 Joint Radio Resource Management - JRRM

Ο αντικειμενικός σκοπός του μπλοκ JRRM είναι η συνδυαστική διαχείριση των πόρων του ραδιοδικτύου που ανήκουν σε ετερογενείς τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης. Συγκεκριμένα οι κύριες λειτουργίες είναι οι εξής :

1. Επιλογή πρόσβασης, όπου ουσιαστικά επιλέγεται η καλύτερη ράδιο πρόσβαση για μία κινητή τερματική συσκευή βασιζόμενη στο απαιτούμενο QoS (φάσμα, μέγιστη καθυστέρηση), στις συνθήκες

του ραδιοδικτύου, στην κατάσταση του δικτύου πρόσβασης, στις προτιμήσεις του χρήστη και στην πολιτική του παρόχου.

2. Παροχή πληροφόρησης για τους γείτονες για την αποτελεσματική εύρεση διαθέσιμων σημείων πρόσβασης. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει και πληροφορίες για την τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης, την τοποθεσία της κυψέλης και άλλων δυναμικών στοιχείων.
3. Έλεγχος της ανάθεσης του φάσματος ως προς το QoS.
4. Παροχή των οδηγιών και περιορισμών της διαχείρισης των διαθέσιμων πόρων.

Το JRRM είναι ένα λειτουργικό μπλοκ που είναι γενικώς καταναμημένο ανάμεσα στο δίκτυο και τις τερματικές συσκευές. Από την πλευρά του δικτύου, το JRRM συλλέγει πληροφορίες για τη χωρητικότητα, το φορτίο και την κατάσταση διάφορων κυψελών μέσω μίας ενοποιημένης διεπιφάνειας των υποκείμενων τεχνολογιών πρόσβασης, όπως θα φανεί και παρακάτω. Από την πλευρά του τερματικού, το JRRM έχει επίγνωση της κατάστασης των ενεργών συνδέσεων όσον αφορά το ραδιοδίκτυο. Μετά την αποστολή της πληροφορίας για την κατάσταση του ραδιοδικτύου και το απαιτούμενο QoS, το δίκτυο αποφασίζει τι είδους πρόσβαση θα χρησιμοποιηθεί και αποστέλλει εντολή μεταπομπής στις τερματικές συσκευές. Εναλλακτικά το JRRM στην πλευρά του δικτύου μπορεί να παρέχει στα τερματικά τις ισχύουσες πολιτικές προσδιορίζοντας έτσι το πότε θα γίνεται χρήση των διαθέσιμων προσβάσεων. Επιπροσθέτως, το JRRM στην πλευρά του τερματικού αποφασίζει για την αρχική επιλογή του τρόπου πρόσβασης (Idle – State Access Selection).

5.4 Περιγραφή Διεπιφανειών

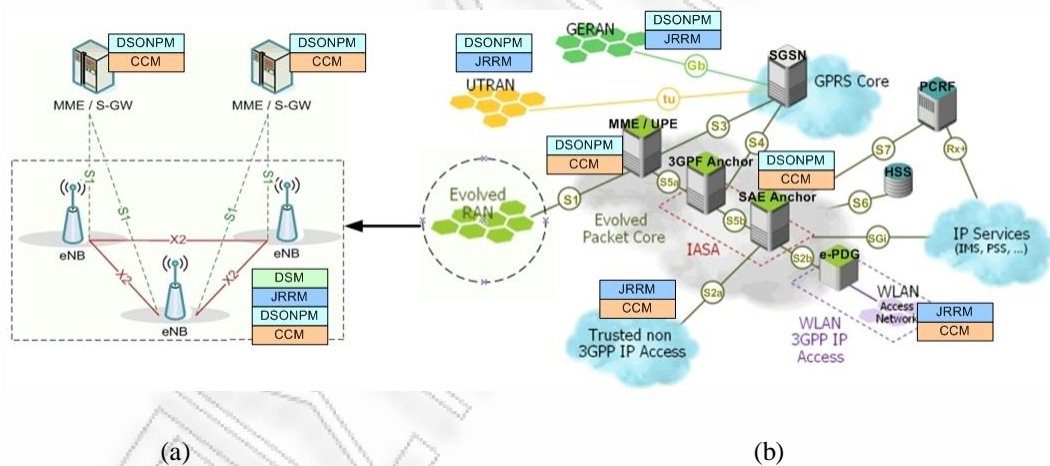
Μπορούμε να αντιληφθούμε τη λειτουργία της FA αν θωρήσουμε πως πραγματοποιείται μέσω της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των μπλοκ. Για να

πραγματοποιηθεί αυτό θεωρούμε την ύπαρξη διαφόρων διεπιφανειών, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.1. Αναλυτικότερα :

- MS είναι η διεπιφάνεια ανάμεσα στα DSONPM – DSM. Μέσω της διεπιφάνειας MS, το DSM μπορεί να παρέχει στο DSONPM το ποσοστό του διαθέσιμου φάσματος για τις διάφορες RAT, καθώς και το κόστος της παροχής μίας υπηρεσίας.
- MC είναι η διεπιφάνεια ανάμεσα στα DSONPM – CCM. Μέσω αυτής της διεπιφάνειας το DSONPM παρέχει στο CCM πληροφορίες για τη διάρθρωση των στοιχείων του δικτύου, όσον αφορά την τεχνολογία πρόσβασης, για το φάσμα στους διαθέσιμους πομποδέκτες, καθώς και άλλες παραμέτρους.
- MJ είναι η διεπιφάνεια ανάμεσα στα DSONPM – JRRM. Το JRRM πληροφορεί το DSONPM για το τρέχων context.
- JR είναι η διεπιφάνεια ανάμεσα στα JRRM – RAT. Το JRRM πληροφορείται μέσω της διεπιφάνειας JR για παραμέτρους του συστήματος, όπως την απόδοση των ζεύξεων, καθώς και πληροφόρηση για την χωρητικότητα της κυψέλης και το τρέχων τηλεπικοινωνιακό φορτίο.
- CJ είναι η διεπιφάνεια ανάμεσα στα CCM – JRRM. Το JRRM παρέχει στο CCM όλη την απαραίτητη πληροφόρηση για την εφαρμογή της αναδιάρθρωσης σε επίπεδο ελέγχου, ακολουθώντας τις αποφάσεις του JRRM.
- CR είναι η διεπιφάνεια ανάμεσα στα CCMM – RAT. Αυτή η διεπιφάνεια χρησιμοποιείται για την πληροφόρηση μέσω διαφόρων RAT, έτσι ώστε να υπακούει στην εφαρμογή της αναδιάρθρωσης σε επίπεδο ελέγχου από το CCM.

5.5 Απεικόνιση της λειτουργικής αρχιτεκτονικής για LTE

Στην εικόνα 5.4 απεικονίζεται η αρχιτεκτονική του δικτύου LTE. Το Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) αποτελείται από εξελιγμένα Node-Bs (eNBs), καθώς κάθε eNB είναι ενωμένο με το Evolved Packet Core (EPC) δίκτυο, μέρη του οποίου είναι η οντότητα Mobility Management Entity – MME και το Serving Gateway – S-GW. Ο στόχος του MME είναι να επιβλέπει τις τάσεις μετακίνησης που προκύπτουν από το περιβάλλον και να τα παρέχει στις οντότητες διαχείρισης και ελέγχου, ενώ το S-GW είναι υπεύθυνο για να παρέχει πρόσβαση στις δικτυακές υπηρεσίες. Επιπροσθέτως, τα eNB της τεχνολογίας LTE αναλαμβάνουν αρκετές λειτουργίες διαχείρισης του ραδιοδικτύου.



Εικόνα 5.4 Μία πιθανή χαρτογράφηση της (a) Αρχιτεκτονικής του δικτύου LTE (b) Αρχιτεκτονικής του συστήματος LTE.

Συνδυάζοντας τα δεδομένα της προηγούμενης παραγράφου και την εικόνα 5.4 προκύπτουν οι εξής αντιστοιχίες :

- Το DSM βρίσκεται στους eNBs για να είναι σε θέση να υπολογίσει την εκμετάλλευση του φάσματος και άλλες παραμέτρους του συστήματος.
- Το DSONPM βρίσκεται στους eNBs καθώς και σε στοιχεία μεγαλύτερου επιπέδου διαχείρισης στο δίκτυο όπως το MME, το S-GW και το Evolved Packet Core.

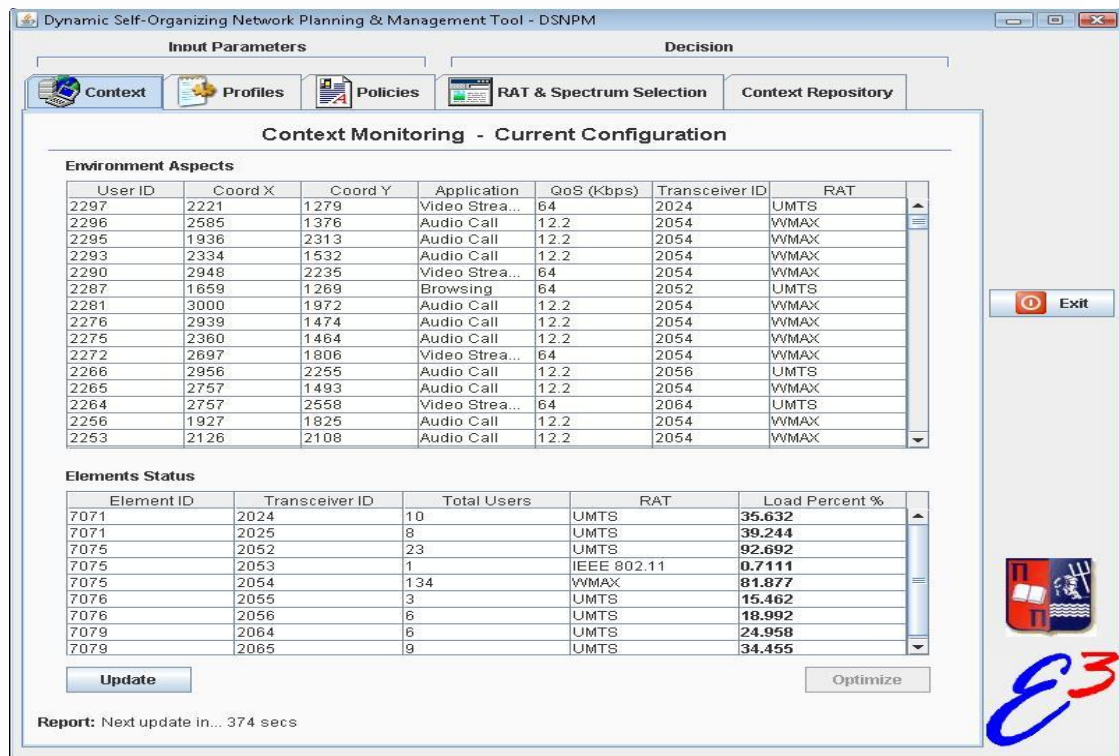
- Το JRRM κατανέμεται ανάμεσα σε κεντρικά στοιχεία ελέγχου του δικτύου και της υπόλοιπης αρχιτεκτονικής, με στόχο τη συλλογή πληροφοριών για τις ζεύξεις και την εκτίμηση της χωρητικότητας και άλλων παραμέτρων.
- Το CCM είναι απαραίτητο στους eNBs για την υλοποίηση των ενεργειών αναδιάρθρωσης. Επιπροσθέτως, το CCM χρειάζεται οπουδήποτε οι ενέργειες διαχείρισης και ελέγχου αποφασίζονται από το DSONPM και το JRRM, αντίστοιχα.

5.6 Οντότητα DSNPM

Όπως είδαμε και στην υποενότητα 5.3.1 ο αντικειμενικός σκοπός του DSONPM είναι η λήψη μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων αποφάσεων για τις ενέργειες αναδιάρθρωσης που απαιτούνται στο δίκτυο. Για να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις απαιτείται μία εφαρμογή η οποία θα λαμβάνει υπόψη της όλα τα απαραίτητα δεδομένα και με τους κατάλληλους αλγορίθμους της οντότητας διαχείρισης σύνθετων ασύρματων δικτύων, DSNPM, θα αποδίδει τη βέλτιστη δυνατή διάρθρωση με βάση τη συνάρτηση κόστους που αναφέραμε στη σχέση (4.9).

Η εφαρμογή που είχε αναπτυχθεί για να πετύχει τις συμβατικές υποχρεώσεις της οντότητας DSNPM και οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

Η αρχική έκδοση της εν λόγω εφαρμογής παρουσιάζεται στις εικόνες 5.5, 5.6 και 5.7 όπου απεικονίζονται πλέον σε διαφορετικές σελίδες (*tabs*), τα δεδομένα από μία περιοχή που αντιμετωπίζει δυσλειτουργία λόγω της αύξησης του φορτίου, που ουσιαστικά αποτελούν τα δεδομένα εισόδου για την οντότητα DSNPM. Η επίλυση στο συγκεκριμένο πρόβλημα θα λάβει υπόψη όλα τα στοιχεία που περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.2.



Εικόνα 5.5 Αρχική μορφή DSNPM.

