



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ & ΔΙΚΤΥΑ

Τεχνικές Διαχείρισης Φάσματος
σε Περιβάλλοντα Adaptive (Δυναμικά
Προσαρμοζόμενων) Δικτύων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΥ Ν. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

Πειραιάς, Δεκέμβριος 2006

.....

Αναγνωστοπούλου Ν. Κωνσταντίνα
Πτυχιούχος Ηλεκτρονικός Μηχανικός, MSc

Copyright © Αναγνωστοπούλου Ν. Κων/να 2006 – All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Πειραιά.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διπλωματική εργασία με θέμα ‘Τεχνικές Διαχείρισης Φάσματος σε Περιβάλλοντα Adaptive (Δυναμικά Προσαρμοζόμενων) Δικτύων’ μου ανατέθηκε από τον καθηγητή κ. Δεμέστιχα Παναγιώτη τον Φεβρουάριο του 2006. Ιδιαίτερως σημαντική υπήρξε η συμβολή του υποψήφιου διδάκτορα Δημητρακόπουλου Γεώργιου και στο σημείο αυτό θα ήθελα να τους ευχαριστήσω θερμά για την συμπαράσταση και την συνδρομή τους στην ολοκλήρωση της προσπάθειας αυτής.

Για την διεκπεραίωση της έρευνας συνέλλεξα πληροφορίες από δύο κυρίως πηγές: την βιβλιογραφία, ελληνική και ξενόγλωσση, που αφορά στο θέμα της εργασίας και το διαδίκτυο. Αξιόλογη υπήρξε η προσφορά των υπεύθυνων των βιβλιοθηκών του Εθνικού Ιδρύματος Ερευνών, του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΕΕ), του Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.), του Πανεπιστημίου Πειραιά και του Πανεπιστημίου Αθήνας, που στάθηκαν περισσότερο από πρόθυμοι στο να βοηθήσουν την έρευνα μου, αλλά και στο να δώσουν κατευθύνσεις στην περαιτέρω πορεία της έρευνας αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους Νικόλαο Ραγιά, Αγγελή Γεωργία και Μπερντετσίου Θένια, για την αμέριστη συμπαράσταση τους όλο αυτό το χρονικό διάστημα που χρειάστηκε για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας για την τεχνική και ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν ανιδιοτελώς.

Αναγνωστοπούλου Κωνσταντίνα

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	8
1.2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	9
1.3 ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	10
1.4 ΔΙΚΤΥΑ ΠΕΡΑΝ ΤΗΣ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (B3G).....	13
1.4.1. Απαιτήσεις B3G συστημάτων.....	13
1.4.2. Μελλοντικές εφαρμογές	15
1.5 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΑΣΜΑ	19
2.1 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ.....	20
2.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.....	23
2.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ.....	25
2.3.1 Σενάρια φάσματος.....	25
2.3.2 Ρυθμίσεις φάσματος.....	26
2.3.3 Ελάχιστο φάσμα	26
2.3.4 Φάσματα συχνότητας	27
2.3.5 Συνολικό ποσό φάσματος	27
2.3.6 Μεθοδολογίες.....	27
2.3.7 Νέα και εύκαμπτη χρήση φάσματος.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	31
3.1 ΔΙΕΘΝΗΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	32
3.1.1 Διεθνές περιβάλλον αναφοράς.....	32
3.1.2 Κατανομή φάσματος στις Η.Π.Α.	33
3.1.3 Η Ευρωπαϊκή προοπτική	38
3.1.4 Παράλληλοι φορείς	40
3.2 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	41

3.2.1 Χρήση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων	41
3.2.2 Δ.Δ.Ε φάσματος ραδιοσυχνοτήτων	41
3.2.3 Διαδικασία Χορήγησης Περιοχής Φάσματος	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	50
4.1 ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	51
4.2 ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΚΧΩΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	52
4.2.1 Πλήρως σταθερή εκχώρηση συχνοτήτων	52
4.2.2 Δανεισμός.....	53
4.2.2 Cell re- ordering	54
4.3 ΥΒΡΙΔΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΧΩΡΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.....	56
4.4 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΚΧΩΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ.....	59
5.1 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	60
5.2 ΚΕΝΤΡΙΚΗ DCA	61
5.2.1 Μέγιστη ομαδοποίηση.....	61
5.2.2 Αλγόριθμος MaxMin	62
5.3 ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ DCA.....	63
5.3.1 Δυναμική απόκτηση πόρων	64
5.4 ΠΛΗΡΩΣ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ DCA	65
5.4.1 Απομόνωση διαύλων.....	66
5.4.2 Απομόνωση διαύλων με μεταβλητό κατώφλι.....	67
5.4.3 Αλγόριθμοι ελαχιστης παρεμβολής.....	68
5.5 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗΣ DCA	69
5.5.1 Μέθοδος ORA - IA.....	70
5.5.2 Μέθοδος TSRP.....	71
5.5.3 Μέθοδος SRA	72
5.6 ADVANCED SPECTRUM MANAGEMENT (ASM)	74
5.6.1 Spectrum Brickwork.....	77
5.6.2 Opportunistic and Dynamic Spectrum Management - ODSM.....	81
5.6.3 Cell by Cell DSA.....	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:ΕΠΙΛΟΓΟΣ	85
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	88
Κατανομή ραδιοσυχνοτήτων στην Ελλάδα.....	89
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	104
ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ	105

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

1.1 ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Πριν από έναν αιώνα, στις αρχές του 1890, ο Marconi άρχισε να πειραματίζεται με την ασύρματη επικοινωνία μέσω των ραδιοκυμάτων. Η έρευνά του οδηγήθηκε το 1897 στην επιτυχή μετάδοση των ραδιοκυμάτων, σε ένα σκάφος εν πλω σε απόσταση είκοσι εννέα χιλιομέτρων. Μερικά χρόνια αργότερα, ήταν δυνατό να διαβιβάζονται σήματα πέρα από τον Ατλαντικό Ωκεανό και ήδη το 1905 τα περισσότερα πλοία χρησιμοποιούσαν ασύρματο τηλέγραφο για να επικοινωνούν με την στεριά. Το 1909, ο Marconi έλαβε το βραβείο Νόμπελ στη φυσική για την

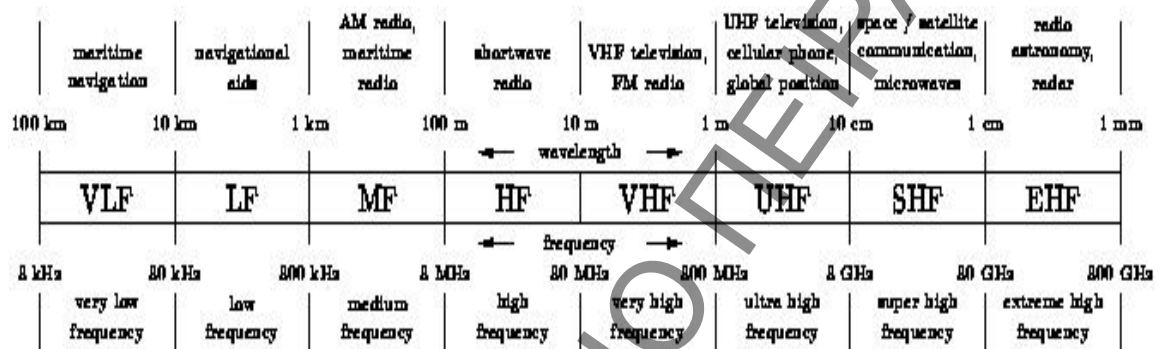


πρωτοποριακή εργασία του για τον ασύρματο τηλέγραφο. Οι συνεχείς βελτιώσεις του εξοπλισμού, οδήγησαν στην καθιέρωση της ασύρματης τηλεφωνίας μεταξύ της Βιρτζίνια και του Παρισιού το 1915. Μετά από τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, η ραδιοφωνική αναμετάδοση έγινε όλο και περισσότερο δημοφιλής, αρχικά σε

ένα ερασιτεχνικό επίπεδο και αργότερα από τους επαγγελματικούς εκφωνητές. Ήδη στη δεκαετία του '30, άρχισε η πειραματική τηλεοπτική μετάδοση και εισήχθη επιτυχώς στην αγορά στο τέλος της δεκαετίας του '40.

Τα τελευταία 50 χρόνια, το ραδιοφάσμα έχει εξερευνηθεί για την ασύρματη επικοινωνία με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Παραδείγματος χάριν, οι διαστημικές αποστολές δεν είναι δυνατές χωρίς επικοινωνία μέσω των ραδιοκυμάτων. Όχι μόνο χρησιμοποιείται για τη μετάδοση φωνής με τους αστροναύτες, αλλά και για τη ναυσιπλοΐα των διαστημόπλοιων. Σήμερα, τα ραδιοκύματα χρησιμοποιούνται για την ασύρματη τηλεγραφία, για ραδιοφωνικές αναμεταδόσεις, για την τηλεόραση, για τα κυψελοειδή τηλεφωνικά δίκτυα, για τα ραντάρ, για συστήματα πλοήγησης (έλεγχος αέρα και θαλάσσιας κίνησης), για στρατιωτική επικοινωνία, για διαστημική επικοινωνία καθώς και σε πολλές άλλες εφαρμογές.

Κάθε εφαρμογή χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο μέρος του ραδιοφάσματος. Οι συχνότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ασύρματη επικοινωνία κυμαίνονται από 3KHz ως 300 GHz. Αυτές οι τιμές, αντιστοιχούν στα μήκη κύματος μεταξύ ενός χιλιοστού και εκατό (100) χιλιομέτρων. Το παρακάτω σχήμα προσδιορίζει ποιες συχνότητες χρησιμοποιούνται αυτήν την περίοδο για ποια εφαρμογή.



Σχήμα 1.1
Συχνότητες και εφαρμογές

Οι δημοφιλέστερες εφαρμογές (ράδιο, τηλεόραση και κινητή τηλεφωνία) χρησιμοποιούν τις περιοχές της πολύ υψηλής συχνότητας (VHF) και της εξαιρετικά υψηλής συχνότητας (UHF). Γενικότερα, η χρήση των συχνοτήτων για μια εφαρμογή ρυθμίζεται από την ITU - International Telecommunication Union - και από εθνικές αντιπροσωπείες, οι οποίες εκδίδουν τις άδειες για να χρησιμοποιηθούν ορισμένες συχνότητες.

1.2 ΕΠΕΣΚΟΠΗΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα διακρίνονται σε δίκτυα πρόσβασης και δίκτυα κορμού. Τα δίκτυα πρόσβασης περιλαμβάνουν τα δίκτυα ενσύρματης πρόσβασης και τα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης.

Τα χαρακτηριστικά των δικτύων ενσύρματης πρόσβασης είναι ότι επιτρέπουν την πρόσβαση των τελικών χρηστών στη δικτυακή υποδομή, έχουν σταθερό σημείο πρόσβασης και το εύρος ζώνης πρόσβασης προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό την από άκρο σε άκρο ταχύτητα μετάδοσης. Χαρακτηριστικές τεχνολογίες ενσύρματης πρόσβασης είναι η dial up, PSTN, ISDN, xDSL (ADSL, VDSL), optical networks, CATV, Gigabit Ethernet, ATM, Frame Relay.

Τα ασύρματα δίκτυα υπάρχουν εδώ και μια δεκαετία, αλλά μόλις τα τελευταία χρόνια πραγματοποιήθηκε μια έκρηξη στη χρήση τους, εξαιτίας κυρίως της τεχνολογικής εξέλιξης στις ασύρματες δικτυακές φορητές συσκευές (φορητοί υπολογιστές, PDA, κλπ.) καθώς και της πτώσης της τιμής των τελευταίων. Το βασικό χαρακτηριστικό των δικτύων ασύρματης πρόσβασης είναι ότι δεν υπάρχει σταθερό σημείο πρόσβασης και η μετάδοση μεταξύ χρηστών και σταθμών βάσης γίνεται ασύρματα.

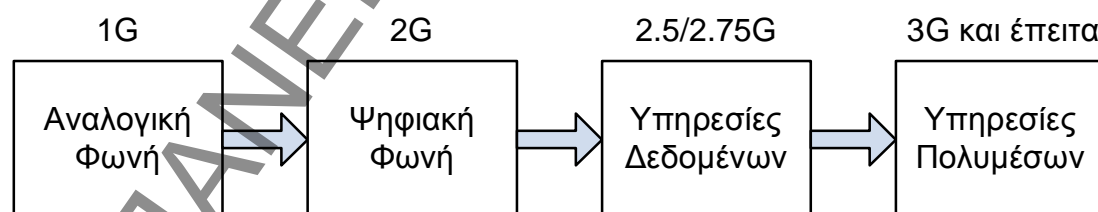
Οι σημαντικότερες ασύρματες τεχνολογίες είναι η κινητή τηλεφωνία (GSM, UMTS), τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Area Networks, WPAN) όπως είναι το Bluetooth, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks, WLAN), τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (Wireless Metropolitan Area Networks, WMAN), η ψηφιακή τηλεόραση, η ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση (Broadband Radio Access Network, BRAN) καθώς και τα δίκτυα αισθητήρων (Sensor Networks).

1.3 ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Τα δίκτυα πρώτης γενιάς (1G), έκαναν την εμφάνισή τους το 1980. Διέθεταν μόνο αναλογική τεχνολογία, έλλειψη συμβατότητας και ομοιογένειας, υποστήριζαν κυρίως φωνή και κάποιες βασικές λειτουργίες των μετακινούμενων χρηστών. Τα συστήματα πρώτης γενιάς ήταν αναλογικά κυψελωτά δίκτυα. Αν και σήμερα η τεχνολογία τους θεωρείται παρωχημένη, εν τούτοις αποτέλεσαν έναν σημαντικό σταθμό στην ιστορική εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών. Ωστόσο, σχετικά γρήγορα οι δυνατότητές τους δεν επαρκούσαν για την κάλυψη των αναγκών των χρηστών. Τα κυριότερα προβλήματά τους ήταν η χαμηλή ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών, εξαιτίας του αναλογικού συστήματος, η υποστήριξη μόνο ενός τύπου υπηρεσίας και συγκεκριμένα κλήσεων φωνής, η συνολικά χαμηλή απόδοση του

δικτύου ως προς την εξυπηρέτηση πολλών χρηστών. Επίσης, οι δυνατότητες περιαγωγής ανάμεσα στα διαφορετικά δίκτυα ήταν εξαιρετικά περιορισμένες και η ασφάλεια του δικτύου κυμαινόταν σε χαμηλά επίπεδα, κάτι που δημιουργούσε αντικειμενικά προβλήματα στην χρήση του και είχε ως αποτέλεσμα τη μειωμένη εμπιστοσύνη εκ μέρους των χρηστών προς τις παρεχόμενες υπηρεσίες.

Στις αρχές του 1990 έκαναν την εμφάνισή τους τα δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G), τα οποία βασίζονταν στην ψηφιακή τεχνολογία, υποστήριζαν τους μετακινούμενους χρήστες (roaming) και υποστήριζαν υπηρεσίες δεδομένων. Το πιο χαρακτηριστικό δίκτυο δεύτερης γενιάς είναι το GSM. Η δεύτερη γενιά συστημάτων κατόρθωσε να αποκαταστήσει την εμπιστοσύνη των χρηστών στις κινητές επικοινωνίες και σήμερα κατέχει εξέχουσα θέση ανάμεσα στα συστήματα επικοινωνιών. Τα χαρακτηριστικά που συντέλεσαν στην επιτυχία και στην αλματώδη εξάπλωση αυτής της γενιάς είναι ότι το δίκτυο πλέον είναι ψηφιακό και όχι αναλογικό. Αυτή η εξέλιξη είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς δίνει νέες δυνατότητες για αναβάθμιση στην ποιότητα όλων των παρεχόμενων υπηρεσιών. Εκτός από φωνητικές κλήσεις, τώρα υποστηρίζονται και υπηρεσίες δεδομένων και παρέχονται νέες υπηρεσίες, η περιαγωγή ανάμεσα στα διαφορετικά δίκτυα απλουστεύτηκε και παρέχεται ως υπηρεσία στους χρήστες και η εν γένει απόδοση του δικτύου βελτιώθηκε σημαντικά, όπως και η εκμετάλλευση του δεδομένου φάσματος συχνοτήτων.



Σχήμα 1.2
Εξέλιξη των συστημάτων κινητών επικοινωνιών

Στα τέλη της δεκαετίας του 90 δημιουργήθηκαν κάποιες μεταβατικές τεχνολογίες για την μετάβαση από τα δίκτυα δεύτερης στα δίκτυα τρίτης γενιάς. Έτσι,

τα λεγόμενα 2,5G δίκτυα υποστήριζαν αυξανόμενους ρυθμούς μετάδοσης και εύρους ζώνης. Σημαντική αλλαγή ήταν και η μεταγωγή κυκλώματος σε μεταγωγή πακέτου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα 2,5G δικτύων είναι το GPRS.

Από το 2000 έκαναν και την εμφάνισή τους τα δίκτυα τρίτης γενιάς, τα οποία υποστήριζαν πλήρως διαφανή μετακίνηση, μεγάλο εύρος ζώνης, πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, περισσότερες υπηρεσίες δεδομένων και πολυμέσων. Η εξέλιξη προς τα τρίτης γενιάς (3G) συστήματα καταδεικνύει την αυξημένη ανάγκη των χρηστών για πρόσβαση σε αρχεία κατά τη διάρκεια κίνησης, κυρίως από την μεγέθυνση της χρήσης του διαδικτύου, με τους κινητούς συνδρομητές να απαιτούν συνεχώς περισσότερα από ένα σύστημα, το οποίο να υποστηρίζει υπηρεσίες όπως ασύρματο ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, πλοήγηση στο διαδίκτυο, ασύρματες τηλεπικοινωνίες, video κτλ.

Τα τελευταία χρόνια έχουν παρατηρηθεί ραγδαίες εξελίξεις στις τεχνολογίες κινητής και ασύρματης επικοινωνίας με κορυφαία αυτή της έναρξης λειτουργίας των δικτύων 3ης γενιάς (3G). Η νέα τεχνολογία UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) έρχεται να συμπληρώσει, να βελτιώσει και να επεκτείνει τις δυνατότητες επικοινωνίας των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας. Τα δίκτυα 3G αναμένεται να βελτιώσουν τις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες και να αλλάξουν το τοπίο της νέας ψηφιακής οικονομίας.

Μέσα στα επόμενα είκοσι χρόνια, η ασύρματη επανάσταση θα αλλάξει εντελώς τη δομή των επικοινωνιών. Σήμερα, οι χρήστες κυβελωτών και προσωπικών επικοινωνιακών υπηρεσιών ανέρχονται σε περίπου 300 εκατομμύρια. Ενώ ο ρυθμός αύξησης συνδρομητών του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου είναι περίπου 3% το χρόνο, οι χρήστες ασύρματων υπηρεσιών αυξάνονται με ρυθμό περίπου 40%. Οι νέοι ασύρματοι συνδρομητές χρησιμοποιούν σχετικά πρωτόγονη, αν και ψηφιακή, τεχνολογία στενής ζώνης (narrowband) η οποία παρέχει ρυθμούς μετάδοσης πληροφορίας πολύ χαμηλότερους από τις ενσύρματες τηλεφωνικές γραμμές DSL. Η μεγάλη ανάγκη για υπηρεσίες Internet, ασύρματη διανομή καλωδιακής τηλεόρασης, εύκολη και γρήγορη μετακίνηση αρχείων, καθιστά επιτακτική τη χρήση ασύρματων υπηρεσιών ευρείας ζώνης.

1.4 ΔΙΚΤΥΑ ΠΕΡΑΝ ΤΗΣ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (B3G)

Σήμερα οι τηλεπικοινωνίες βρίσκονται σε μία καθολική επανάσταση. Οι μεγάλες συντελούμενες αλλαγές ήδη αρχίζουν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στον τρόπο που εργάζονται οι άνθρωποι, οργανώνονται οι επιχειρήσεις και γίνονται οι εμπορικές συναλλαγές. Η ταχεία εισδοχή νέων τεχνολογιών και υπηρεσιών και ο μεγάλος ανταγωνισμός στην τηλεπικοινωνιακή αγορά δημιουργούν μεγάλες ευκαιρίες στην μοντέρνα επιχείρηση να αναβαθμίσει την υποδομή της και να αυξήσει την ανταγωνιστικότητα της με όρους πλέον οικονομικά σύμφορους.

Η ανάγκη για ακόμα μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης οδήγησε στην περαιτέρω εξέλιξη των δικτύων τρίτης γενιάς. Τα δίκτυα αυτά ονομάζονται Beyond 3G (B3G) και αποσκοπούν στην παγκόσμια πρόσβαση και στην υποστήριξη κινούμενων χρηστών. Η βασική ανάγκη πλέον υπόκειται στη ανεξαρτησία από συσκευή ή τεματικό και στην all-IP μεταγωγή: Η μεταγωγή δε βασίζεται πια στο TDM, αλλά υπάρχει IP μεταφορά και σηματοδότηση (SIP). Οι ειδικοί αναφέρουν πως το B3G θα επιφέρει την δυνατότητα ευρυζωνικής κινητικότητας στο ευρύ κοινό. Οι νέες B3G τεχνολογίες έχουν σαν στόχο να δημιουργήσουν δίκτυα πλήρους μεταγωγής πακέτου για δεδομένα.

1.4.1. Απαιτήσεις B3G συστημάτων

Οι σημαντικότερες απαιτήσεις των B3G συστημάτων είναι οι ακόλουθες:

§ Υψηλός ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας. Τα συστήματα 3ης γενιάς προσφέρουν μέχρι 2 Mbits/sec για περιβάλλοντα εσωτερικού χώρου (indoor environments) και τουλάχιστον 144 Kbits/sec για κινούμενα (vehicular) περιβάλλοντα. Ασύρματα LAN (Local Area Networks) και ασύρματα συστήματα πρόσβασης ευρείας ζώνης που λειτουργούν στη ζώνη των 5 GHz και έχουν αναπτυχθεί στην Ιαπωνία (MMAC), στην Ευρώπη (Hyperlan 2) και στην Αμερική (IEEE 802.11), έχουν ταχύτητα μετάδοσης 20 έως 30 Mbits/sec. Η ελάχιστη ταχύτητα που έχει τεθεί ως στόχος για τα 4G συστήματα θα είναι 10-20 Mbits/sec για ακίνητα περιβάλλοντα και 2 Mbits/sec για κινούμενα οχήματα.

§ Μεγαλύτερη χωρητικότητα και μικρότερο κόστος ανά bit. Η χωρητικότητα των συστημάτων 3G δεν θα είναι αρκετή για να εξυπηρετήσει την εκρηκτικά

αυξανόμενη κίνηση των πολυμέσων γύρω στο 2010. Η χωρητικότητα για τα 4G συστήματα πρέπει να είναι τουλάχιστον δέκα φορές υψηλότερη από την αντίστοιχη των 3G, ενώ το κόστος ανά bit πρέπει να μειωθεί δραματικά ώστε η χρέωση να μην είναι απαγορευτική.

§ Εξαιρετική ποιότητα παροχής υπηρεσιών (Quality of Service - QoS). Τα ασύρματα συστήματα χρησιμοποιούν περιορισμένο εύρος συχνοτήτων και μεταδιδόμενης ισχύος και υποφέρουν από συμφόρηση. Επομένως, είναι αναγκαία εξαιρετική ποιότητα παροχής υπηρεσιών για την υποστήριξη διαφορετικών εφαρμογών, ιδιαίτερα αυτών που απαιτούν επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

§ Καλή χωρική κάλυψη με μεταβλητή ταχύτητα μετάδοσης. Καθώς οι ταχύτητες μετάδοσης αυξάνονται, το απαιτούμενο επίπεδο λαμβανομένου σήματος θα αυξηθεί ανάλογα. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η επιδιωκόμενη ταχύτητα των συστημάτων 4G είναι μεγαλύτερη από δύο τάξεις μεγέθους σε σχέση με τα υπάρχοντα συστήματα, η ακτίνα της κυψέλης θα μειωθεί και η κάλυψη στο εσωτερικό των κτιρίων θα υποβαθμιστεί αν δεν προστεθεί ένας μεγάλος αριθμός σταθμών βάσης. Η χρήση συστημάτων μετάδοσης μεταβλητής απόστασης και ταχύτητας (wide-range variable-speed) είναι αναγκαία για ικανοποιητική κάλυψη εσωτερικών χώρων και μετάβαση σε διαφορετική κυψέλη χωρίς προβλήματα ανεξαρτήτως της τεχνολογίας των συστημάτων (3G, 4G).

§ Υποστήριξη Internet νέας γενιάς. Η υποστήριξη πρωτοκόλλων Internet νέας γενιάς (IPv6) και πολυμετάδοσης (multicasting) είναι σημαντική ιδιαίτερα για εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου.

§ Ομαλή διασύνδεση με συστήματα 3G, ασύρματα δίκτυα υπολογιστών (WLAN) και σταθερά δίκτυα. Με τη χρήση τεχνολογίας βασισμένης σε πρωτόκολλα Internet (IP) θα είναι δυνατή η ομαλή διασύνδεση διαφορετικών τεχνολογιών. Ως αποτέλεσμα ο κάθε χρήστης θα μπορεί να διαλέγει το καλύτερο δίκτυο ανά περίπτωση (ανάλογα με το χρόνο, χώρο και κόστος).

§ Σχεδίαση συσκευών (Hardware). Οι συσκευές θα πρέπει να έχουν διαφανής λειτουργία σε πολλαπλά συστήματα, να είναι μικρές και ελαφριές, με μικρή κατανάλωση ισχύος και να διαθέτουν εξαρτήματα υψηλής συχνότητας

1.4.2. Μελλοντικές εφαρμογές

Τα Β3G δίκτυα βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο και αναμένεται να είναι τα δίκτυα του μέλλοντος. Γεννιέται η ανάγκη για την δημιουργία έξυπνων κεραιών και σταθμών βάσης, δίνεται μεγάλη σημασία στις υπηρεσίες καθώς και στην διαλειτουργικότητα μεταξύ δικτύων και τερματικών και φυσικά δίνεται ακόμα μεγαλύτερη έμφαση στο δύσκολο έργο της ασφάλειας και της προστασίας. Μερικές από τις μελλοντικές εφαρμογές είναι οι παρακάτω:

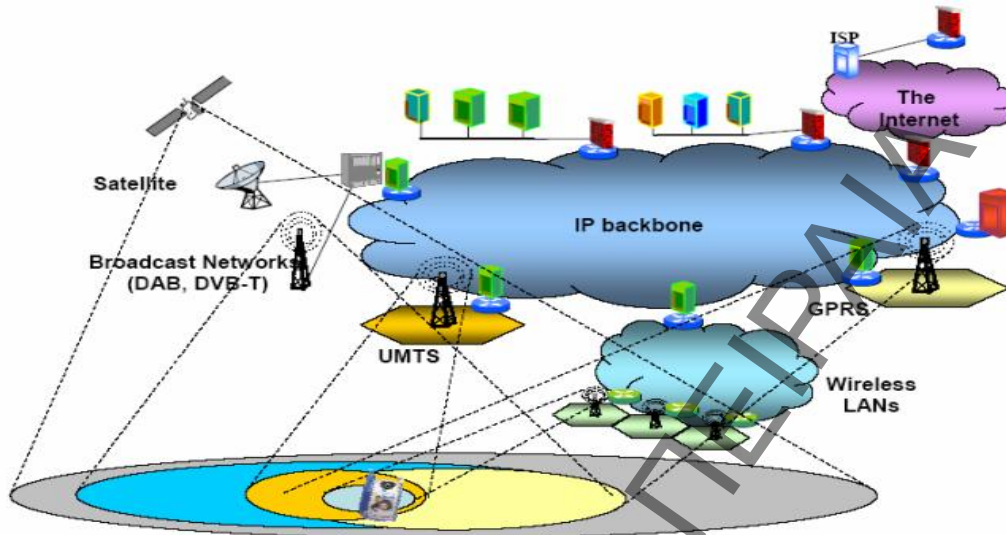
§ Εικονική πλοήγηση (virtual navigation). Μια απομακρυσμένη βάση δεδομένων θα περιέχει γραφική αναπαράσταση δρόμων, κτιρίων και τοπογραφικών γνωρισμάτων. Κομμάτια αυτής της βάσης δεδομένων θα μεταδίδονται γρήγορα σε ένα όχημα όπου ένα υπολογιστικό πρόγραμμα θα επιτρέπει στους επιβάτες να προβλέπουν τη μελλοντική διαδρομή, να επιλέγουν δρόμους με τη μικρότερη κίνηση, να εντοπίζουν αξιοθέατα ή μουσεία ή να επιλέγουν εναλλακτικούς δρόμους σε περιπτώσεις ατυχημάτων.

§ Τηλεϊατρική (telemedicine). Τα πληρώματα των ασθενοφόρων σε απομακρυσμένες περιοχές θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ιατρικά αρχεία και να τηλεδιασκεύονται (video-conference) με γιατρούς όπως και να μεταδίδουν κρίσιμες πληροφορίες του ασθενούς σε κεντρικά νοσοκομεία.

§ Σταθμός πληροφορίας (info station). Ένας οδηγός αυτοκινήτου θα μπορεί να λαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό αρχείων ή πολυμέσων από το δίκτυο κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε ένα αυτοκινητόδρομο .

§ Οικιακά δίκτυα πολυμέσων. Το κάθε «έξυπνο» πλέον σπίτι θα είναι από μόνο του ένα θαύμα της τεχνολογίας. Θα αποτελεί ένα δίκτυο με όλες τις συσκευές και θα μπορεί να κάνει τη ζωή μας πιο εύκολη, αφού θα μπορούμε να προγραμματίζουμε τα πάντα ακόμα και όταν δεν θα βρισκόμαστε στο σπίτι.

§ Εφαρμογές διαχείρισης κρίσεων. Αυτές οι εφαρμογές είναι χρήσιμες σε περιόδους φυσικών καταστροφών όταν ολόκληρος ο τηλεπικοινωνιακός ιστός έχει παραλύσει. Η γρήγορη επαναλειτουργία των τηλεπικοινωνιών είναι αναγκαία. Η αυξημένη χωρητικότητα των ασύρματων συστημάτων ευρείας ζώνης 4G τα οποία θα περιλαμβάνουν υπηρεσίες Internet και video θα επιτρέψουν την αποκατάσταση σε διάστημα ωρών σε αντιδιαστολή με τα ενσύρματα συστήματα που θα απαιτούσαν ημέρες ή ακόμα και εβδομάδες.



Σχήμα 1.3
Δίκτυα του μέλλοντος

§ Εκπαίδευση μέσω Internet. Η παροχή ενσύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης στο Internet είναι οικονομικά ασύμφορη για κατοίκους αραιοκατοικημένων ή απομακρυσμένων περιοχών. Ασύρματες επικοινωνίες ευρείας ζώνης μπορούν να λύσουν αυτό το πρόβλημα.

§ Κινητά δίκτυα υπολογιστών. Κατά ανάλογο τρόπο με τα σταθερά δίκτυα υπολογιστών τα κινητά δίκτυα υπολογιστών θα διευκολύνουν οικονομικές συναλλαγές, επιχειρηματικές πράξεις και επιστημονική συνεργασία από απόσταση.

