

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΡΗΤΗΣ**

**Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων**



Πτυχιακή Εργασία

“Μελέτη Δικτύων Cognitive Radio”

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: Κωνσταντίνος Χ. Χούνος

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 20-08-2010

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Ευάγγελος Πάλλης

*Αφιερώνεται σε αυτούς
που με στηρίζουν τόσα χρόνια....*

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, η οποία υλοποιήθηκε στο Εργαστήριο Έρευνας και Ανάπτυξης Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων (ΠΑΣΙΦΑΗ) του Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλαν σε αυτή.

Κατά κύριο λόγο οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου από το Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης, Επίκουρο Καθηγητή και Υπεύθυνο του Εργαστηρίου Έρευνας και Ανάπτυξης Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων (ΠΑΣΙΦΑΗ), Δρ. Ευάγγελο Πάλλη καθώς και τον Επιστημονικό Συνεργάτη, Δρ. Γεώργιο Μαστοράκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν, δίνοντας μου τη δυνατότητα να εκπονήσω την πτυχιακή μου εργασία στον επιστημονικό τομέα που επιθυμούσα. Επίσης, θα ήθελα να τους ευχαριστήσω για τη διάθεσή τους να με βοηθήσουν και να μου λύσουν οποιαδήποτε απορία κάθε στιγμή που το χρειαζόμουν.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω αυτούς που με στήριξαν κατά τη διάρκεια της πτυχιακής αυτής εργασίας.

Ηράκλειο, Αύγουστος 2010

Περίληψη

Τα ασύρματα δίκτυα μέχρι σήμερα λειτουργούν αξιοποιώντας συχνότητες, οι οποίες τους έχουν εκχωρηθεί στατικά έτσι ώστε να γίνει εφικτή η παροχή υπηρεσιών προς τους τελικούς χρήστες. Αν και η πολιτική εκχώρησης φάσματος με αυτόν τον τρόπο αξιοποιήθηκε αρκετά στο παρελθόν, η απαίτηση για παροχή πολλαπλών ετερογενών υπηρεσιών χρησιμοποιώντας ασύρματα δίκτυα αυξήθηκε δραματικά και δημιουργήθηκε η ανάγκη για νέες ερευνητικές προσπάθειες οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στη βέλτιστη χρήση/αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος. Οι ερευνητικές προσπάθειες αυτές έχουν σαν στόχο την εξεύρεση λύσεων, οι οποίες βασίζονται στην εκμετάλλευση του ήδη υπάρχοντος φάσματος με τη χρήση μοντέλων της μικροοικονομίας. Στα πλαίσια αυτά και δεδομένης της συνεχούς απαίτησης για πολλαπλές υπηρεσίες, τα παραδοσιακά ασύρματα συστήματα θα μπορούσαν να ενισχυθούν με μηχανισμούς δυναμικής διαχείρισης φάσματος (Dynamic Spectrum Access) ανάλογα με τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς των τελικών χρηστών αξιοποιώντας με αυτόν τον τρόπο πιο αποτελεσματικά το διαθέσιμο ασύρματο φάσμα. Αυτό το πρόβλημα διευθετείται από τον ερευνητικό τομέα της δυναμικής διαχείρισης φάσματος και των δικτύων Cognitive Radio (CR) προτείνοντας πρωτοποριακούς μηχανισμούς οι οποίοι βασίζονται σε οικονομικά μοντέλα.