Στο *Context Tab* παρουσιάζονται στον πρώτο πίνακα, για κάθε χρήστη οι συντεταγμένες της θέσης στην οποία βρίσκεται, η υπηρεσία την οποία επιθυμεί να χρησιμοποιήσει, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για τη συγκεκριμένη υπηρεσία, ο πομποδέκτης που θα εξυπηρετήσει το χρήστη και η *RAT* που θα χρησιμοποιηθεί. Στο δεύτερο πίνακα παρουσιάζονται οι κεραιές που θα κληθούν να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα, οι πομποδέκτες κάθε κεραιάς και οι χρήστες που θα εξυπηρετηθούν σε κάθε πομποδέκτη, η *RAT* κάθε πομποδέκτη και το ποσοστό του φορτίου που θα εξυπηρετήσει κάθε πομποδέκτης.

Στο *Profiles Tab*, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.6, παρουσιάζονται στον πρώτο πίνακα για κάθε κεραιά του δικτύου οι πομποδέκτες που της αναλογούν, οι συντεταγμένες της θέσης της, καθώς και οι ζώνες, μαζί με τις συχνότητες που τους αναλογούν, στις οποίες μπορούν να λειτουργήσουν. Οι πομποδέκτες μπορούν να λειτουργούν σε μία έως τρεις διαφορετικές ζώνες κάθε φορά και στο πρόβλημά μας οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι εξής :

- UMTS

- IEEE 802.11 b
- LTE

The screenshot shows the 'Profiles Setup' window with the following data:

Elements Profiles

Element...	Trans. ID	Coord. X	Coord. Y	UMTS bands	IEEE 802.11 b...	WMAX bands
7070	2020	840	550	1000/2000	2400	-
7070	2021	840	550	1000/2000/30...	2400/5000	-
7070	2022	840	550	1000/2000	24000/5000	-
7071	2023	2300	550	1000/2000	24000/5000	4000/5000/60...
7071	2024	2300	550	1000/2000/30...	24000/5000	4000/5000/60...
7071	2025	2300	550	1000/2000	24000/5000	4000/5000/60...
7072	2026	3800	550	1000/2000	2400/5000	4000/5000/60...
7072	2027	3800	550	1000/2000/30...	24000	4000/5000/60...
7072	2028	3800	550	1000/2000	24000/5000	4000/5000/60...
7073	2029	3350	550	1000/2000	2400/5000	4000/5000/60...

User Profiles

User ID	Application	Profile
0	Audio Call	VoiceProfile
0	Video Streaming	Medium
0	Browsing	Medium
1	Audio Call	VoiceProfile
1	Video Streaming	Medium
1	Browsing	Medium
2	Audio Call	VoiceProfile

Applications Profiles

Application	Profile Name	Max Throughput (Kbps)
Audio Call	VoiceProfile	12.2
Video Streaming	Basic	64
Video Streaming	Silver	512
Video Streaming	Gold	1024
Video Streaming	Medium	1.28

Εικόνα 5.6 Profiles Tab.

Στο δεύτερο πίνακα, παρουσιάζεται για κάθε χρήστη το προφίλ του για κάθε διαθέσιμη υπηρεσία, κάτι το οποίο εξαρτάται από το συμβόλαιο που θα έχει συνάψει ο κάθε χρήστης με τον εκάστοτε πάροχο που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο σύστημα διαχείρισης στο σύστημά του. Στα πλαίσια της εργασίας θεωρήσαμε πως τα διαθέσιμα προφίλ στα οποία μπορεί να εγγραφεί ο χρήστης είναι τα εξής :

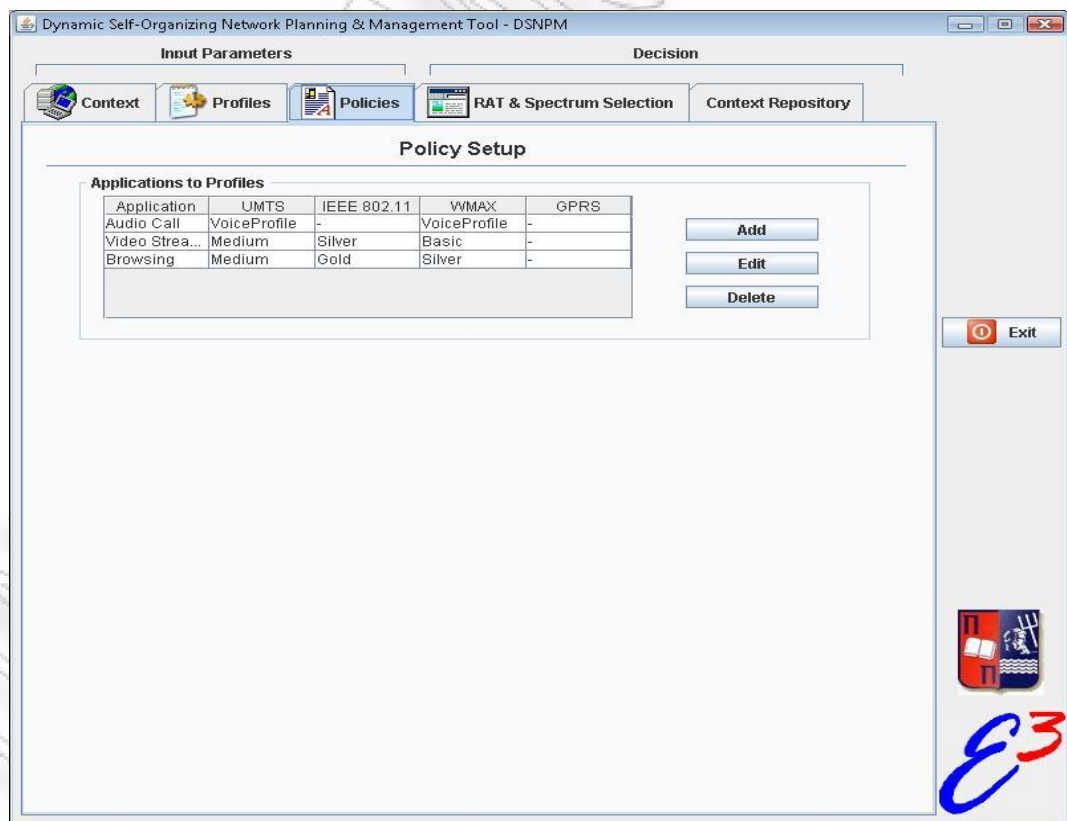
- Voice
- Silver
- Gold
- Medium
- Normal

- Bronze

ενώ οι διαθέσιμες υπηρεσίες είναι η υπηρεσία φωνής, η πλοήγηση στο internet και το βίντεο streaming. Τέλος, στον τρίτο πίνακα παρουσιάζεται ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί από τον πάροχο για κάθε υπηρεσία μετρούμενη σε kbps.

Στο *Policies Tab* παρουσιάζονται τα προφίλ που μπορεί να διαθέσει ο πάροχος ανάλογα με την υπηρεσία και την RAT, όπως φαίνεται και από την εικόνα 5.7.

Τέλος, στα δύο TABS όπου αποτυπώνονται τα αποτελέσματα, το *Rat & Spectrum Selection* και το *Context Repository*, εμφανίζονται τα αποτελέσματα αφότου πρώτα ολοκληρωθεί η επεξεργασία των δεδομένων από την εφαρμογή, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.10.



Εικόνα 5.7 Policies Tab.

5.7 Αρχή λειτουργίας DSNPM

Όταν το *DSNPM* μέσω της ανταλλαγής της απαραίτητης σηματοδοσίας που περιγράφεται στην παράγραφο 5.4 εντοπίσει πως σε κάποια περιοχή υπάρχει πρόβλημα με το φόρτο του δικτύου, θα κάνει μία πρώτη ανάθεση συχνοτήτων και *RAT* έτσι ώστε να αποσυμφορηθεί η κίνηση και να ικανοποιηθούν έστω και σε βασικό επίπεδο ποιότητας οι χρήστες. Αυτό γίνεται με την εντολή *Βελτιστοποίησης (Optimization)*, την οποία στα πλαίσια της εργασίας εκτελούμε εμείς, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.8.

Context Monitoring - Current Configuration

Environment Aspects

User ID	Coord X	Coord Y	Application	QoS (Kbps)	Transceiver ID	RAT
2296	3544	1962	Browsing	64	2056	UMTS
2289	3639	1386	Video Strea...	64	2056	UMTS
2287	4123	1933	Video Strea...	64	2056	UMTS
2270	3129	2128	Audio Call	12.2	2052	UMTS
2265	3734	1942	Video Strea...	64	2056	UMTS
2260	3587	2196	Video Strea...	64	2055	UMTS
2259	3847	1816	Video Strea...	64	2055	UMTS
2258	4028	1776	Video Strea...	64	2057	UMTS
2249	4400	1874	Video Strea...	64	2057	UMTS
2246	4193	2421	Browsing	64	2055	UMTS
2245	3596	2069	Audio Call	12.2	2057	UMTS
2241	4400	2567	Video Strea...	64	2067	UMTS
2222	4072	1503	Browsing	64	2028	UMTS
2220	3587	2167	Audio Call	12.2	2057	UMTS
2215	4227	1435	Video Strea...	64	2027	UMTS

Elements Status

Element ID	Transceiver ID	Total Users	RAT	Load Percent %
7072	2026	3	UMTS	15.462
7072	2027	7	UMTS	26.135
7072	2028	5	UMTS	17.816
7075	2052	1	UMTS	1.1767
7075	2054	1	UMTS	7.1428
7076	2055	29	UMTS	159.41
7076	2056	22	UMTS	121.34
7076	2057	27	UMTS	121.26
7080	2067	2	UMTS	14.285

Report: Next update in... 454 secs

Εικόνα 5.8 Ενεργοποίηση της διαδικασίας βελτιστοποίησης από το χρήστη όταν εμφανίζεται συμφόρηση σε κάποιο στοιχείο του δικτύου.

Αρχικά, πραγματοποιείται έλεγχος μέσω του αλγορίθμου CMA για να διασταυρωθεί αν το συγκεκριμένο context έχει παρουσιαστεί και στο παρελθόν, έτσι ώστε να αποσταλεί στο σύστημα ως επίλυση του προβλήματος, η λύση που είχε δοθεί και στην προηγούμενη περίπτωση. Αν δεν βρεθεί κάποια παλαιότερη

εγγραφή που να ταιριάζει με τις συνθήκες του τρέχοντος context, τότε ενεργοποιείται ο μηχανισμός εύρεσης λύσης με τον αλγόριθμο RDQ-A. Η λύση που προκύπτει μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου RDQ-A αποτυπώνεται στην εικόνα 5.9, όπου παρατηρούμε πως για το συγκεκριμένο παράδειγμα που φαίνεται στην εικόνα 5.8 γίνεται ανακατανομή των χρηστών στους πομποδέκτες της κεραίας που αντιμετωπίζει το πρόβλημα, καθώς και αλλαγή των RAT από UMTS-UMTS-UMTS σε LTE. Παρατηρούμε πως η συνολική κίνηση της κυψέλης εξυπηρετείται από ένα μόνο πομποδέκτη της κεραίας με *Id* 7076.