Εάν οι τεχνολογίες και οι εφαρμογές ήταν οι κινητήριες δυνάμεις πίσω από τα 2G και 3G συστήματα, τα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα θα οδηγηθούν από τους χρήστες του δικτύου. Παρέχοντας πραγματική κινητικότητα στους κινούμενους χρήστες και ταυτόχρονα διατήρηση του ίδιου υψηλού επιπέδου στην παροχή ποιότητας υπηρεσίας σε ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα, θα είναι μια πρόκληση που θα αντιμετωπιστεί από τις εταιρίες που πρόκειται να εγκαταστήσουν 3G και 4G συστήματα. Ο έλεγχος της κίνησης δεδομένων είναι απαραίτητος για την παροχή κατάλληλης ποιότητας υπηρεσιών και διατήρηση-δέσμευση λογικών πόρων μεταξύ των δικτύων, τόσο ενσύρματων όσο και ασύρματων. Στο μέλλον, η διαχείριση της

κίνησης θα βασίζεται τόσο στην αστυνόμευση του δικτύου όσο και στα χαρακτηριστικά της κίνησης και θα παίζει σημαντικό ρόλο στη βελτιστοποίηση των πόρων του συστήματος ενώ ταυτόχρονα θα ελέγχεται η συμφόρηση του δικτύου. Επίσης, θα υπάρξει έντονα η ανάγκη τα κινητά συστήματα να είναι διεθνώς αρμονισμένα, όσο αυτό μπορεί να επιτευχθεί, ως προς την συχνότητα λόγω roaming.[7]

1.5 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η ανάπτυξη των τεχνικών διαχείρισης φάσματος σε περιβάλλοντα adaptive δικτύων. Στόχος είναι να αναλυθούν οι τεχνικές για την καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου φάσματος. Ήδη, αναφερθήκαμε σε μια ιστορική αναδρομή για τα ασύρματα δίκτυα και την εξέλιξη τους, φτάνοντας στα λεγόμενα «adaptive» δίκτυα, αναφέροντας τις απαιτήσεις τους καθώς και τις κυριότερες μελλοντικές τους εφαρμογές. Στην συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο, θα αναφερθούμε στο φάσμα γενικότερα και θα επικεντρωθούμε στο πρόβλημα που αντιμετωπίζεται έντονα την τελευταία δεκαετία, δηλαδή στο πρόβλημα της ανάθεσης συχνοτήτων. Εξαιτίας της γρήγορης ανάπτυξης των νέων ασύρματων υπηρεσιών, όπως τα ψηφιακά κυψελοειδή τηλεφωνικά δίκτυα, ένας από τους πιο σημαντικούς πόρους, οι συχνοότητες στο ραδιοφάσμα πλέον δεν επαρκούν. Επειδή το μέλλον στηρίζεται στην σωστή κατανομή των ραδιοπόρων, η ερευνητική δραστηριότητα γύρω από αυτή είναι, τα τελευταία χρόνια σε έξαρση.

Στο τρίτο κεφάλαιο θα κάνουμε μια επισκόπηση της κατανομής του φάσματος ξεκινώντας από τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, την Ευρώπη και φυσικά την Ελλάδα. Θα αναφερθούμε στις αρχές που διέπουν και είναι υπεύθυνες για την κατανομή του φάσματος σε κάθε περιοχή από τις προαναφερθείσες και στον τρόπο με τον οποίο είναι κατανεμειμένο το φάσμα σήμερα.

Η διαχείριση του φάσματος στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί η ικανότητα και η ποιότητα της παροχής υπηρεσιών. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι εκχώρησης συχνοτήτων. Στο τέταρτο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ανάθεση συχνοτήτων στα ασύρματα δίκτυα γενικά. Ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στην δυναμική ανάθεση

συχνοτήτων, η οποία είναι και η βασικότερη τεχνική ανάθεσης συχνοτήτων που χρησιμοποιείται στα δίκτυα τρίτης γενιάς και αναμένεται να κυριαρχήσει στα Β3G συστήματα. Έτσι, στο πέμπτο κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε διάφορους αλγόριθμους δυναμικής ανάθεσης φάσματος. Αξίζει να αναφερθεί ότι η μέθοδος της δυναμικής ανάθεσης μελετάται και είναι ένα σημαντικό ερευνητικό αντικείμενο ιδιαίτερα για τις τεχνολογίες του μέλλοντος.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΦΑΣΜΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

2.1 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Όπως είναι γνωστό, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αποτελούνται από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που διαδίδονται μαζί στο χώρο με την ίδια ταχύτητα, την ταχύτητα του φωτός ($c=3\cdot 10^8$ m/sec). Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι αρμονικά δηλαδή οι εντάσεις των πεδίων μεταβάλλονται τοπικά και χρονικά ακολουθώντας το νόμο του ημιτόνου. Σε απομακρυσμένα από την πηγή σημεία τα πεδία είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στην κατεύθυνση διάδοσης του κύματος. Διαδίδονται στο χώρο κατά επίπεδα μέτωπα, είναι συμφασικά, παίρνουν δηλαδή συγχρόνως τη μέγιστη ή ελάχιστη τιμή τους. Η απόσταση μέσα στην οποία οι εντάσεις του ηλεκτρικού (E) και του μαγνητικού (B) πεδίου συμπληρώνουν μία πλήρη εναλλαγή λέγεται μήκος κύματος λ , ενώ ο αριθμός των πλήρων εναλλαγών στο δευτερόλεπτο είναι η συχνότητα του κύματος f . Τα λ και f συνδέονται με τη γνωστή σχέση $c=\lambda\cdot f$. Επομένως, όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν την ίδια φύση, την ίδια ταχύτητα διάδοσης και διαφέρουν μόνο στη συχνότητα και το μήκος κύματος.

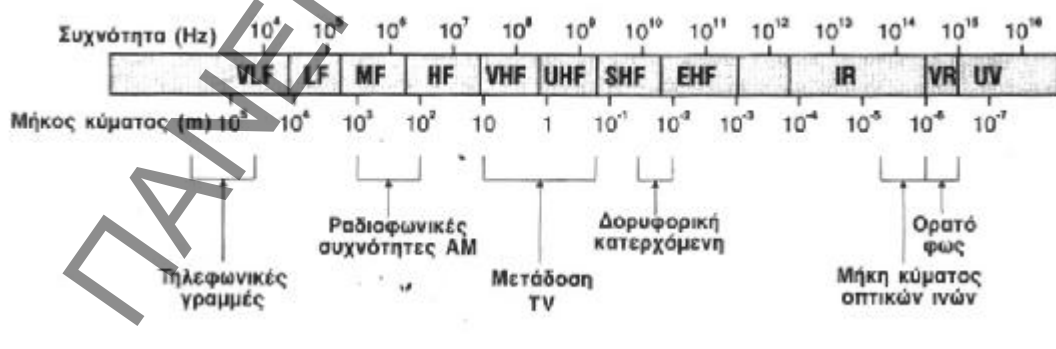
Η ταξινόμηση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων γίνεται συνήθως με βάση την συχνότητα (ή το μήκος κύματος στο κενό). Το σύνολο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ταξινομημένο με βάση την συχνότητα ονομάζεται ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Η έκταση του κυμαίνεται από την περιοχή των 0,01Hz έως τα 10^{24} Hz.

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε δυο μεγάλες περιοχές ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής. Η περιοχή με συχνότητες μικρότερες από 10^{13} Hz, περιλαμβάνει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που παράγονται τεχνητά με ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους. Στην περιοχή αυτή, κατά αύξουσα σειρά συχνότητας, περιλαμβάνονται τα κύματα των βιομηχανικών εναλλασσόμενων ρευμάτων, τα ραδιοκύματα ή ραδιοφωνικές συχνότητες (μακρά, βραχεία, VHF, UHF, μικροκύματα κτλ). Η περιοχή με συχνότητες από 10^{12} Hz έως 10^{24} Hz περιλαμβάνει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται με κατάλληλη διέγερση των ατόμων ή των μορίων και των πυρήνων.

Το φάσμα αναλυτικότερα χωρίζεται στις εξής κατηγορίες:

-Στα κύματα των βιομηχανικών εναλλασσόμενων ρευμάτων και τα τηλεφωνικά κύματα.

-Στα ραδιοκύματα ή ερτζιανά κύματα που παράγονται από ταλαντώσεις ηλεκτρονίων σε κεραίες. Δεν είναι ορατά ούτε μπορούμε να τα ακούσουμε. Στέλνονται όμως με συγκεκριμένο τρόπο ώστε να κωδικοποιούν όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για να έχουμε ήχο στο ραδιόφωνο και εικόνα στη τηλεόραση. Τα ραδιοκύματα χωρίζονται σε τέσσερις περιοχές. Η πρώτη περιοχή περιλαμβάνει τα μακρά ραδιοκύματα με συχνότητες από 150KHz έως 300KHz, τα μεσαία με συχνότητες από 300KHz έως 3000KHz και τα βραχέα ραδιοκύματα με συχνότητες από 3MHz έως 30MHz. Τα κύματα αυτά ανακλώνται στην ιονόσφαιρα και μπορούν να φτάσουν αρκετά μακριά. Η δεύτερη περιοχή περιλαμβάνει τα ραδιοκύματα VHF (Very High Frequencies) με συχνότητες από 30MHz έως 300MHz. Συνήθως χρησιμοποιούνται για υψηλής ποιότητας στερεοφωνικής μουσικής στο ράδιο. Η τρίτη περιοχή περιλαμβάνει τα ραδιοκύματα UHF (Ultra High Frequencies) με συχνότητες από 300MHz έως 3000MHz. Για την λήψη πρέπει να υπάρχει απ' ευθείας δρόμος και χρησιμοποιούνται για την τηλεόραση. Η τελευταία περιοχή περιλαμβάνει τα μικροκύματα, τα οποία χρησιμοποιούνται στα ραντάρ, σαν δορυφορικά σήματα για την ραδιοαστρονομία και στην τηλεφωνία. Καλύπτουν την περιοχή συχνοτήτων από 1GHz έως 300GHz. Είναι ραδιοκύματα πολύ μικρού μήκους κύματος. Μερικά, απορροφούνται ισχυρά από τροφές για αυτό και χρησιμοποιούνται στους φούρνους μικροκυμάτων.



Σχήμα 2.1

Το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που χρησιμοποιείται στις ηλεκτρικές επικοινωνίες

-Στην υπέρυθη ακτινοβολία, η οποία είναι αόρατη και την ανακάλυψε ο Άγγλος αστρονόμος W.Herschel. Πήρε το όνομα της από το γεγονός ότι έχει συχνότητα λίγο μικρότερη από το κόκκινο φως. Καλύπτει την περιοχή συχνοτήτων από 300GHz έως 430GHz. Υπέρυθη ακτινοβολία πολύ μικρής συχνότητας εκπέμπουν ακόμα και τα παγόβουνα. Η ακτινοβολία αυτή διαφέρει από την ακτινοβολία που εκπέμπει το νερό. Επίσης, υπέρυθη ακτινοβολία εκπέμπει και το τηλεκοντρόλ της τηλεόρασης. Οι υπέρυθρες ακτινοβολίες είναι η συνέχεια του ορατού φάσματος μετά το κόκκινο χρώμα. Η χρήση τους είναι αρκετά σημαντική καθώς οι υπέρυθρες φωτογραφίες που τραβιούνται από δορυφόρους έχουν αυξήσει τις γνώσεις μας για τον πλανήτη γη και έχουν καταστήσει αποτελεσματικές τις μετεωρολογικές προβλέψεις. Στο στρατιωτικό τομέα μπορούμε να ξεχωρίσουμε και να εντοπίσουμε εχθρικές μονάδες μέσω των εκπομπών θερμότητας από μηχανές ή άρματα και να κατευθύνουμε πυραύλους εναντίον κινητών στόχων.

-Στο ορατό φως το οποίο είναι το φως που βλέπουμε γύρω μας και εκτείνεται σε μια πολύ στενή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από περίπου $4,3 \cdot 10^{14}$ Hz έως $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz.

-Στην υπεριώδης ακτινοβολία που ανακαλύφθηκε από τον J.Ritter το 1801 και έχει σαν κύρια πηγή τον ήλιο. Οι συχνότητες κυμαίνονται από $8 \cdot 10^{14}$ Hz έως $2,4 \cdot 10^{16}$ Hz. Η έκθεση σε υπεριώδεις ακτίνες σε μικρά ποσά είναι χρήσιμη για τον άνθρωπο γιατί παράγει βιταμίνη D στο δέρμα. Σε μεγάλα ποσά είναι επικίνδυνες για τα μάτια και προκαλούν καρκίνο του δέρματος. Ευτυχώς, οι υπεριώδεις ακτίνες από τον ήλιο απορροφώνται στα ψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας από την ζώνη του όζοντος. Οι υπεριώδεις ακτίνες απορροφώνται από κατάλληλο γυαλί και για αυτό το λόγο τα πρίσματα και οι φακοί που χρησιμοποιούνται για την έρευνα τους είναι από χαλαζία. Οι υπεριώδεις ακτίνες μαυρίζουν τη φωτογραφική πλάκα, προκαλούν φθορισμό σε κατάλληλα υλικά, παρουσιάζουν φωτοχημική δράση και έχουν βιολογικά αποτελέσματα πχ προκαλούν σε μικρές δόσεις μαύρισμα.

-Στις ακτίνες X οι οποίες παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά από τον Γερμανό φυσικό Roentgen κατά την πρόσπτωση ηλεκτρονίων μεγάλης κινητικής ενέργειας σε κατάλληλο μέταλλο. Ο Roentgen χωρίς να γνωρίζει την φύση τους τις ονόμασε ακτίνες X. Οι ακτίνες X είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μεγαλύτερη συχνότητα από τις υπεριώδης ακτίνες. Οι συχνότητες κυμαίνονται από $2,4 \cdot 10^{16}$ Hz έως $5 \cdot 10^{19}$ Hz. Οφείλονται στη διέγερση και στην συνέχεια στην αποδιέγερση των

εσωτερικών ηλεκτρονίων των ατόμων. Παράγονται σε ειδικό σωλήνα και χρησιμοποιούνται στην διαγνωστική ιατρική για έλεγχο των οστών, στην οδοντιατρική, για τον έλεγχο συνδέσμων μετάλλων. Επίσης, χρησιμοποιούνται από εργοστάσια για να ελέγχουν αν οι τροφές περιέχουν πέτρες ή μέταλλα.

-Στις ακτίνες γ οι οποίες είναι ιδιαίτερος διαπεραστικές. Παράγονται από την αποδιέγερση των πυρήνων και είναι επικίνδυνες για τον άνθρωπο εκτός και αν χρησιμοποιηθούν προσεκτικά. Ανακαλύφθηκαν σχεδόν ταυτόχρονα με τις ακτίνες X το 1896 από το Γάλλο φυσικό Henry Becquereel όταν διαπίστωσε ότι οι κρύσταλλοι ενός άλατος του Ουρανίου εξέπεμπαν αόρατη ακτινοβολία. Χρησιμοποιούνται στην αποστείρωση των τροφίμων, ιατρικών εργαλείων και στην θεραπευτική ιατρική. Πολλά νοσοκομεία είναι εφοδιασμένα με εξειδικευμένες συσκευές, όπως γραμμικούς επιταχυντές, οι οποίες παράγουν ακτίνες γ που χρησιμοποιούνται για τη θεραπεία του καρκίνου και άλλων ασθενειών.

2.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Η εντατική χρήση του ραδιοφάσματος, η περίπλοκη διαδικασία λήψης αποφάσεων για την κατανομή των αντίστοιχων συχνοτήτων, η τεράστια εξάπλωση σε παγκόσμια κλίμακα διαφόρων ασύρματων υπηρεσιών και η ευρύτερη οικονομική εξέλιξη, σε συνδυασμό με τη μέριμνα για την τήρηση των αρχών και των κανόνων της αγοράς, συνιστούν βασικούς παράγοντες που επιδρούν στην διαμόρφωση οποιασδήποτε στοιχειώδους πολιτικής αναφορικά με την χρήση των ραδιοσυχνοτήτων.

Στην τελευταία δεκαετία, η γρήγορη ανάπτυξη των νέων ασύρματων υπηρεσιών, όπως τα ψηφιακά κυψελοειδή τηλεφωνικά δίκτυα, είχε σαν αποτέλεσμα να μην είναι επαρκής ένας από τους πιο σημαντικούς πόρους, οι συχνότητες στο ραδιοφάσμα. Όπως με όλους τους μόλις και μετά βίας διαθέσιμους πόρους, το κόστος της χρήσης της συχνότητα παρέχει την ανάγκη για την οικονομική χρήση από τις διαθέσιμες συχνότητες. Η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων μέσα σε ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας μπορεί να προσφέρει σημαντική οικονομία. Ωστόσο, η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια ποιότητας των συνδέσεων επικοινωνίας. Η χρήση (σχεδόν) της ίδιας συχνότητας για τις

πολλαπλάσιες ασύρματες συνδέσεις μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές μεταξύ των σημάτων τα οποία δεν είναι αποδεκτά. Το πρόβλημα ανάθεσης συχνότητας ισορροπεί ανάμεσα στην οικονομία της επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων και την απώλεια ποιότητας στο δίκτυο. Ο προσδιορισμός της ποσότητας των διαφορετικών πτυχών είναι αποτελέσματα ενός μαθηματικού προβλήματος βελτιστοποίησης που μπορεί να λυθεί με τις ερευνητικές τεχνικές διαδικασιών (Operations Research techniques). Ανάλογα με την άποψη των ερευνητών, τον στόχο του προμηθευτή δικτύων και την εφαρμογή, προτείνονται συγκεκριμένοι όροι και πολλά διαφορετικά πρότυπα και αλγόριθμοι.

Ωστόσο, τα προβλήματα ανάθεσης συχνότητας έχουν δύο βασικές πτυχές:

1. Σε ένα σύνολο ασύρματων συνδέσεων επικοινωνίας πρέπει οι συχνότητες να ανατίθενται έτσι ώστε να είναι δυνατή κάθε σύνδεση η μετάδοση στοιχείων μεταξύ της συσκευής αποστολής σημάτων και του δέκτη. Οι συχνότητες πρέπει να επιλεγούν από ένα δεδομένο σύνολο που μπορεί να εξαρτηθεί από τη περιοχή. Πρέπει να σημειώσουμε ότι η κυκλοφορία είναι αμφίδρομη, και στην πραγματικότητα δύο συχνότητες πρέπει να διαλεχθούν, μία για κάθε κατεύθυνση.

2. Οι συχνότητες που ορίζονται σε δύο συνδέσεις μπορεί να υποστούν παρεμβολές με συνέπεια την απώλεια της ποιότητας του σήματος. Δύο όροι πρέπει να τηρηθούν προκειμένου να υπάρξει η παρέμβαση δύο σημάτων:

-Οι δύο συχνότητες πρέπει να είναι κοντά στην ηλεκτρομαγνητική ζώνη (Doppler effects) ή (κοντά) στις μεταξύ τους αρμονικές. Ωστόσο, η τελευταία επίδραση φαίνεται να περιορίζεται αφού οι ζώνες συχνότητας από τις οποίες μπορούμε να διαλέξουμε, είναι συνήθως τόσο μικρές που δεν περιέχουν αρμονικές.

-Οι συνδέσεις πρέπει να είναι γεωγραφικά η μια κοντά στην άλλη. Τα σήματα που μπορεί να παρεμβάλουν πρέπει να έχουν ένα παρόμοιο επίπεδο ενέργειας στη θέση όπου να ενοχλήσει το ένα το άλλο.

Κατά συνέπεια, ένας χειριστής πρέπει προσεκτικά να επιλέξει τις συχνότητες στις οποίες κάθε σταθμός θα εκπέμπει για να αποφύγει τα υψηλά επίπεδα παρεμβολής. Η επιλογή των συχνοτήτων, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η παρεμβολή, ή ακόμα καλύτερα να ελαχιστοποιείται, καλείται Frequency Assignment Problem (FAP). Ανάλογα με την εφαρμογή, οι όροι που πρέπει να ικανοποιηθούν από το σχέδιο συχνότητας, ποικίλουν. Επομένως, είναι φυσιολογικό ότι έχουν προταθεί πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις για να λύσουν αυτό το πρόβλημα.

Το φάσμα σήμερα κατανέμεται από τους διεθνείς και τοπικούς φορείς στις διάφορες τεχνολογίες πρόσβασης με τρόπο στατικό, τόσο χρονικά όσο και φασματικά, με αποτέλεσμα άλλοτε να μην επαρκεί για την παροχή συγκεκριμένων υπηρεσιών και άλλοτε να μη χρειάζεται. Οι συνεχείς μεταβολές, ωστόσο, στις απαιτήσεις του φορτίου στα περιβάλλοντα δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς (B3G) και συγκεκριμένα στα adaptive δίκτυα, επιτάσσουν την αναθεώρηση των υπαρχόντων τεχνικών και μία περισσότερο δυναμική διαχείριση του φάσματος, με στόχο τη βελτίωση της αποδοτικότητας των δικτύων.

2.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Η διαθεσιμότητα του ικανοποιητικού φάσματος είναι ουσιαστική για την επέκταση οποιονδήποτε ασύρματων συστημάτων, ειδικότερα στο μέλλον. Η χρήση των ασύρματων υπηρεσιών αυξάνεται και εξαιτίας του γεγονότος αυξάνεται ο αριθμός χρηστών και η χρήση και η κυκλοφορία από έναν μεμονωμένο χρήστη. Τα τρέχουσα συστήματα και οι τεχνολογίες θα εξελιχθούν ώστε να αναπτυχθούν νέες τεχνολογίες.

Ο προσδιορισμός των ζωνών συχνότητας είναι μια μακροχρόνια διεθνής διαδικασία και είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι απαιτήσεις φάσματος στην πρόωγη έρευνα, ώστε να διαβιβασουν τα σχετικά αποτελέσματα στους ρυθμιστές ώστε να είναι προετοιμασμένοι για τις πιθανές νέες απαιτήσεις φάσματος. Υπάρχει συνεχής πίεση προς την υψηλότερη αποδοτικότητα φάσματος και την μεγαλύτερη ευελιξία. Αυτό βάζει σε υψηλή ζήτηση τις νέες τεχνολογίες, ειδικά στις νέες διεπαφές αέρα, στις τεχνολογίες κεραιών, τοπολογίες δικτύων κτλ.

Υπάρχουν διάφορα ζητήματα σχετικά με τις μελλοντικές απαιτήσεις φάσματος, μερικά από τα οποία αναφέρονται παρακάτω.

2.3.1 Σενάρια φάσματος

Λαμβάνοντας υπόψη τις μελλοντικές τεχνολογίες και τις έννοιες συστημάτων είναι δυνατό να προσδιοριστούν τα σενάρια για τις πιθανές διαμορφώσεις του φάσματος στις μελλοντικές κινητές και ασύρματες επικοινωνίες. Μπορούν να

προσφέρουν χρήσιμες γενικές οδηγίες που θα οδηγήσουν στον πιο λεπτομερή προγραμματισμό. Τα σενάρια πρέπει να λάβουν υπόψη τις τρέχουσες ζώνες για την κινητή επικοινωνία και τη χρήση τους, τις δυνατότητες να καταστούν νέες διαθέσιμες ζώνες και τα προτιμημένα σχέδια χρησιμοποίησης φάσματος των μελλοντικών τεχνολογιών.

2.3.2 Ρυθμίσεις φάσματος

Όταν σχεδιάζονται οι μελλοντικές αέρο-διεπαφές και οι τοπολογίες δικτύων είναι επίσης δυνατό να καθοριστούν τα προτιμημένα σχέδια ρύθμισης φάσματος, όπου μπορούν να παρουσιαστούν πιο λεπτομερείς απόψεις για την πραγματική χρησιμοποίηση φάσματος. Αυτό επιτρέπει μια ανάλυση της χρήσης φάσματος και της γενικής αποδοτικότητας. Τα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή των καλύτερων επιλογών.

Η παραδοσιακή προσέγγιση για τα κινητά δίκτυα ήταν να έχει ένα ζευγάρι ζωνών (bands) για να προσαρμόσει διάφορα δίκτυα χειριστών. Κάθε δίκτυο να είναι αφιερωμένο σε μια μερίδα ζωνών (να έχει δηλαδή κάποια συγκεκριμένη μπάντα συχνοτήτων) και μεταξύ τους τα δίκτυα να χωρίζονται με τις κατάλληλες ζώνες φρουράς. Οι προτιμημένες ρυθμίσεις για τα μελλοντικά συστήματα μπορεί να είναι διαφορετικές.

2.3.3 Ελάχιστο φάσμα

Το ελάχιστο εύρος ζώνης όπου τα μελλοντικά συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν, πρέπει να ληφθεί υπόψη όταν επιδιώκονται οι υποψήφιες ζώνες. Θα υπάρξει ένα ελάχιστο εύρος ζώνης για τη σύνδεση και θα υπάρξει ένα θεωρητικό ελάχιστο εύρος ζώνης για την επέκταση δικτύων. Επιπλέον, μπορεί να υπάρξει ένα πρακτικό ελάχιστο για το βιώσιμο δίκτυο που επεκτείνεται. Όλα αυτά πρέπει να μελετηθούν προσεκτικά. Υπάρχουν ήδη μελέτες για το απαραίτητο εύρος ζώνης στο επίπεδο συνδέσεων, αλλά απαιτείται περισσότερη έρευνα.

Τα μελλοντικά συστήματα είναι πιθανό να είναι πιο εύκαμπτα στην χρήση του φάσματος, αλλά αυτό πρέπει να επιβεβαιωθεί. Μπορεί ακόμα να υποτεθεί ότι ο αριθμός των ζωνών που θα προσδιοριστούν πρέπει να είναι μικρός, για παράδειγμα

θα πρέπει να υπάρξουν μερικές αρκετά μεγάλες ζώνες ώστε να προσαρμόσουν τα νέα συστήματα, παρά πολλοί μικροί φραγμοί του φάσματος.

2.3.4 Φάσματα συχνότητας

Σήμερα, το μεγαλύτερο μέρος του φάσματος που διατίθεται για τις κινητές υπηρεσίες είναι κάτω από 3 GHz κυρίως λόγω των λόγων διάδοσης και εν μέρει επίσης λόγω ιστορικών λόγων. Οποιοδήποτε νέο φάσμα θα είναι πιθανότατα επάνω από τα σημερινά φάσματα συχνότητας για την κινητή επικοινωνία; επάνω από 2,5 GHz αλλά ακόμα κατά προτίμηση κάτω από 6 GHz για να επιτρέψει την κινητικότητα. Μπορεί να συμβεί να μπορούν να είναι σε θέση οι χαμηλές εφαρμογές κινητικότητας να λειτουργήσουν ακόμα στις υψηλότερες ζώνες, όπου θα μπορούν εύκολα να επιτευχθούν κατανομές συχνότητας, ιδιαίτερα για micro και pico-cells. 17 GHz και 60 GHz έχουν υποδειχθεί ως δυνατότητες για τη χαμηλή κινητικότητα.

2.3.5 Συνολικό ποσό φάσματος

Αυτό είναι το πιο ορατό και απτό σημείο των απαιτήσεων φάσματος. Μπορεί να καθοριστεί από τις πληροφορίες για τη μελλοντική κυκλοφορία, τα χαρακτηριστικά του, την απαραίτητη ικανότητα και τις μελλοντικές ιδιότητες των συστημάτων με την εφαρμογή μιας μεθοδολογίας υπολογισμού. Στην πράξη είναι ένας πολύ δύσκολος στόχος να υπολογιστεί το συνολικό ποσό φάσματος που απαιτείται, λόγω της αναμενόμενης εξέλιξης των παρουσών τεχνολογιών και υπηρεσιών και λόγω της ακόμα απρόβλεπτης σχέσης του με κάθε μία από τις μελλοντικές τεχνολογίες.

2.3.6 Μεθοδολογίες

Δύο μεθοδολογίες ITU-R για τον υπολογισμό των απαιτήσεων φάσματος πρέπει να αναφερθούν εδώ:

Η σύσταση ITU-R M.1390 αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό του πόσο πρόσθετο φάσμα θα απαιτηθεί από επίγειο IMT -2000 μέχρι το έτος 2010. Η σύσταση ITU-R M.1651 αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό του φάσματος που απαιτείται για τα

RLAN στη ζώνη των 5GHz. Προήλθε από την σύσταση ITU-R M.1390 αν και έχει προσαρμοστεί στην αρχιτεκτονική και το περιβάλλον των RLAN, και περισσότερο στρέφεται στις υπηρεσίες πακέτου και τις εφαρμογές.

Σήμερα μπορεί να φανεί ότι η σύσταση ITU-R M.1390 έχει μερικές αδυναμίες και ότι θα πρέπει να προσαρμοστεί για τη μελλοντική εργασία. Εντούτοις, είναι πιθανό ότι η νέα μεθοδολογία που στην προκαταρκτική νέα σύσταση σχεδίων θα αναπτυχθεί από την ITU-R Working Party 8P, θα επηρεαστεί και από τις δυο συστάσεις M.1390 και M.1651.

Υπάρχουν επίσης άλλες δραστηριότητες, εκτός ITU, οι οποίες είτε έχουν εξετάσει είτε είναι να εξεταστούν τις μελλοντικές απαιτήσεις φάσματος. Μια σημαντική δραστηριότητα ήταν ένα πρόγραμμα αποκαλούμενο MIND, το οποίο ήταν μέρος του EU's IST Programme. Το πρόγραμμα MIND μελέτησε, μεταξύ άλλων, την πιθανή μεθοδολογία για τον υπολογισμό των απαιτήσεων φάσματος για μελλοντική κινητή χρήση. Η εργασία έχει τελειώσει και τα αποτελέσματα έχουν παρουσιαστεί σε διάφορες ομάδες όπως οι UMTS Forum, WWRF και CEPT. Επίσης, τα αποτελέσματα έχουν προταθεί κατευθείαν στην ITU-R WP8F σαν ένα παράδειγμα μιας πιθανής μεθοδολογίας. Ωστόσο θα απαιτηθούν και άλλες προτάσεις ως προς την μεθοδολογία και τις άλλες απαιτήσεις του φάσματος πριν παρθούν οποιεσδήποτε οριστικές αποφάσεις από την ITU.

2.3.7 Νέα και εύκαμπτη χρήση φάσματος

Λόγω του αντίκτυπου των νέων τεχνολογιών στις διαμορφώσεις συστημάτων και δικτύων και τα ενδεχομένως απαραίτητα νέα σχέδια φάσματος, απαιτείται μια στενή συνεργασία μεταξύ της ερευνητικής κοινότητας και της διεθνούς ρυθμιστικής διαδικασίας έτσι ώστε οι κανονισμοί να μπορούν να εξελιχθούν εγκαίρως για να προσαρμοστούν στις προβλεπόμενες εξελίξεις.

Ευελξία και εξελιξιμότητα

Ο προσδιορισμός του νέου φάσματος θα είναι πολύ ευκολότερος εάν οι νέες τεχνολογίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν το φάσμα κατά πιο εύκαμπτο τρόπο, κάτι που αναμένεται να αυξήσει τη γενική αποδοτικότητα του φάσματος. Τα τρέχοντα παραδείγματα της εύκαμπτης χρήσης φάσματος είναι η δυναμική επιλογή συχνότητας για τα 5 GHz στα WLAN, ή η πολλαπλής ζώνης λειτουργία των

κυβελοειδών συστημάτων. Μέχρι τώρα η απαραίτητη ευελιξία είναι σχετικά απλή και στηρίζεται στις καλά καθορισμένες εσωτερικές ιδιότητες των συστημάτων οι οποίες είναι συγκεκριμένες για κάθε περίπτωση. Στην περίπτωση της δυναμικής επιλογής συχνότητας για τα 5GHz στα RLANs, η γενική διαδικασία καθορισμού και εφαρμογής είναι σύνθετη και χρονοβόρα. Αυτό καταδεικνύει σαφώς τα πρακτικά προβλήματα όταν πρέπει να ληφθούν υπόψη τα διαφορετικά συστήματα. Στο μέλλον οι μέθοδοι μπορούν πιθανώς να ενισχυθούν από την πρόσθετη λογική και από την συνεργασία μεταξύ των συστημάτων. Οι δυνατότητες για την εδκαμπτη χρήση φάσματος στη μελλοντική κινητή επικοινωνία είναι ένα σημαντικό ερευνητικό θέμα και τα πιθανά οφέλη των μεθόδων που υιοθετούνται πρέπει να ερευνηθούν προσεκτικά .

Δυναμική χρήση του φάσματος

Μπορεί επίσης να είναι χρήσιμο να εξεταστούν οι εναλλακτικές μέθοδοι για την ανάθεση και τη χρήση φάσματος, παρά την τρέχουσα προσέγγιση των "σταθερών φραγμών". Το air interface, το οποίο μπορεί να καλύψει και να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε διαθέσιμο φάσμα, χωρίς να υπάρχουν παρεμβολές από άλλα συστήματα, θα μπορούσε να παρέχει πολύ υψηλότερες ικανότητες.