Με δεδομένα τα παραπάνω, η πτυχιακή αυτή εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη δικτύων CR τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για τη συμβολή στη λύση του προβλήματος της στατικής κατανομής του φάσματος, στην μη αποδοτική χρήση του και κατά συνέπεια στην έλλειψή του. Οι προτεινόμενες μέχρι σήμερα ερευνητικές λύσεις (state of the art) εισάγουν τους όρους spectrum sharing και spectrum trading και αξιοποιούνται στα δίκτυα CR. Όλες οι ερευνητικές προσπάθειες αυτές υπόσχονται πιο αποτελεσματικές λύσεις για τη διαχείριση του φάσματος με δυναμικούς μηχανισμούς, οι οποίοι βασίζονται στις θεωρίες της οικονομίας συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στη βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων των ασυρμάτων δικτύων. Επιπρόσθετα, στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας, σχεδιάστηκε και αναλύθηκε ένα πρωτότυπο δίκτυο παροχής πολυμεσικών υπηρεσιών βασισμένο στο πρότυπο DVB-H, το οποίο έχει ιδιότητες γνωσιακών δικτύων (Cognitive Radio). Οι ιδιότητες αυτές του επιτρέπουν τη δυναμική πρόσβαση στο φάσμα των συχνοτήτων TVWS (TV White Spaces), οι οποίες θα προκύψουν σε συγκεκριμένες περιοχές μετά από τη διαδικασία της μετάβασης από την αναλογική στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	4
Ακρωνύμια	7
Λίστα Εικόνων	9
Λίστα Πινάκων	10
Λίστα Σχέσεων	10
1 Εισαγωγή	11
1.1 Αντικείμενο Εργασίας.....	11
1.2 Διάρθρωση Εργασίας.....	11
2 Βασικές Αρχές Cognitive Radio.....	12
2.1 Software Defined Radio	12
2.2 Ορισμός Cognitive Radio.....	12
2.3 Το Πρωτόκολλο 802.22	14
2.3.1 Εισαγωγή.....	14
2.3.2 Κάλυψη Υπηρεσίας(Service Coverage).....	16
2.3.3 Το Air Interface του 802.22	17
2.3.3.1 Το PHY	17
2.3.3.2 Το MAC	19
2.3.4 Ανίχνευση Φάσματος στο 802.22(Spectrum Sensing)	20
2.3.4.1 Εισαγωγή.....	20
2.3.4.2 Απαιτήσεις Ανίχνευσης Φάσματος(Requirements)	21
2.3.4.3 Πλαίσιο Ανίχνευσης Φάσματος(Framework)	22
2.3.4.4 Τεχνικές Ανίχνευσης Φάσματος(Spectrum Sensing Techniques)	24
2.3.4.4.1 Ανίχνευση Πομπού	24
2.3.4.4.2 Συνεργατική Ανίχνευση	28
2.3.4.4.3 Ανίχνευση με Βάση την Παρεμβολή	30
2.4 Συμπεράσματα	32

3 Spectrum Sharing & Spectrum Trading	33
3.1 Βασικά Καθεστάτα Ραδιοφάσματος.....	33
3.1.1 Spectrum Commons.....	33
3.1.2 Spectrum Markets	34
3.2 Μοντέλα & Αρχιτεκτονικές Dynamic Spectrum Sharing.....	35
3.3 Δομή του Spectrum Trading	36
3.4 Θέματα Συζήτησης στοSpectrum Trading	37
4 DVB-H με Cognitive Ιδιότητες	41
4.1 Το πρότυπο DVB-H	41
4.1.1 Γενικά	41
4.1.2 Κίνητρο	41
4.1.3 Απαιτήσεις-Στόχοι	42
4.1.4 Οργανισμός Έκδοσης & Πρόγραμμα	42
4.1.5 Εφαρμογές Χρήσης.....	43
4.1.6 Δομή.....	43
4.1.7 Τεχνολογία.....	44
4.1.7.1 Functionalities.....	44
4.1.7.2 Αρχιτεκτονική.....	44
4.1.7.3 Εργαλεία.....	44
4.2 Δίκτυο Κινητής Τηλεόρασης με Cognitive Ιδιότητες	46
5 Επίλογος-Συμπεράσματα	49
Reference	50

Ακρωνύμια

CR	Cognitive Radio
BS	Base Station
FCC	Federal Communications Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
MAC	Media Access Control
PHY	physical layer
SR	Software Radio
SDR	software-defined
CPE	Customer-premises equipment
WRAN	Wireless Regional Area Networks
TVWS	TV White Spaces
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
NTSC	National Television System Committee
SNR	Signal-to-noise ratio
QoS	Quality Of Service
CDMA	Code division multiple access
DVB-H	Digital Video Broadcasting-Handheld
DVB-T	Digital Video Broadcasting-Terrestrial
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VHF	Very High Frequency
UHF	Ultra High Frequency
ETSI	European Telecommunication Standards Institute