Environment Aspects

User ID	Coord X	Coord Y	Application	QoS (Kbps)	Transceiver ID	RAT
2296	3544	1962	Browsing	256	2055	LTE
2289	3639	1386	Video Strea...	128	2055	LTE
2287	4123	1933	Video Strea...	128	2055	LTE
2270	3129	2128	Audio Call	12.2	2052	UMTS
2265	3734	1942	Video Strea...	128	2055	LTE
2260	3587	2196	Video Strea...	128	2055	LTE
2259	3847	1816	Video Strea...	128	2055	LTE
2258	4028	1776	Video Strea...	128	2055	LTE
2249	4400	1874	Video Strea...	128	2055	LTE
2246	4193	2421	Browsing	256	2055	LTE
2245	3596	2069	Audio Call	12.2	2055	LTE
2241	4400	2567	Video Strea...	64	2067	UMTS
2222	4072	1503	Browsing	64	2028	UMTS
2220	3587	2167	Audio Call	12.2	2055	LTE
2215	4227	1435	Video Strea...	64	2027	UMTS

Elements Status

Element ID	Transceiver ID	Total Users	RAT	Load Percent %
7072	2026	3	UMTS	15.462
7072	2027	7	UMTS	26.135
7072	2028	5	UMTS	17.816
7075	2052	1	UMTS	1.1767
7075	2054	1	UMTS	7.1428
7076	2055	78	LTE	52.786
7080	2067	2	UMTS	14.285
7080	2068	2	UMTS	14.285
7080	2069	1	UMTS	7.1428

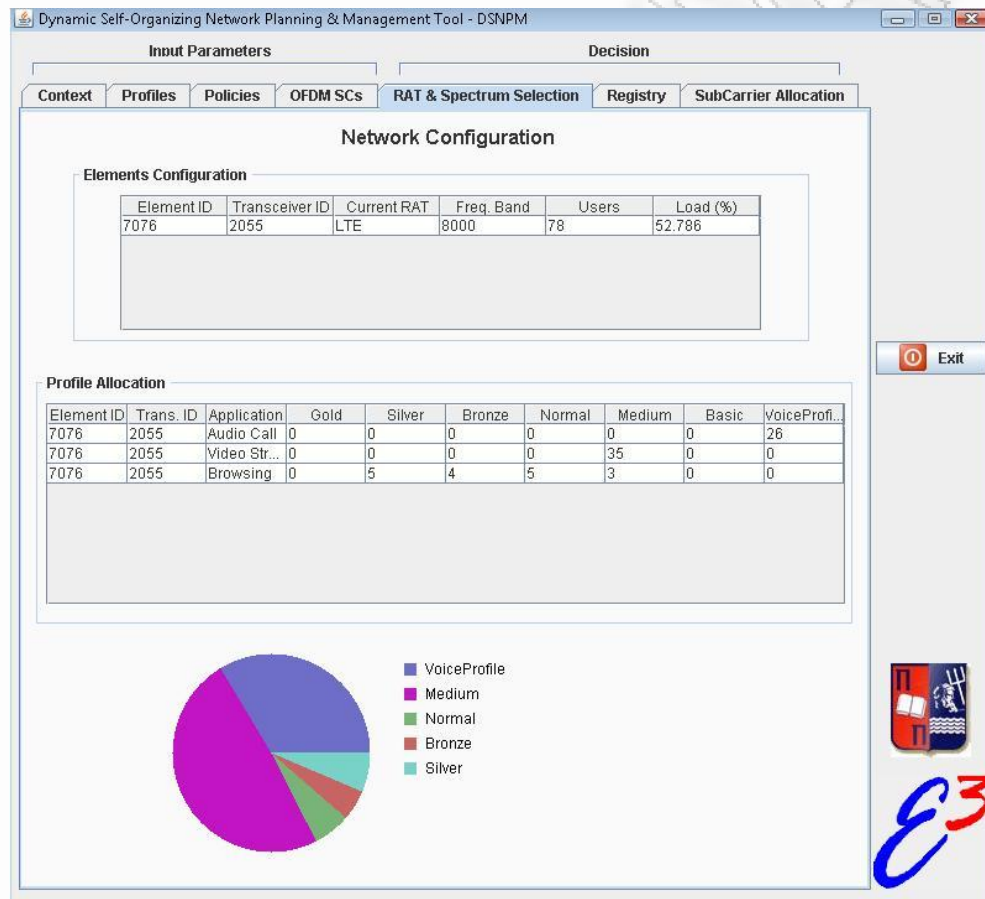
Report: Next update in... 172 secs

Εικόνα 5. 9 Πρώτη λύση που προκύπτει μέσω του αλγορίθμου RDQ-A.

Αφότου γίνει η επιλογή των πομποδεκτών και πραγματοποιηθεί η βελτιστοποιημένη ανάθεση, στο tab «*RAT & Spectrum Selection*» παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάθεσης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.10. Εδώ γίνεται μία αναλυτικότερη απεικόνιση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου μετά την πρώτη

ανάθεση παρουσιάζοντας σε κάθε πομποδέκτη αναλυτικά όλες τις παρεχόμενες υπηρεσίες και τα προφίλ στα οποία αντιστοιχούν.

Στο Registry Tab παρουσιάζονται οι εγγραφές που σύμφωνα με τα κριτήρια του αλγορίθμου CMA, πληρούν τις προϋποθέσεις ώστε να θεωρηθεί πως έχουν παρουσιαστεί ξανά στο παρελθόν.



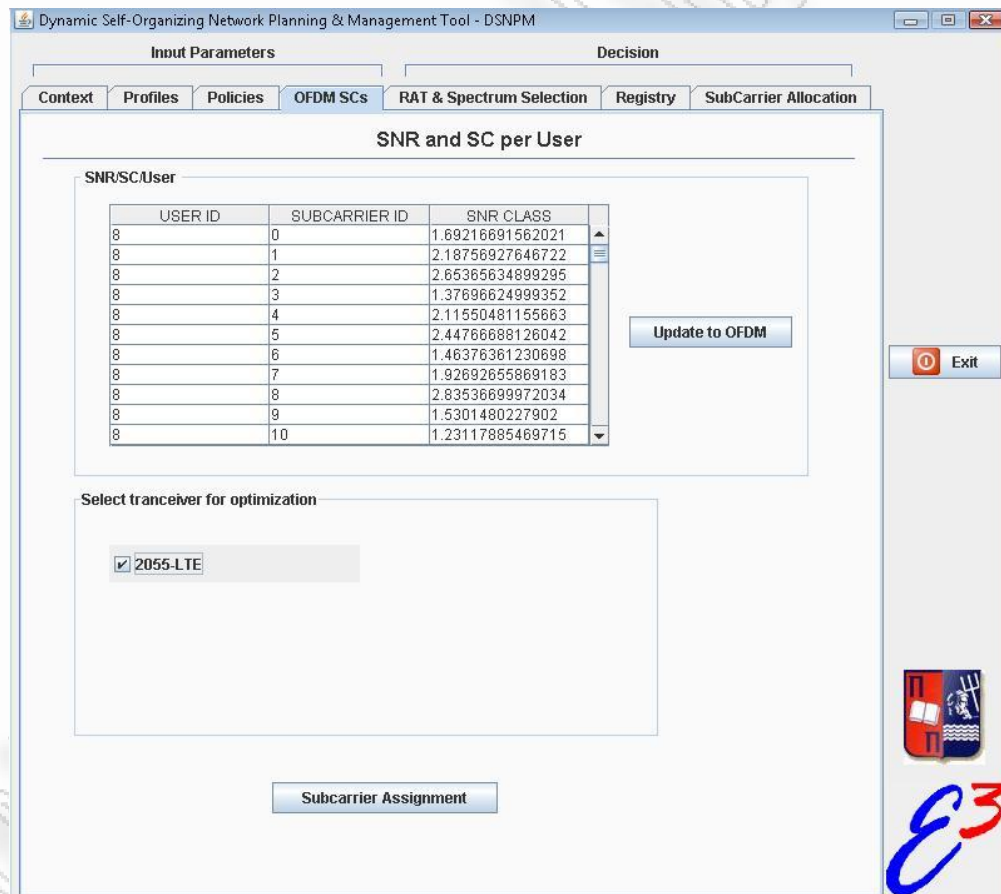
Εικόνα 5.10 Αποτελέσματα πρώτης ανάθεσης μέσω του αλγορίθμου RDQ-A.

5.8 Επεκτάσεις

Για να βελτιωθεί η απόδοση του DSNPM εισήχθη ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης CPP-DSA. Πλέον δίνεται η ευκαιρία στο σύστημα διαχείρισης να απονείμει υπηρεσίες στους χρήστες που να λαμβάνουν υπόψη όλες τις προϋποθέσεις και να καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις του εκάστοτε χρήστη, προσφέροντάς του QoS παραπλήσιο με αυτό που επιζητεί. Για να μπορέσει να

οπτικοποιηθεί η διαδικασία αυτή προστέθηκαν επιπλέον *tabs* στο υπάρχον *GUI*, για να παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πρώτου ελέγχου και τα αποτελέσματα της δεύτερης και βέλτιστης ανάθεσης των φερόντων στους χρήστες, αντίστοιχα. Τα *tabs* που προστέθηκαν είναι το «*OFDM SCs*» και το «*SubCarrier Allocation*».

Μετά την πρώτη ανάθεση, μπορούμε να διαχωρίσουμε τις υπηρεσίες στις οποίες ανατέθηκαν φέροντα τεχνολογίας OFDM από τις υπόλοιπες υπηρεσίες που συνεχίζουν να εξυπηρετούνται με χρήση της τεχνολογίας UMTS. Αυτή η διαφοροποίηση παρουσιάζεται στην εικόνα 5.11 και στο *Tab* «*OFDM SCs*».



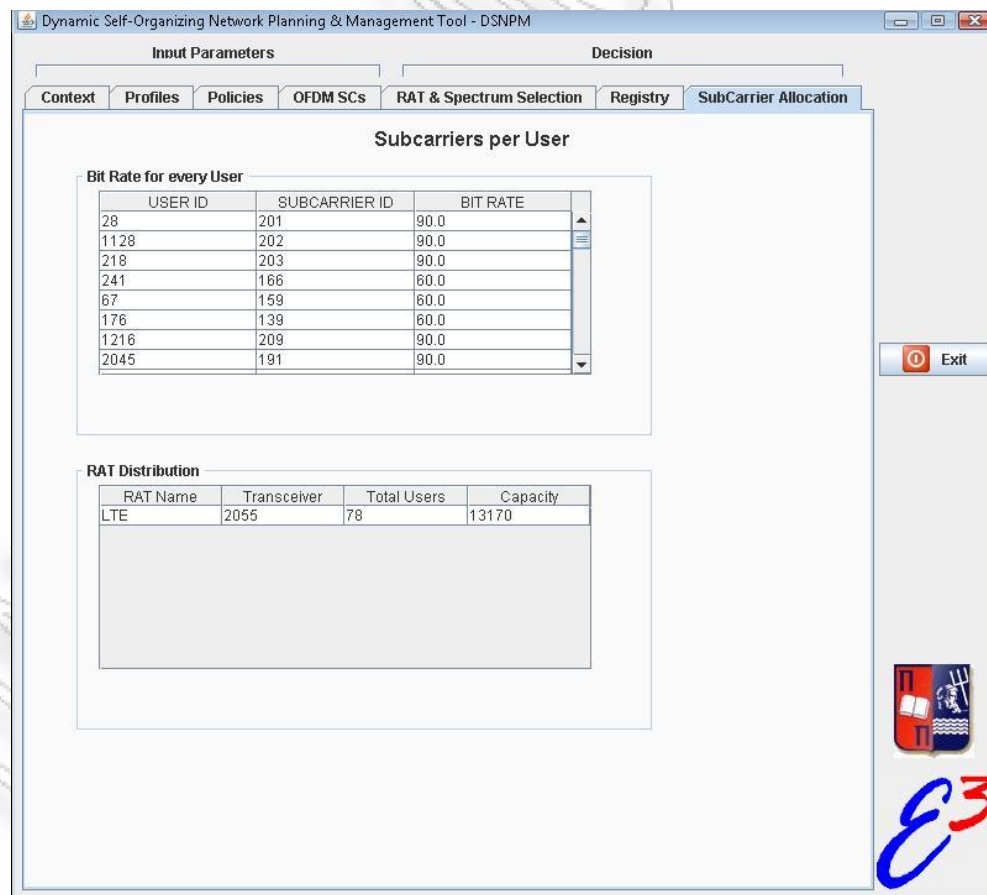
Εικόνα 5. 11 Παρουσίαση φερόντων και πομποδεκτών που ανατέθηκαν σε τεχνολογίες *OFDMA*.

Παρουσιάζεται αρχικά στο πρώτο πλαίσιο, για κάθε υπηρεσία και για κάθε φέρον ξεχωριστά, η τιμή *SNR* για αυτή την υπηρεσία. Υπάρχει η επιλογή στο πρώτο πλαίσιο να εμφανίζονται μόνο οι υπηρεσίες που εξυπηρετούνται από πομποδέκτες με τεχνολογία *OFDM*. Ακολούθως, στο δεύτερο πλαίσιο, ο χρήστης

έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τους πομποδέκτες για τους οποίους θα γίνει η περαιτέρω βελτιστοποιημένη ανάθεση, η οποία βασίζεται στη χρήση του αλγορίθμου *CPP-DSA*, έτσι ώστε οι χρήστες που βρίσκονται στην περιοχή κάλυψης να απολαμβάνουν ποιότητα υπηρεσιών ανάλογη με αυτή που έχουν πληρώσει και αναλογεί στο προφίλ τους.

Στο τελευταίο *Tab*, το «*Subcarrier Allocation*», που φαίνεται στην εικόνα 5.12, παρουσιάζονται για κάθε χρήστη ξεχωριστά τα φέροντα που του ανατέθηκαν και ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης που επιτυγχάνεται με βάση την υπηρεσία που αποζητά.