Διαχείριση παρεμβολών

Η FCC (Federal Communication Commission, USA) εργάζεται αυτήν την περίοδο σε μια έννοια βασισμένη στη "θερμοκρασία παρεμβολής" η όποια μπορεί να επιτρέψει σε μερικές υπηρεσίες να λειτουργούν ακριβώς επάνω από το πάτωμα θορύβου, αλλά χωρίς να προκαλούν παρεμβολές σε άλλες υπηρεσίες στις ίδιες ζώνες. Η δημόσια συζήτηση της έννοιας βρίσκεται σε εξέλιξη και η έννοια πρέπει να μελετηθεί λεπτομερώς.

Εξαιρετικά-ευρείας ζώνης ραδιοσυστήματα

Η εξαιρετικά-ευρεία ζώνη είναι μια ραδιοτεχνολογία ώθησης που χρησιμοποιεί το φάσμα με έναν πολύ διαφορετικό τρόπο από την παραδοσιακή χρήση. Λειτουργεί πέρα από μια πολύ ευρεία ζώνη χρησιμοποιώντας τους πολύ στενούς σφυγμούς με έναν τρόπο ώστε η φασματική πυκνότητα δύναμης να είναι πολύ μικρή. Φαίνεται πιθανό να χρησιμοποιηθεί η UWB (Ultra-wideband Radio Systems) ως σύστημα υποστρώματος στις ζώνες που είναι ήδη σε χρήση από άλλες υπηρεσίες χωρίς να προκαλέσει επιβλαβή παρεμβολή. Η UWB φαίνεται να έχει επίσης πολλά άλλα οφέλη, όπως το ότι είναι ικανή για πολύ υψηλές μεταδόσεις

ποσοστού δυαδικών ψηφίων πέρα από τις σύντομες αποστάσεις και επομένως είναι κάτω από εντατική έρευνα ειδικά για τις μελλοντικές σύντομες επικοινωνίες σειράς.

Αφ' ετέρου υπάρχουν υπηρεσίες, οι οποίες μπορεί να επηρεαστούν ζημιογόνα από την UWB, και επομένως οι κανονισμοί στην Ευρώπη και από την ITU δεν έχουν ακόμα καθοριστεί δεδομένου ότι μελετώνται οι πιθανές παρεμβάσεις.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

3.1 ΔΙΕΘΝΗΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

3.1.1 Διεθνές περιβάλλον αναφοράς

Η εντατική χρήση του ραδιοφάσματος, η περίπλοκη διαδικασία λήψης αποφάσεων για την κατανομή των αντίστοιχων συχνοτήτων, η τεράστια εξάπλωση σε παγκόσμια κλίμακα διαφόρων ασύρματων υπηρεσιών και η ευρύτερη οικονομική εξέλιξη, σε συνδυασμό με τη μέριμνα για την τήρηση των αρχών και των κανόνων της εσωτερικής ευρωπαϊκής αγοράς, συνιστούν βασικούς παράγοντες που επιδρούν στην διαμόρφωση οποιασδήποτε στοιχειώδους πολιτικής αναφορικά με την χρήση των ραδιοσυχνοτήτων. Το ραδιοφάσμα χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς και συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, ιδιαίτερα δε στους τομείς των επικοινωνιών και των ραδιοτηλεοπτικών εκπομπών, των μεταφορών και της έρευνας. Οι επιπτώσεις τέτοιων χρήσεων είναι, μεταξύ άλλων, μείζονος οικονομικής, πολιτικής και κοινωνικής σημασίας.

Οι οικονομικές, τεχνολογικές και κανονιστικές εξελίξεις στον τομέα των ραδιοεπικοινωνιών, έχουν οδηγήσει σε μεγάλη αύξηση της ζήτησης ραδιοφάσματος, ιδιαίτερα από τον τομέα των επικοινωνιών, στο πλαίσιο του οποίου το φάσμα είναι απολύτως απαραίτητο για την δημιουργία της Κοινωνίας των Πληροφοριών. Προς το σκοπό αυτό έχουν, μέχρι σήμερα, υιοθετηθεί αρκετά κοινοτικά μέτρα για την διασφάλιση της αρμονικής διαθεσιμότητας και της αποτελεσματικής χρήσης ραδιοφάσματος για τον εν λόγω τομέα (λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις «τεχνικές» όσο και τις «οικονομικές-επιχειρηματικές» διαστάσεις προσέγγισης).

Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των αξιώσεων για την χρήση ραδιοφάσματος, αυξάνεται και η πιθανότητα πρόσκλησης συγκρούσεων εκεί όπου υπάρχει σχετική έλλειψη, καθώς ουσιαστικά το φάσμα συνιστά «ανεπαρκή πόρο». Επιπλέον, η αυξανόμενη ανεπάρκεια του διαθέσιμου ραδιοφάσματος μπορεί να συντελέσει στην αύξηση των αιτίων αντιπαράθεσης μεταξύ των διαφόρων ομάδων χρηστών ραδιοφάσματος, σε τομείς όπως οι επικοινωνίες, οι ραδιοτηλεοπτικές εκπομπές, οι μεταφορές, τα σώματα ασφαλείας, οι ένοπλες δυνάμεις και η επιστημονική κοινότητα. Συνεπώς, στην πολιτική που αφορά το ραδιοφάσμα πρέπει να συνεκτιμώνται όλοι οι τομείς και να εξισορροπούνται οι αντίστοιχες ανάγκες λαμβάνοντας ισόρροπα υπόψη τις ανάγκες των ως άνω τομέων. Τα αποτελέσματα

επιδρούν σε διάφορα μεγέθη επιχειρήσεων, εξαρτώμενα από το είδος του εκάστοτε τομέα. Ενώ ο τομέας των επικοινωνιών, ιδιαίτερα δε των κινητών επικοινωνιών, είναι τομέας με υψηλό βαθμό συγκέντρωσης, στους τομείς των μεταφορών, των ραδιοηλεκτρικών εκπομπών και της έρευνας και ανάπτυξης, υπάρχει μεγάλος αριθμός μικρών και μεσαίων επιχειρήσεων.

System	Frequency bands	Comments
GSM	880-915MHz & 925-960MHz 1710-1785 MHz & 1805-1880MHz	
UMTS	1900-1980MHz, 2010-2025MHz 2110-2170MHz, 2500-2520MHz 2520-2670MHz, 2670-2690MHz	
PCS	1850-1910 & 1930-1990MHz	Used in USA
PHS (Personal Handyphone System)	1893,5-1919,6 MHz	Used in Japan

Σχήμα 3.1
Ζώνες συχνοτήτων ασύρματων συστημάτων

Ορισμένες εμπορικού χαρακτήρα κοινότητες χρηστών φάσματος επιδιώκουν την διασφάλιση της διάθεσης φάσματος στα πλαίσια των κυρίως τεχνικών φορέων (π.χ. στο πλαίσιο των δράσεων φορέων όπως η CERT ή οι ITU/WRC), ορισμένες φορές σε βάρος των μη εμπορικού χαρακτήρα κοινοτήτων χρηστών, οι οποίες εκπροσωπούνται σε μικρότερο βαθμό στους εν λόγω φορείς. Αυτή η κατάσταση απαιτεί αποφάσεις κρατικής πολιτικής για την ορθή εξισορρόπηση των απαιτήσεων, στις περιπτώσεις στις οποίες συμφέροντα εμπορικού και μη εμπορικού χαρακτήρα ανταγωνίζονται για την πρόσβαση και για την χρήση των ίδιων τμημάτων του φάσματος.

3.1.2 Κατανομή φάσματος στις Η.Π.Α.

Η κατανομή φάσματος για τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής ρυθμίζεται:

- για εμπορικές χρήσεις από την FCC (Federal Communications Commission)
- για στρατιωτικές χρήσεις από το OSM (Office of Spectrum Management)

Το Federal Communications Commission (FCC) είναι μια ανεξάρτητη κυβερνητική αντιπροσωπεία, που αναφέρεται απευθείας στο Κογκρέσο. Το FCC ιδρύθηκε το 1934 και χρεώνεται με τη διακρατική ρύθμιση και τις διεθνείς επικοινωνίες από το ραδιόφωνο και την τηλεόραση (καλωδιακή ή δορυφορική). Η αρμοδιότητα του FCC καλύπτει και τις 50 πολιτείες, την περιοχή της Κολούμπια και της κατοχές της. Εκτελεί πλειστηριασμούς τμημάτων του φάσματος για συγκεκριμένες εφαρμογές. Τμήμα του φάσματος διαφυλάσσεται για γενική χρήση. Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC, Federal Communication Commission) είναι το κυβερνητικό όργανο των Η.Π.Α. που ελέγχει όλα τα είδη ιδιωτικής και δημόσιας μη κυβερνητικής ραδιοτηλεφωνίας και γενικά όλα τα προϊόντα που κάνουν χρήση ραδιοσυχνότητων. Οι μόνες ραδιοηλεκτρονικές δραστηριότητες που δεν υπόκεινται στην ρυθμιστική περιοχή της FCC είναι οι επικοινωνιακές εφαρμογές της ομοσπονδιακής κυβέρνησης και του στρατού, οι οποίες αποτελούν αρμοδιότητα της NTIA (National Telecommunications and Information Administration, Διοίκηση Εθνικών Τηλεπικοινωνιών και Πληροφοριών).

Το Office of Spectrum Management (OSM) είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση και χρήση της ομοσπονδιακής κυβέρνησης του φάσματος ραδιοσυχνότητας. Για να το επιτύχει αυτό, το OSM λαμβάνει βοήθεια και συμβουλές από το Interdepartment Radio Advisory Committee (IRAC). Γενικότερα, για να μπορέσει να διαχειριστεί το φάσμα προβαίνει στις παρακάτω ενέργειες:

- καθιέρωση και έκδοση της πολιτικής σχετικά με τις κατανομές και τους κυβερνητικούς κανονισμούς της ομοσπονδιακής χρήσης φάσματος
- ανάπτυξη των σχεδίων για την εν καιρώ ειρήνης και εν καιρώ πολέμου χρήση του φάσματος
- προετοιμασία για την συμμετοχή και εφαρμογή των αποτελεσμάτων των διεθνών ράδιο- διασκέψεων
- ανάθεση των συχνοτήτων
- διατήρηση των βάσεων δεδομένων χρήσης φάσματος
- αναθεώρηση των νέων συστημάτων τηλεπικοινωνιών των ομοσπονδιακών αντιπροσωπειών, πιστοποιώντας ότι το φάσμα θα είναι διαθέσιμο
- παρέχει την τεχνική πείρα εφαρμοσμένης μηχανικής που χρειάζεται για να εκτελεστούν οι συγκεκριμένες αξιολογήσεις των πόρων φάσματος

- συμμετέχει σε όλες τις πτυχές των επικοινωνιών της ομοσπονδιακής κυβέρνησης που σχετίζονται με δραστηριότητες ετοιμότητας έκτακτης ανάγκης.

Το έναυσμα για την εξάπλωση των ασύρματων επικοινωνιών ήταν το ατύχημα του Τιτανικού. Ο Μαρκόνι, ένας απόγονος ευγενών, ήταν πεπεισμένος πως μια μεγάλη εμπορική επιτυχία ήταν συσκευές που χρησιμοποιούσαν ραδιοκύματα αντί για καλώδια για τη μετάδοση σημάτων μορς. Έτσι έγινε ο πρώτος προμηθευτής ασύρματων τηλεγραφων. Μετά το ατύχημα του Τιτανικού, έπεισε τις κυβερνήσεις πως η χρήση των συσκευών του ήταν απαραίτητη στη ναυσιπλοΐα.

Η πολιτική φάσματος στις Ηνωμένες Πολιτείες έχει περάσει από τις διάφορες φάσεις από την εποχή που ο Marconi έδωσε την εμπορική ώθηση για τη ραδιομετάδοση. Η ομοσπονδιακή κυβέρνηση αναμίχθηκε τις πρώτες ημέρες μέσω των προσπαθειών του Herbert Hoover. Αλλά, όπως ο Hazlett (2001) εξηγεί, αυτή ήταν ακριβώς η έναρξη μιας μακροχρόνιας διαδικασίας κακών χειρισμών στη διαχείριση φάσματος που στόχευσε πρώτιστα στον εμπλουτισμό των προνομιούχων και την απονομή της δύναμης στην κυβέρνηση με αντάλλαγμα.

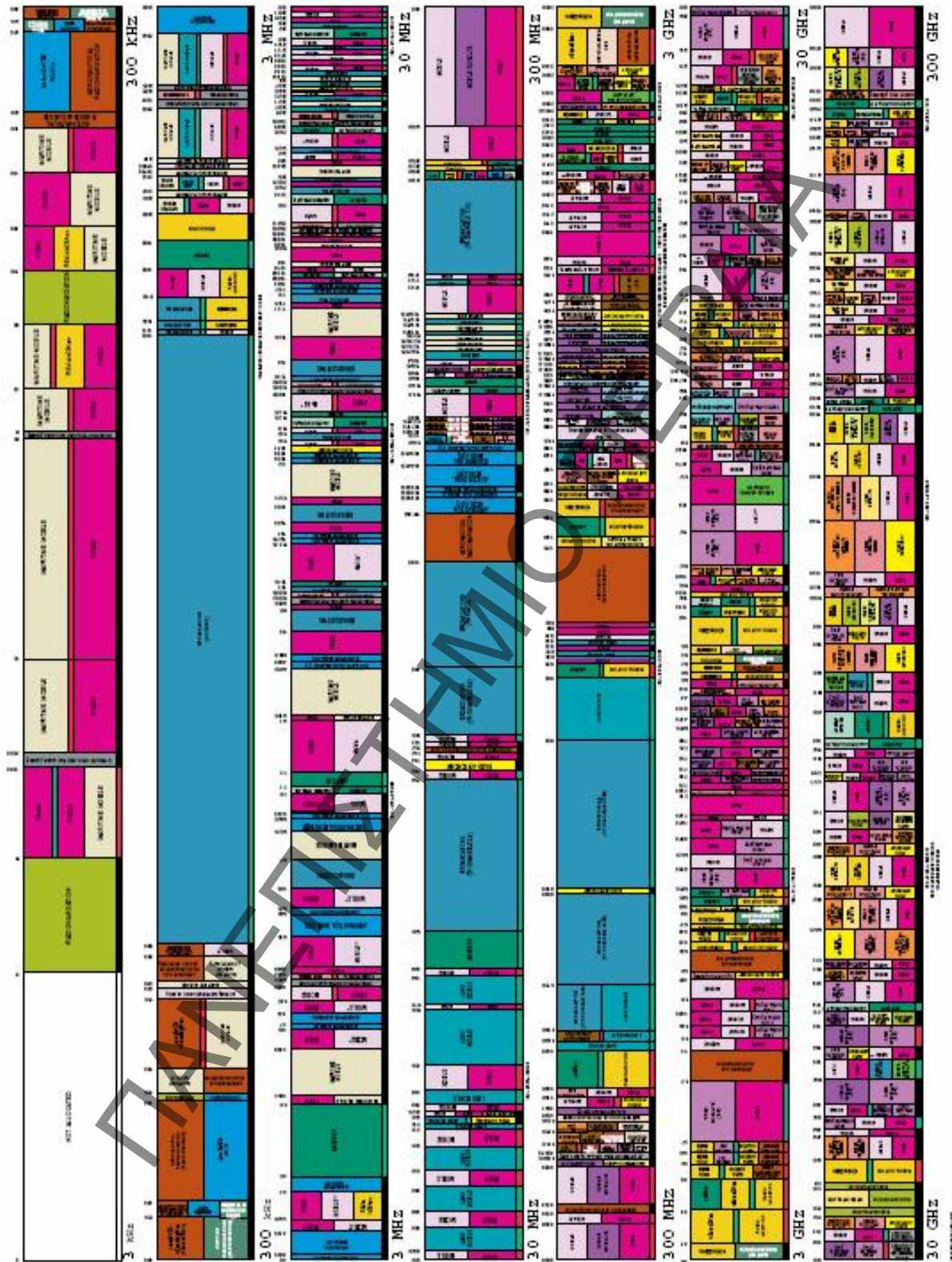
Με το καιρό η κυβέρνηση εξέδωσε ένα σύνολο κανόνων για να ελέγξει τις πρόωρες κατανομές φάσματος της για τις ραδιοεπικοινωνίες. Χρησιμοποιώντας αυτούς τους κανόνες, η Επιτροπή χρησιμοποίησε ένα σύστημα κατανομής μέσω εντολών και ελέγχων, καθορίζοντας την καλύτερη χρήση για κάθε κομμάτι φάσματος και διορίζοντας χρήστες των κομματιών αυτών.

Η διαδικασία της κατανομής προϋπέθετα πως οι ενδιαφερόμενοι θα κατέθεταν τις προτάσεις τους για το ποιόν της χρήσης που θα έκαναν, στη συνέχεια οι παράγοντες θα έδιναν το φάσμα στον ενδιαφερόμενο με τις πιο ελκυστικές προτάσεις. Αυτό το είδος των «καλλιστείων» από τη μια ήταν χρονοβόρο και σπάταλο (μέσα σε 3 χρόνια μόνο 30 άδειες αποδόθηκαν με τεράστια έξοδα από την μμεριά των διαγωνιζομένων για να επηρεάσουν τους παράγοντες), από την άλλη έλειπε η διαφάνεια, μιας και ήταν δύσκολο να καταλάβει κανείς γιατί οι μεν ήταν καλύτεροι από τους δε. Παρόλο που ένα μεγάλο μέρος της λήψης αποφάσεων έγινε σύμφωνα με τους ισχυρισμούς σε τεχνική βάση για να αποτρέψει την καταστρεπτική παρεμβολή σήματος, το αποτέλεσμα ήταν να προστατευθεί η πρόσβαση συγκεκριμένων ομάδων χρηστών στο φάσμα με την απαγόρευση της πρόσβασης από άλλες. Επιπλέον η ικανότητα των κυβερνητικών παραγόντων να αναγνωρίσουν τη καλύτερη πρόταση ήταν περιορισμένη. Όλα αυτά οδήγησαν την FCC να αποδίδει τις άδειες με λαχνό.

Επειδή όμως υπήρχε τεράστιος αριθμός ενδιαφερόμενων (για την αρχική κυβελοειδή τηλεφωνία έγιναν πάνω από 400.000 αιτήσεις) υπήρχε τεράστια σπατάλη πόρων στην επεξεργασία. Επιπλέον οι νικητές δεν ήταν πάντα οι καλύτεροι για τη διαχείριση του φάσματος. Παραδείγματος χάριν, συγκεκριμένες συχνότητες τέθηκαν κατά μέρος για επιχειρήσεις παράδοσης πάγου.

Εξαιτίας της τεχνολογική αλλαγής στη ραδιοβιομηχανία και σε άλλες βιομηχανίες (όπως τη βιομηχανία ψυγείων), αυτές οι ανεπαρκείς στατικές κατανομές στοίχιζαν. Το φάσμα έγινε λιγότερο πολύτιμο στις βιομηχανίες που είχαν τις κατανομές και πολυτιμότερο σε άλλες βιομηχανίες. Επιπλέον, ενδεχομένως λόγω της προόδου των συμπληρωματικών προϊόντων όπως οι υπολογιστές και οι μικροεπεξεργαστές, η γενική απαίτηση για τις κινητές εφαρμογές έχει ξεφυτρώσει, αυξάνοντας την αξία του φάσματος. Η επιτροπή έπρεπε να επιλέξει πιο ευέλικτους τρόπους κατανομής φάσματος. Έτσι αναγκάστηκε να υιοθετήσει τις δημοπρασίες φάσματος.

Οι δημοπρασίες φάσματος δεν είναι μια καινούργια πρόταση αφού ήδη από το 1959 ο νομπελίστας οικονομολόγος Ronald Coase τις είχε προτείνει. Η ιδέα όμως, δεν γίνονταν αποδεκτή από τους κυβερνητικούς γιατί αψηφούσε τις βασικές υποθέσεις στις οποίες στηρίχθηκε η πολιτική κατανομής του φάσματος από τις μέρες του Marconi: ότι το φάσμα είναι λιγοστό (αφού η χρήση του από έναν αποκλείει τη χρήση του από άλλους) και πολύτιμο, ότι η κυβέρνηση πρέπει να εμπλέκεται στη διανομή για να αποτρέψει τις παρεμβολές και να θέσει πρότυπα για συμβατότητα, ότι η διάθεση του σε εμπορική χρήση διακυβεύει τη χρήση για τις επείγουσες ανάγκες των πολιτών και του στρατού, ότι τίθενται σε κίνδυνο αποκλεισμού η χρήση του από μειονοτικές ομάδες και ότι θα υπήρχε αχρήστευση του φάσματος από τα εμπορικά συμφέροντα ή και από αλόγιστους ιδιοκτήτες, και το χειρότερο ότι θα χρησιμοποιούνταν για δημιουργία μονοπωλίων ή και για τον έλεγχο της κοινής γνώμης. Αποδείχτηκε όμως ότι αυτά αποτελούν αβάσιμες υποθέσεις καθώς κανείς δεν εγγυάται ότι ο καθορισμός της χρήσης γίνεται καλύτερα από γραφειοκράτες από ότι γίνεται από την ίδια την αγορά, όπως υποστηρίζει η πλειοψηφία των οικονομικών αναλυτών.



Σχήμα 3.2
Χάρτης Ραδιοφάσματος ΗΠΑ

Το μεγάλο πλεονέκτημα μιας δημοπρασίας είναι η πρόθεσή της να αναθέσει το φάσμα στον καλύτερο ικανό να το χρησιμοποιήσει. Αυτό ολοκληρώνεται από τον ανταγωνισμό μεταξύ των υποψηφίων αδειών. Οι επιχειρήσεις που πιθανότερα αξίζουν το φάσμα είναι πρόθυμες να διαθέσουν το υψηλότερο ποσό από τις άλλες, και ως εκ τούτου να τείνουν να κερδίσουν τις άδειες. Υπάρχουν βέβαια διάφορα λεπτά σημεία, που περιορίζουν την αποδοτικότητα των δημοπρασιών φάσματος. Παρά ταύτα μία καλά σχεδιασμένη δημοπρασία είναι ικανή να είναι ιδιαίτερα αποδοτική. Ένα δεύτερο σημαντικό πλεονέκτημα των δημοπρασιών είναι ότι ο διαγωνισμός δεν είναι πολυέξοδος. Ο ανταγωνισμός φέρνει εισοδήματα από τις δημοπρασίες, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντισταθμίσουν την παραμορφωτική φορολογία. Τέλος, μια δημοπρασία είναι ένας διαφανής τρόπος για τη παραχώρηση αδειών. Όλα τα συμβαλλόμενα μέρη μπορούν να δουν ποιος κέρδισε τη δημοπρασία και γιατί.

Το 1993 το Κογκρέσσο εξέδωσε τον Νόμο Διευθέτησης της Καθολικής Χρηματοδότησης (Omnibus Budget Reconciliation Act), ο οποίος εξουσιοδότησε την Επιτροπή να κάνει χρήση πλειοδοτικού διαγωνισμού (δημοπρασία) για να επιλέξει από μεταξύ δύο ή περισσότερων αμοιβαία αποκλειόμενων αιτήσεων για μια αρχική άδεια. Στον νόμο ισοσκελισμένων προϋπολογισμών του 1997, το συνέδριο επέκτεινε και διεύρυνε τον ρόλο της FCC στις δημοπρασίες. Ο νόμος απαιτεί από την FCC να χρησιμοποιήσει τις δημοπρασίες για να επιλύσει τις αμοιβαία αποκλειόμενες αιτήσεις για τις αρχικές άδειες εκτός αν ορισμένες εξαιρέσεις ισχύουν, συμπεριλαμβανομένων των εξαιρέσεων για τις ασύρματες υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας, τις ψηφιακές τηλεοπτικές άδειες για την αντικατάσταση των αναλογικών αδειών και τους μη εμπορικούς εκπαιδευτικούς και δημόσιους σταθμούς ραδιοφωνικής μετάδοσης.

3.1.3 Η Ευρωπαϊκή προοπτική

Στις 10 Νοεμβρίου 1999, η ευρωπαϊκή ένωση υπέβαλε ανακοίνωση προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών, προτείνοντας τα επόμενα βήματα στην πολιτική του ραδιοφάσματος, βάσει των αποτελεσμάτων της δημόσιας διαβούλευσης για την Πράσινη βίβλο, σχετικά με την πολιτική για το ραδιοφάσμα στο πλαίσιο των

πολιτικών της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, όπως οι τηλεπικοινωνίες, οι ραδιοηλεκτρικές μεταδόσεις, οι μεταφορές και η έρευνα και ανάπτυξη.

Σήμερα, η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας και η σύγκλιση των τηλεπικοινωνιών, του περιεχομένου των μέσων επικοινωνίας και των ηλεκτρονικών συσκευών δημιουργεί ένα δυναμικό περιβάλλον όπου το ραδιοφάσμα καθίσταται διαρκώς σημαντικότερος πόρος. Η διαχείριση του ραδιοφάσματος δεν παρακολούθησε της εξελίξεις αυτές, με αποτέλεσμα να προκύψει ο κίνδυνος ότι, εφόσον δεν μεταβληθεί η κατάσταση, η παραδοσιακή αυτή προσέγγιση να εμποδίσει την κοινωνία να καρπωθεί τα οφέλη του νέου αυτού δυναμικού περιβάλλοντος. Ενώ στο παρελθόν είχε ηγηθεί παγκοσμίως στην ανάπτυξη των κινητών επικοινωνιών, η Ευρώπη κινδυνεύει σήμερα να καταστεί χρήστης τεχνολογίας που αναπτύσσεται αλλού και όχι παράγοντας καινοτομίας.

Έτσι, στις 14 Σεπτεμβρίου 2005 στις Βρυξέλλες η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών κοινοτήτων εξέδωσε πρόταση ως προς την αποδοτική χρήση του ραδιοφάσματος. Η πολιτική συμφωνία θα πρέπει να στοχεύει την καθιέρωση, έως το 2010, της λειτουργίας αγορών ραδιοφάσματος, όπου σημαντικά τμήματα του φάσματος θα διατίθενται προς εμπορία και θα υπάγονται σε ευέλικτη χρήση. Για την επίτευξη του παραπάνω αναφερόμενου στόχου, θα πρέπει η εμπορευσιμότητα να καλύπτει σημαντικό μέρος του ραδιοφάσματος. Ραδιοφάσμα που χρησιμοποιείται για σκοπούς δημοσίου συμφέροντος, όπως για άμυνα και επιστημονικές υπηρεσίες, ή που αποτελεί αντικείμενο διαχείρισης σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως εναέρια κυκλοφορία και δορυφόροι, δεν αποτελεί μέρος της παρούσας πρότασης. [8]

Η Επιτροπή πρότεινε την εισαγωγή αγορών για συχνότητες που επί του παρόντος χρησιμοποιούνται για τους παρακάτω αναφερόμενους σκοπούς, ώστε να εξασφαλιστεί αποτελεσματικός συντονισμός που θα οδηγήσει σε απτά αποτελέσματα σε κοινοτικό επίπεδο, παραδείγματος χάριν:

- επίγειες υπηρεσίες κινητών επικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων π.χ. συχνοτήτων για δημόσιες κινητές υπηρεσίες, όπως GSM και 3G, καθώς και συχνοτήτες που χρησιμοποιούνται για κλειστές ομάδες χρηστών, όπως PMR και PAMR.

- επίγειες υπηρεσίες σταθερών ασύρματων επικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων π.χ. συχνοτήτων για ασύρματο τοπικό βρόχο, ασύρματη ευζωνική πρόσβαση και μικροκυματικές ζεύξεις.

• επίγειες υπηρεσίες τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών εκπομπών, συμπεριλαμβανομένων π.χ. συχνοτήτων για τοπικές, περιφερειακές και εθνικές εκπομπές

Η κατανομή του φάσματος παγκοσμίως ρυθμίζεται από την International Telecommunication Union (ITU-R).

3.1.4 Παράλληλοι φορείς

Για την ανάπτυξη και τη θέσπιση τεχνικών μέτρων εφαρμογής και προκειμένου να βοηθηθούν η διατύπωση, η προπαρασκευή και η εφαρμογή της κοινοτικής πολιτικής ραδιοφάσματος, η ευρωπαϊκή επιτροπή θα πρέπει να επικουρείται από επιτροπή αποκαλούμενη ως η επιτροπή ραδιοφάσματος (Radio Spectrum Committee-RSC), η οποία αποτελείται από εκπροσώπους των κρατών μελών. Η επιτροπή εξετάζει τις προτάσεις για τεχνικά μέτρα εφαρμογής που αφορούν το ραδιοφάσμα, τα οποία διαμορφώνονται βάσει συζητήσεων. Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να απαιτείται τεχνική προπαρασκευαστική εργασία των εθνικών αρχών που είναι αρμόδιες για την διαχείριση του ραδιοφάσματος, λαμβάνοντας υπόψη τις απόψεις της βιομηχανίας καθώς και όλων των ενδιαφερόμενων χρηστών, που προέρχονται τόσο από εμπορικούς όσο και από μη εμπορικούς χώρους, καθώς και τις απόψεις άλλων ενδιαφερομένων μερών σχετικά με τις εξελίξεις σε θέματα τεχνολογίας, αγοράς και κανονιστικών ρυθμίσεων που δύνανται να επηρεάσουν την χρήση του ραδιοφάσματος.

Η επιτροπή ραδιοφάσματος μπορεί να καθοδηγεί την Ευρωπαϊκή Ένωση, τόσο με δική της πρωτοβουλία όσο και κατόπιν αιτήματος της τελευταίας, σε ζητήματα σχετικά με την ανάγκη εναρμόνισης της χρήσης του ραδιοφάσματος στο γενικό πλαίσιο της κοινοτικής πολιτικής, καθώς και σε κανονιστικά και άλλα ζητήματα που σχετίζονται με την χρήση του ραδιοφάσματος. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργείται ένα κοινό πλαίσιο πολιτικής, ικανό ώστε να ανταποκρίνεται στις εξελίξεις στην τεχνολογία, στην αγορά και στις κανονιστικές ρυθμίσεις στον τομέα των ραδιοεπικοινωνιών.

Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επικουρείται από την «Ομάδα για την πολιτική ραδιοφάσματος», η οποία επιτελεί συμβουλευτικό ρόλο σε θέματα πολιτικής

ραδιοφάσματος όπως είναι η διάθεση, η εναρμόνιση και κατανομή ραδιοφάσματος και παροχή πληροφοριών.

3.2 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

3.2.1 Χρήση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων

Η διαχείριση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων καθώς και η εκχώρηση θέσεως στη γεωστατική τροχιά, αποτελεί κυριαρχικό δικαίωμα του Ελληνικού κράτους και πραγματοποιείται από την Γενική Γραμματεία Επικοινωνιών του Υπουργείου Μεταφορών και Επικοινωνιών σύμφωνα με τις εθνικές απαιτήσεις και τις διεθνείς συμφωνίες, λαμβανομένων ωστόσο υπόψη των αποφάσεων της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunications Union, ITU). Οι δραστηριότητες που αποσκοπούν στην αξιοποίηση και εκμετάλλευση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων και της γεωστατικής τροχιάς δορυφόρων, ασκούνται ύστερα από άδεια έναντι ανταποδοτικού τέλους.