GPRS	General Packet Radio Service
TPS	Transmission Parameter Signaling

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 Παράδειγμα Γνωσιακού Δικτύου.	14
Εικόνα 2 Μετρήσεις της χρήσης του φάσματος.[6]	16
Εικόνα 3 Παράδειγμα πληρότητας της τηλεοπτικής ζώνης(χρόνος-συχνότητα)	18
Εικόνα 4 Υποδειγματική ανάπτυξη του 802.22	18
Εικόνα 5 Ανάλυση της απόδοσης βάση των πρωτοκόλλων με μεγάλες καθυστερήσεις.	20
Εικόνα 6 Ταξινόμηση του 802.22 σε σύγκριση με άλλα ασύρματα πρότυπα.	17
Εικόνα 7 πλαίσιο Ανίχνευσης Φάσματος.	23
Εικόνα 8 Τεχνικές Ανίχνευσης Φάσματος.	24
Εικόνα 9 Μπλοκ διάγραμμα του ανιχνευτή ενέργειας [22].	25
Εικόνα 10 Η θέση του SNR_{wall} σαν συνάρτηση της αβεβαιότητας του θορύβου σ [13].	27
Εικόνα 11 Συνεργατική ανίχνευση σε περιβάλλον με επισκίαση. Σε αυτή την περίπτωση μόνο ο δεύτερος cognitive χρήστης μπορεί να ανιχνεύσει το πρωτεύον σήμα [22][24].	29
Εικόνα 12 Μοντέλο θερμοκρασίας παρεμβολής [21].	31
Εικόνα 13 N συχνοτικές ζώνες με τμηματικά ομαλή PSD [27].	31
Εικόνα 14 Παράδειγμα DVB-H	41
Εικόνα 15 Στοιχεία του DVB-H	45
Εικόνα 16 Δίκτυο DVB-H με Cognitive Λειτουργίες	47

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1	15
Πίνακας 2 Απαιτήσεις Ευαισθησίας Δέκτη.	22

Λίστα Σχέσεων

Σχέση 2-1	24
Σχέση 2-2	26
Σχέση 2-3	26
Σχέση 2-4	26
Σχέση 2-5	26
Σχέση 2-6	27
Σχέση 2-7	27
Σχέση 2-8	28
Σχέση 2-9	28
Σχέση 2-10	28
Σχέση 2-11	30
Σχέση 2-12	30

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο Εργασίας

Η πτυχιακή αυτή εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη δικτύων CR(Cognitive Radios) τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για την συμβολή στη λύση του προβλήματος της στατικής κατανομής του φάσματος. Οι προτεινόμενες μέχρι σήμερα ερευνητικές λύσεις (state of the art) εισάγουν τους όρους spectrum sharing και spectrum trading και αξιοποιούνται στα δίκτυα CR.

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η σφαιρική μελέτη των τεχνολογιών Cognitive Radio και η ανάλυση της παρούσας κατάστασης των δικτύων αυτών. Επιπρόσθετα, σχεδιάζεται και αναλύεται ένα πρωτότυπο δίκτυο παροχής πολυμεσικών υπηρεσιών βασισμένο στο πρότυπο DVB-H, το οποίο έχει ιδιότητες γνωσιακών δικτύων (Cognitive Radio) για τη δυναμική πρόσβαση στο φάσμα των συχνοτήτων TVWS (TV White Spaces).