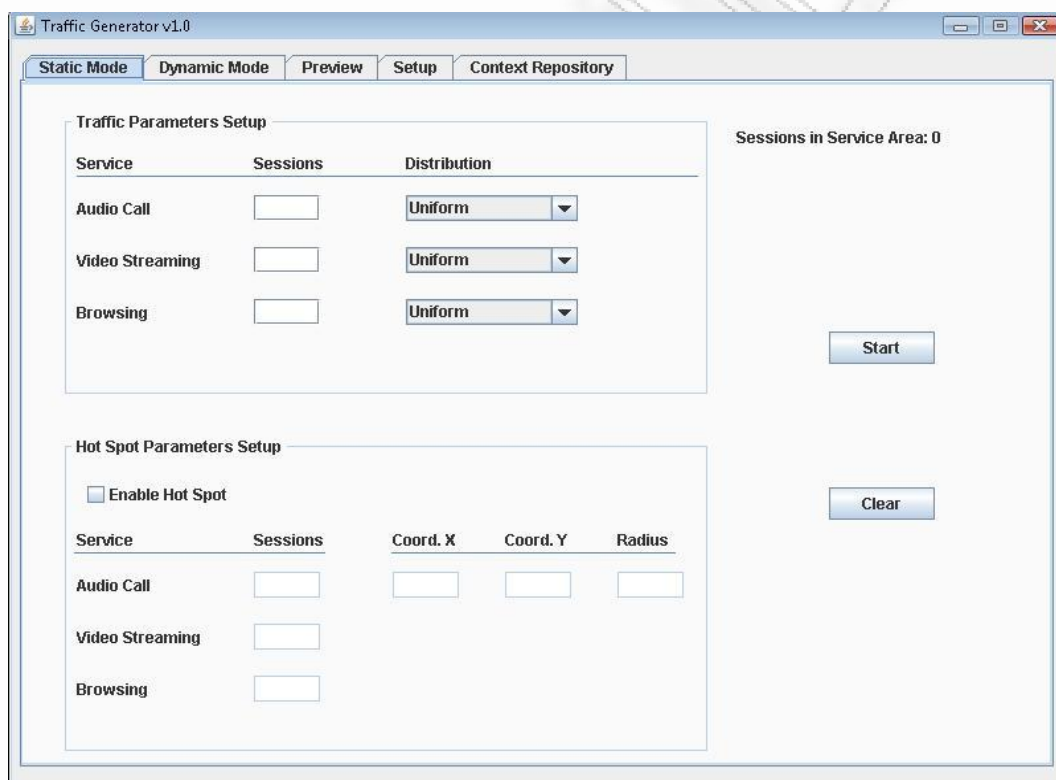
Στο δεύτερο πίνακα παρουσιάζεται η χωρητικότητα που επιτυγχάνεται σε κάθε πομποδέκτη με τεχνολογία OFDM, καθώς και οι συνολικοί χρήστες που εξυπηρετούνται από αυτό τον πομποδέκτη.



Εικόνα 5. 12 Αποτελέσματα τελικής ανάθεσης για φέροντα με *OFDMA* τεχνολογία.

5.9 Generator

Για να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής που αναπτύχθηκε, έπρεπε να γίνουν προσομοιώσεις με τυχαία δεδομένα τα οποία πλησιάζουν τις συνθήκες που επικρατούν σε πραγματικό χρόνο σε μία περιοχή εξυπηρέτησης ενός παρόχου. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε η εφαρμογή «Generator» με την οποία μπορούμε να δημιουργήσουμε τηλεπικοινωνιακό φορτίο ανάλογα με τις προτιμήσεις του χρήστη και τα δεδομένα που θα εισάγει στο σύστημα προς επεξεργασία. Αρχικά το GUI του *Generator* είχε τη μορφή που φαίνεται στην εικόνα 5.13.



Εικόνα 5. 13 Αρχική μορφή του Generator.

Χρησιμοποιούμε το *Static Mode Tab* και συγκεκριμένα το δεύτερο πίνακα, όπου ενεργοποιείται η επιλογή της ύπαρξης κάποιου *Hot Spot* στην περιοχή κάλυψης που μελετούμε. Στη συνέχεια επιλέγεται ο συνολικός αριθμός υπηρεσιών που εξυπηρετεί ο πάροχος στην υπό εξέταση περιοχή. Ο συνολικός αριθμός των υπηρεσιών διαφέρει από το συνολικό αριθμό των ενεργών χρηστών, καθώς είναι πιθανό κάποιοι χρήστες να κάνουν ταυτόχρονη χρήση περισσότερων της μίας υπηρεσίας. Ως εκ τούτου ο συνολικός αριθμός των χρηστών μπορεί να

είναι είτε μικρότερος, είτε ίσος του αριθμού των ενεργών υπηρεσιών. Οι διαθέσιμες υπηρεσίες είναι η υπηρεσία φωνής, η υπηρεσία *video streaming* και η υπηρεσία πλοήγησης στο internet. Τέλος, ορίζονται οι συντεταγμένες της θέσης που θα τοποθετηθεί το Hot Spot καθώς και η ακτίνα εμβέλειάς του.

5.9.1 Επεκτάσεις του Generator

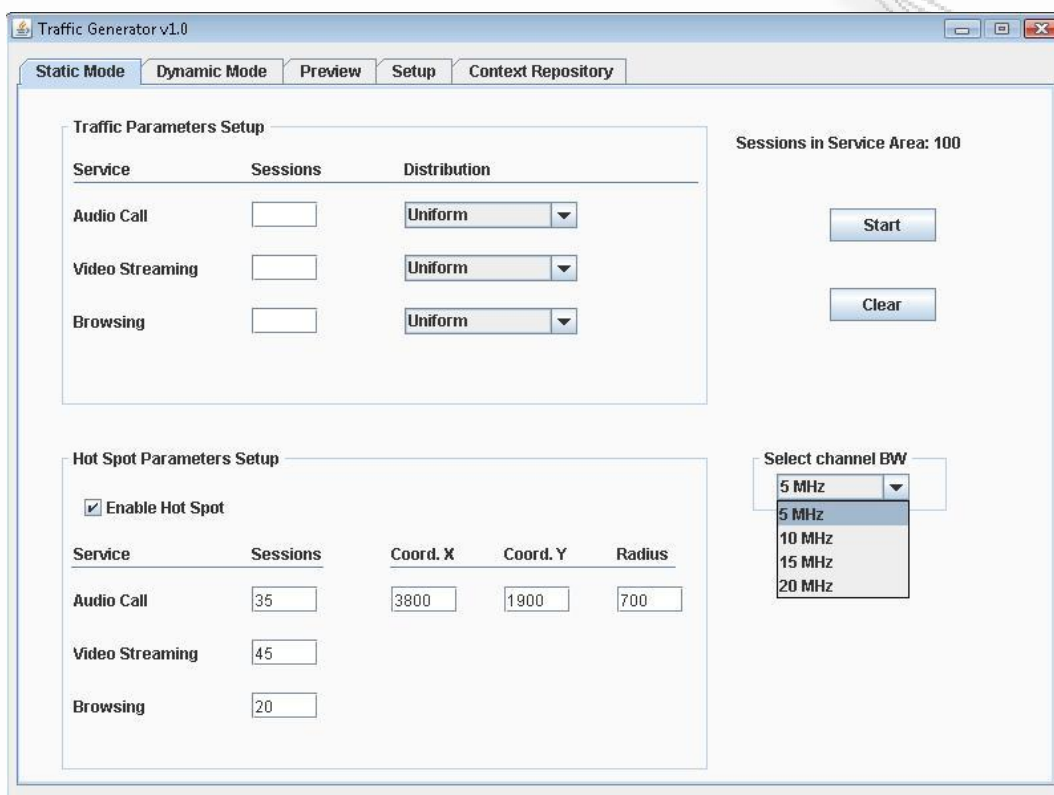
Οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στο GUI του Generator, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.14, έχουν να κάνουν με την επιλογή από το χρήστη του φάσματος του καναλιού για το οποίο θα μελετηθεί η αναδιάρθρωση του συστήματος, δεδομένου ότι στην τεχνολογία *LTE* υπάρχουν διάφορες επιλογές για το εύρος του καναλιού. Ανάλογα με το μέγεθος του καναλιού έχουν αντιστοιχηθεί τα συνολικά φέροντα, δεδομένου ότι το κάθε φέρον στην τεχνολογία *LTE* έχει εύρος φάσματος (*bandwidth*) 15 kHz. Οι τέσσερις επιλογές του χρήστη για το εύρος του φάσματος του καναλιού, καθώς και η αντιστοιχία σε φέροντα, παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1. Ο αριθμός των φερόντων στον Πίνακα 5.1 αντιστοιχεί στα φέροντα που μπορούν να ανατεθούν για τη διεκπεραίωση κλήσεων και άλλων υπηρεσιών δεδομένων, καθώς αγνοήθηκαν τα φέροντα του εκάστοτε καναλιού που χρησιμοποιούνται για σηματοδοσία.

Μέγεθος Καναλιού (MHz)	Αριθμός φερόντων
5	225
10	450
15	675
20	900

Πίνακας 5.1 Αριθμός φερόντων για κάθε κανάλι σύμφωνα με [17].

Ενδεικτικά, παρουσιάζονται στην εικόνα 5.14 συμπληρωμένα στο GUI στοιχεία για μία περίπτωση που εξετάστηκε στα πλαίσια των προσομοιώσεων. Θεωρούμε πως στην κεραία με συντεταγμένες $(x,y)=(3800,1900)$ και εμβέλεια 700m, πρέπει να εξυπηρετηθούν 35 υπηρεσίες φωνής, 45 υπηρεσίες βίντεο

streaming και 20 υπηρεσίες πλοήγησης στο internet από κανάλι με εύρος 5 MHz και 225 διαθέσιμα φέροντα.



Εικόνα 5.14 Επιλογή μεγέθους του καναλιού στον *Generator*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 Εισαγωγή

Υπάρχουν πολλές παράμετροι των οποίων η αλλαγή, μπορεί να αποφέρει μεταβολή του τελικού αποτελέσματος της οντότητας DSNPM. Στα πλαίσια της εργασίας θα μελετηθεί η συμπεριφορά του δικτύου και της εφαρμογής κυρίως σε αλλαγές στο *context*. Στόχος είναι να διαπιστώσουμε την επιρροή των αλλαγών σε βασικές παραμέτρους της τεχνολογίας LTE, όπως την ακτίνα εμβέλειας, τη χωρητικότητα, το μέγεθος του καναλιού και την κατανομή των υπηρεσιών. Επίσης, δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην επιρροή των παραπάνω αλλαγών στο χρόνο επίλυσης που απαιτείται από το σύστημα για την εύρεση της καλύτερης δυνατής λύσης. Θεωρούμε πως η περιοχή που μελετούμε καλύπτεται από τις OFDM τεχνολογίες IEEE 802.11 και LTE, και σύμφωνα με τη σχέση (4.1) ο ρυθμός διαμόρφωσης παίρνει τις τιμές :

$$MR \text{ snr} = \left\{ \begin{array}{l} 3 \text{ bits / symbol (8-QAM)} \\ 4 \text{ bits / symbol (16-QAM)} \\ 6 \text{ bits / symbol (64-QAM)} \end{array} \right\} \quad (6.1)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση (6.1) και το γεγονός ότι ο ρυθμός μετάδοσης συμβόλων για την LTE είναι ίσος με $1 \text{ symbol} / 66.7 \mu\text{s}$ προκύπτει ο πίνακας 6.1.

Ρυθμός Διαμόρφωσης (bits / symbol)	Ρυθμός μετάδοσης (kbps)
3	45
4	60
6	90

Πίνακας 6. 1 Αντιστοιχία ρυθμού μετάδοσης με το ρυθμό διαμόρφωσης.

Ανάλογα με την ποιότητά τους, τα φέροντα κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με το ρυθμό μετάδοσης που μπορούν να προσφέρουν. Έχουν υιοθετηθεί τρεις κλάσεις στις οποίες αντιστοιχίζεται η τιμή του *SNR*. Τα φέροντα που μπορούν να επιτύχουν ρυθμό μετάδοσης 45 *kbps* κατηγοριοποιούνται στην κλάση *Basic*. Τα φέροντα με ρυθμό μετάδοσης 60 και 90 *kbps* κατηγοριοποιούνται στην κλάση *Medium* και *High*, αντίστοιχα. Τέλος, κατηγοριοποιούνται και τα προφίλ των χρηστών ανάλογα με το ρυθμό μετάδοσης που απολαμβάνουν στις υπηρεσίες που παρέχονται από τον πάροχο. Οι διαθέσιμες επιλογές παρουσιάζονται στον πίνακα 6.2.

Προφίλ χρήστη	Ρυθμός μετάδοσης (<i>kbps</i>)
Voice	12.2
Medium	128
Normal	258
Bronze	384
Silver	512
Gold	1024

Πίνακας 6. 2 Αντιστοιχία προφίλ με ρυθμό μετάδοσης.

Στην τεχνολογία *LTE* αναμένεται πως το εύρος φάσματος του καναλιού θα μπορεί να πάρει τις τιμές 1.25MHz, 2.5MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz και 20MHz. Επιπλέον, το κανάλι διαιρείται σε υποσύνολα ενός αριθμού φερόντων που ονομάζονται *chunks*. Στο [17] παρέχεται πληροφορία για τον αριθμό των διαθέσιμων φερόντων που θα εξυπηρετήσουν τηλεπικοινωνιακή κίνηση, ανάλογα με το μέγεθος του καναλιού. Στα πλαίσια της εργασίας θεωρήσαμε πως το κανάλι έχει εύρος φάσματος ίσο με 5MHz, 10MHz, 15MHz και 20MHz. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για ένα κανάλι 10MHz παρουσιάζεται στον πίνακα 6.3, με το συνολικό αριθμό των διαθέσιμων φερόντων να ισούται με 450.

Με βάση τους αντίστοιχους πίνακες για όλα τα διαθέσιμα κανάλια προκύπτει ο συγκεντρωτικός πίνακας 5.1, που είδαμε στην παράγραφο 5.9.1, για όλα τα μεγέθη των καναλιών που θα μελετήσουμε.