Στα πλαίσια αυτά η Γενική Γραμματεία Επικοινωνιών αναπτύσσει τις απαιτούμενες δραστηριότητες για τον έλεγχο των ραδιοεκπομπών, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή διαχείριση και χρήση του φάσματος. Με απόφαση των Υπουργών Εθνικής Άμυνας και Μεταφορών και Επικοινωνιών που δημοσιεύεται στην εφημερίδα της κυβέρνησης, εγκρίνεται ή αναθεωρείται η κατανομή φάσματος ραδιοσυχνοτήτων, σύμφωνα με τον κανονισμό ραδιοεπικοινωνιών και τις ισχύουσες διεθνείς συμβάσεις και συμφωνίες. Επίσης, με απόφαση του Υπουργού Μεταφορών και Επικοινωνιών, ύστερα από εισήγηση της Ε.Ε.Τ.Τ.[14], χορηγείται η χρήση ραδιοσυχνοτήτων σε μεμονωμένους χρήστες ή τηλεπικοινωνιακές επιχειρήσεις. Ωστόσο, για την χρήση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων καταβάλλονται τέλη από τους χρήστες, εξαιρούμενων των ενόπλων δυνάμεων της χώρας.

3.2.2 Δ.Δ.Ε φάσματος ραδιοσυχνοτήτων

Η Διεύθυνση Διαχείρισης και Ελέγχου Φάσματος Ραδιοσυχνοτήτων συγκροτείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- Τμήμα Διαχείρισης Φάσματος Ραδιοφωνίας και Τηλεόρασης

Οι λειτουργίες του τμήματος Διαχείρισης Φάσματος Ραδιοφωνίας και Τηλεόρασης είναι οι ακόλουθες:

-Η βέλτιστη αξιοποίηση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων για τις ανάγκες της ραδιοφωνίας και τηλεόρασης.

-Η αποτελεσματική και με διαφάνεια άσκηση της σχετικής ρυθμιστικής αρμοδιότητας του κράτους και ειδικότερα:

-Η τεκμηρίωση και παρακολούθηση των εξελίξεων διαχείρισης φάσματος στον τομέα αρμοδιότητας του τμήματος στο ελληνικό, το ευρωπαϊκό και το διεθνές περιβάλλον και η επεξεργασία πολιτικής και μέτρων διαχείρισης του φάσματος και άσκησης της σχετικής ρυθμιστικής αρμοδιότητας του κράτους.

-Η συνεργασία σε ευρωπαϊκό, διεθνές και διακρατικό επίπεδο για τα θέματα του τομέα, η παροχή πληροφοριών και η εκπροσώπηση του Υπουργείου στους αντίστοιχους οργανισμούς, η διεξαγωγή διαπραγματεύσεων και η επεξεργασία συμφωνιών σε ευρωπαϊκό, διεθνές και διακρατικό επίπεδο.

-Η συνεργασία με τις Ελληνικές δημόσιες αρχές που ασκούν άμεσα ή έμμεσα ρυθμιστική αρμοδιότητα στον τομέα και η εκπροσώπηση του Υπουργείου στις αντίστοιχες διμερείς ή πολυμερείς σχέσεις και συλλογικά όργανα.

-Ο σχεδιασμός της πολιτικής και του πλαισίου διαχείρισης του φάσματος των αναγκαίων για σταθμούς ραδιοφωνίας και τηλεόρασης ραδιοσυχνοτήτων και ο καθορισμός των σχετικών τεχνικών χαρακτηριστικών των σταθμών.

-Η ανάπτυξη μεθόδων και η επεξεργασία τεχνικών κανονισμών για την χρήση ζωνών συχνοτήτων σύμφωνα με τους ισχύοντες διεθνείς κανονισμούς και συμφωνίες με στόχο την αποτελεσματικότερη διαχείριση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων.

-Η κατανομή χρήσεων του φάσματος σύμφωνα με την πολιτική και τον σχεδιασμό διαχείρισης του φάσματος με την εκχώρηση θέσεων στη γεωστατική τροχιά, και την χορήγηση χρήσης ραδιοσυχνοτήτων σε χρήστες ή επιχειρήσεις σύμφωνα με τις εθνικές και διεθνείς απαιτήσεις και τις ανάγκες συντονισμού της χρήσης του φάσματος με άλλες χώρες καθώς, και αντίστοιχα αναθεώρηση της κατανομής χρήσεων του φάσματος.

-Η επεξεργασία του χάρτη ραδιοσυχνοτήτων, η ενημέρωση του Εθνικού Μητρώου Ραδιοσυχνοτήτων με τις εκχωρήσεις ραδιοσυχνοτήτων σε ραδιοφωνικούς

και τηλεοπτικούς σταθμούς και η ανακοίνωση τους στο Διεθνές Γραφείο Καταχώρησης Συχνοτήτων (IFRB).

-Η ανάπτυξη λογισμικού προσομοίωσης συχνοτήτων όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο με την υποστήριξη του αρμόδιου για την Γενική Διεύθυνση Επικοινωνιών τμήματος της Διεύθυνσης Οργάνωσης και Πληροφορικής.

-Η επεξεργασία του κανονιστικού πλαισίου άσκησης της ρυθμιστικής αρμοδιότητας του κράτους στον τομέα, με την έκδοση υπουργικών αποφάσεων και την επεξεργασία προεδρικών διαταγμάτων και νομοθεσίας.

-Η τεχνική γνώματευση για τη δημιουργία καλωδιακών δικτύων τηλεόρασης και εγκατάστασης δορυφορικών κεραιών τηλεοπτικής λήψης.

-Η έγκριση εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών.

-Ο καθορισμός του ύψους των τελών και εισφορών συμμετοχής στις δαπάνες διαχείρισης και ελέγχου χρήσης του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων.

-Η φροντίδα για την εφαρμογή του Διεθνούς Κανονισμού Ραδιοεπικοινωνιών και η επιβολή προστίμων για παραβάσεις τεχνικών προδιαγραφών.

-Η αξιολόγηση τεχνικών εκθέσεων των αιτούντων άδεια λειτουργίας ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σταθμών και η παροχή εγκρίσεων για την κατ' εξακολούθηση λειτουργία τους.

-Ο καθορισμός της θέσης εκπομπής τοπικών ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σταθμών καθώς και η ρύθμιση θεμάτων ασφάλειας σχετικά με κατοικημένες περιοχές.

-Η τεχνική εποπτεία της Ελληνικής ραδιοφωνίας Τηλεόρασης (EPT ΑΕ).

-Η υποστήριξη με εγκυκλίους, πληροφόρηση και συμβουλευτικές υπηρεσίες, όλων των δημόσιων αρχών που ασκούν εκτελεστικές αρμοδιότητες στον τομέα και ιδιαίτερα των περιφερειακών και νομαρχιακών υπηρεσιών για την ορθή και αποτελεσματική εφαρμογή του ισχύοντος κανονιστικού πλαισίου.

- Τμήμα Διαχείρισης Φάσματος Σταθερών και Κινητών Υπηρεσιών

Η βέλτιστη αξιοποίηση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων για τις ανάγκες των σταθερών και κινητών επίγειων και δορυφορικών υπηρεσιών ραδιοεπικοινωνιών.

-Η αποτελεσματική και με διαφάνεια άσκηση της σχετικής ρυθμιστικής αρμοδιότητας του κράτους και ειδικότερα:

-Η τεκμηρίωση και παρακολούθηση των εξελίξεων του τομέα διαχείρισης φάσματος στον τομέα αρμοδιότητας του τμήματος στο ελληνικό, το ευρωπαϊκό και το διεθνές περιβάλλον και η επεξεργασία πολιτικής και μέτρων διαχείρισης του φάσματος και άσκησης της σχετικής ρυθμιστικής αρμοδιότητας του κράτους.

-Η συνεργασία σε ευρωπαϊκό, διεθνές και διακρατικό επίπεδο για τα θέματα του τομέα, η παροχή πληροφοριών και η εκπροσώπηση του Υπουργείου στους αντίστοιχους οργανισμούς, η διεξαγωγή διαπραγματεύσεων και η επεξεργασία συμφωνιών σε ευρωπαϊκό, διεθνές και διακρατικό επίπεδο.

-Η συνεργασία με τις Ελληνικές δημόσιες αρχές που ασκούν άμεσα ή έμμεσα ρυθμιστική αρμοδιότητα στον τομέα και η εκπροσώπηση του Υπουργείου στις αντίστοιχες διμερείς ή πολυμερείς σχέσεις και συλλογικά όργανα.

-Ο σχεδιασμός της πολιτικής και του πλαισίου διαχείρισης του φάσματος με την κατανομή των αναγκαίων ζωνών ραδιοσυχνότητας για τη λειτουργία σταθμών ραδιοεπικοινωνίας (ειδικών ραδιοδικτύων, πειραματικών σταθμών, σταθμών αερεπίγειων επικοινωνιών, ραδιοσταθμών CB).

-Η ανάπτυξη μεθόδων και η επεξεργασία τεχνικών κανονισμών για την χρήση ζωνών συχνοτήτων σύμφωνα με τους ισχύοντες διεθνείς κανονισμούς και συμφωνίες με στόχο την αποτελεσματικότερη διαχείριση του φάσματος ραδιοσυχνότητας.

-Η κατανομή χρήσεων του φάσματος σύμφωνα με την πολιτική και τον σχεδιασμό διαχείρισης του φάσματος με την εκχώρηση μεμονωμένων ραδιοσυχνοτήτων ή ζωνών ραδιοσυχνοτήτων σε φυσικά ή νομικά πρόσωπα, τα οποία κατέχουν και λειτουργούν ραδιοηλεκτρικά δίκτυα ή σταθμούς ραδιοεπικοινωνίας.

-Η επεξεργασία του χάρτη ραδιοσυχνοτήτων και η ενημέρωση του Εθνικού Μητρώου Ραδιοσυχνοτήτων με τις εκχωρήσεις ραδιοσυχνοτήτων σε φορείς σταθερών και κινητών υπηρεσιών και η ανακοίνωση τους στο Διεθνές Γραφείο Καταχώρησης Συχνοτήτων (ITRB).

-Η ανάπτυξη λογισμικού προσομοίωσης συχνοτήτων με την υποστήριξη του αρμόδιου για την Γενική Διεύθυνση Επικοινωνιών τμήματος της Διεύθυνσης Οργάνωσης και Πληροφορικής.

-Η επεξεργασία του κανονιστικού πλαισίου άσκησης της ρυθμιστικής αρμοδιότητας του κράτους στον τομέα.

-Ο καθορισμός του ύψους των τελών και εισφορών συμμετοχής στις δαπάνες διαχείρισης και ελέγχου χρήσης του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων.

-Η έγκριση των τεχνικών μελετών και η εκχώρηση των ραδιοσυχνοτήτων λειτουργίας ειδικών ραδιοδικτύων, συστημάτων αναζήτησης προσώπων και λοιπών συστημάτων επικοινωνίας χαμηλής ισχύος που υπάγονται στις διατάξεις του Ν.1244/1972.

-Η φροντίδα για την εφαρμογή του Διεθνούς Κανονισμού Ραδιοεπικοινωνιών, και των διεθνών συμβάσεων και συμφωνιών.

-Η υποστήριξη με εγκυκλίους, πληροφόρηση και συμβουλευτικές υπηρεσίες, όλων των δημόσιων αρχών που ασκούν εκτελεστικές αρμοδιότητες στον τομέα και ιδιαίτερα των περιφερειακών και νομαρχιακών υπηρεσιών για την ορθή και αποτελεσματική εφαρμογή του ισχύοντος κανονιστικού πλαισίου.

- Τμήμα Χορήγησης Αδειών

Η ανάπτυξη του κανονιστικού πλαισίου σε ότι αφορά την παροχή αδειών άσκησης τηλεπικοινωνιακής δραστηριότητας.

-Η αποτελεσματική και με διαφάνεια άσκηση της σχετικής ρυθμιστικής αρμοδιότητας του κράτους και ειδικότερα:

-Η τεκμηρίωση και παρακολούθηση των εξελίξεων στον τομέα αρμοδιότητας του τμήματος στο ελληνικό, το ευρωπαϊκό και το διεθνές περιβάλλον και η επεξεργασία πολιτικής και μέτρων διαχείρισης του φάσματος και άσκησης ρυθμιστικής αρμοδιότητας του κράτους στον τομέα.

-Η συνεργασία σε ευρωπαϊκό, διεθνές και διακρατικό επίπεδο για τα θέματα του τομέα, η παροχή πληροφοριών και η εκπροσώπηση του Υπουργείου στους αντίστοιχους οργανισμούς, η διεξαγωγή διαπραγματεύσεων και η επεξεργασία συμφωνιών σε ευρωπαϊκό, διεθνές και διακρατικό επίπεδο.

-Η συνεργασία με τις Ελληνικές δημόσιες αρχές που ασκούν ρυθμιστική αρμοδιότητα στον τομέα και η εκπροσώπηση του Υπουργείου στις αντίστοιχες διμερείς ή πολυμερείς σχέσεις και συλλογικά όργανα

-Η επεξεργασία του κανονιστικού πλαισίου άσκησης της ρυθμιστικής αρμοδιότητας του κράτους στον τομέα.

-Η επεξεργασία του κανονιστικού πλαισίου χορήγησης, ανάκλησης και τροποποίησης αδειών άσκησης τηλεπικοινωνιακής δραστηριότητας που αφορούν:

-Την εγκατάσταση και λειτουργία ραδιοηλεκτρικών δικτύων, και μεμονωμένων τηλεπικοινωνιακών δικτύων που εξυπηρετούν δημόσιες ανάγκες.

-Την λειτουργία ερασιτεχνικών και πειραματικών σταθμών ασύρματης επικοινωνίας ραδιοσταθμών CB, ειδικών ραδιοδικτύων, συστημάτων ενδοεπικοινωνίας και κάθε άλλης περίπτωσης σταθμού ασύρματης επικοινωνίας και η τήρηση των σχετικών μητρώων.

-Η εκχώρηση των χαρακτηριστικών σημάτων κλήσεως των σταθμών.

-Η επεξεργασία συστημάτων ελέγχου και αντίστοιχων κανονισμών ελέγχου σε ότι αφορά την συμμόρφωση των φορέων παροχής τηλεπικοινωνιακών επιχειρήσεων προς τους όρους της άδειας παροχής υπηρεσιών.

-Η κατάρτιση κανονισμών αποφάσεων σε ότι αφορά την εκχώρηση αριθμών, ή ομάδων αριθμών, στους φορείς τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και τη δημιουργία και τροποποίηση του εθνικού σχεδίου αριθμοδότησης.

-Η έκδοση αδειών λειτουργίας σταθμών ραδιοεπικοινωνιών των εμπορικών πλοίων και επίγειων σταθμών πλοίου Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλιακών Δορυφορικών Επικοινωνιών (INMARSAT), η παρακολούθηση των μεταβολών τους και η ανακοίνωση τους στη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU).

-Η φροντίδα για τους λογαριασμούς επικοινωνιών των εμπορικών πλοίων καθώς και η έγκριση εκκαθαριστικών εταιριών για τη διαχείρισή τους.

-Η συγκέντρωση και ταξινόμηση των στοιχείων που αφορούν την χορήγηση ή έγκριση αδειών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και τήρηση των σχετικών μητρώων.

- Τμήμα Επιτήρησης και Ελέγχου Ραδιοεκπομπών

Η ανάπτυξη και λειτουργία κέντρων ελέγχου ραδιοεπικοινωνιών (ΚΕΡ), σύμφωνα με σύγχρονα πρότυπα και μεθόδους για την επιτήρηση και τον έλεγχο της νόμιμης χρήσης του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων σε εφαρμογή των εθνικών και διεθνών κανονισμών ραδιοεπικοινωνιών, με ίδια μέσα, μέσω άλλων φορέων, δημοσίων ή ιδιωτικών, στους οποίους μπορεί κάθε φορά να ανατίθεται το έργο επιτήρησης και ελέγχου, ή μέσω περιφερειακών ή νομαρχιακών υπηρεσιών με αρμοδιότητες ελέγχου και επιτήρησης.

-Η αποτελεσματική άσκηση της σχετικής ρυθμιστικής αρμοδιότητας του κράτους και ειδικότερα:

-Η τεκμηρίωση και παρακολούθηση των εξελίξεων στον τομέα της επιτήρησης και ελέγχου ραδιοεκπομπών στο ελληνικό, το ευρωπαϊκό και το διεθνές περιβάλλον και η επεξεργασία πολιτικής και μέτρων για την βελτίωση του επιπέδου

επιτήρησης και ελέγχου και την άσκηση της σχετικής ρυθμιστικής αρμοδιότητας του κράτους.

-Η συνεργασία σε ευρωπαϊκό, διεθνές και διακρατικό επίπεδο για τα επιτήρησης και ελέγχου ραδιοεκπομπών, η παροχή πληροφοριών και η εκπροσώπηση του Υπουργείου στους αντίστοιχους οργανισμούς, η διεξαγωγή διαπραγματεύσεων και η επεξεργασία συμφωνιών σε ευρωπαϊκό, διεθνές και διακρατικό επίπεδο.

-Η συνεργασία με τις Ελληνικές δημόσιες αρχές που ασκούν άμεση ή έμμεση ρυθμιστική αρμοδιότητα στον τομέα και η εκπροσώπηση του Υπουργείου στις αντίστοιχες διμερείς ή πολυμερείς σχέσεις και συλλογικά όργανα.

-Η επεξεργασία του κανονιστικού πλαισίου άσκησης της ρυθμιστικής αρμοδιότητας του κράτους στον τομέα επιτήρησης και ελέγχου ραδιοεκπομπών.

-Η κατάρτιση προδιαγραφών οδηγιών καλής λειτουργίας, και αντίστοιχων κανονιστικών διατάξεων, για τους φορείς που ασκούν επιτήρηση και έλεγχο ραδιοεκπομπών σε ότι αφορά την οργάνωση και την συχνότητα των ελέγχων, την διαφάνεια, την τεχνική επάρκεια και την πιστή εφαρμογή του ισχύοντος κανονιστικού πλαισίου.

-Η άσκηση με τα ΚΕΡ επιτήρησης και ελέγχου των κάθε είδους ραδιοεκπομπών στον ελληνικό χώρο και των ραδιοεκπομπών από το διεθνή χώρο, σε συνεργασία με τα ΚΕΡ των κρατών-μελών της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών.

-Η επεξεργασία μέτρων καταστολής των παρεμβολών και η εφαρμογή των σχετικών διαδικασιών της εθνικής νομοθεσίας και του Διεθνή Κανονισμού Ραδιοεπικοινωνιών.

-Η διαχείριση των αναφορών επίσημων παρεμβολών σταθμών ραδιοεπικοινωνιών.

-Η φροντίδα για την επιβολή πειθαρχικών κυρώσεων σε περιπτώσεις παραβάσεων.

-Ο καθορισμός ανταποδοτικών τελών υπέρ του δημοσίου.

-Η παρακολούθηση και αξιολόγηση της άσκησης επιτήρησης και ελέγχου με τη τακτική συγκέντρωση και επεξεργασία στοιχείων, την οργάνωση και συχνότητα των ελέγχων, την διαφάνεια, την τεχνική επάρκεια και την πιστή εφαρμογή του ισχύοντος κανονιστικού πλαισίου.

3.2.3 Διαδικασία Χορήγησης Περιοχής Φάσματος

Για τη χορήγηση Δικαιώματος χρήσης ραδιοσυχνοτήτων υπό καθεστώς γενικής άδειας για τη παροχή δικτύων ή και υπηρεσιών ηλεκτρονικών επικοινωνιών, ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει Αίτηση στην Ε.Ε.Τ.Τ. η οποία περιλαμβάνει :

1. Τα πλήρη στοιχεία του νομικού ή φυσικού προσώπου, στο όνομα του οποίου θα εκδοθεί το Δικαίωμα, καθώς και τον αριθμό πρωτοκόλλου που έχει λάβει από την Ε.Ε.Τ.Τ. για την κατάθεση της Δήλωσης Καταχώρησης, όταν τούτο απαιτείται.

2. Πλήρη στοιχεία του νομίμου εκπροσώπου του αιτούντος και στοιχεία του τεχνικού υπευθύνου (εφόσον υπάρχει).

3. Περιγραφή της υπηρεσίας ραδιοεπικοινωνίας, της σκοπιμότητας, του δικτύου και των υπηρεσιών τις οποίες πρόκειται να παρέχει ο αιτούμενος.

4. Τα πλήρη τεχνικά χαρακτηριστικά εκπομπής και λήψης των ραδιοηλεκτρικών συσκευών, των κεραιών και των σηματοτροφοδοτικών καλωδίων που θα χρησιμοποιηθούν.

5. Την ζώνη ραδιοσυχνοτήτων, εντός της οποίας αιτείται την ραδιοσυχνότητα, και τις ζώνες που προτείνονται από το αιτούντα, σε περίπτωση ενδεχόμενης αδυναμίας Εκχώρησης ραδιοσυχνότητας στην αρχικά προτεινόμενη ζώνη.

6. Στη περίπτωση αίτησης από ραδιοφωνικό ή τηλεοπτικό σταθμό, απαιτείται και η άδεια λειτουργίας του σταθμού ή ελλείψει αυτής, βεβαίωση νομίμου λειτουργίας του σταθμού από το Εθνικό Συμβούλιο Ραδιοτηλεόρασης.

7. Όταν πρόκειται για Σταθερό ή Επίγειο Σταθμό τις γεωγραφικές συντεταγμένες του εν λόγω Σταθμού (με ακρίβεια δεύτερου λεπτού), την ισχύ εκπομπής κάθε πομπού, και την ακριβή κατεύθυνση των κεραιών ή την ακριβή τροχιά που εκτελεί η κεραία (εφόσον πρόκειται για κεραία παρακολούθησης τροχιάς). Επιπλέον προκειμένου για Σταθμό που λειτουργεί σε Προσωρινή Βάση, τις ημερομηνίες έναρξης και λήξης λειτουργίας του Σταθμού.

8. Όταν πρόκειται για Σταθμό Ξηράς, τις γεωγραφικές συντεταγμένες του εν λόγω Σταθμού (με ακρίβεια δεύτερου λεπτού) την ισχύ εκπομπής κάθε πομπού, την επιθυμητή γεωγραφική κάλυψη τον μέγιστο αριθμό χρηστών 20 της υπηρεσίας εντός της γεωγραφικής περιοχής κάλυψης για κάθε Σταθμό Ξηράς, την κατεύθυνση της

κεραίας εφόσον αυτή είναι κατευθυντική, καθώς και τις ημερομηνίες έναρξης και λήξης λειτουργίας του Σταθμού εφόσον αυτός λειτουργεί σε Προσωρινή Βάση.

9. Σε περίπτωση Ειδικού Ραδιοδικτύου για επιβατηγά αυτοκίνητα δημόσιας χρήσης με μετρητή (ΤΑΞΙ), βεβαίωση έγκρισης του καταστατικού του ραδιοταξί, από την αρμόδια Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση. Στη περίπτωση ειδικού ραδιοδικτύου που πρόκειται να εγκατασταθεί και να λειτουργήσει στους ελεγχόμενους από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας χώρους αερολιμένων, απαιτείται η σύμφωνη γνώμη αυτής.

10. Σε περίπτωση Κινητού Σταθμού, ή κατά περίπτωση Επίγειου Κινητού Σταθμού τη γεωγραφική περιοχή μέσα στην οποία ο Σταθμός δύναται να κινηθεί, καθώς και τις ημερομηνίες έναρξης και λήξης λειτουργίας, εφόσον ο εν λόγω Σταθμός λειτουργεί σε Προσωρινή Βάση.

11. Απόδειξη πληρωμής των τελών χρήσης του φάσματος του προηγούμενου έτους, εφόσον πρόκειται για πάροχο που ήδη χρησιμοποιεί ραδιοσυχνότητες.

12. Απόδειξη πληρωμής των Διοικητικών τελών.

13. Υπεύθυνες Δηλώσεις του νομίμου εκπροσώπου του αιτούντος, σύμφωνα με τις οποίες η επιχείρηση που εκπροσωπεί έχει λάβει γνώση των υποχρεώσεών της, κατά την ισχύουσα νομοθεσία, προκειμένου να χρησιμοποιήσει στους Σταθμούς του ραδιοηλεκτρικού δικτύου εξοπλισμό, ο οποίος συμμορφώνεται προς:

I)Την Οδηγία 73/23/ΕΟΚ (ΕΕ Ειδ. Εκδ. Κεφ. 13, τομ.2,σ167) για ηλεκτρολογικό υλικό χαμηλής τάσης.

II)Την Οδηγία 89/336/ΕΟΚ (ΕΕ L139, σ19) για την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα και την αντίστοιχη Κ.Υ.Α. 94649/8682/93 (ΦΕΚ Β 688/13-9-94) όπως εκάστοτε ισχύουν.

III)Την Οδηγία 99/5ΕΚ (ΕΕ L91, σ10) (ΦΕΚ44/Α/2002).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

4.1 ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η διαχείριση του φάσματος στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί η ικανότητα και η ποιότητα της παροχής υπηρεσιών. Λόγω των συνεχώς αυξανόμενων δικτύων και απαιτήσεων και δεδομένου ότι υπάρχει περιορισμένος αριθμός συχνοτήτων στο διαθέσιμο ραδιοφάσμα, η ανάθεση συχνότητας εμφανίζεται ως πολύ ανταγωνιστική πρόκληση. Η σωστή ανάθεση, είναι κάτι σημαντικό για ένα δίκτυο επειδή μια αποδοτική ανάθεση καναλιών δίνει μια αποδοτική χρήση του διαθέσιμου φάσματος. Το πρόβλημα της ανάθεσης συχνότητας (Frequency Assignment Problem), όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ουσιαστικά είναι πρόβλημα βελτιστοποίησης και ελαχιστοποίησης της παρεμβολής που οφείλεται σε ίδιες συχνότητες (Co-Channel Interference) καθώς και της παρεμβολής που οφείλεται σε γειτονικές συχνότητες (Adjacent channel interference).

Η δυσκολία της επίλυσης του παραπάνω προβλήματος οφείλεται σε ένα μεγάλο σύνολο περιορισμών που πρέπει να ικανοποιηθούν. Ο πρώτος περιορισμός είναι ο περιορισμένος αριθμός συχνοτήτων που διατίθενται. Το μεγαλύτερο μέγεθος των τρεχόντων πραγματικών δικτύων και ο περιορισμός φάσματος οδηγούν σε ένα υψηλό ποσοστό επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Αυτή η αρχή θα πρέπει να συνυπάρχει με αυστηρούς περιορισμούς ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής μεταξύ των κυττάρων. Αυτοί οι περιορισμοί, περιγράφουν τους διοικητικούς κανόνες επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων που καθορίζονται στα χρησιμοποιούμενα στενά εύρη ζώνης.

Διάφοροι αλγόριθμοι επίλυσης του παραπάνω προβλήματος έχουν προταθεί. Οι αλγόριθμοι συνήθως κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο εκχώρησης των συχνοτήτων. Οι τρεις πιο σημαντικοί τρόποι εκχώρησης είναι οι ακόλουθοι:

- Σταθερή εκχώρηση συχνοτήτων (Fixed Channel Assignment - FCA)
- Υβριδικές μέθοδοι εκχώρησης συχνοτήτων (Hybrid Channel Assignment - HCA)
- Δυναμική εκχώρηση συχνοτήτων (Dynamic Channel Assignment - DCA)

4.2 ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΚΧΩΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Το διαθέσιμο ράδιο φάσμα είναι ένας περιορισμένος πόρος και οι αλγόριθμοι ανάθεσης συχνότητας στοχεύουν να ισορροπήσουν τις οικονομίες που επιτυγχάνονται από την επαναχρησιμοποίηση συχνότητας με οποιαδήποτε επακόλουθη απώλεια ποιότητας στο δίκτυο. Η μορφή του προβλήματος ανάθεσης συχνότητας, με τη μέθοδο της σταθερής ανάθεσης συχνότητας φάσματος, είναι σημαντικής σπουδαιότητας στους χειριστές δικτύων. Οι διαθέσιμες συχνότητες είναι γνωστές εκ των προτέρων και το πρόβλημα είναι ότι πρέπει να ελαχιστοποιηθεί κάποιο μέτρο της παρεμβολής. Οι περιορισμοί που εξετάζονται σε αυτή την περίπτωση είναι δυαδικοί περιορισμοί, οι οποίοι διευκρινίζουν τον απαραίτητο χωρισμό συχνότητας μεταξύ των δεδομένων ζευγαριών των πομπών. Η παραβίαση κάθε περιορισμού που τίθεται, μπορεί να οδηγήσει σε ποινικές ρήτρες ανάλογα με την βαρύτητά του. Βασικός στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των περιορισμών που παραβιάζονται ή, όπως συνηθίζεται όλο και περισσότερο από τους χειριστές, να ελαχιστοποιηθεί η βαρύτητα του κάθε περιορισμού. Υπάρχουν δύο είδη σταθερής εκχώρησης συχνοτήτων, η πλήρως σταθερή και ο δανεισμός.

4.2.1 Πλήρως σταθερή εκχώρηση συχνοτήτων

Όπως προαναφέραμε, στην σταθερή εκχώρηση συχνοτήτων, ένα σύνολο διαύλων κατανέμεται σε κάθε κυψέλη και συγκεκριμένα ο ίδιος αριθμός διαύλων σε κάθε κυψέλη. Όμως, η ομοιόμορφη κατανομή διαύλων είναι αποδοτική μόνο αν είναι ομοιόμορφη και η κατανομή της κίνησης. Η μέθοδος αυτή εκχώρησης συχνοτήτων χρησιμοποιείται στα κυψελωτά συστήματα πρώτης γενιάς, τα οποία έχουν κανονική κυψελωτή δομή και σταθερή διάταξη συστήματος. Η κίνηση ωστόσο, μπορεί να μην είναι ομοιόμορφη σε χρονικές και χωρικές διακυμάνσεις, με αποτέλεσμα μια ομοιόμορφη κατανομή διαύλων στις κυψέλες να προκαλέσει υψηλό αποκλεισμό σε μερικές από αυτές την ώρα που κάποιες άλλες μπορεί να διαθέτουν ελεύθερους πόρους.

Με την εισαγωγή των μικροκυψελών και των πικοκυψελών η FCA καταλήγει να είναι ακατάλληλη. Αρχικά, ο προγραμματισμός των συχνοτήτων γίνεται όλο και περισσότερο δύσκολος, αφού οι ακριβείς προβλέψεις διάδοσης απαιτούν μια

αναλυτική και λεπτομερή γνώση του περιβάλλοντος. Επίσης, δεν παρέχεται ευελιξία για αναδιάταξη του συστήματος και δεν είναι αρκετά ευέλικτη ώστε να μπορεί να διαχειρίζεται σενάρια απρόβλεπτης κίνησης και ανώμαλων παρεμβολών. Τα νέα συστήματα επικοινωνιών κατακλύζονται από υπηρεσίες πολυμέσων. Οι υπηρεσίες αυτές διεκδικούν εύρος ζώνης ανάλογα με την ζήτηση κάτι που η FCA δεν μπορεί να παρέχει. Με την ανάπτυξη των συστημάτων κινητών επικοινωνιών, τα προβλήματα στην χρήση της σταθερής κατανομής συνεχώς αυξάνουν με αποτέλεσμα αυτή πλέον να κρίνεται ακατάλληλη.

4.2.2 Δανεισμός

Σε ένα πραγματικό σύστημα, λόγω της ανομοιόμορφης κατανομής της κίνησης, είναι σύνηθες φαινόμενο να εμφανίζεται συμφόρηση σε μια κυψέλη με αποτέλεσμα να αποκλείονται τυχόν νέες κλήσεις αφού όλοι οι διάυλοι είναι κατειλημμένοι. Σε αυτή την περίπτωση προτείνεται η ιδέα του δανεισμού από γειτονικές κυψέλες οι οποίες διαθέτουν ελεύθερους πόρους. Βασική προϋπόθεση είναι ο δανεισμός να γίνει από την γειτονική κυψέλη η οποία διαθέτει τους περισσότερους ελεύθερους ραδιοδιάυλους. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται στο ελάχιστο το πρόβλημα που θα δημιουργηθεί στις γειτονικές κυψέλες.

Υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι δανεισμού. Οι σημαντικότεροι είναι οι ακόλουθοι:

Αλγόριθμος απλού δανεισμού

Όταν ένας διάυλος παραχωρείται με δανεισμό τότε απαγορεύεται να χρησιμοποιηθεί ή να δανειστεί σε ομοδιαυλικές κυψέλες που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη από την απόσταση ομοδιαυλικής επαναχρησιμοποίησης. Σε συνθήκες χαμηλής κίνησης ο αλγόριθμος κρίνεται επιτυχής. Αντίθετα, όταν η κίνηση είναι αυξημένη, η αποδοτικότητα του δεν είναι καλή γιατί η απόσταση ομοδιαυλικής επαναχρησιμοποίησης είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη απόσταση της FCA με αποτέλεσμα να μην είναι ικανοποιητική η χρήση των διαύλων.

Αλγόριθμος δανεισμού με κλείδωμα

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο δανεισμού με κατευθυντικό κλείδωμα, όταν ένας διάυλος παραχωρείται με δανεισμό τότε ο δανεισμός του απαγορεύεται μόνο στις κυψέλες που επηρεάζονται. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται υψηλότερες επιδόσεις

του συστήματος. Επειδή όμως το δίκτυο χρειάζεται να γνωρίζει την κατάσταση όλων των διαύλων απαιτείται κατανεμημένη διαχείριση του συστήματος. Ένα άλλο εξίσου σημαντικό πρόβλημα, είναι ότι ο δανεισμός θα πρέπει να διαρκέσει όσο γίνεται λιγότερο για να αποφευχθούν περαιτέρω δανεισμοί οι οποίοι θα μειώσουν σημαντικά την απόδοση του φάσματος.

Αλγόριθμος δανεισμού χωρίς κλείδωμα

Ο αλγόριθμος δανεισμού διαύλων χωρίς κλείδωμα (Channel Borrowing Without Locking, CBWL) προτάθηκε από τους Jiang και Rappaport. Χρησιμοποιεί δανεικούς διαύλους με περιορισμένη στάθμη ισχύος, ώστε να περιορίζεται η παρεμβολή με ομοδιαυλικές κυψέλες. Με αυτό τον τρόπο επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση ενός διαύλου σε όλες τις κυψέλες εκτός από εκείνη όπου δανείστηκε. Ο σταθμός βάσης εκπέμπει σήμα αναζήτησης δανεικού διαύλου με την ίδια μειωμένη ισχύ σαν αυτού που ζητείται για δανεισμό. Ο αλγόριθμος CBWL διαιρεί τους διαύλους κάθε κυψέλης σε έξι ομάδες. Η κάθε ομάδα μπορεί να δανειστεί μόνο στην αντίστοιχη γειτονική κυψέλη. Έτσι, κάθε σταθμός βάσης δεν χρειάζεται να εκπέμπει και να λαμβάνει σε όλους τους διαύλους που εκχωρούνται στις γειτονικές τους κυψέλες, αλλά σε ένα μέρος αυτών για κάθε κυψέλη. Ωστόσο, ο χωρισμός των διαύλων προς δανεισμό σε έξι ομάδες, περιορίζει την ομοδιαυλική παρεμβολή με αποτέλεσμα να μην απαιτείται κλείδωμα.

Αλγόριθμος δανεισμού με διάταξη διαύλων

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο δανεισμού με διάταξη διαύλων (Borrowing with channel ordering - BCO), όλοι οι δίαυλοι μπορούν να παραχωρούνται με δανεισμό, υπάρχει όμως μια σειρά προτεραιότητας ανάλογα με την πιθανότητα δανεισμού που έχει κάθε δίαυλος. Έτσι, πρώτα χρησιμοποιείται ο δίαυλος με την ελάχιστη πιθανότητα δανεισμού.

4.2.2 Cell re- ordering

Ο σκοπός της διάταξης κελιών είναι να αναγνωρίσει τις κυψέλες που είναι πιο δύσκολα να τους ανατεθεί κάποια συχνότητα. Όταν τα κανάλια ορίζονται σε μια κυψέλη η απαίτηση των καναλιών μειώνεται τόσο όσο και των γειτονικών τους. Για να απεικονίσει αληθινά τη στιγμιαία δυσκολία ανάθεσης, ο διαταγμένος κατάλογος πρέπει να αναδιαταχθεί πριν οριστεί το επόμενο κανάλι. Βασισμένες στις δυο βασικές

αρχές της διάταξης κελιών, σχεδιάστηκαν δύο μέθοδοι αναδιάταξης κελιών. Πρόκειται για τις μεθόδους node-color re-ordering (CR) και node-degree re-ordering (DR). Συνδυάζοντας κάθε μια από αυτές τις μεθόδους με την ολοκληρωμένη στρατηγική συχνότητας και την ολοκληρωμένη στρατηγική απαίτησης, προέκυψαν οι παρακάτω τέσσερις αλγόριθμοι, F/CR, F/DR, R/CR και R/DR. Οι αλγόριθμοι αυτοί προτάθηκαν από τους Kwan L. Yeung και Tak-Shing P.Yum τον Αύγουστο του 2000 και αναλύονται στην συνέχεια.

Αλγόριθμοι F/CR, F/DR

Input: $C=[c_{ij}]$ and $M=(m_1, m_2, \dots, m_N)$

Output: $N(F^*)$

1. For $i=1$ to N do
 $m'_i=m_i$;
2. For $i=1$ to N do
 if $m'_i=0$, $d_i=0$;
 else $d_i=\sum_{j=1}^N m'_j c_{ij}$;
3. Order cells into an ordered list using node-color
 OR node-degree ordering;
4. If the degree of the first cell in the list $d_i \neq 0$
 find g the channel with the lowest rank such
 that the assignment of g to cell i is consistent with all
 previous assignments.
 $m'_i = m'_i - 1$, $k = m_i - m'_i$, and $f_{ik}=g$;
 go to step 2
5. Else $N(F^*) = \max_{i,k} f_{ik}$ and EXIT;

Αλγόριθμοι R/CR, R/DR

Input: $C=[c_{ij}]$ and $M=(m_1, m_2, \dots, m_N)$

Output: $N(F^*)$

1. For $i=1$ to N do
 $m'_i=m_i$;
2. $f=1$;
3. For $i=1$ to N do
 If $m'_i=0$, $d_i=0$;
 else $d_i=\sum_{j=1}^N m'_j c_{ij}$;
4. Order cells into an ordered list using node-color
 OR node-degree ordering;
5. Find I the first cell in the list such that the
 Assignment of channel f to cell i is consistent
 with all previous assignments
6. If cell i is found
 if $d_i \neq 0$

- $m'_i = m'_i - 1$, $k = m_i - m'_i$, and $f_{ik} = g$;
 go to step 3;
 else $N(F^*) = \max_{i,k} f_{ik}$ and EXIT;
 7. Else $f = f+1$; go to step 4

4.3 ΥΒΡΙΔΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΧΩΡΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Η υβριδική μέθοδος εκχώρησης συχνοτήτων είναι ένα μίγμα μεταξύ σταθερής και δυναμικής εκχώρησης. Ο ολικός αριθμός των διαθέσιμων ραδιοδιαύλων χωρίζεται στο σταθερό και στο δυναμικό σύνολο. Το σταθερό σύνολο περιέχει τους διαύλους που κατανέμονται στις κυψέλες όπως στην FCA ενώ το δυναμικό σύνολο μοιράζεται από όλους τους χρήστες του συστήματος ώστε να αυξάνεται η ευελιξία. Όταν ένας χρήστης ζητάει να εξυπηρετηθεί και όλοι οι ονομαστικοί δίαυλοι είναι κατειλημμένοι, τότε αναλαμβάνει ένας δυναμικός δίαυλος να τον εξυπηρετήσει. Ο τρόπος με τον οποίο διατίθεται ο δίαυλος από το δυναμικό σύνολο είναι ένας από τους τρόπους με τον οποίο γίνεται δυναμική εκχώρηση. Παραλλαγές της κυρίως HCA αποτελούν η HCA με αναδιάταξη διαύλων και σχήματα HCA, όπου οι κλήσεις που δεν μπορούν να βρουν διαθέσιμο δίαυλο, μπαίνουν σε ουρά αντί να αποκλείονται. Η πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων είναι η πιθανότητα μια κλήση να βρει και τους σταθερούς και του δυναμικούς διαύλους κατειλημμένους.

Όπως είναι γνωστό, η επίδοση του συστήματος καθορίζεται από το λόγο των σταθερών προς τους δυναμικούς διαύλους, ο οποίος είναι συνάρτηση του φορτίου κίνησης και μεταβάλλεται χρονικά. Όσο καλύτερος είναι αυτός ο λόγος, πετυχαίνουμε τόσο καλύτερη επίδοση του συστήματος. Για φορτία κοντά στο βασικό η υβριδική μέθοδος εκχώρησης συχνοτήτων λειτουργεί σαν να υπάρχει χαμηλό φορτίο στους δυναμικούς διαύλους με αποτέλεσμα να μην υπάρχει μεγάλος αποκλεισμός κλήσεων για χαμηλά ποσοστά αύξησης του φορτίου. Αντίθετα, αν το φορτίο αυξάνει πολλές κλήσεις αποκλείονται με σημαντική πιθανότητα, λόγω των δυναμικών διαύλων. Τα σχήματα HCA έχουν παραλλαγές που επιτρέπουν αναδιάταξη των διαύλων, δηλαδή μεταγωγή διαύλων που έχουν αντιστοιχηθεί σε κλήσεις που βρίσκονται σε εξέλιξη. Έτσι, διατηρείται ο καλύτερος διαχωρισμός

μεταξύ των περιοχών κάλυψης με την ταυτόχρονη χρησιμοποίηση του ίδιου διαύλου κατά τέτοιο τρόπο ώστε να περιορίζεται η χαμηλή απόδοση σε υψηλά φορτία.

4.4 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΚΧΩΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Όπως έχουμε προαναφέρει, το φάσμα διατίθεται με στατικές άδειες σε συγκεκριμένα ράδιο-πρότυπα. Στη συνέχεια, διαιρείται σε αναθέσεις στους μεμονωμένους χειριστές οι οποίοι υποστηρίζουν μια δεδομένη υπηρεσία ο καθένας και παραμένει στη χρήση του ιδιοκτήτη της άδειας έως ότου αυτή να λήξει. Με τον τρόπο αυτόν, δηλαδή την ανάθεση συγκεκριμένου φάσματος σε κάθε χειριστή, ελέγχεται αποτελεσματικά η παρεμβολή μεταξύ των διαφορετικών δικτύων που χρησιμοποιούν το φάσμα και δίνεται η δυνατότητα να σχεδιαστεί ο εξοπλισμός του κάθε χειριστή για μια γνωστή ραδιοσυχνότητα.

Ενώ όμως αυτός ο μηχανισμός ανάθεσης ραδιοφάσματος έχει χρησιμοποιηθεί και έχει αποδειχθεί ικανοποιητικός για πολλά έτη, έχει και κάποια μειονεκτήματα. Καταρχήν, οι διαφορετικές ασύρματες βιομηχανίες, που ήταν παλιότερα ανόμοιες τώρα, στα πλαίσια του ανταγωνισμού, συγκλίνουν. Σήμερα, υπάρχουν πολλοί οργανισμοί, πάροχοι, εταιρίες που προσφέρουν ακριβώς τις ίδιες υπηρεσίες. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα μεγαλύτερο με τα κοινά κεντρικά δίκτυα τα οποία ενώνουν τα διαφορετικά συστήματα και διαμορφώνουν τα σύνθετα ράδιο-δίκτυα. Είναι λοιπόν φυσικό επακόλουθο, ότι οι προηγούμενοι ρυθμιστικοί μηχανισμοί που εξέτασαν τους διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών δεν είναι πλέον κατάλληλοι. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι η στατική μακροπρόθεσμη χορήγηση αδειών του φάσματος προς χρήση από ενιαία πρότυπα, εμποδίζει τους γρήγορους κύκλους καινοτομίας, δεδομένου ότι οι νέες τεχνολογίες κινούνται γενικά γρηγορότερα από τους κανονισμούς.

Επομένως, το ραδιοφάσμα υπηρεσιών μπορεί να υποχρησιμοποιείται σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και περιοχή, ενώ μια άλλη υπηρεσία την ίδια χρονική στιγμή, μπορεί να αντιμετωπίζει έλλειψη πόρων. Λαμβάνοντας υπόψιν την υψηλή οικονομική αξία του ραδιοφάσματος και τη σημασία της αποδοτικότητάς του, είναι σαφές ότι πρέπει να αποφευχθεί η απώλειά του.

Αυτά τα ζητήματα παρέχουν το κίνητρο για ένα σχέδιο αποκαλούμενο δυναμική κατανομή φάσματος (Dynamic Channel Allocation), το οποίο στοχεύει να διαχειριστεί το φάσμα που χρησιμοποιείται από ένα συγκλίνον ραδιοσύστημα και να το μοιραστεί μεταξύ των συμμετεχόντων ραδιοδικτύων πέρα από το διάστημα και το χρόνο, ώστε να αυξηθεί η γενική αποδοτικότητα του φάσματος. Τα σύνθετα ραδιοσυστήματα επιτρέπουν την παράδοση των υπηρεσιών μέσω του πιο κατάλληλου δικτύου πρόσβασης. Έτσι, η στενή συνεργασία δικτύων μπορεί να διευκολύνει τη διανομή όχι μόνο των υπηρεσιών, αλλά και του φάσματος. Η ικανότητα αναδιαμόρφωσης είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα, δεδομένου ότι με ένα σύστημα δυναμικής κατανομής, ένα οποιοδήποτε ραδιοδίκτυο θα μπορούσε ενδεχομένως να διαθέτει οποιαδήποτε συχνότητα, οποιαδήποτε στιγμή σε οποιαδήποτε θέση.

Δεδομένου ότι ένα σύστημα για να διαθέσει δυναμικά και να μοιραστεί το φάσμα πρέπει να είναι επιθυμητό, υπάρχουν και κάποια προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Ποιες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν τον τρόπο με τον οποίο η διανομή φάσματος συντονίζεται μεταξύ των μερικές φορές συνεργάσιμων, μερικές φορές ανταγωνιστικών συστημάτων; Επιπλέον, ποιες είναι οι απαιτήσεις αυτών των συστημάτων από την άποψη της εφαρμογής και της ικανότητας της αναδιαμόρφωσης; Με αυτά τα ερωτήματα και γενικά με την δυναμική ανάθεση συχνοτήτων θα ασχοληθούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

5.1 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Ο σχεδιασμός αποδοτικών τεχνικών επαναχρησιμοποίησης συχνότητας και ελέγχου της ομοδιαυλικής παρεμβολής (co-channel interference, CCI) καθίσταται αναγκαίος επειδή το φάσμα στις μικροκυματικές συχνότητες είναι ακριβό. Έχουν προταθεί πολλοί αλγόριθμοι για την κατανομή των διαύλων έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η επιθυμητή ποιότητα λήψης στα κυψελωτά συστήματα. Οι πόροι ενός συστήματος μεταγωγής πακέτου που πρέπει να κατανεμηθούν είναι οι χρονικές σχισμές (time slots). Πρέπει οι σχισμές να μοιραστούν είτε με στατικό, είτε με δυναμικό τρόπο σε όλους τους χρήστες που έχουν δεδομένα προς αποστολή, με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ένας ελάχιστος λόγος σήματος προς παρεμβολή SIR στην είσοδο του δέκτη, για να θεωρηθεί επιτυχημένη η διαδικασία αποστολής πακέτων. Αυτό οδηγεί στη λογική της δυναμικής ανάθεσης πόρων.

Λόγω των χρονικών και χωρικών διακυμάνσεων της κίνησης στα κυψελωτά συστήματα, τα σχήματα σταθερής κατανομής (FCA), που παρουσιάστηκαν νωρίτερα, δεν μπορούν να πετύχουν υψηλή απόδοση φάσματος. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το μειονέκτημα, έχουν σχεδιαστεί σχήματα δυναμικής κατανομής διαύλων (DCA). Σε αντίθεση με την FCA, στην DCA δεν υπάρχει σταθερή σχέση μεταξύ διαύλων και κυψελών. Όλοι οι δίαυλοι βρίσκονται σε κεντρικό σημείο διάθεσης και αντιστοιχούνται δυναμικά σε κυψέλες καθώς ξεκινούν νέες κλήσεις στο σύστημα. Όταν ολοκληρωθεί η κλήση ο δίαυλος της επιστρέφεται στο κεντρικό σημείο διάθεσης.

Στην DCA, ένας δίαυλος μπορεί να επιλεγεί για χρήση σε οποιαδήποτε κυψέλη, με την προϋπόθεση ότι ικανοποιούνται οι περιορισμοί των παρεμβολών στο σήμα. Γενικά, επειδή μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι του ενός ελεύθεροι δίαυλοι στο κεντρικό σημείο διάθεσης για να αντιστοιχηθούν σε κάποια κυψέλη που ζητάει δίαυλο, πρέπει να εφαρμοστεί κάποια στρατηγική για την επιλογή του διαύλου που θα αντιστοιχηθεί. Η κύρια ιδέα στα σχήματα DCA είναι να υπολογίζεται το κόστος χρησιμοποίησης κάθε υποψήφιου διαύλου και να επιλέγεται εκείνος με το μικρότερο κόστος, με την προϋπόθεση ότι ικανοποιούνται οι περιορισμοί για τις παρεμβολές. Η επιλογή της συνάρτησης κόστους είναι εκείνη που διαφοροποιεί τα σχήματα DCA. Στην συνέχεια της εργασίας θα αναλύσουμε τα σημαντικότερα σχήματα DCA. Η συνάρτηση κόστους που επιλέγεται μπορεί να εξαρτάται από τη μελλοντική

πιθανότητα αποκλεισμού στην περιοχή της κυψέλης, τη χρησιμοποίηση της συχνότητας του υποψήφιου διαύλου, την απόσταση επαναχρησιμοποίησης, τις μετρήσεις στους ραδιοδιαύλους των επιμέρους χρηστών ή τη μέση πιθανότητα αποκλεισμού του συστήματος.

5.2 ΚΕΝΤΡΙΚΗ DCA

Τα σχήματα κεντρικής DCA για να μπορέσουν να πραγματοποιήσουν τις αντιστοιχίσεις διαύλων χρειάζονται πληροφόρηση από όλο το σύστημα και έλεγχο σε όλο το σύστημα και απαιτούν κεντρικό έλεγχο με πληροφορίες που φθάνουν από όλους τους διαύλους του συστήματος. Το ακραίο παράδειγμα είναι η *μέγιστη ομαδοποίηση* (Maximum Packing, MP), όπου μια νέα κλήση ή μια διαπομπή αποκλείεται μόνο, όταν δεν μπορεί να γίνει πουθενά σ' όλο το σύστημα αναδιάταξη των κλήσεων σε διαύλους ώστε να εξυπηρετηθεί. Τα σχήματα αυτά παρέχουν θεωρητικά την καλύτερη επίδοση. Ωστόσο, η τεράστια ποσότητα υπολογισμών και επικοινωνίας μεταξύ των σταθμών βάσης οδηγούν σε υπερβολικές καθυστερήσεις και καθιστούν τα σχήματα κεντρικής DCA μη πρακτικά. Παρόλα αυτά, τα σχήματα κεντρικής DCA παρέχουν ένα χρήσιμο μέτρο σύγκρισης για τα συστήματα αποκεντρωμένης DCA, που εφαρμόζονται περισσότερο στην πράξη.

5.2.1 Μέγιστη ομαδοποίηση

Ο αλγόριθμος μέγιστης ομαδοποίησης (Maximum Packing, MP) παρουσιάστηκε αρχικά το 1983 από τους Everitt και MacFadyen. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτό, μια κλήση αποκλείεται μόνο όταν σε ολόκληρο το σύστημα δεν υπάρχει συνολική ανακατανομή των κλήσεων σε διαύλους, ώστε να μπορέσει να εξυπηρετηθεί. Η επίτευξη του έργου της ανακατανομής απαιτεί ένα κεντρικό ελεγκτή, που λαμβάνει πληροφορίες από όλο το σύστημα και μπορεί ταυτόχρονα να κάνει ανακατανομή των κλήσεων. Ο αλγόριθμος, έχει την ικανότητα να εξυπηρετεί όλες τις κλήσεις του δικτύου κινητών επικοινωνιών με ελάχιστο αριθμό διαύλων. Εξαιτίας αυτής της ικανότητας, εμφανίζει τη μικρότερη πιθανότητα αποκλεισμού νέων

κλήσεων καθώς και πιθανότητα εξαναγκασμένου τερματισμού κλήσεων από οποιοδήποτε σχήμα DCA, κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες κίνησης.

Το 1986 παρουσιάστηκε μια ενδιαφέρουσα αναλυτική προσέγγιση για τον αλγόριθμο μέγιστης ομαδοποίησης από τον F.P.Kelly, η οποία επεξηγούσε τον αλγόριθμο και μοντελοποιούσε την πολιτική MP σαν ένα δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη χρησιμοποίηση μερικών καλών και γνωστών εργαλείων ανάλυσης δικτύου για την ανάλυση του MP. Η ανάλυση αγνοεί τα προβλήματα περιαγωγής (roaming) του κινητού τερματικού καθώς και τα προβλήματα διαπομπής. Με την άφιξη μιας κλήσης σε μια κυψέλη, ο αλγόριθμος μέγιστης ικανοποίησης ελέγχει να δει αν όλες οι ομάδες επαναχρησιμοποίησης που περιέχουν αυτήν την κυψέλη έχουν τουλάχιστον ένα διαθέσιμο δίαυλο. Αν υπάρχει, τότε η κλήση μπορεί να εξυπηρετηθεί μέσω ανακατατάξεων διαύλων, αλλιώς, η κλήση αποκλείεται.

5.2.2 Αλγόριθμος MaxMin

Ο αλγόριθμος MaxMin προτάθηκε από τον D.J.Goodman. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτό, αντιστοιχείται στο κινητό τερματικό ο δίαυλος που μεγιστοποιεί τον ελάχιστο λόγο S/I , ο οποίος εμφανίζεται σε οποιοδήποτε κινητό τερματικό του συστήματος την ώρα της ανάθεσης. Υποθέτοντας, ότι η ποιότητα της ζεύξης εξαρτάται από τη μέση τιμή του λόγου S/I στη λήψη, ο λόγος S/I από το κινητό τερματικό MT_i στο σταθμό βάσης που το εξυπηρετεί είναι:

$$S/I(d_i)_{dB} = P_r(d_i)_{dB} - 10 \log_{10} \sum_{k \in I} 10^{P_r(d_k)_{dB}/10}$$

όπου $P_r(d_k)$ σε dB είναι η ισχύς λήψης από το κινητό MT_k, το οποίο απέχει απόσταση d_k από το σταθμό βάσης. Το σύνολο I απαρτίζεται από όλα τα κινητά τερματικά που χρησιμοποιούν τον ίδιο δίαυλο εκτός του MT_i. Σ' ένα κινητό τερματικό που ζητάει να εξυπηρετηθεί αντιστοιχείται δίαυλος j τέτοιος, ώστε να δίνει

$$\max_{j \in C} \min_{j \in S} \{S/I(d_i)\}$$

όπου i και j είναι αντίστοιχα δείκτες για κινητά τερματικά και διαύλους, C είναι το σύνολο των διαθέσιμων διαύλων στο σταθμό βάσης ο οποίος απαντάει στο κινητό τερματικό που ζητάει εξυπηρέτηση, $S/I(di)$ είναι ο λόγος S/I του κινητού τερματικού MT_i στο σταθμό βάσης που το εξυπηρετεί και S είναι το σύνολο όλων των κινητών τερματικών που εξυπηρετούνται, συμπεριλαμβανομένου και του κινητού τερματικού που ζητάει εξυπηρέτηση.

5.3 ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ DCA

Το 1972, οι Cox και Reudnik πρότειναν τέσσερις βασικούς αλγόριθμους αποκεντρωμένης DCA και τους συνέκριναν με την FCA, για την περίπτωση μακροκυψελών σε ευθείς δρόμους υψηλής ταχύτητας. Οι τέσσερις αυτοί αλγόριθμοι είναι: *πρώτος διαθέσιμος (First Available, FA)*, *πλησιέστερος γειτονικός (Nearest Neighbor, NN)*, *πλησιέστερος γειτονικός + 1 (Nearest Neighbor + 1, NN+ 1)* και *μέσου τετραγώνου (Mean Square, MSQ)*. Και οι τέσσερις αλγόριθμοι επιτρέπουν σε κάποιο σταθμό βάσης να χρησιμοποιήσει κάποιο δίαυλο που είναι διαθέσιμος και δεν χρησιμοποιείται στη γειτονιά παρεμβολής του. Σαν γειτονιά παρεμβολής θεωρούμε το σύνολο των γύρω κυψελών που μπορεί να παρεμβάλλουν στον υπόψη σταθμό βάσης. Η διαφορά των αλγόριθμων είναι στον τρόπο που επιλέγεται ο δίαυλος, όταν υπάρχουν περισσότεροι από ένας διαθέσιμοι.

Ο αλγόριθμος FA χρησιμοποιεί τον πρώτο διαθέσιμο δίαυλο που βρίσκει κατά την αναζήτηση. Θεωρώντας, ότι κάποιος δίαυλος μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί σε κυψέλες που απέχουν απόσταση $N \cdot D$ (όπου D η απόσταση μεταξύ γειτονικών κυψελών) από την υπόψη κυψέλη χωρίς να εμφανιστεί υπερβολική ομοδιαυλική παρεμβολή, ο αλγόριθμος NN χρησιμοποιεί το δίαυλο που χρησιμοποιείται από τον σταθμό βάσης που απέχει απόσταση $N \cdot D$ ή μεγαλύτερη. Ο αλγόριθμος NN+1 χρησιμοποιεί το δίαυλο που χρησιμοποιείται από σταθμό βάσης που απέχει απόσταση $(N+1) \cdot D$ ή μεγαλύτερη, με στόχο να επιτρέπεται σε περισσότερα κινητά τερματικά να συνεχίζουν να χρησιμοποιούν τον ίδιο δίαυλο, όταν διασχίζουν τα όρια των κυψελών. Τέλος, ο αλγόριθμος MSQ ψάχνει να αντιστοιχήσει το διαθέσιμο δίαυλο, ο οποίος ελαχιστοποιεί τη μέση τετραγωνική τιμή των αποστάσεων μεταξύ όλων των σταθμών

βάσης που χρησιμοποιούν τον ίδιο διάυλο. Αποδεικνύεται ότι οι αλγόριθμοι DCA έχουν καλύτερη επίδοση από τους FCA σε ότι αφορά τις πιθανότητες αποκλεισμού νέων κλήσεων και εξαναγκασμένου τερματισμού κλήσεων, εκτός από τις περιπτώσεις που έχουμε μεγάλη κίνηση. Την καλύτερη επίδοση από τους παραπάνω αλγόριθμους έχει ο NN.

5.3.1 Δυναμική απόκτηση πόρων

Ο αλγόριθμος DRA (*Dynamic Resource Acquisition, DRA*) προτάθηκε από τους Nanda και Goodman το 1992. Η λειτουργία του στηρίζεται στα εξής: Αρχικά, όταν πρέπει να επιλεγεί κάποιος διάυλος για να χρησιμοποιηθεί ή να απελευθερωθεί από κάποιο σταθμό βάσης, ο αλγόριθμος DRA υπολογίζει μια συνάρτηση ανταμοιβής - κόστους (για κάθε τέτοιο διάυλο). Η ανταμοιβή, που σχετίζεται με την απελευθέρωση διαύλου, είναι ο αριθμός των κυψελών στη γειτονιά παρεμβολής του σταθμού βάσης που θα καταλάβουν τον υπόψη διάυλο μετά την απελευθέρωσή του. Όταν πρόκειται να απελευθερωθεί διάυλος, επιλέγεται εκείνος που δίνει την μεγαλύτερη ανταμοιβή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να απαιτηθεί να γίνουν και ανακατατάξεις διαύλων. Το κόστος, που σχετίζεται με την απόκτηση διαύλου, αναφέρεται στον αριθμό των κυψελών στη γειτονιά παρεμβολής του σταθμού βάσης που θα στερηθούν τη χρήση αυτού του διαύλου. Επομένως, στην περίπτωση που πρέπει να αποκτηθεί κάποιος διάυλος, επιλέγεται αυτός που έχει το μικρότερο κόστος. Σε περίπτωση ισοπαλίας στη συνάρτηση ανταμοιβής - κόστους, ο προς απελευθέρωση διάυλος επιλέγεται αυθαίρετα.

Βασικό χαρακτηριστικό του αλγόριθμου είναι και η γειτονιά DRA. Με τον όρο αυτό ορίζουμε το σύνολο των κυψελών, των οποίων οι γειτονιές παρεμβολής επικαλύπτονται με την γειτονιά παρεμβολής του υπόψη σταθμού βάσης. Ο υπολογισμός της συνάρτησης ανταμοιβής - κόστους χρησιμοποιεί πληροφορίες για τη χρησιμοποίηση των διαύλων από όλες τις κυψέλες που βρίσκονται στη γειτονιά DRA ενός σταθμού βάσης. Δεχόμαστε ότι οι κυψέλες εκτός της γειτονιάς DRA, δεν θα επηρεάζουν τον υπολογισμό της συνάρτησης ανταμοιβής - κόστους που σχετίζεται με τον υπόψη σταθμό βάσης.

5.4 ΠΛΗΡΩΣ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ DCA

Στους προηγούμενους αλγόριθμους, αναφέραμε ότι είναι αναγκαίος κάποιος προγραμματισμός συχνοτήτων και φυσικά κάποιος κεντρικός έλεγχος. Η μέθοδος της πλήρως αποκεντρωμένης DCA αναιρεί τον προγραμματισμό και τον έλεγχο και είναι στην ουσία μια αυτοπροσαρμοζόμενη κατανομή διαύλων. Με αυτό τον τρόπο, όλοι οι δίαυλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε κυψέλη. Ο αλγόριθμος αντιστοίχισης διαύλων εκτελείται κλήση-προς-κλήση, έτσι ώστε να επιτευχθούν χρονικά μεταβαλλόμενα σχέδια επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων που δυναμικά ελαχιστοποιούν τις αμοιβαίες παρεμβολές ανάμεσα σε όλες τις υπάρχουσες υπηρεσίες. Το κινητό τερματικό και ο σταθμός βάσης παρακολουθούν τις συνθήκες των διαύλων και στη ζεύξη καθόδου και στη ζεύξη ανόδου αντίστοιχα, και επιλέγουν ένα ζευγάρι διαύλων (ένα για την κάθοδο κι ένα για την άνοδο) με τις λιγότερες παρεμβολές για τον υπόψη χρήστη. Η απόφαση λαμβάνεται και από το κινητό και από το σταθμό βάσης χωρίς να είναι αναγκαίος κάποιος κεντρικός έλεγχος. Όπως είναι φυσικό, ένας τέτοιος τρόπος αντιστοίχισης είναι αρκετά ευέλικτος για ενδεχόμενη αναδιάταξη του συστήματος.