1.2 Διάρθρωση Εργασίας

Αναλυτικότερα στο 2^ο κεφάλαιο θα αναλυθεί: ο ορισμός των δικτύων Cognitive Radio, θα γίνει μία αναφορά στο πρωτόκολλο 802.22 (MAC, PHY κ.α.), θα αναλυθεί η ανίχνευση φάσματος (Spectrum Sensing) και άλλα βασικά στοιχεία των δικτύων Cognitive Radio. Στο 3^ο κεφάλαιο θα αναφερθούν οι έννοιες των Spectrum Sharing και Spectrum Trading. Ειδικότερα θα αναλυθούν τα 2 βασικά καθεστώτα του Spectrum Sharing και η βασική δομή του Spectrum Trading. Τέλος στο 4^ο κεφάλαιο θα γίνει μια μικρή εισαγωγή στο πρότυπο DVB-H (κίνητρο, αρχιτεκτονική, εργαλεία, εφαρμογές χρήσης κ.α.) και έπειτα θα παρουσιαστεί ένα σενάριο εφαρμογής του προτύπου DVB-H με Cognitive Ιδιότητες.

2 Βασικές Αρχές Γνωσιακών Δικτύων (Cognitive Radio)

Τα Cognitive Radios έχουν προταθεί ως μέσο για την αποτελεσματική χρησιμοποίηση του αδειοδοτημένου φάσματος, το οποίο σήμερα κάνει χρήση στατικής κατανομής φάσματος. Αυτή η στατική κατανομή δεν έχει ως αποτέλεσμα την βέλτιστη χρήση του φάσματος. Η κύρια λειτουργία των Γνωσιακών Δικτύων (Cognitive Radios) είναι να κάνουν δυναμική χρήση του αδειοδοτημένου φάσματος χωρίς να υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ των αδειοδοτημένων και μη-αδειοδοτημένων χρηστών. Στο κεφάλαιο αυτό θα δοθεί ο ακριβής ορισμός των Cognitive Radios και θα αναλυθούν βασικά χαρακτηριστικά αυτών.

2.1 Software-Defined Radio

Ένας πομποδέκτης καλείται software radio (SR) εάν οι τηλεπικοινωνιακές λειτουργίες του πραγματοποιούνται αποκλειστικά από προγράμματα τα οποία εκτελούνται σε ένα κατάλληλο επεξεργαστή [15]. Ο ορισμός αυτός δόθηκε από τον Mitola το 1995. Σε ένα SR υλοποιούνται, ως λογισμικό πάνω σε μια κοινή πλατφόρμα υλικού, διαφορετικοί αλγόριθμοι εκπομπής και λήψης, οι οποίοι συνήθως αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα πρότυπα. Η διαδικασία της ψηφιοποίησης πραγματοποιείται αμέσως μετά την λήψη του σήματος στην κεραία του δέκτη και όλη η επεξεργασία του σήματος γίνεται από το λογισμικό. Αν και οι ιδέες του SR αναφέρονται σε όλα τα στρώματα της στοίβας πρωτοκόλλων, οι περισσότερες ερευνητικές προσπάθειες εστίασαν στο φυσικό στρώμα (physical layer).

Ένα software-defined-radio αποτελεί μια πιο εφαρμόσιμη εκδοχή του ιδεατού software radio . Αποτελεί ουσιαστικά μια υλοποίηση του SR με κάποιες παραδοχές. Η κύρια διαφορά του SR με το SDR είναι ότι στο SDR τα ληφθέντα σήματα περνούν από ένα κατάλληλο ζωνοπερατό φίλτρο προτού γίνει η δειγματοληψία και η επεξεργασία τους, με αποτέλεσμα ένα μικρό τμήμα του φάσματος (η ζώνη ενδιαφέροντος) να ψηφιοποιείται. Η ψηφιοποίηση γίνεται πολλές φορές μετά την βαθμίδα ενδιάμεσης συχνότητας.

Συχνά οι όροι SR και SDR συγχέονται και πολλές φορές χρησιμοποιούνται και οι δύο για να περιγράψουν το ίδιο πράγμα, δηλαδή τα SDR συστήματα τα οποία έχουν υλοποιηθεί.