Αριθμός <i>chunk</i>	1	5	10	15	30
Φέροντα δεδομένων ανά <i>chunk</i> (χωρίς πιλοτικά φέροντα σε OFDM σύμβολα)	600	120	60	40	20
Φέροντα δεδομένων ανά <i>chunk</i> (με πιλοτικά φέροντα σε OFDM σύμβολα)	450	90	45	30	15
Εύρος του <i>chunk</i>	9.0	2.8	0.9	0.6	0.3

Πίνακας 6.3 Αριθμός *chunk* και φερόντων για ένα κανάλι 10 MHz.

6.2 Αλλαγή εμβέλειας LTE

Εδώ θα μελετήσουμε την επιρροή της μεταβολής της εμβέλειας της τεχνολογίας LTE στα τελικά αποτελέσματα. Θεωρούμε κανάλι εύρους 5 MHz, με 100 ενεργές υπηρεσίες στην περιοχή που μελετούμε οι οποίες κατανέμονται ως εξής :

- 40 υπηρεσίες φωνής
- 20 υπηρεσίες video streaming
- 40 υπηρεσίες πλοήγησης στο internet

Θα μελετήσουμε τις περιπτώσεις με εμβέλεια ίση με 700 m, 1000m, 1300m.

Range (m)	Trx (Id)	RAT/Load(%)	Throughput OFDM Rats (Kbps)	Time (ms)	Utilization (%)
700	2055	UMTS / 42.0	-	109	100
	2056	LTE / 34.8	6330		
	2057	LTE / 37.8	6840		
1000	2055	LTE / 24.2	4590	56	100

	2056	LTE /26.4	4365		
	2057	LTE / 27.1	4215		
1300	2055	LTE / 24.2	4590	74	100
	2056	LTE /26.4	4365		
	2057	LTE / 27.1	4215		

Πίνακας 6. 4 Αποτελέσματα για αλλαγή εμβέλειας.

Αυτό που παρατηρούμε και στις τρεις περιπτώσεις είναι πως επιτυγχάνεται 100% χρησιμοποίηση των διαθέσιμων φερόντων, καθώς και ότι το άθροισμα για το συνολικό throughput της κυψέλης, 13170 Kbps, παραμένει σταθερό και στις τρεις περιπτώσεις. Οι διαφορές εντοπίζονται ανάμεσα στην πρώτη και στις δύο επόμενες περιπτώσεις στο φορτίο που καλούνται να εξυπηρετήσουν οι πομποδέκτες μετά την τελική ανάθεση και στην τεχνολογία πρόσβασης. Έτσι, στην αρχική περίπτωση δύο από τους τρεις πομποδέκτες, οι 2056 και 2057, λειτουργούν με LTE, ενώ ο πομποδέκτης 2055 λειτουργεί σε UMTS. Αυτό επηρεάζει την κατανομή του φορτίου καθώς ο πρώτος trx έχει φορτίο 42.0% και οι 2056 και 2057 έχουν φορτίο 34.8% και 37.8%, αντίστοιχα. Όταν η εμβέλεια της LTE αυξάνει, όλοι οι πομποδέκτες λειτουργούν σε LTE και το φορτίο είναι μικρότερο. Και στις δύο τελευταίες περιπτώσεις η κατανομή του φορτίου είναι 24.2% για τον πρώτο, 26.4% για το δεύτερο και 27.1% για τον τρίτο. Διακρίνεται μία ισοκατανομημένη ανάθεση μέσω του αλγορίθμου CPP-DSA. Για την πρώτη περίπτωση θεωρούμε πως λόγω της μικρής εμβέλειας της LTE οι χρήστες που καλύπτονται από τον πομποδέκτη 2055, ήταν εκτός της εμβέλειας της συγκεκριμένης τεχνολογίας με αποτέλεσμα να γίνει η ανάθεση της τεχνολογίας UMTS. Τέλος, αρκετά σημαντική είναι και η διαφορά στο χρόνο που χρειάστηκε για την επίλυση του προβλήματος ανάμεσα στην πρώτη και δεύτερη περίπτωση καθώς η διαφορά τους είναι της τάξεως του 100%, κάτι που μας δείχνει πως στην πρώτη περίπτωση είναι πολυπλοκότερη η επίλυση του προβλήματος, λόγω της μικρότερης εμβέλειας της τεχνολογίας LTE.

6.3 Αλλαγή χωρητικότητας LTE

Εδώ θα μελετήσουμε την επιρροή της μεταβολής της χωρητικότητας στην τεχνολογία LTE. Θεωρούμε ως αρχικές συνθήκες το ίδιο κανάλι που χρησιμοποιήσαμε και στην παράγραφο 6.2 και με την ίδια κατανομή των υπηρεσιών. Θα μελετήσουμε τις περιπτώσεις με χωρητικότητα ίση με 9Mbps, 13Mbps και 17Mbps, με κοινή εμβέλεια και στις τρεις περιπτώσεις ίση με 1000m. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρουσιάζονται στον πίνακα 6.5.

Capacity (Kbps)	Trx (Id)	RAT/Load(%)	Throughput OFDM Rats (Kbps)	Time (ms)	Utilization (%)
9000	2055	LTE / 45.7	4590	56	100
	2056	LTE / 49.8	4365		
	2057	LTE / 51.2	4215		
13000	2055	LTE / 31.6	4590	56	100
	2056	LTE / 34.5	4365		
	2057	LTE / 35.4	4215		
17000	2055	LTE / 31.6	4590	56	100
	2056	LTE / 34.5	4365		
	2057	LTE / 35.4	4215		

Πίνακας 6. 5 Αποτελέσματα για αλλαγή χωρητικότητας.

Δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα αποτελέσματα, παρά μόνο στο φορτίο των πομποδεκτών στην πρώτη περίπτωση όπου είναι μεγαλύτερο, κατά μέσο όρο, της τάξεως του 45%. Επίσης παρατηρούμε ότι η χρησιμοποίηση των διαθέσιμων φερόντων παραμένει 100% και ο χρόνος επίλυσης είναι σταθερός και αρκετά σύντομος.

6.4 Αλλαγή κατανομής των χρηστών

Εδώ θα μελετήσουμε την επιρροή στα αποτελέσματα από την αλλαγή του αριθμού των χρηστών και της κατανομής των ενεργών υπηρεσιών. Θεωρούμε ως αρχικές συνθήκες σε όλες τις περιπτώσεις που θα μελετήσουμε, ότι η εμβέλεια είναι ίση με 1000m και η χωρητικότητα ίση με 17Mbps. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στους πίνακες 6.6 και 6.7.

Channel (MHz)	5	5	5
Sessions Distribution	40 / 20 / 40	35 / 45 / 20	110 / 50 / 40
Trx ID	2055/2056/2057	2055/2056/2057	2055/2056/2057
RAT	LTE /LTE /LTE	WiFi /LTE/LTE	WiFi /LTE/LTE
Sessions per Trx	27/26/26	3/38/37	2/75/75
Load (%)	24.2/26.3/27.1	1.7/28.8/29.5	1.7/45.9/51.0
Throughput (Kbps)	4590/4365/4215	675/6315/6180	225/6435/6510
Total Throughput (Kbps)	13170	13170	13170
Time (ms)	56	47	93
Utilization (%)	100	100	100

Πίνακας 6. 6 Αποτελέσματα για αλλαγή κατανομής χρηστών σε κανάλι 5 MHz.

Channel (MHz)	10	10	15
Sessions Distribution	40/20/40	110/50/40	110/50/40
Trx ID	2055/2056/2057	2055/2056/2057	2055/2056/2057

RAT	LTE /LTE /LTE	WiFi /LTE/LTE	WiFi /LTE/LTE
Sessions per Trx	23/23/23	4/73/72	3/71/71
Load (%)	22.5/24.7/23.2	2.8/42.1/42.1	1.9/45.1/41.2
Throughput (Kbps)	8235/7950/6810	1245/12540/12540	1095/17985/15690
Total Throughput (Kbps)	22995	26325	34770
Time (ms)	249	359	1591
Utilization (%)	83.5 $\left(\frac{376}{450}\right)$	100	84.4 $\left(\frac{570}{675}\right)$

Πίνακας 6. 7 Αποτελέσματα για αλλαγή της κατανομής των χρηστών σε κανάλι 10 MHz και 15 MHz.

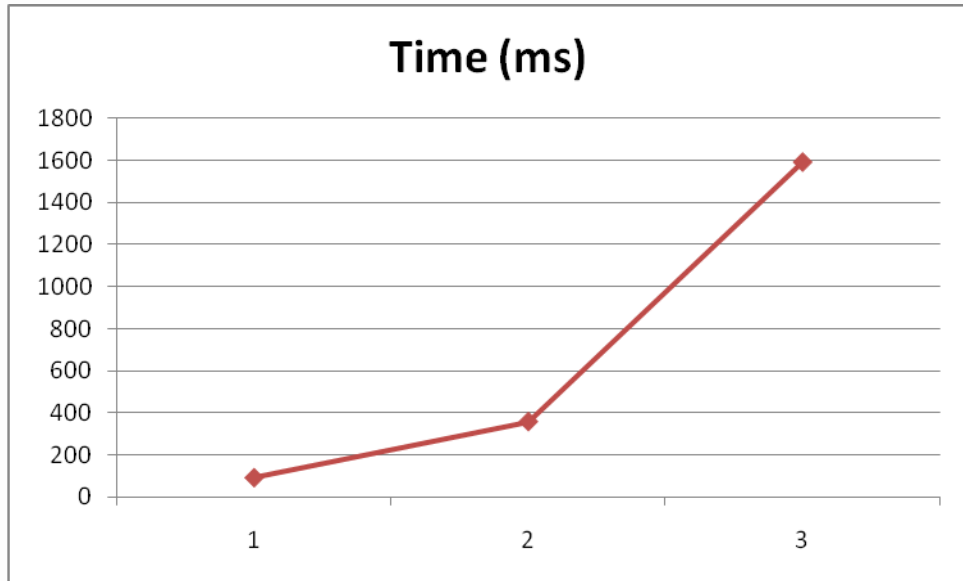
Παρατηρούμε στον πίνακα 6.6 πως η αλλαγή στην κατανομή των υπηρεσιών επηρεάζει την τεχνολογία πρόσβασης στους πομποδέκτες μίας κυψέλης. Χαρακτηριστικά βλέπουμε ότι με την αύξηση των υπηρεσιών *video streaming*, που οι απαιτήσεις του συστήματος είναι πολύ υψηλές, στον ένα πομποδέκτη ανατίθεται η τεχνολογία IEEE 802.16 για να καλύψει ένα μικρό μέρος του φορτίου στους χρήστες που βρίσκονται κοντά στο Hot Spot, το οποίο θεωρούμε πως έχει μικρή εμβέλεια, της τάξεως των 100m.

Επίσης, παρατηρούμε πως για κανάλι 5MHz με 200 ενεργές υπηρεσίες, αυξάνεται το φορτίο κάθε κυψέλης και ο χρόνος που απαιτείται για την επίλυση του προβλήματος, αλλά το συνολικό throughput παραμένει σταθερό και ίσο με 13170 Kbps.

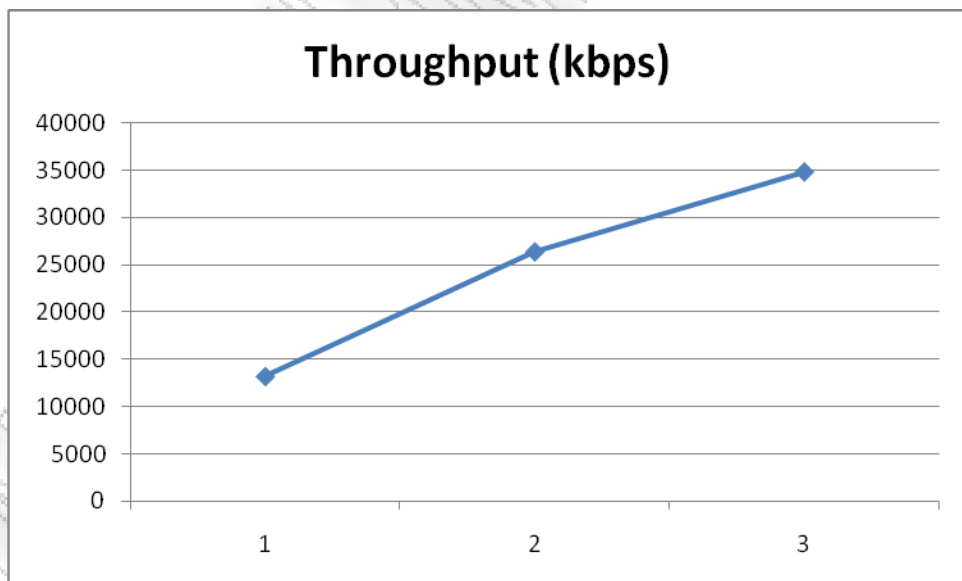
Όταν αυξάνεται το εύρος του καναλιού από 5MHz σε 10MHz, για τον ίδιο αριθμό ενεργών υπηρεσιών και με την ίδια κατανομή, 40 φωνή, 20 βίντεο, 40 πλοήγηση internet, παρατηρούμε πως η κατανομή των υπηρεσιών στους πομποδέκτες και το φορτίο, μετά την τελική ανάθεση, ταιριάζει με την κατανομή του καναλιού των 5MHz. Αντιθέτως, παρατηρούμε διαφορές στο throughput κάθε πομποδέκτη και στο συνολικό throughput της κυψέλης που θα λειτουργεί με

τεχνολογία LTE. Η αύξηση είναι της τάξεως του 75%, ενώ όπως αναμενόταν αύξηση παρουσιάζεται και στο χρόνο επίλυσης που κυμαίνεται γύρω στα 250ms. Τέλος αξίζει να αναφέρουμε πως πλέον η χρησιμοποίηση των διαθέσιμων φερόντων πέφτει στο 83.5%, καθώς παραμένουν 74 αδιάθετα φέροντα.