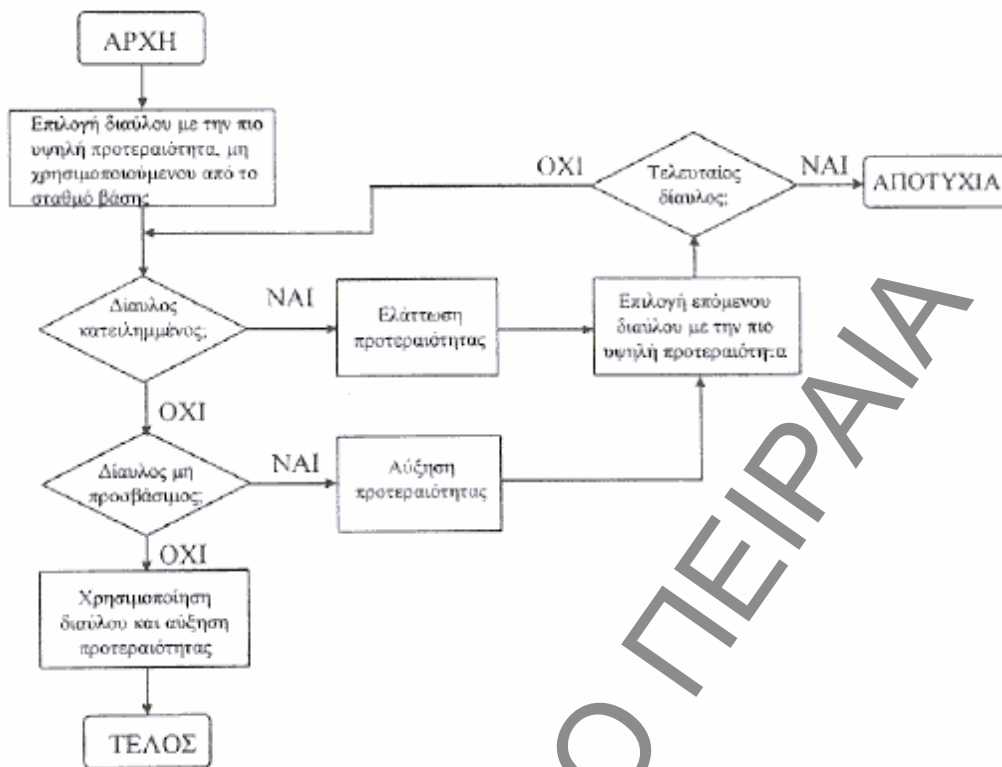
Ένα σύστημα με πλήρως αποκεντρωμένη DCA έχει περιορισμένες παρεμβολές. Η μείωση των παρεμβολών μπορεί να μεταφραστεί απευθείας σε βελτίωση της χωρητικότητας. Συνεπώς, ο έλεγχος I της ισχύος είναι πολύ αποτελεσματικός στα συστήματα αυτού του είδους, λόγω της ικανότητάς του να ελαττώνει τις ομοδιαυλικές παρεμβολές.

Για την εφαρμογή των αλγορίθμων της πλήρως αποκεντρωμένης DCA υπάρχουν ορισμένες εγγενείς απαιτήσεις. Καταρχήν, σε κάθε σταθμό βάσης θα πρέπει να παρέχεται αναγνωριστικό σήμα. Επίσης, οι συνθέτες συχνοτήτων στους σταθμούς βάσης θα πρέπει να είναι ικανοί να αλλάζουν συχνότητες πολύ γρήγορα δηλαδή εντός του χρόνου παρακολούθησης μεταξύ των χρονοσχισμών (timeslots). Τέλος, για την επίτευξη καλής επίδοσης χρειάζεται συγχρονισμός σε όλο το σύστημα. Η παραβίαση αυτών των απαιτήσεων έχει αντίκτυπο στην επίδοση του συστήματος.

5.4.1 Απομόνωση διαύλων

Τον Αύγουστο του 1993, οι Akaiwa και Andoh πρότειναν έναν κατανεμημένο, προσαρμοστικό, αυτοοργανωμένο αλγόριθμο DCA, όπου οι σταθμοί βάσης χρησιμοποιούν απομόνωση διαύλων (*Channel Segregation, CS*) για να παράγουν προτιμώμενους διαύλους μέσω μιας εξελικτικής διαδικασίας που βασίζεται σε κριτήρια περιορισμού της παρεμβολής. Ο αλγόριθμος αναπτύχθηκε για τα συστήματα TDMA με την υπόθεση, ότι κάθε σταθμός βάσης μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε διάυλο παράγοντας την συχνότητα του υπόψη διαύλου και επιλέγοντας μια χρονοσχισμή. Ο αλγόριθμος CS μεριμνά επίσης και για τους μη προσβάσιμους διαύλους, όπου μια κλήση σε κάποια κυψέλη μπορεί να αποκλειστεί ακόμη και όταν υπάρχουν ελεύθεροι διάυλοι, λόγω του περιορισμού που τίθεται στον αριθμό των διαφόρων φερόντων που μπορεί να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα. Δηλαδή, ο σταθμός βάσης έχει ένα πεπερασμένο αριθμό ασυρμάτων εισόδων, κάθε μια από τις οποίες μπορεί να συντονιστεί σε μια μόνο συχνότητα.

Στο σχήμα φαίνεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου CS. Κάθε σταθμός βάσης κατατάσσει τους διαύλους σύμφωνα με μια συνάρτηση προτεραιότητας. Μεγάλη τιμή της συνάρτησης αντιστοιχεί σε μεγάλη προτεραιότητα. Μια συνάρτηση προτεραιότητας π.χ., θα μπορούσε να είναι ο λόγος ns/nt , όπου ns είναι ο αριθμός των επιτυχημένων χρησιμοποιήσεων του διαύλου συν τον αριθμό των προσβάσεων στο διάυλο όταν είναι ελεύθερος αλλά δεν υπάρχει πρόσβαση προς αυτόν και nt είναι ο συνολικός αριθμός των προσπαθειών προς το διάυλο. Όταν μια κλήση φθάνει, ο σταθμός βάσης, από τη λίστα των διαύλων που δεν χρησιμοποιεί εκείνη τη στιγμή, ψάχνει το διάυλο με την ψηλότερη προτεραιότητα. Αν ο διάυλος είναι ελεύθερος, ελέγχεται αν υπάρχει πρόσβαση προς αυτόν. Αν υπάρχει, καταλαμβάνεται και η προτεραιότητά του αυξάνεται, αν όχι, η προτεραιότητά του αυξάνεται και ο σταθμός βάσης ψάχνει πάλι για τον επόμενο διάυλο με την αμέσως υψηλότερη προτεραιότητα, που δεν τον χρησιμοποιεί εκείνη τη δεδομένη στιγμή. Η κλήση απορρίπτεται μόνο όταν όλοι οι διάυλοι είναι κατειλημμένοι.



Σχήμα 5.1

Διάγραμμα ροής αλγόριθμου *Channel Segregation*

5.4.2 Απομόνωση διαύλων με μεταβλητό κατώφλι

Ένας άλλος αλγόριθμος απομόνωσης διαύλων, που έχει προταθεί από τον Hanabe το Μάιο του 1993, χρησιμοποιεί κατατάξεις προτεραιότητας με μεταβλητό κατώφλι παρεμβολής. Οι δίαυλοι κατατάσσονται κατά σειρά προτεραιότητας, με πρώτον εκείνον που έχει την υψηλότερη. Ο σταθμός βάσης μετράει τις στάθμες παρεμβολής των διαύλων του, που δεν χρησιμοποιούνται εκείνη τη στιγμή. Η τιμή της προτεραιότητας κάθε διαύλου ελαττώνεται, αν η στάθμη παρεμβολής είναι υψηλότερη από ένα προκαθορισμένο κατώφλι. Κατά παρόμοιο τρόπο, η τιμή της προτεραιότητας αυξάνεται, αν η στάθμη παρεμβολής είναι χαμηλότερη από ένα προκαθορισμένο κατώφλι. Ως συνάρτηση προτεραιότητας μπορεί να οριστεί ο λόγος του αριθμού των φορών, όπου η στάθμη παρεμβολής του διαύλου είναι μικρότερη από το κατώφλι, προς τον αριθμό των φορών που βολιδοσκοπείται ο δίαυλος. Το

κατώφλι παρεμβολής μεταβάλλεται ανάλογα με τη σειρά του διαύλου στη λίστα κατάταξης.

Ο λόγος που χρησιμοποιούνται μεταβλητά κατώφλια για κάθε δίαυλο μπορεί να γίνει αντιληπτός, αν εξεταστεί η περίπτωση με σταθερό κατώφλι. Η χρησιμοποίηση ενός διαύλου υψηλής προτεραιότητας με σταθερό κατώφλι εμφανίζει μεγαλύτερη πιθανότητα να προκαλέσει παρεμβολή, γιατί το κατώφλι S/I είναι το ίδιο για όλους τους διαύλους. Ένας δίαυλος με υψηλότερη προτεραιότητα θα προτιμηθεί από έναν με χαμηλότερη, στην περίπτωση που και οι δύο υπερβαίνουν το κατώφλι S/I , ανεξάρτητα από το κατά πόσο ή όχι ένας δίαυλος χαμηλότερης προτεραιότητας θα μπορούσε να προκαλέσει μικρότερη παρεμβολή σε γειτονικές κυψέλες. Με αυτόν τον τρόπο, η χρησιμοποίηση διαύλου υψηλότερης προτεραιότητας μπορεί να προκαλέσει διακοπές εξυπηρέτησης, αδιέξοδα και αστάθεια στο σύστημα. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μεταβλητό κατώφλι, αντιστοιχείται υψηλότερο κατώφλι σε διαύλους υψηλότερης προτεραιότητας για να περιορίζεται η πιθανότητα ομοδιαυλικής παρεμβολής, ενώ αντιστοιχείται χαμηλότερο κατώφλι σε διαύλους χαμηλότερης προτεραιότητας για να μειώνεται η πιθανότητα αποκλεισμού.

5.4.3 Αλγόριθμοι ελάχιστης παρεμβολής

Αλγόριθμοι που βασίζονται στην ελάχιστη παρεμβολή (Minimum Interference, MI), έχουν προταθεί από τους Goodman, Gradhi και Vijayan. Ο βασικός αλγόριθμος ελάχιστης παρεμβολής έχει χρησιμοποιηθεί στα συστήματα CT-2 και DECT. Σύμφωνα με τους αλγόριθμους αυτούς, το κινητό τερματικό στέλνει σηματοδοσία αναζήτησης διαύλου προς το σταθμό βάσης με το ισχυρότερο σήμα. Ο σταθμός βάσης μετράει τη στάθμη παρεμβολής για όλους τους διαύλους, που δεν χρησιμοποιεί ακόμη και αντιστοιχεί στο κινητό τερματικό το δίαυλο με την ελάχιστη παρεμβολή. Η πολιτική αυτή, σε συνδυασμό με τη διαπομπή που ελέγχεται από το κινητό εξασφαλίζει καλή επίδοση. Υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές μορφές του αλγορίθμου ελάχιστης παρεμβολής οι οποίοι διαφέρουν ως προς τη σειρά που αντιστοιχούνται δίαυλοι. Τέτοιοι αλγόριθμοι είναι οι αλγόριθμοι τυχαίας ελάχιστης παρεμβολής (Random Minimum Interference, RMI), τυχαίας ελάχιστης παρεμβολής με επαναντιστοίχιση (RMI with Reassignment, RMIR) και διαδοχικής ελάχιστης παρεμβολής (Sequential Minimum Interference, SMI). Ο αλγόριθμος τυχαίας

ελάχιστης παρεμβολής εξυπηρετεί τις αιτήσεις κλήσεων με τη σειρά που καταφθάνουν. Ο αλγόριθμος τυχαίας ελάχιστης παρεμβολής με επαναντιστοίχιση (RMIR) εξυπηρετεί τις αιτήσεις κλήσεων όπως και ο RMI, αλλά στη συνέχεια επαναντιστοιχείται διάυλος σε κάθε σταθμό βάσης σύμφωνα με την πολιτική της ελάχιστης παρεμβολής (MI). Τα κινητά τερματικά τα οποία δεν εξυπηρετήθηκαν, ξαναπροσπαθούν να αποκτήσουν διάυλο, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται για ένα σταθερό αριθμό επαναλήψεων με την σειρά της επαναντιστοίχισης να είναι τυχαία. Ο αλγόριθμος διαδοχικής ελάχιστης παρεμβολής (SMI) αντιστοιχεί διαύλους σύμφωνα με το σχήμα MI, αλλά σε διαδοχική σειρά. Ο Goodman χρησιμοποίησε γραμμικές μικροκυψέλες και η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν να εξυπηρετείται ένα κινητό τερματικό μόνο όταν τα αριστερά του ευρισκόμενα κινητά τερματικά είχαν μια ευκαιρία να εξυπηρετηθούν. Αυτό, απαιτεί κάποια συνεργασία μεταξύ των σταθμών βάσης και η επέκταση του αλγορίθμου σε διδιάστατα σχήματα δεν είναι προφανής.

5.5 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗΣ DCA

Όπως προαναφέραμε η κατανομή πόρων σε ένα σύστημα μπορεί να γίνει είτε με τη χρήση ενός κεντρικού ελεγκτή (centralized), είτε αποκεντρωμένα (decentralized) από τα απομακρυσμένα τερματικά. Αν και η χρήση κεντρικού ελεγκτή είναι πλήρως δικαιολογημένη για σταθερά συστήματα ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης με μοναδική κυψέλη, όπως για παράδειγμα είναι τα συστήματα MMDS, δεν μπορεί να δικαιολογηθεί για τα πολύ-κυψελικά συστήματα, καθώς συνιστούν σπατάλη του εύρους ζώνης για επικοινωνία και της υπολογιστικής ισχύος που απαιτούνται. Για το λόγο αυτό οι αλγόριθμοι που παρουσιάζονται παρακάτω, χειρίζονται την ομοδιαυλική παρεμβολή χωρίς τη χρήση κεντρικού ελεγκτή και επιτρέπουν την αναχρησιμοποίηση του ίδιου φάσματος σε κάθε κυψέλη, οδηγώντας σε συστήματα πολύ υψηλού βαθμού φασματικής απόδοσης.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η ανάλυση που ακολουθεί αφορά συστήματα σταθερής ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης, τα οποία στηρίζονται στην αρχιτεκτονική μεταγωγής πακέτου TDMA, με ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 10Mbps, για ζεύξεις μικρότερες των 10Km και συχνότητες άνω των 10GHz. Επίσης,

πρέπει να σημειωθεί ότι τα προς ανάλυση δίκτυα είναι κυψελωτά, κάθε κυψέλη χωρίζεται σε τομείς, οι σταθμοί βάσης (BS) εξυπηρετούν κάθε τομέα με διαφορετική κεραία (sector antennas) και οι σταθμοί χρηστών χρησιμοποιούν κεραίες με αρκετά στενό εύρος δέσμης μισής ισχύος.

5.5.1 Μέθοδος QRA - IA

Η μέθοδος QRA-IA (Quasi-Static Resource Allocation with Interference Avoidance) ή ημι-στατική κατανομή πόρων με αποφυγή παρεμβολών είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για περιορισμό της διακυψελικής παρεμβολής. Βασίζεται εξ' ολοκλήρου στις μετρήσεις που πραγματοποιούν οι εμπλεκόμενοι σταθμοί και δεν απαιτεί αρχικό σχεδιασμό.

Σε πολλά ασύρματα συστήματα και κυρίως σε αυτά που είναι εξοπλισμένα με κατευθυντικές κεραίες, η αποφυγή των κυρίαρχων πηγών παρεμβολής μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της επίδοσης ενός τερματικού. Η QRA-IA στηρίζεται στην περιοδική σιγή ενός από τους τομείς του σταθμού βάσης για κάποιο συγκεκριμένο χρόνο. Η σιγή, δημιουργεί μια αναμενόμενη ανομοιομορφία στην επίδοση κάθε τερματικού με αποτέλεσμα να δίνεται η δυνατότητα επιλογής σε κάθε τερματικό των επιθυμητών χρονικών περιόδων για μετάδοση. Για παράδειγμα, αν ένα τερματικό δέχεται πολύ ισχυρή παρεμβολή από ένα συγκεκριμένο τομέα ενός άλλου σταθμού βάσης, θα έχει πολύ βελτιωμένη επίδοση για το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ο τομέας αυτός σιγεί. Η μέθοδος QRA-IA απαιτεί από κάθε σταθμό βάσης να έχει μια ακολουθία από περιόδους σιγής για κάθε τομέα του. Έτσι καθορίζονται τα υποπλαίσια κατά τα οποία ένας συγκεκριμένος τομέας σιγεί. Κάθε τερματικό έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τις σχισμές κατά τις οποίες η παρεμβολή είναι μικρή και να ενημερώσει το σταθμό βάσης. Ο σταθμός χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες και οργανώνει τις μεταδόσεις έτσι ώστε να βελτιώσει το λόγο SIR στα τερματικά. Συνοπτικά η μέθοδος QRA-IA ακολουθεί την εξής διαδικασία:

1. Κάθε τομέας ενός σταθμού βάσης υποχρεώνεται σε σιγή για ένα συγκεκριμένο υποπλάισιο, ανάλογα με την ακολουθία περιόδων σιγής που υιοθετεί ο σταθμός βάσης του.

2. Τα τερματικά μετρούν τη λαμβανόμενη παρεμβολή κατά τη διάρκεια του χρόνου, αναγνωρίζουν τις σχισμές που επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν για μετάδοση και τις αναφέρουν στο σταθμό βάσης από τον οποίο εξυπηρετούνται.

3. Οι σταθμοί βάσης προγραμματίζουν ανάλογα τις μεταδόσεις τους προς τα τερματικά.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της μεθόδου QRA-IA είναι ότι βασίζεται σε μετρήσεις, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται κάποιος πολύπλοκος αρχικός σχεδιασμός αλλά, αντίθετα, να αντιδρά ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο [4]. Για το λόγο αυτό, ο αλγόριθμος επιδεικνύει μεγάλη προσαρμοστικότητα. Επιπλέον, η μέθοδος QRA-IA είναι πλήρως κατανεμημένη, δηλαδή δεν απαιτείται γνώση των σημάτων παρεμβολής στο σύνολο των τερματικών του συστήματος από ένα σταθμό βάσης ώστε να οργανώσει τις μεταδόσεις του. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι απαιτείται έγκαιρη και ακριβής μέτρηση των σημάτων από τους σταθμούς βάσης, έτσι ώστε να υπάρξει σωστός προγραμματισμός των μεταδόσεων προς τα τερματικά. Τέλος, είναι συμβατή με πολλές τεχνικές ενδοκυβελικής δρομολόγησης. Η μόνη προϋπόθεση που απαιτείται για τη συμβατότητα αυτή είναι να έχει τη δυνατότητα ο σταθμός βάσης να ελέγχει το πότε βρίσκεται σε σιγή ή όχι ένας τομέας.

5.5.2 Μέθοδος TSRP

Η μέθοδος TSRP (Time-Slot Reuse Partitioning) είναι μια τεχνική η οποία βασίζεται σε δυο κεντρικές ιδέες: Η πρώτη είναι η ύπαρξη περισσότερων από μια τεχνικών επαναχρησιμοποίησης στο πεδίο του χρόνου για το σύστημα. Η δεύτερη είναι το κάθε τερματικό ή εφαρμογή να αντιστοιχίζεται στην κατάλληλη τεχνική επαναχρησιμοποίησης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας. Η χρήση τοπολογιών με διαφορετικό συντελεστή επαναχρησιμοποίησης δίνει τη δυνατότητα στο σύστημα να προσφέρει διαφορετικούς βαθμούς απόδοσης σε ένα τερματικό και να εξισορροπεί την απόδοση διαφορετικών τερματικών.

Η μέθοδος TSRP θεωρεί δυο τύπους υπηρεσίας: τη μετάδοση φωνής και τη μετάδοση δεδομένων [5]. Για την υλοποίηση της θεωρούνται δυο τεχνικές επαναχρησιμοποίησης, μια με συντελεστή επαναχρησιμοποίησης $F_r=1$ και μια με $F_r=4$. Τα τερματικά κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες, έτσι ώστε να

απλοποιηθεί η ανάθεση των σχισμών σε αυτά. Η κατάταξη αυτή των τερματικών βασίζεται σε μετρήσεις του λόγου SIR, ο οποίος συγκρίνεται με ένα κατώφλι γ , δημιουργώντας τις εξής κατηγορίες:

1. Ο λόγος SIR που επιτυγχάνεται στο κοινό τμήμα του πλαισίου είναι υψηλότερος από το κατώφλι.

2. Ο λόγος SIR του κοινού τμήματος πλαισίου είναι χαμηλότερος από το κατώφλι, όμως ο SIR του dedicated τμήματος είναι υψηλότερος.

3. Ο λόγος SIR τόσο του κοινού τμήματος όσο και του dedicated τμήματος είναι μικρότερος από το κατώφλι.

Σύμφωνα με τις παραπάνω κατηγορίες και των υπηρεσιών που απαιτούνται από το εκάστοτε τερματικό, κατά την ανάθεση σχισμών ακολουθείται η εξής διαδικασία:

1. Κάθε σταθμός είναι υποχρεωμένος πρώτα να χρησιμοποιεί το τμήμα dedicated του πλαισίου και στη συνέχεια το κοινό τμήμα.

2. Τα τερματικά που μεταδίδουν φωνή έχουν υψηλότερη προτεραιότητα από αυτά που μεταδίδουν δεδομένα.

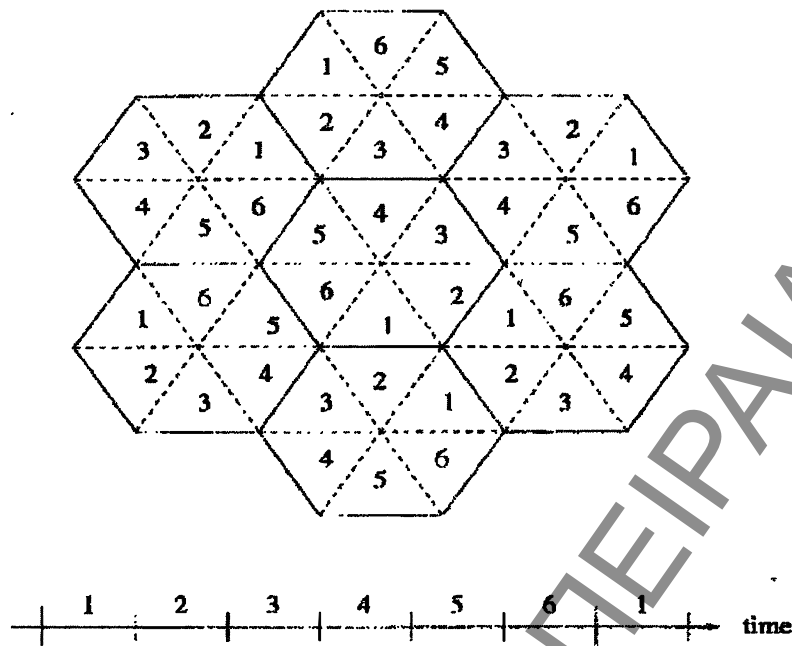
3. Από τα τερματικά που μεταφέρουν δεδομένα, εκείνα που ανήκουν στην κατηγορία 2 χρησιμοποιούν το τμήμα dedicated του πλαισίου με μεγαλύτερη προτεραιότητα από εκείνα που ανήκουν στην κατηγορία 1.

4. Για την ανάθεση σχισμών στα τερματικά χρησιμοποιείται μία κυκλική διαδικασία Round-Robin ώστε να διασφαλίζεται η δίκαιη πρόσβαση.

5. Κάθε σταθμός βάσης συντονίζει πλήρως όλες τις μεταδόσεις που γίνονται μέσα στους τομείς του.

5.5.3 Μέθοδος SRA

Η μέθοδος SRA είναι μια κατανεμημένη τεχνική κατανομής σχισμών στους χρήστες ενός συστήματος. Για να μπορέσουμε καλύτερα να καταλάβουμε την μέθοδο, θα χρησιμοποιήσουμε ένα κυψελωτό σύστημα (σχήμα 5.2) με συντελεστή επαναχρησιμοποίησης, εντός της κυψέλης, $F_r=6$. Η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιείται είναι η TDMA, ενώ ως τεχνική αμφιδρόμησης χρησιμοποιείται η τεχνική TDD.



Σχήμα 5.2
Πλαίσιο συστήματος ($F_r=6$)

Στο Σχήμα 5.2, φαίνεται ο χωρισμός κυψελών σε τομείς και η συνακόλουθη ανάθεση σχισμών στο πλαίσιο του κυψελωτού συστήματος που χρησιμοποιείται. Το βασικό πλαίσιο είναι χωρισμένο σε υποπλαίσια 1, 2, 3, 4, 5, 6, τα οποία χωρίζονται σε σχισμές. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η δομή του πλαισίου αφορά το downlink και το uplink. Οι τομείς του συστήματος ακολουθούν την φορά του ρολογιού και η σηματοδότηση γειτονικών κυψελών διαφέρουν κατά 120° . Κάθε τομέας προγραμματίζει με ειδική σειρά την μετάδοση των πακέτων.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου SRA, όσον αφορά την αποφυγή παρεμβολών και τον έλεγχο των ταυτόχρονων μεταδόσεων πακέτων, είναι η αποφυγή της βασικής παρεμβολής και ο έλεγχος ταυτόχρονων μεταδόσεων.

Για την αποφυγή της βασικής παρεμβολής εξετάζεται η ενδοκυψελική παρεμβολή (intra-cell interference). Ενδοκυψελική παρεμβολή στο downlink προέρχεται μόνο από τους δευτερεύοντες και τον οπίσθιο λοβό της κεραίας του κάθε τομέα. Αν το φορτίο (κίνηση) κάθε τομέα είναι μικρότερο από το $1/6$ της συνολικής χωρητικότητας του καναλιού, όλα τα πακέτα μεταδίδονται σε διαφορετικά υποπλαίσια και η μέθοδος SRA μετατρέπεται στην απλή περίπτωση ανάθεσης σχισμών συστήματος με συντελεστή επαναχρησιμοποίησης εντός της κυψέλης $F_r=6$.

Κάθε τομέας μεταδίδει μόνο στο υποπλαίσιο που του αντιστοιχεί. Αυτό του αρκεί αφού το φορτίο του είναι μικρότερο ή ίσο με το $1/6$ της συνολικής χωρητικότητας του πλαισίου. Με αυτόν τον τρόπο, δεν προκαλείται παρεμβολή μέσα στην κυψέλη. Στην περίπτωση όμως που το φορτίο κάθε τομέα αυξάνει πάνω από το $1/6$ της χωρητικότητας του πλαισίου, ξεκινούν οι ταυτόχρονες μεταδόσεις πακέτων με αποτέλεσμα να αυξάνεται το επίπεδο παρεμβολών. Ωστόσο, η ειδική ανάθεση σχισμών εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά των κατευθυντικών κεραιών, επιτρέποντας πολλαπλές ταυτόχρονες μεταδόσεις πακέτων, μεγιστοποιώντας παράλληλα το λόγο σήματος προς παρεμβολή, SIR. Εκτός από την ενδοκυψελική παρεμβολή, η μέθοδος SRA βοηθάει στη μείωση της διακυψελικής παρεμβολής (inter-cell interference). Αυτό, επιτυγχάνεται κυρίως όταν το φορτίο κάθε τομέα είναι μέτριο, δηλαδή μικρότερο του $1/3$ της συνολικής χωρητικότητας του πλαισίου.

Η μέθοδος SRA μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με ένα μηχανισμό ελέγχου για να βελτιωθεί η ποιότητα λήψης ως προς το SIR που επιτυγχάνεται στα τερματικά. Συγκεκριμένα, ο μηχανισμός ελέγχου περιορίζει τις μεταδόσεις πακέτων μέχρι ένα συγκεκριμένο αριθμό τμημάτων πλαισίου από κάθε τομέα. Γενικότερα, αν κάποιος τομέας προγραμματίζει μετάδοση πακέτων στα k πρώτα τμήματα πλαισίου με τη μέθοδο SRA, το πολύ k πακέτα θα μεταδίδονται ταυτόχρονα από τις διάφορες κεραιές σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή[4]. Ο μηχανισμός ελέγχου περιορίζει το πλήθος ταυτόχρονων μεταδόσεων, με αποτέλεσμα να περιορίζεται το ποσοστό παρεμβολής και να επιτυγχάνεται το επιθυμητό SIR. Με τον τρόπο αυτό, ο μηχανισμός ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μηχανισμός παροχής της επιθυμητής ποιότητας υπηρεσίας QoS, όταν οι διαφορετικές βαθμίδες ποιότητας, όπως είναι η μεταφορά φωνής, η μεταφορά των δεδομένων πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου, ορίζονται από διαφορετικό κατώφλι SIR.

5.6 ADVANCED SPECTRUM MANAGEMENT (ASM)

Όπως έχουμε προαναφέρει, η σταθερή κατανομή φάσματος παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι είναι γνωστή η συχνότητα λειτουργίας. Ωστόσο, η φύση της επικοινωνιακής κίνησης εξαρτάται τόσο από τον χρόνο όσο και από τον τόπο. Η εισαγωγή της ευελιξίας στην κατανομή φάσματος θα επιτρέψει στο φάσμα να

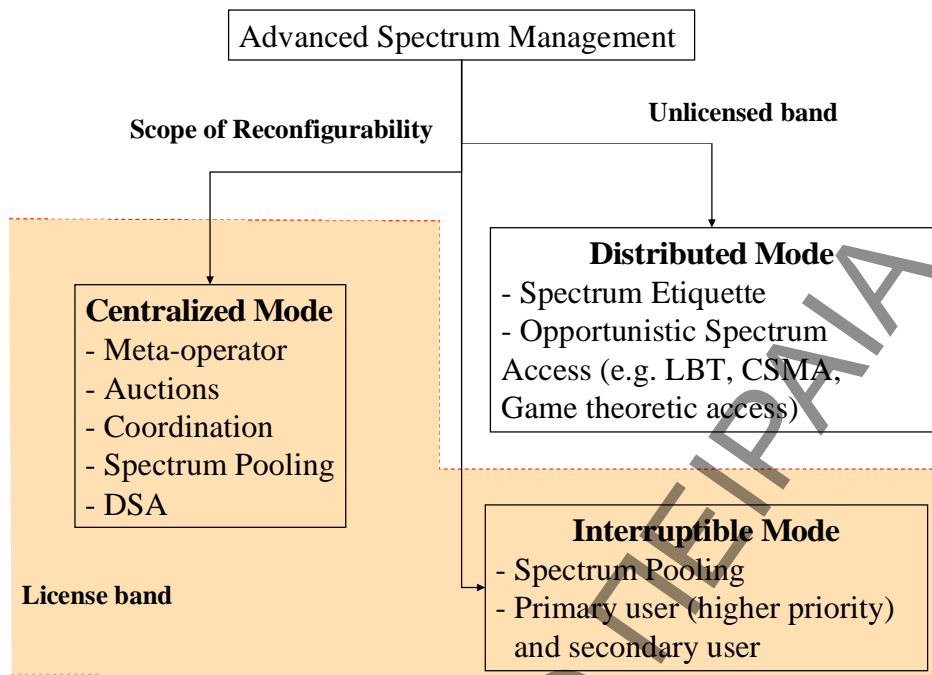
διατεθεί με έναν τρόπο που ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες των χειριστών και των χρηστών σε μια γεωγραφική περιοχή σε μια ιδιαίτερη στιγμή του χρόνου. Κάτι τέτοιο βελτιστοποιεί τη χρήση του φάσματος.

Μια παραδοσιακή τεχνική κατανομής φάσματος είναι να διατεθεί ένα σταθερό ποσό φάσματος σε ένα ιδιαίτερο σύστημα επικοινωνιών σε κάθε χειριστή. Ωστόσο απαιτείται ένας δυναμικότερος τρόπος αναδιανομής φάσματος. Για αυτόν τον σκοπό εισάγεται και χρησιμοποιείται μια νέα προηγμένη διαχείριση φάσματος (Advanced Spectrum Management, ASM). Ουσιαστικά, η ASM είναι μια διαδικασία που επιτρέπει να διαχειριστεί δυναμικά το φάσμα μέσα στα ενιαία ή ανάμεσα σε διαφορετικά ραδιοσυστήματα πρόσβασης. Οι ζώνες φάσματος που διατίθενται σε κάθε ένα από τα συστήματα δεν καθορίζονται.

Μαζί με την εμφάνιση της 4G εποχής στην τεχνολογία των τηλεπικοινωνιών, οι νέες τεχνικές πρέπει να αναπτυχθούν για την ευφυή διαχείριση του φάσματος. Ο ανασχηματισμός όρου ισχύει όχι μόνο για την επιλογή μεταξύ ενός συνόλου διαθέσιμης ραδιοπρόσβασης στην περιοχή υπηρεσιών, αλλά και στην κατάλληλη διαμόρφωση των πόρων που χρησιμοποιούνται, πχ την προσεκτική επιλογή της λειτουργούσας ζώνης συχνότητας. Η προηγμένη διαχείριση φάσματος απαιτείται για τις ασύρματες συσκευές που λειτουργούν, είτε στην εξουσιοδοτημένη ζώνη, είτε στη χωρίς άδεια ζώνη, είτε και στις δύο. Υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι που λειτουργούν κάτω από το θέμα των ASM (Advanced Spectrum Management), μερικοί από τους οποίους αναλύονται στην συνέχεια

Όπως απεικονίζεται στο σχήμα, οι προηγμένες διοικητικές προσεγγίσεις φάσματος μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες, στον συγκεντρωμένο τρόπο, στον διανεμημένο και στον διακοπτόμενο.