Τα συστήματα Cognitive Radio αποτελούν εξέλιξη των SDR. Η τεχνολογία Cognitive Radio στηρίχθηκε πάνω στην τεχνολογία των SDR και την επέκτεινε. Ουσιαστικά ένα Cognitive Radio είναι ένα SDR, το οποίο μπορεί επιπλέον να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του, να εντοπίζει τις αλλαγές που λαμβάνουν χώρα σε αυτό και να προσαρμόζεται σε αυτές αναλόγως.[4]

2.2 Ορισμός Cognitive Radio

Στα Cognitive Radio δίκτυα έχουν δοθεί πολλοί ορισμοί κατά καιρούς όπως:

Ορισμός από Simon Haykin:

Το Cognitive Radio είναι ένα «έξυπνο» σύστημα επικοινωνιών το οποίο έχει γνώση-αντίληψη για το περιβάλλον του. Το cognitive radio χρησιμοποιεί την μεθοδολογία understanding-by-building (καταλαβαίνω χτίζοντας) για να μάθει από το εξωτερικό περιβάλλον τις αλλαγές και να τις προσαρμόσει σε συγκεκριμένες εσωτερικές του παραμέτρους (όπως: διαμόρφωση , ισχύς

μετάδοσης , συχνότητα φερόντων) σε πραγματικό χρόνο (real time). Οι δύο βασικοί στόχοι του Cognitive Radio είναι:

- αξιόπιστες επικοινωνίες οπουδήποτε και οποτεδήποτε χρειαστεί
- αποδοτικότερη χρήση του φάσματος [1]

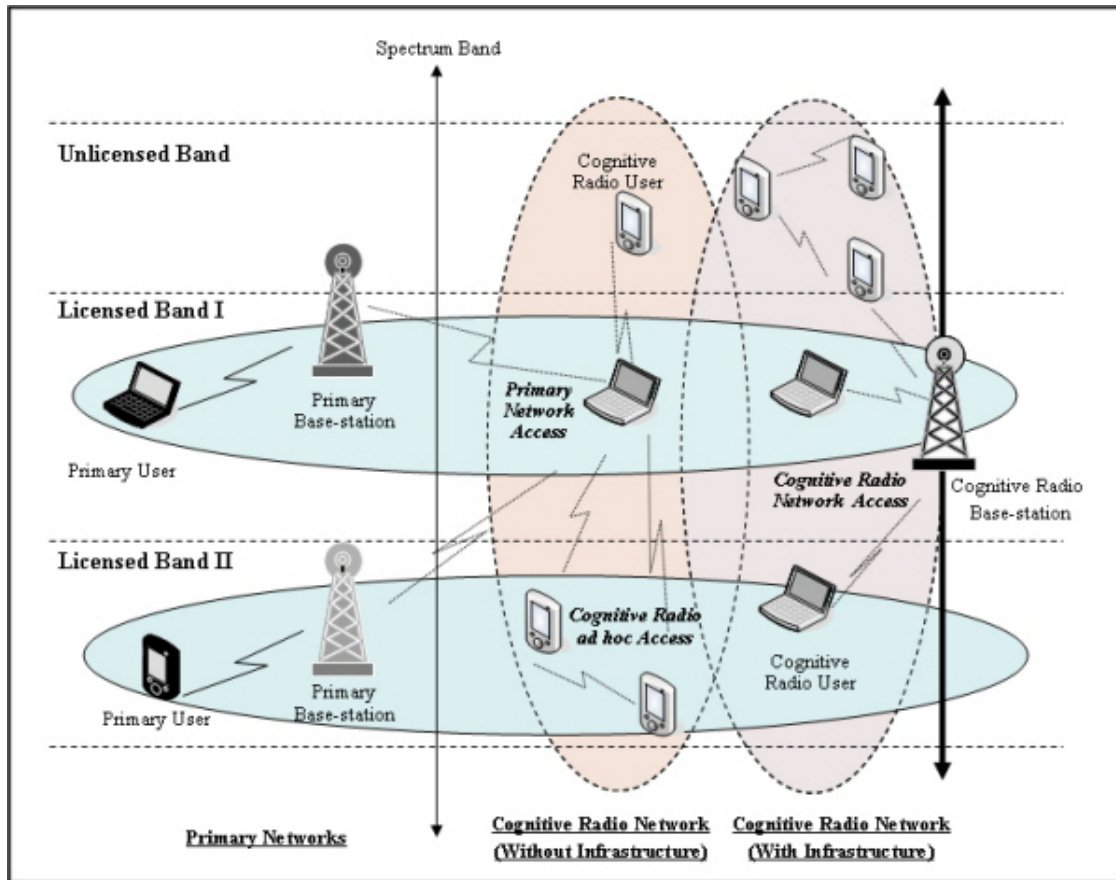
Ορισμός από James O’Daniell Neel:

Το Cognitive Radio είναι ένα σύστημα επικοινωνιών το οποίο ανιχνεύει το ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον και μπορεί δυναμικά και αυτόνομα να προσαρμόζει τις λειτουργικές του παραμέτρους για να τροποποιεί τις λειτουργίες του συστήματος. Δηλαδή για παράδειγμα να μεγιστοποιεί την απόδοση, να μετριάξει τις παρεμβολές, να διευκολύνει την ενδολειτουργικότητα και να έχει πρόσβαση σε δευτερεύουσες αγορές. [2]

Ένα Cognitive Radio είναι ένα σύστημα επικοινωνιών, του οποίου οι διαδικασίες έλεγχου του επιτρέπουν να ενισχύσει την υπάρχουσα γνώση και στη συνέχεια να λειτουργεί με νοημοσύνη και να προσαρμόζεται αυτόνομα για την επίτευξη κάποιου σκοπού. [3][4]

Συνοψίζοντας τους τρεις παραπάνω ορισμούς αλλά και από άλλα στοιχεία βγάζουμε τον παρακάτω **γενικό ορισμό** για τα Cognitive Radios:

Cognitive Radios είναι τα έξυπνα-ευφυή συστήματα τα οποία μπορούν να αντιλαμβάνονται τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος και να προσαρμόζουν κατάλληλα τις δικές τους παραμέτρους λειτουργίας τους με σκοπό την βελτίωση της επικοινωνίας. Με ένα από τα κύρια πρωτόπορα χαρακτηριστικά αυτών των δικτύων να μπορούν να ανιχνεύσουν το φάσμα και να μπορούν να αξιοποιήσουν τις συχνότητες οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται από τους αδειοδοτημένους χρήστες(primary users).



Εικόνα 1 Παράδειγμα Γνωστικού Δικτύου.

Σε αυτή την υποενότητα θα εμβαθύνουμε λίγο παραπάνω στα βασικά συστατικά τα οποία απαρτίζουν τα Cognitive Radios.