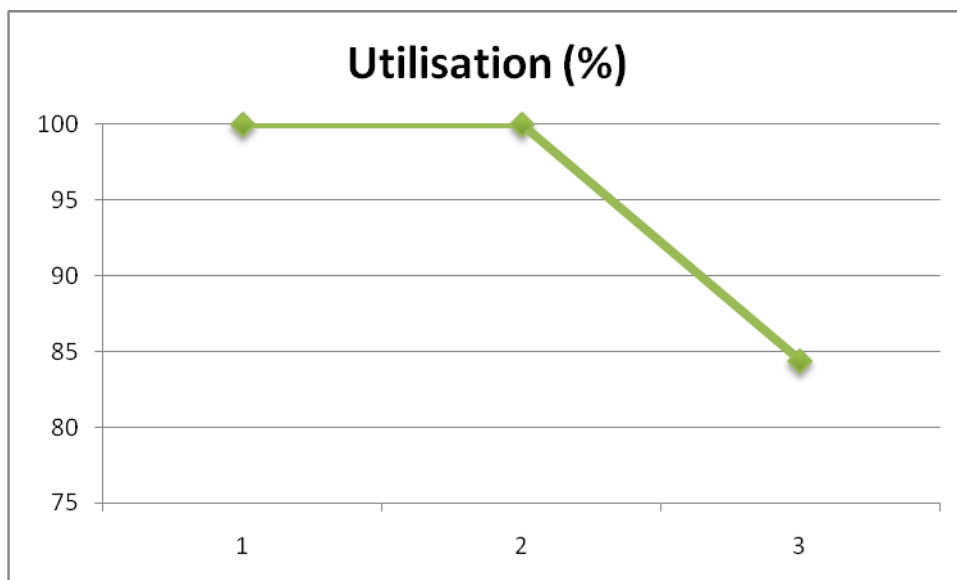
Αν αυξήσουμε τον αριθμό των χρηστών για το ίδιο κανάλι, και θεωρήσουμε την κατανομή των 200 υπηρεσιών που χρησιμοποιήσαμε και για το κανάλι των 5MHz, παρατηρούμε πως και πάλι αυξάνεται ο χρόνος επίλυσης και το φορτίο που καλείται να εξυπηρετήσει κάθε πομποδέκτης. Επίσης, παρατηρούμε πως ενεργοποιείται το WiFi σε έναν πομποδέκτη, ενώ αυξάνεται και το συνολικό throughput της κυψέλης που βρίσκεται υπό μελέτη. Εδώ η χρησιμοποίηση των διαθέσιμων φερόντων είναι απόλυτη, καθώς το 100% ανατίθεται στις ενεργές υπηρεσίες. Τέλος, στην περίπτωση που το κανάλι έχει εύρος 15MHz και οι ενεργές υπηρεσίες είναι 200, με κατανομή 110 / 50 / 40, παρατηρείται περαιτέρω αύξηση του συνολικού throughput της κυψέλης και κατακόρυφη αύξηση, της τάξεως του 340%, του χρόνου που χρειάστηκε για την εύρεση της λύσης. Αντιθέτως, η χρησιμοποίηση των διαθέσιμων φερόντων μειώθηκε και έφτασε το 84.4%. Συγκεντρωτικά παραθέτουμε τις εικόνες 6.1, 6.2 και 6.3 όπου παρουσιάζεται η μεταβολή του χρόνου επεξεργασίας, του throughput και του ποσοστού κατάληψης του καναλιού σε 3 περιπτώσεις όπου το context παραμένει σταθερό και αυτό που αλλάζει είναι μόνο το μέγεθος του καναλιού. Στην πρώτη θέση αντιστοιχεί σε όλες τις γραφικές παραστάσεις το κανάλι με εύρος 5 MHz, στη δεύτερη θέση το κανάλι με εύρος 10 MHz και στην τρίτη θέση το κανάλι με εύρος 15 MHz.



Εικόνα 6. 1 Αύξηση του χρόνου εκτέλεσης των υπολογισμών με την αύξηση του εύρους του υπό εξέταση καναλιού.



Εικόνα 6. 2 Αύξηση του συνολικού ρυθμού μετάδοσης με την αύξηση του εύρους του υπό εξέταση καναλιού.



Εικόνα 6. 3 Η κατάληψη των πόρων του υπό μελέτη καναλιού ανά περίπτωση.

Γίνεται εμφανές πως μία σημαντική παράμετρος για την υλοποίηση των παραπάνω αποφάσεων επηρεάζεται δραστικά από τις μεταβολές του *context* και αυτή δεν είναι άλλη από το χρόνο επεξεργασίας των δεδομένων. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι στην τελευταία προσομοίωση για το κανάλι των 15 MHz ο χρόνος επεξεργασίας αυξήθηκε 340%, κάτι που μας δείχνει ότι θα πρέπει να βρεθεί μία μέθοδος που θα καταφέρει να περιορίσει αυτή την αύξηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗΣ OFDMA ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

7.1 Εισαγωγή

Η εισαγωγή της μάθησης στα αποτελέσματα που προέκυψαν στο προηγούμενο κεφάλαιο αποτελεί μία μέθοδο που εκτιμάται πως θα καταφέρει να βελτιώσει περαιτέρω την αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα της οντότητας DSNPM. Μία από τις τεχνικές που θα μπορούσαν να οδηγήσουν προς αυτή την κατεύθυνση και εξετάζεται στα πλαίσια της διπλωματικής, είναι η επεξεργασία των δεδομένων που προκύπτουν από τις προηγούμενες αναθέσεις.

7.2 Βασική αρχή της τεχνικής μάθησης

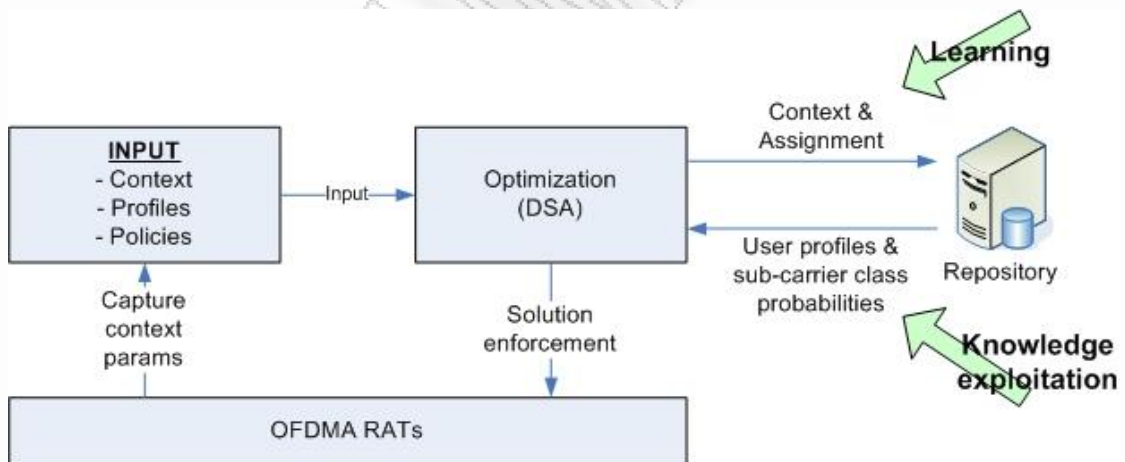
Είναι γεγονός πως ο χρόνος εκτέλεσης και ο βαθμός πολυπλοκότητας των DSA αλγορίθμων εξαρτάται από τον αριθμό των φερόντων και των υπηρεσιών που εξυπηρετούνται, πάντα με κριτήριο την τιμή του SNR κάθε συσκευής για όλα τα φέροντα, αντίστοιχα. Ο συνολικός αριθμός των δεδομένων για το SNR προκύπτει από το γινόμενο του συνολικού αριθμού των υπηρεσιών (*sessions*) με το συνολικό αριθμό των φερόντων (*subcarriers*). Ο στόχος μας είναι να μειωθεί αυτός ο αριθμός, έτσι ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα των υπολογισμών. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας είναι η απομάκρυνση κάποιων δεδομένων, μέσω της επεξεργασίας των δεδομένων από παλιότερες αναθέσεις. Το αποτέλεσμα αυτού του φιλτραρίσματος θα είναι ένα υποσύνολο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- Φέροντα με υψηλή πιθανότητα ανάθεσης στην υπηρεσία που μελετάται, θα περιλαμβάνονται στο υποσύνολο,
- Φέροντα με μικρή πιθανότητα ανάθεσης θα αποκλείονται από το υποσύνολο.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου θα πρέπει να καθοριστούν οι παρακάτω διαδικασίες :

Διαδικασία μάθησης : Ο στόχος της διαδικασίας μάθησης είναι να μπορεί το σύστημα διαχείρισης να θυμάται παλαιότερες αναθέσεις. Αυτό πραγματοποιείται αποθηκεύοντας αμέσως μετά τη βελτιστοποίηση, τα αποτελέσματα της ανάθεσης και το context που μελετήθηκε, σε μία βάση δεδομένων, από όπου θα γίνεται και η ανάκλησή του.

Εκμετάλλευση γνώσης : Η επεξεργασία των προηγούμενων αναθέσεων θα δώσει την πιθανότητα που έχει κάθε προφίλ να του ανατεθεί φέρον μίας συγκεκριμένης κλάσης. Με δεδομένη την πιθανότητα μεταξύ του κάθε προφίλ και της κλάσης του φέροντος μπορεί να 1) απομακρυνθούν τα φέροντα με μηδενική ή χαμηλή πιθανότητα ανάθεσης, (όπως αντιλαμβάνονται από την εκάστοτε συσκευή), 2) λαμβάνονται υπόψη μόνο τα φέροντα με υψηλή πιθανότητα ανάθεσης.



Εικόνα 7. 1 Εισαγωγή της τεχνικής της μάθησης στη λήψη αποφάσεων.

7.3 Προτεινόμενες μέθοδοι

Έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι απόκτησης αυτής της γνώσης και χρησιμοποίησής της για την εξαγωγή αποδοτικότερων λύσεων. Αρχικά αναφέρουμε τη μέθοδο «Channel Segregation» [9]. Ο στόχος αυτής της μεθόδου είναι να δημιουργήσει μία λίστα με προτιμώμενα φέροντα, αυξάνοντας την

προτεραιότητα ενός φέροντος μετά από κάθε επιτυχημένη ανάθεσή του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κεντρική οντότητα διαχείρισης να επιλέγει για ανάθεση φέροντα που βρίσκονται στην κορυφή αυτής της λίστας αφού πρώτα εξασφαλίσει το γεγονός ότι δεν χρησιμοποιούνται. Μετά από πολλές επαναλήψεις αυτής της διαδικασίας προκύπτει το αρχείο όπου καταγράφεται η προτίμηση της οντότητας διαχείρισης σε κάποια συγκεκριμένα φέροντα. Η συνάρτηση που χρησιμοποιείται για την ανανέωση της λίστας είναι η εξής:

$$1. \quad P_{n+1}(i) = \frac{nP_n(i) + 1}{n+1} \quad (7.1), \text{ όταν το φέρον } i \text{ δεν χρησιμοποιείται, και}$$

$P_n(i)$ είναι η προτεραιότητα του φέροντος i κατά την n προσπάθεια ανάθεσης.

$$2. \quad P_{n+1}(i) = \frac{nP_n(i)}{n+1} \quad (7.2), \text{ όταν το φέρον } i \text{ δεν μπορεί να ανατεθεί, όπως}$$

για λόγους κακής ποιότητας.

Η πληροφορία αυτή συλλέγεται και όταν παρουσιαστεί ξανά context με τα ίδια χαρακτηριστικά ανατίθενται στους χρήστες φέροντα που ανήκουν στο υποσύνολο με τα φέροντα που προτιμήθηκαν σε προηγούμενες αναθέσεις για παρόμοιο context. Τις διαφορές των context μπορούμε να τις υπολογίσουμε όπως και στον αλγόριθμο CMA, με τις τιμές κατωφλίου που έχουν οριστεί να παίζουν σπουδαίο ρόλο στη λήψη των αποφάσεων. Αναλυτικότερα, ο πάροχος θα πρέπει να ορίσει το κατώφλι για το οποίο δύο context θεωρούνται παρόμοια και το σύστημα προσπαθεί να κάνει την ανάθεση με τον τρόπο που περιγράφηκε.