Στο συγκεντρωμένο τρόπο (centralized mode), υπάρχει η ανάγκη μιας κύριας οντότητας, η οποία ελέγχει την πρόσβαση φάσματος και διαθέτει το φάσμα δυναμικά (Dynamic Spectrum Allocation, DSA) σύμφωνα με την πολιτική φάσματος. Ο συντονισμός του φάσματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον καθορισμό μιας σειράς των πόρων φάσματος ως κοινή λίμνη (λίμνη φάσματος) που επιτρέπουν τις δυναμικές προσβάσεις από τους διαφορετικούς χειριστές βασισμένες στα προκαθορισμένα κατώτατα όρια. Μπορεί επίσης περιοδικά να δημοπρατήσει τα κομμάτια του φάσματος άμεσα στους χειριστές.



Σχήμα 5.3
Τεχνικό πεδίο στη διοικητική προσέγγιση φάσματος

Στο διανεμημένο τρόπο, οι ευφυέστεροι αλγόριθμοι πρόσβασης φάσματος διανέμονται στα ευφυείς τερματικά ή τις ομάδες επικοινωνίας. Στο κοινό περιβάλλον φάσματος, οι ραδιοσυσκευές έχουν πρόσβαση στο φάσμα περισσότερο αυτόνομα, βασισμένο στα προηγουμένως συμφωνηθέντα πρωτόκολλα. Η συμπεριφορά τέτοιων προσβάσεων φάσματος είναι τόσο αναλογική στη δημόσια κοινωνία που υπακούει την εθιμοτυπία ότι η σύγκρουση και οι παρεμβάσεις που προέκυψαν από την κοινή πρόσβαση, αναμένονται να μειωθούν. Προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα μεμονωμένα οφέλη από την άποψη του επαγγέλματος δαπανών ή των πόρων, μπορούν να εφαρμοστούν οι θεωρητικές πρακτικές παιχνιδιών. Για ρυθμιστικούς και λόγους ασφάλειας, αυτός ο τρόπος εφαρμόζεται συνήθως στη χωρίς άδεια ζώνη.

Ένας άλλος τρόπος ονομάζεται διακοπτόμενος τρόπος (interruptible mode). Σε αυτή την περίπτωση, ο δευτεροβάθμιος χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στη λίμνη φάσματος από τον κάτοχο φάσματος, ο οποίος έχει αγοράσει ήδη ή έχει νοικιάσει εκείνο τον πόρο. Λόγω της χαμηλής έντασης κυκλοφορίας, ο κάτοχος φάσματος επιτρέπει την πρόσβαση από άλλους. Προφανώς, εάν ο κάτοχος φάσματος και οι δευτεροβάθμιοι χρήστες προσπαθούν να έχουν πρόσβαση στο φάσμα ταυτόχρονα, το

πρώτο έχει την πιο υψηλή προτεραιότητα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο αρχικός χρήστης μεταδίδει ραδιοφωνικά τις παραμέτρους, π.χ., μέγιστα διαστήματα δύναμης και πρόσβασης μετάδοσης στους δευτεροβάθμιους χρήστες χρησιμοποιώντας την υποδομή δικτύων του.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε σε τρεις προσδιορισμένες τεχνικές διαχείρισης φάσματος. Κάθε μια από αυτές δίνει την απάντηση στο πώς να διαχειριστεί τους υπάρχοντες πόρους, που χρησιμοποιούνται χωριστά σήμερα από τα διαφορετικά συστήματα ραδιοεπικοινωνίας, για να κερδίσει από την κοινή χρήση (λίμνη) αυτής της ποικιλομορφίας των πόρων στα σύνθετα και συνεργάσιμα συστήματα ραδιοεπικοινωνιών.

5.6.1 Spectrum Brickwork

Οι πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα του Software Defined Radio (SDR) έχουν παράσχει την ευκαιρία για μια δυναμικότερη χρήση του φάσματος συχνότητας με την εισαγωγή των εύκαμπτων ικανοτήτων εξοπλισμών πολύ-ταινιών. Τα δυναμικά επαναπρογραμματισμένα ραδιόφωνα (με χαρακτηριστικά και παραμέτρους λειτουργίας που καθορίζονται μόνο από το λογισμικό) (SDR) είναι, θεωρητικά, ικανά να επιτύχουν την πλήρη διαλειτουργικότητα μεταξύ όλων των τέτοιων ραδιοτεχνολογιών πρόσβασης. Εντούτοις, μέχρι τώρα, τέτοιες τεχνολογίες δεν είναι αρκετά ώριμες να προσφέρουν την πλήρη ευελιξία της για τη διαχείριση φάσματος δεδομένου ότι υπάρχουν ακόμα κάποιοι τεχνικοί περιορισμοί.

Υπό αυτήν τη μορφή, η προτεινόμενη έννοια που αναπτύσσεται σε αυτό το τμήμα προτείνει έναν ενδιαφέροντα μηχανισμό που επιτρέπει να επιτευχθεί αυτή η μισή εύκαμπτη και δυναμική διαχείριση φάσματος σε ένα πολυ-ραδιο περιβάλλον. Πράγματι, πολλές προτάσεις για τέτοια ευελιξία είναι ανεπιτυχείς, δεδομένου ότι πρέπει να εξεταστούν πολλοί αλληλοεξαρτώμενοι παράγοντες. Επομένως, πριν να επιτρέψει μια συνολικά εύκαμπτη κατανομή φάσματος, η παρούσα έννοια προτείνει ένα υβριδικό σχέδιο που μειώνει την πολυπλοκότητα από την άποψη της συνύπαρξης φάσματος. Αυτός ο μηχανισμός παρέχει μια μέθοδο διαχείρισης του φάσματος, μια μέθοδο χρήσης του φάσματος, μια ασύρματη μονάδα επικοινωνίας και ένα ασύρματο

σύστημα επικοινωνιών. Η βασική ιδέα είναι η παραγωγή και η δυναμική ανάθεση «blocks» από φάσμα σε διαφορετικούς χειριστές.

Εν περιλήψει, η έννοια που περιγράφεται εξετάζει από κοινού και τις οικονομικές και τεχνικές πτυχές της διαχείρισης φάσματος. Ο προτεινόμενος μηχανισμός για τη διαχείριση φάσματος εισάγει μια νέα έννοια για τη διευκόλυνση κάποιας ευελιξίας στην κατανομή φάσματος. Ο μηχανισμός ακολουθεί το ρητό: "Χρησιμοποιείται το φάσμα μόνο όταν και όπου απαιτείται".

Γενική διαδικασία

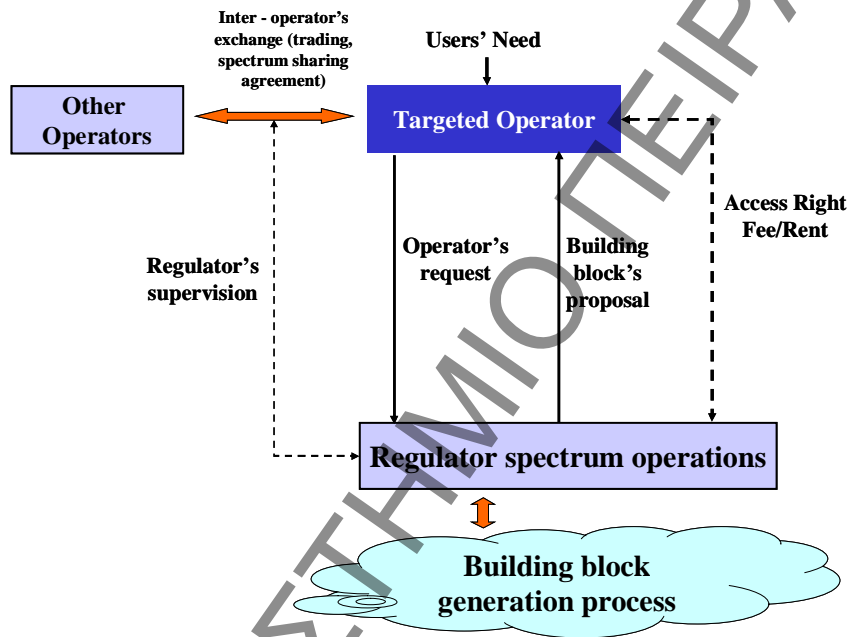
Το διάγραμμα που απεικονίζεται στο σχήμα 5.4 επεξηγεί τη γενική διαδικασία της παρούσας έννοιας, συμπεριλαμβανομένων των παραγόντων που έχουν επιπτώσεις στη χρησιμοποίηση των φασματικών δομικών μονάδων. Ένας ρυθμιστής (regulator spectrum operations) εκτελεί διάφορες διαδικασίες σχετικές με το φάσμα..

Οι διαδικασίες παραγωγής δομικών μονάδων χρησιμοποιούν κατά προτίμηση την εισαγωγή από τους τελικούς χρήστες (users' needs) όπως και από τους στοχοθετημένους χειριστές (targeted operator). Επιπλέον, οι διαδικασίες παραγωγής δομικών μονάδων ανταποκρίνονται σε ένα ή περισσότερα αιτήματα χειριστών (operator's request). Είναι προβλεπόμενο ότι ο ρυθμιστής (regulator spectrum operations) μπορεί συνεχώς να εποπτεύει (regulator's supervision) την χρήση του φάσματος για μεγάλο αριθμό λόγων.

Κατά συνέπεια, μια μέθοδος που προσδιορίζει τις φασματικές απαιτήσεις ενός χρήστη και την διάθεση δύο ή περισσότερων φασματικών δομικών μονάδων, επιτρέπει στο φάσμα να χρησιμοποιηθεί. Ευνοϊκά, οι δύο ή περισσότερες φασματικές δομικές μονάδες μπορούν να ενημερωθούν δυναμικά.

Κατά προτίμηση, όταν ένας χειριστής καταλαμβάνει μια μερίδα του φάσματος με τη δομική μονάδα του, ο χειριστής πρέπει να πληρώσει μια δαπάνη ενοικίου (Access right fee/rent) στο ρυθμιστή (regulator spectrum operations). Αυτή η δαπάνη ενοικίου εξαρτάται κατά προτίμηση από το χρόνο κατοχής της δομικής μονάδας, τις λειτουργούσες συχνότητες και τον τύπο των δομικών μονάδων. Προβλέπεται ότι ένας τέτοιος μηχανισμός ανοίγει την αγορά φάσματος στους μικρότερους χειριστές (other operators), δεδομένου ότι είναι σε θέση να αποκτήσουν τα μικρά ποσά φάσματος. Ο χρόνος κατοχής είναι μια σημαντική παράμετρος για τον υπολογισμό της δαπάνης ενοικίου. Προβλέπεται ότι ο χρόνος κατοχής μπορεί να ποικίλει ουσιαστικά, από ένα

λεπτό ως πολλές ώρες, εξαρτώμενος από τον τύπο κυκλοφορίας που υποστηρίζεται σε μια ιδιαίτερη εποχή της ημέρας, μέχρι μια εβδομαδιαία, μηνιαία ή ακόμα και ετήσια βάση. Ο χρόνος κατοχής μπορεί να μην είναι ο ίδιος για όλο το φάσμα αλλά μπορεί να εξαρτηθεί από τον τύπο των φασματικών δομικών μονάδων, τον ανταγωνισμό, την ωριμότητα RAT, τα χαρακτηριστικά του RAT κτλ.



Σχήμα 5.4

Παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στη χρησιμοποίηση των φασματικών δομικών μονάδων

Ο εύκαμπος μηχανισμός εμπορικών συναλλαγών φάσματος ωφελείται σε μια δυνατότητα του ρυθμιστή (regulator spectrum operations) η οποία δυναμικά ξανασχεδιάζει τις δομικές μονάδες. Τέτοιες φασματικές δομικές μονάδες προσφέρονται στη συνέχεια στους χειριστές (targeted operator) μέσα στην αγορά φάσματος. Εναλλακτικά, ή επιπλέον, ένας ή περισσότεροι χειριστές (targeted operator) μπορούν δυναμικά να ξανασχεδιάσουν τις προηγούμενες αγορασμένες δομικές μονάδες τους, εφ' όσον ενημερώνουν το ρυθμιστή για τις ενέργειές τους.

Συμπεράσματα

Ο παρών μηχανισμός δεν περιορίζεται στην ανακατανομή των συχνοτήτων, αλλά μπορεί να περιλάβει οποιοδήποτε πόρο επικοινωνίας, όπως οι χρονικές αυλακώσεις, χρονικά πλαίσια, κώδικες κτλ. Επιπλέον, θα μπορούσε να προβλεφθεί ότι αυτός ο μηχανισμός μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα πλαίσιο διαμόρφωσης στο οποίο οι μονάδες συνδρομητών καθώς επίσης και οι συσκευές υποδομής, μπορούν να μετατραπούν σε επίπεδο ράδιο επαφής και φέρουσας συχνότητας.

Οι φασματικές δομικές μονάδες είναι βασισμένες σε δύο ή περισσότερες ραδιο τεχνολογίες πρόσβασης. Η δυναμική διαχείριση των φασματικών δομικών μονάδων περιλαμβάνει, αλλά δεν περιορίζει, την κατανομή των φασματικών δομικών μονάδων, χρήση των φασματικών δομικών μονάδων, εμπορικές συναλλαγές στις φασματικές δομικές μονάδες, επαναμορφοποίηση ενός περιεχομένου των φασματικών δομικών μονάδων, αντικατάσταση των φασματικών δομικών μονάδων, συμπλήρωση των φασματικών δομικών μονάδων, την κίνηση των φασματικών δομικών μονάδων, τον σχεδιασμό των φασματικών δομικών μονάδων, κτλ.

Οι μέθοδοι της διαχείρισης του φάσματος παρέχουν τουλάχιστον τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

(i) Η παροχή προκαθορισμένων φασματικών οντοτήτων δομικών μονάδων μειώνει την πολυπλοκότητα που συνδέεται με τη συνύπαρξη φάσματος.

(ii) Η διαχείριση φάσματος εκτελείται με την εκτίμηση και των οικονομικών και τεχνικών πτυχών της κατανομής φάσματος.

(iii) Η προτεινόμενη λύση για τη διαχείριση φάσματος περιλαμβάνει τις οικονομικές πτυχές εμπορικών συναλλαγών για το δίκαιο ισχυρισμό των πόρων φάσματος. Αυτή η λύση είναι πιο συμφέρουσα από τα εναλλακτικά σχέδια του παραδοσιακού φάσματος.

(iv) Παρέχεται μια εύκαμπτη διαχείριση κυκλοφορίας, QoS και κάλυψης.

(v) Η λύση παρέχει την αποδοτικότητα φάσματος στους χειριστές, τους ρυθμιστές και τους χρήστες

(vi) Το κόστος της χρήσης της κοινής συχνότητας (φάσμα) μπορεί να μοιραστεί μεταξύ των χειριστών.

5.6.2 Opportunistic and Dynamic Spectrum Management - ODSM

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στη μέθοδο της καιροσκοπικής και δυναμικής διαχείριση φάσματος (Opportunistic and Dynamic Spectrum Management - ODSM) σε αναδιαμορφωμένα ραδιοσυστήματα. Ακριβέστερα, η μέθοδος παρουσιάζει το κίνητρο για καιροσκοπικά και δυναμικά μηχανικά πολύ ραδιοσυστήματα, μεταξύ των αρχικών και δευτεροβάθμιων χειριστών, ενεργοποιώντας το κοινό φάσμα και μοιράζοντας τους αναδιαμορφωμένους ραδιοεξοπλισμούς. Η εστίαση είναι στα ευρέα ράδιο κυψελοειδή συστήματα κάλυψης. Το πρόβλημα εξετάζεται από κοινού από τη συνδυασμένη τεχνικοοικονομική σκοπιά.

Εφαρμογή μεθόδου ODSM

Με την ODSM, διαφορετικοί τύποι πόρων (φάσμα, αναδιαμορφωμένοι πομποδέκτες) πρέπει να ρυθμιστούν από κοινού μεταξύ των μερικές φορές συνεργάσιμων και μερικές φορές ανταγωνιστικών συστημάτων. Υπό αυτήν τη μορφή, εκτός από τις καθαρές τεχνικές προκλήσεις, η μέθοδος ODSM αντιμετωπίζει επίσης μερικά οικονομικά ζητήματα σχετικά με την πρόσβαση των πόρων (προσφορά, τιμές) και τον ισχυρισμό της χρήσης και επαναφοράς μεταξύ των αρχικών και δευτεροβάθμιων συστημάτων.

Και η συγκεντρωμένη και η κατανεμημένη προσέγγιση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να εφαρμόσει τη γενική έννοια ODSM. Εντούτοις, προτείνεται να ερευνηθεί η εφαρμογή ODSM βάσει των ακόλουθων υποθέσεων: (1) η συνύπαρξη φάσματος (intra και inter-RAT interference) εκτελείται σε κατανεμημένη βάση, σε πραγματικό χρόνο και (2) το φάσμα και η διανομή των πόρων είναι κίνητρο προσανατολισμένο στην αγορά μεταξύ των χειριστών. Αυτή η προσέγγιση οδηγείται από τους χειριστές δεδομένου ότι ο χειριστής είναι υπεύθυνος για το συντονισμό των χρηστών πρώτα μέσα σε κάθε κύτταρο και δεύτερον μεταξύ των κυττάρων. Έτσι, με αυτήν την προσέγγιση και το φάσμα και οι αναδιαμορφωμένοι πομποδέκτες, είναι ανοικτοί για την πρόσβαση και τη χρήση, όσο έχουν άδεια. Η επιλογή της cell by cell προσέγγισης (όπως η DCA) αντί της συγκεντρωμένης γίνεται λόγω: (1) της ικανότητας των κατανεμημένων σχεδίων να προσαρμοστούν δυναμικά οι χρονικές και χωρικές παραλλαγές κυκλοφορίας πραγματικού χρόνου (τα κανάλια μπορούν να οριστούν μετά από την απαίτηση). Για τέτοια κρίσιμα ποσοστά, τα κατανεμημένα

σχέδια προσφέρουν τις καλές ικανότητες να οριστεί και να απελευθερωθεί η ικανότητα μετά από τη βραχυπρόθεσμη απαίτηση (2) σε ένα πλαίσιο πολλών δυναμικών χειριστών, μια τέτοια προσέγγιση επιτρέπει η χρήση των καναλιών να είναι ανάλογη σε κάθε μερίδιο αγοράς των χειριστών.

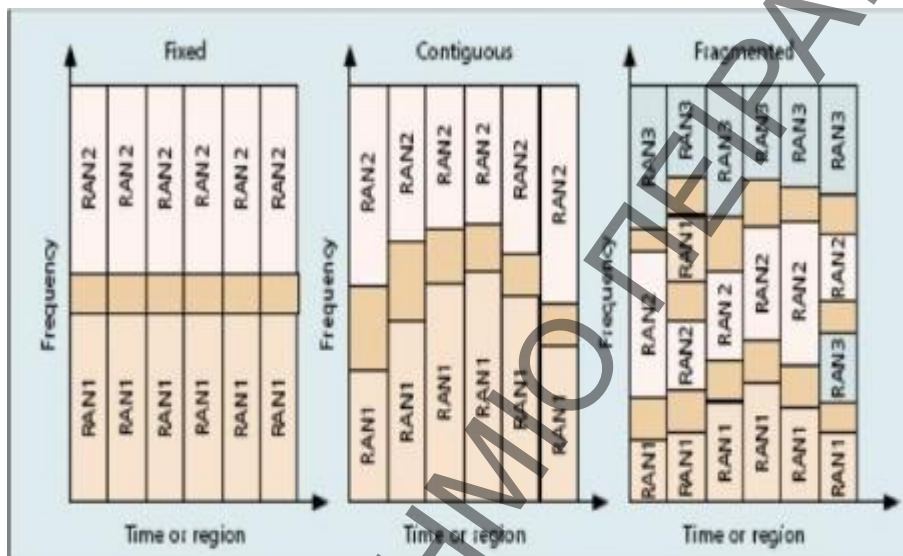
Συμπεράσματα

Αυτό το τμήμα έχει εισαγάγει την έννοια της καιροσκοπικής και δυναμικής διαχείρισης φάσματος (Opportunistic and Dynamic Spectrum Management - ODSM) για κυψελοειδή συστήματα που έχουν άδεια για μεγάλη κάλυψη. Αυτό το παράδειγμα στηρίζεται στις ακόλουθες δύο παρατηρήσεις: (α) το φάσμα δεν είναι λίγο, αλλά είναι λίγες οι ευκαιρίες πρόσβασης, (β) το φάσμα χρησιμοποιείται σποραδικά στο διάστημα και το χρόνο. Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις, η μέθοδος ODSM επιτρέπει μια καλύτερη επαναχρησιμοποίηση συχνότητας στα ίδια κανάλια RAT (Radio Access Technology) σε επίπεδο κλήσης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συγκέντρωσης και του φάσματος και των αναδιαμορφωμένων πομποδεκτών (base stations). Η μέθοδος ODSM επιτρέπει τους προαναφερθέντες πόρους να μοιραστούν σε δευτεροβάθμια βάση αγοράς. Αυτό το προτεινόμενο παράδειγμα ODSM και σχετικές τρέχουσες μελέτες αντιστοιχούν με την εφαρμογή του γνωστικού ραδιοφώνου υπέρ της μόνης ανάθεσης συχνότητας σε ένα πολύ ράδιο- περιβάλλον.

5.6.3 Cell by Cell DSA

Η στατική κατανομή φάσματος ορίζει μόνιμα ένα τμήμα του φάσματος ραδιοσυχνότητας στα δίκτυα ράδιο-πρόσβασης (RAN). Η στατική κατανομή φάσματος μπορεί να είναι ανεπαρκής, ειδικότερα παρουσία των ιδιαίτερα μεταβλητών απαιτήσεων εύρους ζώνης. Η απαίτηση εύρους ζώνης μπορεί να ποικίλει από περιοχή σε περιοχή και κατά μήκος της χρονικής διάστασης (από ώρα σε ώρα). Προς το παρόν, οι απαιτήσεις κυκλοφορίας των δικτύων RAN ακολουθούν το σχέδιο της "πολύασχολης ώρας". Επιπλέον, για ένα τέτοιο δίκτυο, η απαίτηση ποικίλλει περιφερειακά. Αλλά με μια σταθερή κατανομή φάσματος, η περιοχή με τη μέγιστη ζήτηση φάσματος καθορίζει την απαίτηση φάσματος ολόκληρου του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι σε οποιοδήποτε χρόνο, πολλές περιοχές που εξυπηρετούνται από ένα

δίκτυο RAN, μπορεί να χρειαστούν ένα μεγαλύτερο μερίδιο του ραδιοφάσματος από αυτό που συνήθως χρειάζονται. Μια παρόμοια κατάσταση μπορεί να επηρεάσει άλλα δίκτυα RAN και με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να σπαταληθεί ένα ουσιαστικό μέρος του φάσματος, σε μία δεδομένη στιγμή.



Σχήμα 5
Traditional, contiguous and fragmented DSA

Η δυναμική κατανομή φάσματος (DSA) επιδιώκει να εκμεταλλευτεί τις παραλλαγές στα φορτία των διάφορων δικτύων ραδιοπρόσβασης (RAN) για να διαθέσει το φάσμα αποτελεσματικά. Στη συνέχεια αναλύεται η μέθοδος cell-by-cell DSA (cc-DSA). Για ερμηνευτικούς λόγους, θεωρούμε ότι υπάρχουν δύο δίκτυα RAN.

Το παρακείμενο σχέδιο DSA είναι μια βασική τροποποίηση της παραδοσιακής σταθερής κατανομής φάσματος. Η σταθερή κατανομή ορίζει ένα φάσμα των συχνοτήτων σε κάθε δίκτυο. Η κατανομή είναι της μορφής $[f_1, f_2]$ για το δίκτυο RAN-1 και της μορφής $[f_2, f_3]$ για το RAN-2. Η βασική διαφορά μεταξύ αυτών των δύο σχεδίων είναι ότι ενώ η f_2 είναι σταθερή στο χώρο και στο χρόνο, η f_1 μπορεί να ποικίλει. Επιπλέον, η f_3 θα μπορούσε να ποικίλει από περιοχή σε περιοχή έτσι ώστε

σε μια δεδομένη περιοχή στο RAN-1 έχει ανατεθεί το περισσότερο φάσμα, ενώ σε μια διαφορετική περιοχή η κατάσταση μπορεί να αντιστραφεί.

Το σχέδιο cell-by-cell DSA (cc-DSA) εξετάζει κάθε κύτταρο ανεξάρτητα και διαθέτει σε αυτό ένα κατάλληλο μερίδιο του φάσματος, λαμβάνοντας υπόψιν και τις παρεμβολές. Δηλαδή, μπορεί να διαθέσει οποιοδήποτε μέρος του φάσματος σε οποιοδήποτε σταθμό βάσης σε οποιοδήποτε δίκτυο. Κατά συνέπεια, δύο σταθμοί βάσης από το ίδιο RAN μπορούν να λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες, ενώ δύο σταθμοί βάσης από διαφορετικά δίκτυα μπορούν να λειτουργούν στην ίδια συχνότητα, εάν είναι φυσικά χωρισμένα. Η cc-DSA μπορεί να προσαρμοστεί ταυτόχρονα στις χωρικές και χρονικές παραλλαγές των φορτίων διάφορων δικτύων και μπορεί ενδεχομένως να οδηγήσει σε μεγαλύτερη αποδοτικότητα φάσματος, επειδή οι κατανομές φάσματος που επιτυγχάνονται μέσω της cc-DSA μπορούν να εντοπίσουν τις παραλλαγές στις απαιτήσεις ενός ανεξάρτητου κελιού. Εντούτοις, το πρόβλημα της παρεμβολής θεωρείται πιο πολύπλοκο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εντάσσεται στην περιοχή των κινητών επικοινωνιών και ειδικότερα στον τομέα της ανάθεσης, κατανομής του φάσματος. Στόχος της είναι η ανάπτυξη μεθόδων δυναμικής ανάθεσης του φάσματος, μέθοδοι οι οποίοι έχουν απήχηση στα δίκτυα τέταρτης γενιάς και γενικότερα στα δίκτυα του μέλλοντος.

Στην τελευταία δεκαετία, η γρήγορη ανάπτυξη των νέων ασύρματων υπηρεσιών, όπως τα ψηφιακά κυψελοειδή τηλεφωνικά δίκτυα, είχε σαν αποτέλεσμα να μην είναι επαρκής ένας από τους πιο σημαντικούς πόρους, οι συχνότητες στο ραδιοφάσμα. Όπως με όλους τους μόλις και μετά βίας διαθέσιμους πόρους, το κόστος της χρήσης της συχνότητας παρέχει την ανάγκη για την οικονομική χρήση από τις διαθέσιμες συχνότητες. Η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων μέσα σε ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας μπορεί να προσφέρει σημαντική οικονομία. Ωστόσο, η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια ποιότητας των συνδέσεων επικοινωνίας. Η χρήση της ίδιας συχνότητας για τις πολλαπλάσιες ασύρματες συνδέσεις μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές μεταξύ των σημάτων τα οποία δεν είναι αποδεκτά. Το πρόβλημα ανάθεσης συχνότητας ισορροπεί ανάμεσα στην οικονομία της επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων και την απώλεια ποιότητας στο δίκτυο. Ο προσδιορισμός της ποσότητας των διαφορετικών πτυχών είναι αποτελέσματα ενός μαθηματικού προβλήματος βελτιστοποίησης που μπορεί να λυθεί με τις ερευνητικές τεχνικές διαδικασιών. Ανάλογα με την άποψη των ερευνητών, τον στόχο του προμηθευτή δικτύων και την εφαρμογή, προτείνονται συγκεκριμένοι όροι και πολλά διαφορετικά πρότυπα και αλγόριθμοι.

Μερικές από τους σημαντικότερες μεθόδους δυναμικής ανάθεσης συχνοτήτων αναφέρθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Τα σχήματα κεντρικής DCA για να μπορέσουν να πραγματοποιήσουν τις αντιστοιχίσεις διαύλων χρειάζονται πληροφόρηση από όλο το σύστημα και έλεγχο σε όλο το σύστημα. απαιτούν κεντρικό έλεγχο με πληροφορίες που φθάνουν από όλους τους διαύλους του συστήματος. Το ακραίο παράδειγμα είναι η *μέγιστη ομαδοποίηση* (Maximum Packing, MP), όπου μια νέα κλήση ή μια διαπομπή αποκλείεται μόνο, όταν δεν μπορεί να γίνει πουθενά σ' όλο το σύστημα αναδιάταξη των κλήσεων σε διαύλους ώστε να εξυπηρετηθεί. Τα σχήματα αυτά παρέχουν

θεωρητικά την καλύτερη επίδοση. Ωστόσο, η τεράστια ποσότητα υπολογισμών και επικοινωνίας μεταξύ των σταθμών βάσης οδηγούν σε υπερβολικές καθυστερήσεις και τα καθιστούν μη πρακτικά. Παρόλα αυτά, παρέχουν ένα χρήσιμο μέτρο σύγκρισης για τα συστήματα αποκεντρωμένης DCA, που εφαρμόζονται περισσότερο στην πράξη.

Η μέθοδος της αποκεντρωμένης DCA προτείνει τέσσερις βασικούς αλγόριθμους: *πρώτος διαθέσιμος* (*First Available, FA*), *πλησιέστερος γειτονικός* (*Nearest Neighbor, NN*), *πλησιέστερος γειτονικός + 1* (*Nearest Neighbor + 1, NN+ 1*) και *μέσου τετραγώνου* (*Mean Square, MSQ*). Και οι τέσσερις αλγόριθμοι επιτρέπουν σε κάποιο σταθμό βάσης να χρησιμοποιήσει κάποιο δίαυλο που είναι διαθέσιμος και δεν χρησιμοποιείται στη γειτονιά παρεμβολής του. Η διαφορά των αλγορίθμων είναι στον τρόπο που επιλέγεται ο δίαυλος, όταν υπάρχουν περισσότεροι από ένας διαθέσιμοι.

Η σταθερή κατανομή φάσματος παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι είναι γνωστή η συχνότητα λειτουργίας. Ωστόσο απαιτείται ένας δυναμικότερος τρόπος αναδιανομής φάσματος. Μια τέτοια νέα, προηγμένη διαχείριση φάσματος είναι η ASM (*Advanced Spectrum Management*). Ουσιαστικά, είναι μια διαδικασία που επιτρέπει να διαχειριστεί δυναμικά το φάσμα μέσα στα ενιαία ή ανάμεσα σε διαφορετικά ραδιοσυστήματα πρόσβασης. Οι ζώνες φάσματος που διατίθενται σε κάθε ένα από τα συστήματα δεν καθορίζονται.