2.3 Το πρωτόκολλο 802.22

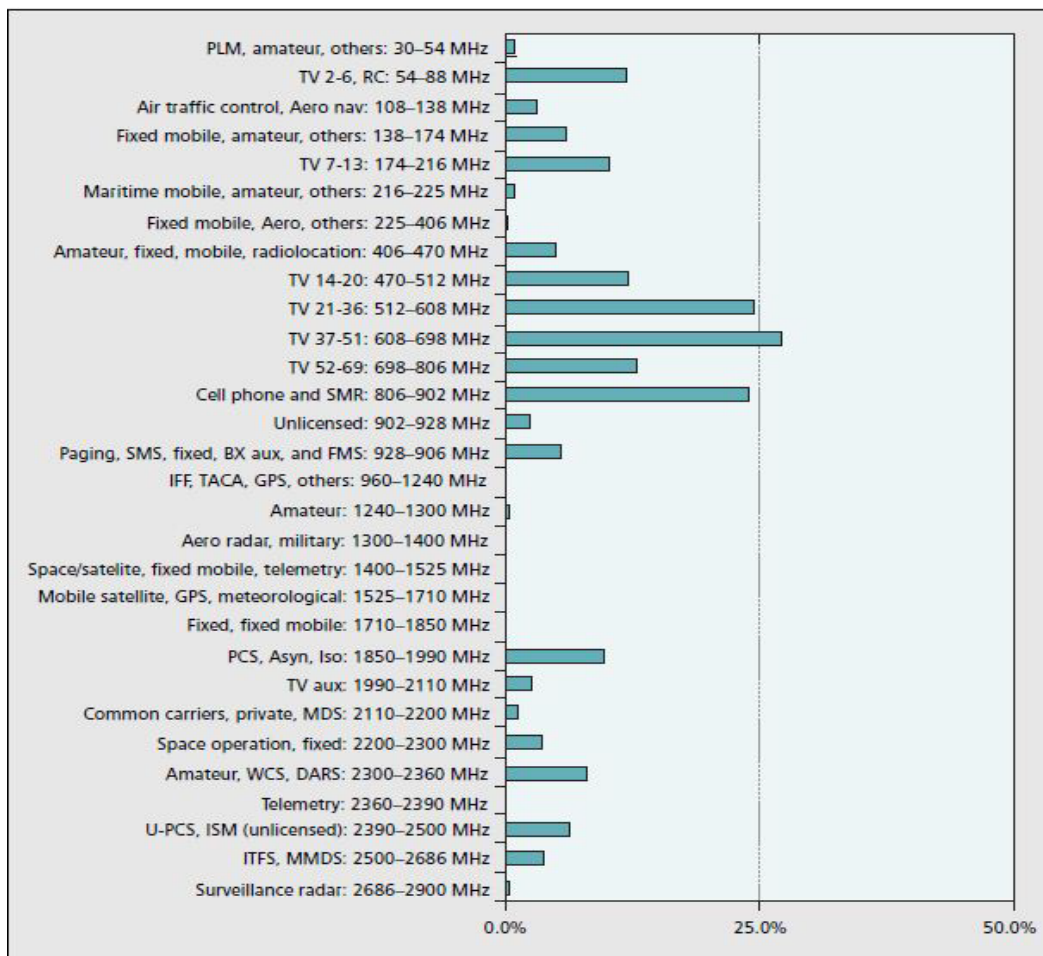
2.3.1 Εισαγωγή

Οδηγούμενη από το αυξανόμενο ενδιαφέρον των χρηστών στις ασύρματες επικοινωνίες, η ζήτηση για το ασύρματο φάσμα αυξήθηκε δραματικά. Επιπλέον με την εμφάνιση των νέων ασύρματων συσκευών και εφαρμογών, και με την μεγάλη ανάγκη για ευρεία πρόσβαση, αυτή η τάση αναμένεται να συνεχίσει τα επόμενα χρόνια. Η συμβατική προσέγγιση στην διαχείριση φάσματος (spectrum management) δεν είναι πολύ ευέλικτη διότι κάθε κάτοχος έχει συγκεκριμένη μπάντα συχνοτήτων (frequency band) στην οποία είναι αδειούχος. Ωστόσο με το πιο χρήσιμο κομμάτι του φάσματος να είναι κατειλημμένο και αρχίζει να γίνεται εξαιρετικά δύσκολο να βρει κάποιος κενές μπάντες (συχνότητες) για να αναπτύξει καινούριες υπηρεσίες ή για να βελτιώσει τις ήδη υπάρχουσες. Όπως αποδείχτηκε σε πρόσφατες μετρήσεις, το αδειούχο (licensed) φάσμα χρησιμοποιείται σπανίως συνεχόμενα στον χρόνο [5]. Η Εικόνα 2 μας δείχνει την χρήση του φάσματος σε συχνότητα μεταξύ των 30mhz-3ghz βασισμένη στο μέσο όρο 6