Μία εναλλακτική μέθοδος που προτάθηκε για μελέτη ήταν η ακόλουθη. Μετά τον έλεγχο των δύο context με τον αλγόριθμο CMA, ακολουθεί και επιπλέον έλεγχος του ραδιοδικτύου. Αναλυτικότερα, συγκρίνεται το αποθηκευμένο snr pattern με το τρέχων snr pattern μετά την ανάθεση και σε περίπτωση που το φέρον X στο αποθηκευμένο pattern ταιριάζει με το φέρον Y στο τρέχων pattern και ο χρήστης και στις δύο περιπτώσεις έχει το ίδιο προφίλ και υπηρεσίες, τότε του ανατίθεται το φέρον X . Είναι γεγονός πως αυτός ο έλεγχος εισάγει σημαντική πολυπλοκότητα στο σύστημα.

7.4 Επεξεργασία δεδομένων

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε μία διαφορετική μεθοδολογία, για να εισάγουμε τη μάθηση στη λήψη των αποφάσεων. Αυτή η μεθοδολογία παρουσιάζει ομοιότητες με την τεχνική *channel segregation*, αλλά όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 7.2, αποσκοπεί στο να εξάγει υποσύνολα με φέροντα που θα παρουσιάζουν υψηλή πιθανότητα ανάθεσης στο εκάστοτε προφίλ. Για αυτό το λόγο μελετούμε διάφορες περιπτώσεις, με πολλές παραμέτρους διαφοροποιημένες, έτσι ώστε να προκύψει ένα συμπέρασμα που να μην επιδέχεται αμφισβήτησης και να μπορεί να εφαρμοστεί στην οντότητα διαχείρισης DSNPM.

7.4.1 Περίπτωση 1^η

Στην πρώτη περίπτωση μελετούμε ένα κανάλι 5 MHz με 225 διαθέσιμα φέροντα και 100 ενεργές υπηρεσίες με κατανομή, 40 υπηρεσίες φωνής, 20 υπηρεσίες βίντεο και 40 υπηρεσίες πλοήγησης στο internet. Στον Πίνακα 7.1 βλέπουμε πως κατανέμονται τα φέροντα, στις τρεις κλάσεις των τιμών *SNR*, ανά προφίλ.

PROFILES	TOTAL	BASIC	MEDIUM	HIGH
Voice Profile	34	0	15	19
Silver	54	34	12	8
Normal	45	28	10	7
Medium	10	2	6	2
Gold	23	13	6	4
Bronze	59	35	19	5
Total	225	112	68	45

Πίνακας 7. 1 Παράδειγμα για κανάλι 5MHz και κατανομή υπηρεσιών κατά 40/30/30.

Στο δεύτερο πίνακα αυτή η κατανομή μετατρέπεται σε ποσοστιαία κατανομή, έτσι ώστε να μπορεί να συγκριθεί και με τις υπόλοιπες περιπτώσεις που έχουν μελετηθεί.

PROFILES	TOTAL	BASIC (%)	MEDIUM(%)	HIGH(%)
Voice Profile	34	0,0	44,1	55,9
Silver	54	63,0	22,2	14,8
Normal	45	62,2	22,2	15,6
Medium	10	20,0	60,0	20,0
Gold	23	56,5	26,1	17,4
Bronze	59	59,3	32,2	8,5
Total	225			

Πίνακας 7. 2 Παράδειγμα για ποσοστιαία κατανομή των φερόντων σε κανάλι 5MHz.

Στον Πίνακα 7.2 διαπιστώνουμε πως στην 1^η περίπτωση και για το προφίλ της υπηρεσίας της φωνής, κανένα φέρον δεν ανήκει στην πρώτη κλάση, ενώ το 44,1% ανήκει στη δεύτερη κλάση και το 55,9% στην τρίτη κλάση. Κατά τον ίδιο τρόπο αναλύεται και η κατανομή για τα υπόλοιπα προφίλ όπου παρατηρούμε πως στα περισσότερα προφίλ ανατίθενται φέροντα της βασικής κλάσης, εκτός από το προφίλ «Medium», στο οποίο ανατίθενται σε ποσοστό 60% φέροντα της μεσαίας κλάσης.

7.4.2 Περίπτωση 2^η

Στη δεύτερη περίπτωση μελετούμε πάλι το ίδιο κανάλι, των 5 MHz, με διαφορετική κατανομή στις ενεργές υπηρεσίες που καλείται να εξυπηρετήσει το σύστημα. Αναλυτικότερα, μελετούνται 100 ενεργές υπηρεσίες με κατανομή 35/45/20. Στον πίνακα 7.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποσοστιαίας κατανομής των φερόντων ανά κλάση και ανά προφίλ.

PROFILES	TOTAL	BASIC (%)	MEDIUM(%)	HIGH(%)
Voice Profile	26	0,0	34,6	65,4
Silver	36	63,9	27,8	8,3
Normal	77	59,7	26,0	14,3
Medium	14	14,3	57,1	28,6
Gold	12	58,3	25,0	16,7
Bronze	60	56,7	30,0	13,3
Total	225			

Πίνακας 7. 3 Παράδειγμα για ποσοστιαία κατανομή των φερόντων σε κανάλι 5MHz.

Και εδώ παρατηρούμε πως ανατίθενται κυρίως φέροντα της κλάσης «Basic» στα περισσότερα προφίλ, με εξαίρεση το προφίλ για την υπηρεσία φωνής

όπου ανατίθενται κυρίως φέροντα καλής ποιότητας, και το προφίλ «Medium», στο οποίο ανατίθενται σε ποσοστό 57% φέροντα της μεσαίας κλάσης.

7.4.3 Περίπτωση 3^η

Σε αυτή την περίπτωση μελετούμε το κανάλι των 5 MHz για 200 ενεργές υπηρεσίες με κατανομή 110/50/40. Στον πίνακα 7.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποσοστιαίας κατανομής των φερόντων ανά κλάση και ανά προφίλ.

PROFILES	TOTAL	BASIC (%)	MEDIUM(%)	HIGH(%)
Voice Profile	81	22,2	45,7	32,1
Silver	36	63,9	22,2	13,9
Normal	30	66,7	20,0	13,3
Medium	24	54,2	25,0	20,8
Gold	10	70,0	0,0	30,0
Bronze	44	70,5	25,0	4,5
Total	225			

Πίνακας 7. 4 Παράδειγμα για ποσοστιαία κατανομή των φερόντων σε κανάλι 5MHz.

Παρατηρούμε πως σε αυτή την περίπτωση πραγματοποιείται μία αλλαγή στην ανάθεση των φερόντων. Πλέον, ανατίθενται φέροντα της βασικής κλάσης και σε υπηρεσίες φωνής, ενώ στο προφίλ «Medium» ανατίθενται κυρίως φέροντα της βασικής κλάσης, όπως συμβαίνει και στα υπόλοιπα προφίλ. Προφανώς η αλλαγή αυτή οφείλεται στην αύξηση των ενεργών υπηρεσιών που πρέπει να εξυπηρετηθούν, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει πλέον η δυνατότητα να δοθούν φέροντα καλής ποιότητας, προκειμένου να εξυπηρετηθούν όλοι οι χρήστες.

7.4.4 Περίπτωση 4^η

Σε αυτή την περίπτωση μελετούμε το κανάλι των 10 MHz για 100 ενεργές υπηρεσίες με κατανομή 40/20/40. Στον πίνακα 7.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποσοστιαίας κατανομής των φερόντων ανά κλάση και ανά προφίλ.

PROFILES	TOTAL	BASIC (%)	MEDIUM(%)	HIGH(%)
Voice Profile	27	0,0	0,0	100,0
Silver	84	45,2	36,9	17,9
Normal	28	0,0	75,0	25,0
Medium	6	0,0	33,3	66,7
Gold	122	74,6	17,2	8,2
Bronze	109	20,2	55,0	24,8
Total	376			

Πίνακας 7.5 Παράδειγμα για ποσοστιαία κατανομή των φερόντων σε κανάλι 10 MHz.

Εδώ παρατηρούμε πως για πρώτη φορά η χρησιμοποίηση των δυνατοτήτων του καναλιού δεν αγγίζει το 100%. Απεναντίας, σε αντίθεση με τις προηγούμενες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται 376 φέροντα από τα διαθέσιμα 450, δηλαδή ένα ποσοστό της τάξεως του 84%. Μία ακόμη διαφοροποίηση παρατηρείται στις υπηρεσίες φωνής, όπου ανατίθενται αποκλειστικά φέροντα υψηλής ποιότητας. Αντιθέτως στο προφίλ «Gold» ανατίθενται σε ποσοστό 74,6% φέροντα της βασικής κλάσης και μόλις 8,2% από τα φέροντα υψηλής κλάσης. Τέλος, στα προφίλ «Normal» και «Medium» δεν ανατίθενται φέροντα βασικής κλάσης και εξυπηρετούνται από φέροντα καλύτερης ποιότητας.

7.4.5 Περίπτωση 5^η

Σε αυτή την περίπτωση μελετούμε το κανάλι των 10 MHz για 200 ενεργές υπηρεσίες με κατανομή 110/50/40. Στον πίνακα 7.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποσοστιαίας κατανομής των φερόντων ανά κλάση και ανά προφίλ.

PROFILES	TOTAL	BASIC (%)	MEDIUM(%)	HIGH(%)
Voice Profile	83	0,0	43,4	56,6
Silver	107	67,3	23,4	9,3
Normal	80	55,0	32,5	12,5
Medium	26	7,7	53,8	38,5
Gold	45	68,9	22,2	8,9
Bronze	109	69,7	22,0	8,3
Total	450			

Πίνακας 7.6 Παράδειγμα για ποσοστιαία κατανομή των φερόντων σε κανάλι 10 MHz.

Σε αυτή την περίπτωση ανατίθενται όλα τα διαθέσιμα φέροντα, ενώ παρατηρείται μία ομοιότητα στα αποτελέσματα με αυτά της πρώτης και δεύτερης περίπτωσης. Αναλυτικότερα, στις υπηρεσίες φωνής δεν ανατίθενται φέροντα βασικής κλάσης και στο προφίλ «Medium» ανατίθενται σε μεγαλύτερο ποσοστό φέροντα της μεσαίας κλάσης. Τέλος, στα υπόλοιπα προφίλ ανατίθενται σε μεγαλύτερο ποσοστό φέροντα βασικής κλάσης.

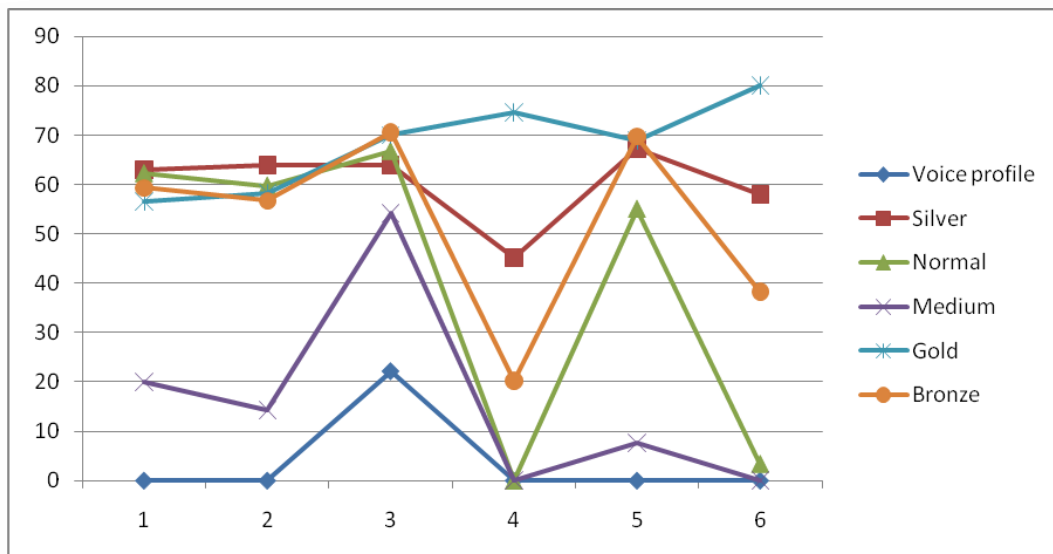
7.4.6 Περίπτωση 6^η

Σε αυτή την περίπτωση μελετούμε το κανάλι των 15 MHz για 200 ενεργές υπηρεσίες με κατανομή 110/50/40. Στον πίνακα 7.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποσοστιαίας κατανομής των φερόντων ανά κλάση και ανά προφίλ.