Ωστόσο, πρέπει να γίνουν νέες προσεγγίσεις στην έννοια του δυναμικού προγραμματισμού και της διαχείρισης δικτύων. Οι μέθοδοι που περιγράψαμε αποτελούν την αιχμή της τεχνολογίας αυτήν την στιγμή στα συστήματα κινητών επικοινωνιών. Υπάρχουν πολλά πεδία ανοιχτά για μελέτη και εξαγωγή συμπερασμάτων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

Κατανομή ραδιοσυχνοτήτων στην Ελλάδα

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 9 – 27500KHz

Όρια ζώνης KHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
Κάτω των 9	(μη κατανομημένη) 5.53, 5.54			
9-14	ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ E1, E2		SRD δια επαγωγής ISM Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330 EN 55011 EN 300 330
14-19,95	ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.57, 5.56, E1, E2		SRD δια επαγωγής Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330 EN 300 330
19,95-20,05	ΠΡΟΤΥΠΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ 20KHz			
20,05-70	ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.57 5.56, E1, E2	Ε.Δ.	SRD δια επαγωγής Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330 EN 300 330
70-72	ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.60 E1, E2		SRD δια επαγωγής Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330 EN 300 330
72-84	ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.57 ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.60 5.56,E1,E2	Ε.Δ.	SRD δια επαγωγής Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330 EN 300 330
84-86	ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.60 E1,E2		SRD δια επαγωγής Στρατιωτικές εφαρμογές Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330 EN 300 330
86-90	ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.57 ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.56 E1,E2		SRD δια επαγωγής Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330 EN 300 330
90-110	ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.62 ΣΤΑΘΕΡΗ 5.64 E1,E2		LORAN – C SRD δια επαγωγής Στρατιωτικές εφαρμογές Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330 EN 300 330

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 110-255 kHz

Όρια ζώνης KHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
110-112	ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.64, E1, E2	Ε.Δ.	SRD δι'επαγωγής Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330 EN 300 330
112-115	ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.60 E1, E2		SRD δι'επαγωγής Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330 EN 300 330
115-117,6	ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.60 ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.64, E1 ,E2		SRD δι'επαγωγής Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330 EN 300 330
117,6-126	ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.60 5.64, E1 ,E2	Ε.Δ.	SRD δι'επαγωγής Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330 EN 300 330
126-129	ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.60		SRD δι'επαγωγής	EN 300 330

	E1 ,E2		Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330
129-130	ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.60 5.64, E1 ,E2	Ε.Δ.	SRD δι' επαγωγής Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 300 330 EN 300 330
130-148,5	ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.64, E1, E2	Ε.Δ.	Εφαρμογές ραδιοερασιτέχνη SRD δι' επαγωγής Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές Ιατρικά Εμφυτεύματα	EN 301 783 EN 300 330 EN 300 330
148,5-255	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ E1, E2		Ραδιοφωνία Ιατρικά Εμφυτεύματα SRD δι' επαγωγής	EN 300 330 EN 300 330

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 255-495 kHz

Όρια ζώνης KHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
255-283,5	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ E1, E2	ΥΠΑ	Ραδιοφωνία NDB/L Ιατρικά Εμφυτεύματα SRD δι' επαγωγής	EN 300 330 EN 300 330
283,5-315	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ Ναυτιλιακή ραδιοπλοήγηση 5.73 E1,E2	ΥΠΑ	NDB/L Ναυτιλιακοί ραδιοφάροι Ιατρικά Εμφυτεύματα SRD δι' επαγωγής	EN 300 330 EN 300 330
315-325	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ Ναυτιλιακή ραδιοπλοήγηση 5.73 E1,E2	ΥΠΑ	NDB/L Ναυτιλιακοί ραδιοφάροι SRD δι' επαγωγής	EN 300 330
325-405	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ E1,E2	ΥΠΑ	NDB/L Ιατρικά Εμφυτεύματα SRD δι' επαγωγής	EN 300 330 EN 300 330
405-415	ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.76 E1, E2		NDB/L Ναυτιλιακοί ραδιοφάροι Ιατρικά Εμφυτεύματα SRD δι' επαγωγής	EN 300 330 EN 300 330
415-435	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.79 ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ E1, E2	ΥΠΑ	Ναυτιλιακές επικοινωνίες NDB/L Ιατρικά Εμφυτεύματα SRD δι' επαγωγής	EN 300 330 EN 300 330
435-495	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.79 5.79 ^A Αεροναυτική ραδιοπλοήγηση 5.82, E1, E2, E3, E4	ΥΠΑ	Ναυτιλιακές επικοινωνίες Εκπομπές NAVTEX σε εθνική γλώσσα Ενδιάμεση συχνότητα δεκτών NDB/L Ιατρικά Εμφυτεύματα SRD δι' επαγωγής Ανίχνευση θυμάτων χιονοστιβάδων	EN 300 065 EN 300 330 EN 300 330 EN 300 718

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 495-1800 kHz

Όρια ζώνης KHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
-------------------	--------------------------	---------	---------	---------

495-505	ΚΙΝΗΤΗ 5,83, E1, E2		Ναυτιλιακές επικοινωνίες Ιατρικά Εμφυτεύματα SRD δι'επαγωγής	EN 300 330 EN 300 330
505-526,5	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.79 5.79 ^Α , 5.84 ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ E1, E2		Ναυτιλιακές επικοινωνίες Διεθνείς εκπομπές NAVTEX NDB/L Ιατρικά Εμφυτεύματα SRD δι'επαγωγής	EN 300 065 EN 300 330 EN 300 330
526,5-1606,5	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ E1, E2			
1606,5-1625	ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.90 ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ 5.92		Στρατιωτικές εφαρμογές Ναυτιλιακές επικοινωνίες Εφαρμογές ραδιοεπισήμανσης	
1625-1635	ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ		Εφαρμογές ραδιοεπισήμανσης	
1635-1800	ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.90 ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ 5.92		Στρατιωτικές εφαρμογές Ναυτιλιακές επικοινωνίες	

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 1800-2194 kHz

Όρια ζώνης KHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
1800-1810	ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ		Εφαρμογές ραδιοεπισήμανσης	
1810-1850	ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ 5.98, 5.100		Εφαρμογές ραδιοερασιτέχνη	EN 301 783
1850-2000	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αεροναυτικής κινητής 5.92 5.103	Ε.Δ.	Στρατιωτικές εφαρμογές Ναυτιλιακές επικοινωνίες	
2000-2025	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αεροναυτικής κινητής 5.92 5.103		Στρατιωτικές εφαρμογές Ναυτιλιακές επικοινωνίες	
2025-2045	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αεροναυτικής κινητής Μετεωρολογικά βοηθήματα 5.104 5.92 5.103	Ε.Δ.	Στρατιωτικές εφαρμογές Ναυτιλιακές επικοινωνίες	
2045-2160	ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ 5.92		Στρατιωτικές εφαρμογές Ναυτιλιακές επικοινωνίες	
2160-2170	ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ 5.107		Εφαρμογές ραδιοεπισήμανσης	
2170-2173,5	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		Ναυτιλιακές επικοινωνίες	
2173,5-2190,5	ΚΙΝΗΤΗ (κίνδυνος και κλήση) 5.108, 5.109, 5.110, 5.111		Κίνδυνος και κλήση DSC GMDSS Τηλετυπία κινδύνου	
2190,5-2194	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		Ναυτιλιακές επικοινωνίες	

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 2194 - 3230 kHz

Όρια ζώνης KHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
2194-2300	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αερονautικής κινητής 5.92 5.103		Στρατιωτικές εφαρμογές Ναυτιλιακές επικοινωνίες	
2300-2498	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αερονautικής κινητής 5.103		Στρατιωτικές εφαρμογές Ναυτιλιακές επικοινωνίες	
2498-2501	Πρότυπη συχνότητα και σήματα χρόνου			
2501-2502	Πρότυπη συχνότητα και σήματα χρόνου			
2502-2625	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αερονautικής κινητής 5.92 5.103		Στρατιωτικές εφαρμογές Ναυτιλιακές επικοινωνίες	
2625-2650	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.92		Στρατιωτικές εφαρμογές Ναυτιλιακές επικοινωνίες	
2650-2850	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αερονautικής κινητής 5.92 5.103		Στρατιωτικές εφαρμογές Ναυτιλιακές επικοινωνίες	
2850-3025	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.111 5.115	Υ.Π.Α.	Αερονautικές επικοινωνίες	
3025-3155		Ε.Δ.	Αερονautικές επικοινωνίες	
3155-3200	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αερονautικής κινητής 5.116, E6		SRD δι'επαγωγής Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές	EN 300 330
3200-3230	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αερονautικής κινητής 5.116, E6		SRD δι'επαγωγής Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές	EN 300 330

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 3230 - 5003 kHz

Όρια ζώνης KHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
3230-3400	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αερονautικής κινητής 5.116 E6		SRD δι'επαγωγής Ναυτιλιακές επικοινωνίες Στρατιωτικές εφαρμογές	EN 300 330
3400-3500	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	ΥΠΑ	Αερονautικές επικοινωνίες	
3500-3800	ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αερονautικής κινητής 5.92		Εφαρμογές ραδιοερασιτέχνη	EN 301 783
3800-3900	ΣΤΑΘΕΡΗ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ		Αερονautικές επικοινωνίες	
3900-3950	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		Αερονautικές επικοινωνίες	
3950-4000	ΣΤΑΘΕΡΗ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
4000-4063	ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		Ναυτιλιακές επικοινωνίες	
4063-4438	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.79A 5.109 5.110 5.130 5.131 5.132		DSC Ναυτιλιακές επικοινωνίες MSI	
4438-4650	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ		Στρατιωτικές εφαρμογές	

4650-4700	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	ΥΠΑ	Αερονautικές επικοινωνίες	
4700-4750	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	Ε.Δ.	Αερονautικές επικοινωνίες	
4750-4850	ΣΤΑΘΕΡΗ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ	Ε.Δ.	Αερονautικές επικοινωνίες	
4850-4995	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
4995-5003	ΠΡΟΤΥΠΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ			

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 5003 - 7450 kHz

Όρια ζώνης KHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
5003-5005	ΠΡΟΤΥΠΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ Διαστημική Έρευνα			
5005-5060	ΣΤΑΘΕΡΗ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
5060-5250	ΣΤΑΘΕΡΗ Κινητή εκτός αερονautικής κινητής		Στρατιωτικές εφαρμογές	
5250-5450	ΣΤΑΘΕΡΗ Κινητή εκτός αερονautικής κινητής		Στρατιωτικές εφαρμογές	
5450-5480	ΣΤΑΘΕΡΗ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ		Στρατιωτικές εφαρμογές Αερονautικές επικοινωνίες	
5480-5680	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.111 5.115	ΥΠΑ	Αερονautικές επικοινωνίες	
5680-5730	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.111 5.115	Ε.Δ.	Αερονautικές επικοινωνίες	
5730-5900	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
5900-5950	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ 5.134 5.136		Ραδιοφωνία	
5950-6200	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ		Ραδιοφωνία	
6200-6525	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.109 5.110 5.130 5.132		DSC MSI Ναυτιλιακές Επικοινωνίες	
6525-6685	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	ΥΠΑ	Αερονautικές επικοινωνίες	
6685-6765	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	Ε.Δ.	Αερονautικές επικοινωνίες	
6765-7000	ΣΤΑΘΕΡΗ Κινητή ξηράς		SRD δι' επαγωγής Μη καθορισμένες εφαρμογές SRD ISM Στρατιωτικές εφαρμογές	
7000-7100	ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ		Εφαρμογές Ερασιτέχνη και ερασιτέχνη μέσω δορυφόρου	EN 301 783
7100-7200	ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ		Εφαρμογές Ερασιτέχνη	EN 301 783
7200-7300	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ		Ραδιοφωνία	
7300-7400	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ		Ραδιοφωνία	
7400-7450	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ		Ραδιοφωνία	

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 7450 - 13360 kHz

Όρια ζώνης KHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
7450-8100	ΣΤΑΘΕΡΗ Κινητή εκτός αεροναυτικής κινητής		SRD δι' επαγωγής Στρατιωτικές εφαρμογές	
8100-8195	ΣΤΑΘΕΡΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		SRD δι' επαγωγής Ναυτιλιακές εφαρμογές	
8195-8815	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		SRD δι' επαγωγής Ναυτιλιακές εφαρμογές	
8815-8965	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	ΥΠΑ	Αεροναυτικές επικοινωνίες	
8965-9040	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	Ε.Δ.	Στρατιωτικές εφαρμογές	
9040-9400	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.111 5.115	ΥΠΑ	Αεροναυτικές επικοινωνίες	
9400-9500	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ 5.134 5.146	Ε.Δ.	Ραδιοφωνία	
9500-9900	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ		Ραδιοφωνία	
9900-9995	ΣΤΑΘΕΡΗ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
9995-10003	ΠΡΟΤΥΠΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ			
10003-10005	ΠΡΟΤΥΠΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ Διαστημική έρευνα			
10005-10100	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	ΥΠΑ	Αεροναυτικές επικοινωνίες	
10100-10150	ΣΤΑΘΕΡΗ Ερασιτεχνική		Στρατιωτικές εφαρμογές Εφαρμογές Ερασιτέχνη	
10150-11175	ΣΤΑΘΕΡΗ Κινητή εκτός αεροναυτικής κινητής		SRD δι' επαγωγής Στρατιωτικές εφαρμογές	
11175-11275	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	Ε.Δ.	Στρατιωτικές εφαρμογές	
11275-11400	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	ΥΠΑ	Αεροναυτικές επικοινωνίες	
11400-11600	ΣΤΑΘΕΡΗ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
11600-11650	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ 5.134 5.146		Ραδιοφωνία	
11650-12050	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ		Ραδιοφωνία	
12050-12100	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ 5.134 5.146		Ραδιοφωνία	
12100-12230	ΣΤΑΘΕΡΗ		Στρατιωτικές Εφαρμογές	
12230-13200	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.109 5.110 5.132		Ναυτιλιακές Εφαρμογές	
13200-13260	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	Ε.Δ.	Στρατιωτικές Εφαρμογές	
13260-13360	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	ΥΠΑ	Αεροναυτικές επικοινωνίες	

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 13360 - 18030 kHz

Όρια ζώνης KHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
13360-13410	ΣΤΑΘΕΡΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ 5.149		Στρατιωτικές εφαρμογές	
13410-13570	ΣΤΑΘΕΡΗ Κινητή εκτός αεροναυτικής		SRD δι' επαγωγής ISM Στρατιωτικές εφαρμογές	

13570-13600	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ 5.134		Ραδιοφωνία	
13600-13800	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ		Ραδιοφωνία	
13800-13870	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ 5.134		Ραδιοφωνία	
13870-1400	ΣΤΑΘΕΡΗ Κινητή εκτός αεροναυτικής		Στρατιωτικές εφαρμογές	
14000-14250	ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ		Ερασιτεχνικές εφαρμογές Εφαρμογές ερασιτέχνη μέσω δορυφόρου	
14250-14350	ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ		Ερασιτεχνικές εφαρμογές	
14350-14990	ΣΤΑΘΕΡΗ Κινητή εκτός αεροναυτικής		Στρατιωτικές εφαρμογές	
14990-15005	ΠΡΟΤΥΠΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ			
15005-15010	ΠΡΟΤΥΠΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ Διαστημική έρευνα			
15010-15100	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	Ε.Δ.	Στρατιωτικές εφαρμογές	
15100-15600	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ		Ραδιοφωνία	
15600-15800	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ 5.134 5.146		Ραδιοφωνία	
15800-16360	ΣΤΑΘΕΡΗ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
16360-17410	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.109 5.110 5.132 5.145	ΥΠΑ	Ναυτιλιακές Εφαρμογές Κλήση DSC	
17410-17480	ΣΤΑΘΕΡΗ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
17480-17550	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ 5.134 5.146		Ραδιοφωνία	
17550-17900	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ		Ραδιοφωνία	
17900-17970	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	ΥΠΑ	Αεροναυτικές επικοινωνίες	
17970-18030	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	Ε.Δ.	Στρατιωτικές εφαρμογές	

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 18030 - 23350 kHz

Όρια ζώνης KHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
18030-18052	ΣΤΑΘΕΡΗ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
18052-18068	ΣΤΑΘΕΡΗ Διαστημική Έρευνα		Στρατιωτικές εφαρμογές	
18068-18168	ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ		Εφαρμογές ραδιοερασιτέχνη Εφαρμογές ραδιοερασιτέχνη μέσω δορυφόρου	EN 301 783
18168-18780	ΣΤΑΘΕΡΗ Κινητή εκτός αεροναυτικής		Στρατιωτικές εφαρμογές	
18780-18900	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		Ναυτιλιακές εφαρμογές	
18900-19020	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ 5.134 5.146			
19020-19680	ΣΤΑΘΕΡΗ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
19680-19800	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.132		Ναυτιλιακές εφαρμογές Κλήση DSC	
19800-19990	ΣΤΑΘΕΡΗ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
19990-19995	ΠΡΟΤΥΠΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ		SAR	

	Διαστημική Έρευνα 5.111			
1995-20010	ΠΡΟΤΥΠΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ (20000KHz) 5.111			
20010-21000	ΣΤΑΘΕΡΗ Κινητή		Στρατιωτικές εφαρμογές	
21000-21450	ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ		Εφαρμογές ραδιοερασιτέχνη Εφαρμογές ραδιοερασιτέχνη μέσω δορυφόρου	EN 301 783
21450-21850	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ		Ραδιοφωνία	
21850-21870	ΣΤΑΘΕΡΗ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
21870-21924	ΣΤΑΘΕΡΗ 5.155B		Στρατιωτικές εφαρμογές	
21924-22000	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	ΥΠΑ	Αερονautικές επικοινωνίες	
22000-22855	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.132		Ναυτιλιακές εφαρμογές Κλήση DSC MSI	
22855-23000	ΣΤΑΘΕΡΗ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
23000-23200	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ	ΥΠΑ	Στρατιωτικές εφαρμογές	
23200-23350	ΣΤΑΘΕΡΗ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	Ε.Δ.	Στρατιωτικές εφαρμογές	

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 23350 - 27500 kHz

Όρια ζώνης KHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
23350-24000	ΣΤΑΘΕΡΗ Κινητή εκτός αερονautικής κινητής 5.157		Στρατιωτικές εφαρμογές	
24000-24890	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ		Στρατιωτικές εφαρμογές	
24890-24990	ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ 5.120 ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ		Εφαρμογές ραδιοερασιτέχνη Εφαρμογές ραδιοερασιτέχνη μέσω δορυφόρου	
24990-25005	ΠΡΟΤΥΠΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ (25000KHz)			
25005-25010	ΠΡΟΤΥΠΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ Διαστημική Έρευνα			
25010-25070	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αερονautικής κινητής			
25070-25210	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ			
25210-25550	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αερονautικής κινητής		Στρατιωτικές εφαρμογές	
25550-25670	ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ 5.149			
25670-26100	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ			
26100-26175	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.132		Ναυτιλιακές Εφαρμογές Κλήση DSC MSI	
26175-27500	ΣΤΑΘΕΡΗ Κινητή εκτός αερονautικής κινητής 5.150, E6, E7, E8, E9, E13		CB SRD δι'επαγωγής Στρατιωτικές εφαρμογές	ETS 300 135 EN 300 433 EN 300 330 EN 55 011 EN 300 220

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 27,5MHz - 1000 GHz

Όρια ζώνης MHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
27,5-28	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ E8, E10		Στρατιωτικές εφαρμογές SRD τηλειδιοποίησης ή κλήσης προσώπων SRD τηλεχειρισμού και τηλεμέτρησης	
28-29,7	ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ		Εφαρμογές ερασιτέχνη Δορυφορικές εφαρμογές ερασιτέχνη	
29,7-30,005	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ E11	E.Δ.	Αμυντικά συστήματα Ασύρματα μικρόφωνα	EN 300 422
30,005-30,01	ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ (αναγνώριση δορυφόρων) ΣΤΑΘΕΡΗ		Αμυντικά συστήματα	
30,01-37,5	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ E2,E11,E13	E.Δ. E.Δ.	Αμυντικά συστήματα	EN 300 220 EN 300 220 EN 300 422
37,5-38,25	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ εκτός αεροναυτικής κινητής	E.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
38,25-39,986	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ	E.Δ. E.Δ.	Αμυντικά συστήματα Εφαρμογές meteor scatter	
39,986-40,02	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ Διαστημική έρευνα	E.Δ. E.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
40,02-40,98	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.150, E12, E13		Αμυντικά συστήματα ISM Τηλεχειρισμός μοντέλων Μη καθορισμένες εφαρμογές SRD	EN 55 011 EN 300 220 EN 300 220
40,98-41,015	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ Διαστημική έρευνα	E.Δ. E.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
41,015-44	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ	E.Δ. E.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
44-47	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ	E.Δ. E.Δ.	Αμυντικά συστήματα	

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 47MHz – 75,2 MHz

Όρια ζώνης MHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
47-68	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ 5.164, E14, E16	E.Δ. E.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
68-74,8	ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ	E.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
74,8-75,2	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ E11	ΥΠΑ	ILS/Marker Beacons	

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 47MHz – 75,2 MHz

Όρια ζώνης MHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
75,2-77,2	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ			
77,2-85,5	ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ	E.Δ.	Αμυντικά συστήματα	

85,5-87,5	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ			
87,5-108	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ		Ραδιοφωνία FM	
108-117,975	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ	ΥΠΑ	VOR, ILS/LLZ, ADS, GBAS	
117,975-121,45	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.198, 5.200	ΥΠΑ	AGA	
121,45-121,55	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΚΙΝΗΤΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ 5.111, 5.199, 5.200		AGA Αεροναυτικές επικοινωνίες SAR ELT EPIRB PLB	EN 300 152
121,55-136	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.198	ΥΠΑ		EN 300 676
136-137	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	ΥΠΑ		EN 300 676
137-137,025	ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		Δορυφόροι χαμηλής τροχιάς	EN 301 721
137,025- 137,175	ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		Δορυφόροι χαμηλής τροχιάς	EN 301 721

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 137,175MHz – 148 MHz

Όρια ζώνης MHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
137,175- 137,825	ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		Δορυφόροι χαμηλής τροχιάς	EN 301 721
137,825-138	ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		Δορυφόροι χαμηλής τροχιάς	EN 301 721
138-143,65	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ	Ε.Δ. Ε.Δ. Ε.Δ.		
143,65-144	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ	Ε.Δ. Ε.Δ. Ε.Δ.		
144-146	ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ		Εφαρμογές ραδιοερασιτέχνη και ραδιοερασιτέχνη μέσω δορυφόρου	EN 301 783
146-147	ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ E18			
147-148	ΣΤΑΘΕΡΗ			

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 148MHz – 223 MHz

Όρια ζώνης MHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
148-149,9	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ 5.209, 5.219, 5.221		Δορυφόροι χαμηλής τροχιάς	EN 301 721
149,9-150,05	ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.222 ΚΙΝΗΤΗ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ		Δορυφόροι χαμηλής τροχιάς	EN 301 721
150,05-151,6	ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ 5.149		PMR	
151,6-154,5	ΣΤΑΘΕΡΗ 5.149, E19			
154,5-156	ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		Ναυτιλιακές Επικοινωνίες	
156-156,5125	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		Ναυτιλιακές Επικοινωνίες	EN 300 162 EN 300 698
156,5125-156,5375	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.226, 5.227		DSC κινδύνου και ασφάλειας	EN 301 025
156,5375-156,7625	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.226		Ναυτιλιακές επικοινωνίες	EN 300 162 EN 300 698 EN 301 178 EN 301 025
156,7625-156,8375	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.226		Κίνδυνος και κλήση	EN 300 162
156,8375-157,45	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.226		Ναυτιλιακές επικοινωνίες	EN 300 162 EN 300 698 EN 301 178 EN 301 025
157,45-160,6	ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		PMR	
160,6-160,975	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.226		Ναυτιλιακές επικοινωνίες	EN 300 162 EN 300 698 EN 301 178 EN 301 025
160,975-161,475	ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		PMR	
161,475-162,05	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		Ναυτιλιακές επικοινωνίες	EN 300 162 EN 300 698 EN 301 178 EN 301 025
162,05-165,2	ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ		PMR	
165,2-174	ΚΙΝΗΤΗ		PMR	
174-223	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ E21		Ραδιομικρόφωνα	EN 300 422

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 223MHz – 335,4 MHz

Όρια ζώνης MHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
223-230	ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ		T-DAB	
230-235	ΚΙΝΗΤΗ	Ε.Δ.		
235-242,95	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ Κινητή Δορυφορική 5.111, 5.199, 5.254, 5.256	Ε.Δ. Ε.Δ. Ε.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
242,95-243,055	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΚΙΝΗΤΗ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ 5.111, 5.199, 5.254, 5.256		Αεροναυτικές επικοινωνίες SAR EPIRB ELT	EN 300 152

243,055-267	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	Ε.Δ. Ε.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
267-272	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ	Ε.Δ. Ε.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
272-273	ΚΙΝΗΤΗ Κινητή Δορυφορική 5.254	Ε.Δ. Ε.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
273-312	ΚΙΝΗΤΗ Κινητή Δορυφορική 5.254	Ε.Δ. Ε.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
312-315	ΚΙΝΗΤΗ Κινητή Δορυφορική 5.254	Ε.Δ. Ε.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
315-322	ΚΙΝΗΤΗ Κινητή Δορυφορική 5.254	Ε.Δ. Ε.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
322-328,6	ΚΙΝΗΤΗ 5.149	Ε.Δ. Ε.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
328,6-335,4	ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ	ΥΠΑ	ILS/GP	

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 335,4MHz – 410 MHz

Όρια ζώνης MHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
335,4-380	ΚΙΝΗΤΗ Κινητή Δορυφορική 5.254	Ε.Δ. Ε.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
380-385	ΚΙΝΗΤΗ		Αμυντικά συστήματα AGA έκτακτης ανάγκης DMO έκτακτης ανάγκης Κινητά ψηφιακά συστήματα έκτακτης ανάγκης	EN 300 113 EN300 390 EN 303 035
385-390	ΚΙΝΗΤΗ Κινητή Δορυφορική 5.208 ^A , 5.254, 5.255	Ε.Δ. Ε.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
390-395	ΚΙΝΗΤΗ		Αμυντικά συστήματα AGA έκτακτης ανάγκης DMO έκτακτης ανάγκης Κινητά ψηφιακά συστήματα έκτακτης ανάγκης	EN 300 113 EN300 390 EN 303 035
395-399,9	ΚΙΝΗΤΗ Κινητή Δορυφορική 5.254	Ε.Δ. Ε.Δ.	Αμυντικά συστήματα	
399,9-400,05	ΚΙΝΗΤΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ 5209, 5.224 ^A ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ 5.222, 5.224B, 5.260, 5.220			
400,05-400,15	ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ			
400,15-401	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ ΜΕΤΕΡΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ		Μετεωρολογικές εφαρμογές Δορυφόροι χαμηλής τροχιάς	EN 3012 721
401-402	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ		Μετεωρολογικές εφαρμογές	
402-403	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ		Μετεωρολογικές	

	ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΜΕΣΩ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ		εφαρμογές Ιατρικά εμφυτευματα	
403-406	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΜΕΣΩ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ ΜΕΤΕΡΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ		Μετεωρολογικές εφαρμογές Ιατρικά εμφυτευματα	EN 301 839-1 EN 301 839-2
406-406,1	ΚΙΝΗΤΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ 5.266, 5.267		EPIRB ELT PLB	EN 300 066
406,1-407	ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ 5.149		PMR	
497-409	ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.149		PMR	
409-410	ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΚΙΝΗΤΗ ΞΗΡΑΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.149		PMR	

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 158,5GHz – 202 GHz

Όρια ζώνης GHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
158,5-164	ΣΤΑΘΕΡΗ ΣΤΑΘΕΡΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΚΙΝΗΤΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ			
164-167	ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ 5.340			
167-174,5	ΣΤΑΘΕΡΗ ΣΤΑΘΕΡΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΔΙΑΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ			
174,5-174,8	ΣΤΑΘΕΡΗ ΔΙΑΔΥΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ 5.558			
174,8-182	ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΔΙΑΔΥΦΟΡΙΚΗ 5.562 ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ			
182-185	ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ			
185-190	ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ			
190-191,8	ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ (παθητική)			
191,8-200	ΣΤΑΘΕΡΗ ΔΙΑΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ			
200-202	ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ			

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 202GHz – 248 GHz

Όρια ζώνης GHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
202-209	ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ 5.340, 5.563 ^A			
209-217	ΣΤΑΘΕΡΗ ΣΤΑΘΕΡΗ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ			
217-226	ΣΤΑΘΕΡΗ ΣΤΑΘΕΡΗ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ			
226-231,5	ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ			
231,5-232	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ Ραδιοεντοπισμός			
232-235	ΣΤΑΘΕΡΗ ΣΤΑΘΕΡΗ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ Ραδιοεντοπισμός			
235-238	ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΣΤΑΘΕΡΗ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ			
238-240	ΣΤΑΘΕΡΗ ΣΤΑΘΕΡΗ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ			
240-241	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ			
241-248	ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ Ερασιτεχνική Ερασιτεχνική δορυφορική 5.138, 5.149, E53		Μη καθορισμένες εφαρμογές SRD	

Πίνακας κατανομής των ζωνών συχνοτήτων 248MHz – 1000 GHz

Όρια ζώνης GHz	Κατανομή σε υπηρεσίες	Χρήστης	Χρήσεις	Πρότυπο
248-250	ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΗ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ Ραδιοαστρονομία 5.149			
250-252	ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ 5.340, 5.563 ^A			
252-265	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗ ΚΙΝΗΤΗ ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ			

	ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ			
265-275	ΣΤΑΘΕΡΗ ΣΤΑΘΕΡΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΤΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ 5.149, 5.563Α			
275-1000	Δεν υπάρχουν κατανομές 5.565			

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

Ακρωνύμια	Επεξήγηση
2G	2nd Generation
3G	3rd Generation
AP	Access Point
ASM	Advanced Spectrum Management
B3G	Beyond 3 rd Generation
BS	Base Station
CBWL	Channel Borrowing Without Locking
CCI	Co-Channel Interference
CDMA	Code Division Multiple Access
FSA	Fixed Spectrum Allocation
DSA	Dynamic Spectrum Allocation
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FAP	Frequency Assignment Problem
FCA	Fixed Channel Allocation
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplex
GSM	Global System for Mobile communications
GHz	Giga Hertz
GPS	Generalised Processor Sharing
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
MAC	Medium Access Control
MHz	Mega Hertz
MP	Maximum Packing
NTIA	National Telecommunications and Information Administration
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
ODSM	Opportunistic and dynamic spectrum management
QoS	Quality of Service
PHS	Personal Handyphone System
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
SDR	Software Defined Radio
SIP	Session Initiation Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
HCA	Hybrid Channel Assignment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
UHF	Ultra High Frequencies
UWB	Ultra-wideband Radio Systems
VHF	Very High Frequency
WLAN	Wireless Local Area Network

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- [1] “Ασύρματα Συστήματα 3ης (3G) και 4ης (4G) γενιάς: Προκλήσεις του Μέλλοντος”, Δρ. Μάνος Μ. Τεντζέρης, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Η.Π.Α.
- [2] “Network Planning in 3g Networks”, Κωνσταντίνος Βυρσοκίνος & Γεώργιος Αυδικός, ΕΜΠ, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών
- [3] “Models and Solution Techniques for Frequency Assignment Problems”, Karen I. Aardal, Stan P.M. van Hoesely, Arie M.C.A. Kosterz, December 2001
- [4] “Radio Resource Allocation in Fixed Broadband Wireless Networks”, Thomas K. Fong, Paul S. Henry, Kin K. Leung, Xiaoxin Qiu, IEEE Commun. Mag., June 1998.
- [5] “Dynamic Allocation of Downlink and Uplink Resource for Broadband Services infixed Wireless Networks”, Kin K. Leung, Arty Srivastava, May 1998
- [6] “Cellular Radio & Personal Communications”, Theodore S. Rappaport, IEEE Study Guide.
- [7] “Spectrum for Future Mobile and Wireless Communications”, Pekka Ojanen, Johny Dixon, Wireless World Research Forum, April 2004
- [8] “Μια αγοραστρεφής προσέγγιση για τη διαχείριση του ραδιοφάσματος στην ΕΕ”, Επιτροπή των Ευρωπαϊκών κοινοτήτων, Βρυξέλλες 2005
- [9] “Dynamic Spectrum Allocation in Composite Reconfigurable Wireless Networks”, Paul Leaves, Klaus Moessner, Rahim Tafazolli, University of Survey
- [10] “A novel approach to the Fixed Channel Assignment Problem”, Rei-Heng Cheng, Hsuan Chuang University
- [11] “An improved algorithm to determine lower bounds for the fixed spectrum frequency assignment problem”, R.Montemanni, D.H.Smith, S.M. Allen, October 2002
- [12] “Join Spectrum Management in a High Speed, Wireless Access, B3G Context”, Dimitrakopoulos, P.Demestichas, University of Piraeus
- [13] “An enumerative algorithm for the frequency assignment problem”, Carlo Mannino, Antonio Sassano, University Roma La Sapienza, 2003
- [14] Εθνική Επιτροπή Τηλεπικ/νίων και Ταχυδρομείων, <http://www.eett.gr/EETT>