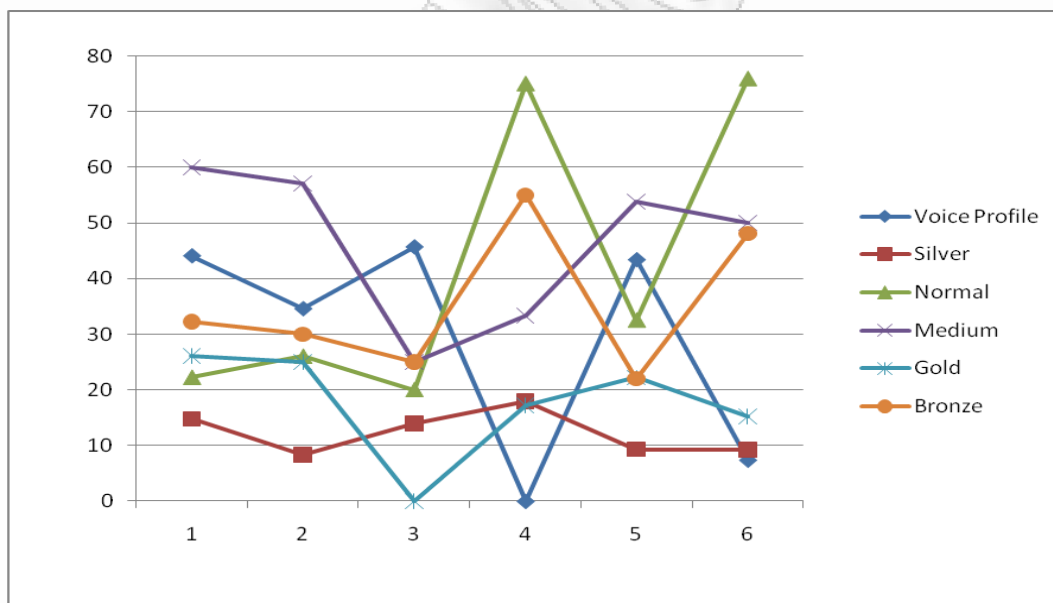
PROFILES	TOTAL	BASIC (%)	MEDIUM(%)	HIGH(%)
Voice Profile	81	0,0	7,4	92,6
Silver	131	58,0	32,8	9,2
Normal	58	3,4	75,9	20,7
Medium	12	0,0	50,0	50,0
Gold	105	80,0	15,2	4,8
Bronze	183	38,3	48,1	13,7
Total	570			

Πίνακας 7.7 Παράδειγμα για ποσοστιαία κατανομή των φερόντων σε κανάλι 10 MHz.

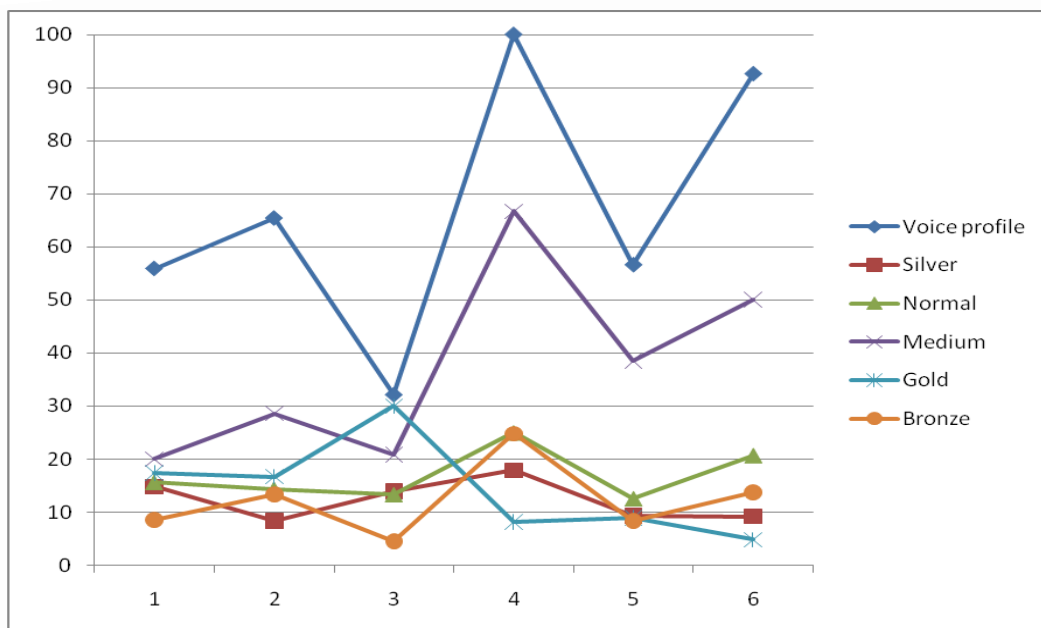
Εδώ παρατηρούμε μία ομοιότητα με την τέταρτη περίπτωση, καθώς και πάλι δεν χρησιμοποιούνται όλα τα διαθέσιμα φέροντα του καναλιού των 15MHz, παρά μόνο το 84%. Επιπλέον, στις υπηρεσίες φωνής ανατίθενται σχεδόν αποκλειστικά, σε ποσοστό 93%, φέροντα υψηλής ποιότητας και στα προφίλ «Normal» και «Medium» σχεδόν δεν ανατίθενται φέροντα βασικής κλάσης και εξυπηρετούνται από φέροντα καλύτερης ποιότητας. Συγκεντρωτικά, μπορούμε να βγάλουμε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα και με τη βοήθεια των γραφημάτων που ακολουθούν.



Εικόνα 7. 2 Ποσοστά ανάθεσης φερόντων βασικής κλάσης και στις έξι περιπτώσεις που μελετήθηκαν.



Εικόνα 7. 3 Ποσοστά ανάθεσης φερόντων μεσαίας κλάσης και στις έξι περιπτώσεις που μελετήθηκαν.



Εικόνα 7.4 Ποσοστά ανάθεσης φερόντων υψηλής κλάσης και στις έξι περιπτώσεις που μελετήθηκαν.

Αυτό που παρατηρείται είναι ότι στις υπηρεσίες φωνής προτιμούνται φέροντα από τις κλάσεις μεσαίας και υψηλής ποιότητας και όταν η χρησιμοποίηση του καναλιού είναι μικρότερη του 100% τότε ανατίθενται σχεδόν εξ' ολοκλήρου φέροντα υψηλής ποιότητας. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και για το προφίλ «*Medium*» όπου ανατίθενται κυρίως φέροντα μεσαίας και υψηλής ποιότητας και όταν η χρησιμοποίηση του καναλιού είναι μικρότερη του 100% τότε ανατίθενται εξ' ολοκλήρου φέροντα από αυτές τις κλάσεις. Τέλος καθώς αυξάνει το μέγεθος του καναλιού, και υπάρχουν αρκετά φέροντα προς διάθεση, στο προφίλ «*Gold*» ανατίθενται ελάχιστα φέροντα υψηλής ποιότητας, σε ποσοστό μικρότερο του 10%, ενώ προτιμούνται πολλά φέροντα της βασικής ποιότητας. Επίσης στο προφίλ «*Silver*» ανατίθενται, και στις έξι περιπτώσεις φέροντα της βασικής κλάσης σε ποσοστό που κυμαίνεται στο 60% και το υπόλοιπο 40% εξυπηρετείται από φέροντα της μεσαίας και υψηλής κλάσης. Κάτι ανάλογο ισχύει και για τα προφίλ «*Bronze*» και «*Normal*» με μόνη εξαίρεση την 4^η περίπτωση που η χρησιμοποίηση του καναλιού είναι μικρότερη του 100% και ανατίθεται ιδιαίτερο υψηλό ποσοστό φερόντων της μεσαίας κλάσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

8.1 Συμπεράσματα

Μετά από όλη την ανάλυση που προηγήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, είναι προφανές πως η χρήση των αλγορίθμων αναγνώρισης και βελτιστοποίησης συνδράμουν στην εξεύρεση γρήγορων και αποτελεσματικών λύσεων σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, για την αντιμετώπιση δυσλειτουργιών και μεταβολών που προκύπτουν σε ένα ασύρματο δίκτυο τηλεπικοινωνιών. Με την είσοδο του αλγορίθμου *CPP-DSA* στην οντότητα *DSNPM* είναι πλέον δυνατό να παρέχεται στους χρήστες ποιότητα υπηρεσιών ανάλογη με αυτή που επιθυμούν, όταν αυτό καθίσταται εφικτό από τις υπάρχουσες συνθήκες στο ραδιοδίκτυο. Σε αντίθετη περίπτωση, η Λειτουργική Αρχιτεκτονική που προτείνεται εξασφαλίζει την αδιάλειπτη παροχή υπηρεσιών σε όλους τους χρήστες, ακόμη και σε κατώτερο επίπεδο υπηρεσιών από αυτή που επιθυμεί ο εκάστοτε χρήστης.

Η περαιτέρω βελτίωση της οντότητας *DSNPM* με την εισαγωγή της τεχνικής της μάθησης φαίνεται ότι μπορεί να μειώσει το χρόνο εύρεσης της αναδιάρθρωσης του δικτύου που απαιτείται για να αντιμετωπίσει τις όποιες μεταβολές, χωρίς να επηρεάζονται οι δείκτες ποιότητας. Η τεχνική που προτάθηκε στο 7^ο κεφάλαιο δείχνει ότι υπάρχει μία τάση από το σύστημα διαχείρισης να αναθέτει σε συγκεκριμένες συνθήκες, συγκεκριμένα ποσοστά φερόντων από τις τρεις διαθέσιμες κλάσεις. Η εκμετάλλευση αυτής της πληροφορίας και η εισαγωγή της στις διαδικασίες του συστήματος διαχείρισης αναμένεται ότι θα δώσει τα προσδοκώμενα αποτελέσματα για μείωση του χρόνου που απαιτείται για την εξεύρεση της ιδανικής λύσης.

8.2 Προτάσεις για περαιτέρω βελτίωση

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων θα πρέπει να συγκριθούν με τα αποτελέσματα που προκύπτουν και με τη χρήση άλλων μεθόδων μάθησης, όπως της μεθόδου *channel segregation*. Εκτός από τη βασική παράμετρο που εξετάζουμε, το χρόνο ευρέσεως της ιδανικής λύσης, θα πρέπει να γίνει και σύγκριση της ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών, καθώς δεν πρέπει να επηρεαστούν σημαντικά οι δείκτες ποιότητας της λύσης που προέκυψε μετά τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης *CPP-DSA*.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Enhanced Context Acquisition Mechanisms for Achieving Self-Managed Cognitive Wireless Network Segments

[2] K.Tsagkaris, G.Dimitrakopoulos, A.Saatsakis, P.Demestichas, “*Distributed radio access technology selection for adaptive networks in high-speed B3G infrastructures*”, International Journal of Communication Systems, Wiley, Vol. 2, Issue 8, pp 969-992, August 2007

[3] A.Saatsakis, K.Tsagkaris, P.Demestichas, “Exploiting Context, Profiles and Policies in Dynamic Subcarrier Assignment Algorithms for Efficient Radio Resource Management in OFDMA Networks”, accepted for publication to the Annals of Telecommunications.

[4] Channel Assignment Schemes for Cellular Mobile Telecommunication Systems : A Comprehensive Survey

[5] A.Saatsakis, P.Demestichas, “*Context Matching for Realizing Cognitive Wireless Network Segments*”

[6] P.Demestichas, G.Dimitrakopoulos, K.Tsagkaris, V.Stavroulaki, A.Katidiotis, “Introducing cognitive systems to the B3G wireless world”, *Cognitive Wireless Networks: Concepts, Methodologies and Visions Inspiring the Age of Enlightenment of Wireless Communications*, pp.253-269, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2007)

[7] Y. Zhan, H. Chen, G.-C. Zhang, “An optimization algorithm of K-NN classification”, in Proc. *International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2006, pp. 2246-2251

[8] Samet, Hanan, “K-Nearest Neighbor Finding Using MaxNearestDist”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2008, pp. 243-252

[9] Alagha, Zeghlache, “*Channel Segregation for Slot Assignment in Integrated Voice and Data Systems*”, *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1998. The Ninth IEEE International Symposium*

[10] James Gross, Holger Karl, Frank Fitzek, Adam Wolisz, “*Comparison of heuristic and optimal subcarriers assignment algorithms*”, in Proc.of International Conference on Wireless Networks (ICWN), 2003

[11] Stephan Pfletschinger, Gerhard Munz, Joachim Speidel, “*Efficient Subcarrier Allocation for Multiple Access in OFDM Systems*”, 7th International OFDMWorkshop 2002, (InOWo’02), Humburg, Germany, September 2002

[12] S-E. Elayoubi and B. Fourestie, “*On frequency allocation in 3G LTE systems*”, IEEE 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006.

[13] Ian C. Wong, Zukang Shen, Brian L. Evans, Jeffrey G. Andrews, “*A Low Complexity Algorithm for Proportional Resource Allocation in OFDMA Systems*”, IEEE Workshop on Signal Processing Systems, 2004.

[14] G. Li and H. Liu, “*On the optimality of the OFDMA network*”, IEEE Commun. Lett., vol.9, no.5, pp.438–440, May 2005

[15] J. Munkres, “*Algorithms for the Assignment and Transportation Problems*”, Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 5(1):32–38, 1957 March

[16] R.E. Burkard, M. Dell'Amico, S. Martello: *Assignment Problems*. SIAM, Philadelphia (PA.) 2009. ISBN 978-0-898716-63-4

[17] 3GPP, R1-050779, Texas Instruments, “*Throughout Evaluations in EUTRA OFDMA Downlink*”, 2005.