διαφορετικών τοποθεσιών[6]. Το σχετικά χαμηλό ποσοστό χρησιμοποίησης του φάσματος δείχνει ότι η έλλειψη φάσματος οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αναποτελεσματική-στατική κατανομή συχνοτήτων. Αυτή η παρατήρηση οδήγησε τα ρυθμιστικά όργανα να διερευνήσουν ένα διαφορετικό μοντέλο στο οποίο δευτερεύοντες (secondary-unlicensed) χρήστες θα μπορούν να χρησιμοποιούν ευκαιριακά το αχρησιμοποίητο φάσμα των αδειούχων χρηστών, αναφερόμενο και ως white spaces («λευκές συχνότητες»). Ειδικότερα η FCC (Federal Communications Commission) έχει ήδη εκφράσει ενδιαφέρον για την πρόσβαση μη αδειούχων χρηστών(secondary users) στα TV Bands (ζώνες συχνοτήτων τηλεοπτικών καναλιών)[7]. Το ενδιαφέρον για αυτές τις μπάντες υπάρχει διότι τα χαρακτηριστικά και η πρόβλεψη της χρήσης αυτών είναι εύκολη. Με βάση αυτό το ενδιαφέρον, η IEEE έκανε ένα working group (IEEE 802.22) για να αναπτύξει ένα air interface προκειμένου να υπάρξει secondary πρόσβαση στα TV Bands . Για να προστατευτούν τα πρωτεύοντα (primary) συστήματα από τις δυσμενείς παρεμβολές των secondary users (μη αδειούχων χρηστών), θα πρέπει να προσδιοριστούν τα white spaces στα πεδία του χρόνου και της συχνότητας. Στον Πίνακα 1 παρατίθεται μια ποικιλία από προσεγγίσεις για τον σκοπό αυτό[8].

	Infrastructure cost	Legacy compatibility	Transceiver complexity	Positioning	Internet connection	Continuous monitoring	Standardized channel
Database registry	High		Low	X	X		
Beacon signals	High		Low	X			X
Spectrum sensing	Low	X	High			X	

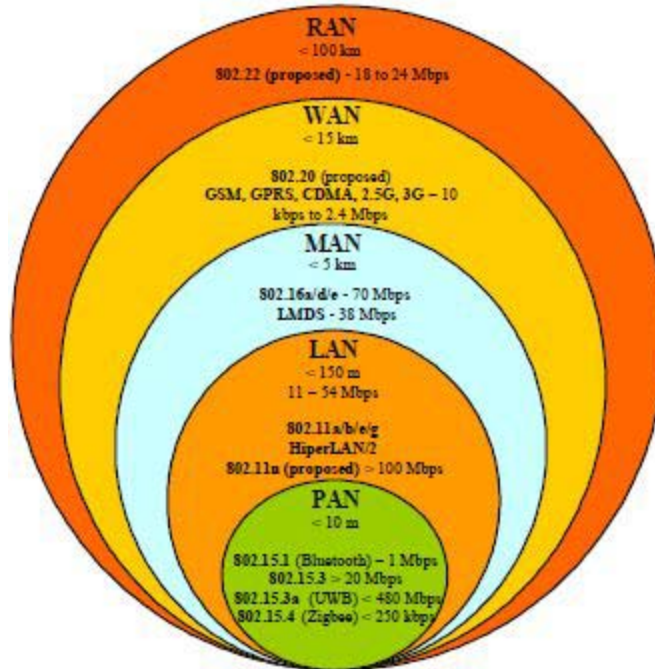
Πίνακας 1.



Εικόνα 2 Μετρήσεις της χρήσης του φάσματος.[6]

2.3.2 Κάλυψη Υπηρεσίας (Service Coverage)

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του 802.22 σε σχέση με τα υπάρχοντα πρωτόκολλα της σειράς IEEE 802, είναι ότι η περιοχή κάλυψης του BS(base station) μπορεί να φθάσει και τα 100 χιλιόμετρα εάν η ισχύς δεν αποτελεί κάποιο θέμα(όριο κάλυψης είναι στα 33 χιλιόμετρα τα 4 Watts CPE EIRP). Όπως βλέπουμε και στην Εικόνα 6 τα WRANs δίκτυα έχουν πολύ μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης σε σύγκριση με τα σημερινά δίκτυα, αυτό οφείλεται στην ψηλότερη ισχύ και τα ευνοϊκά χαρακτηριστικά που έχουν τα TV Bands. Το αυξημένο εύρος κάλυψης, μας προσφέρει μοναδικές τεχνικές προκλήσεις αλλά και πολύ καλές ευκαιρίες[9].



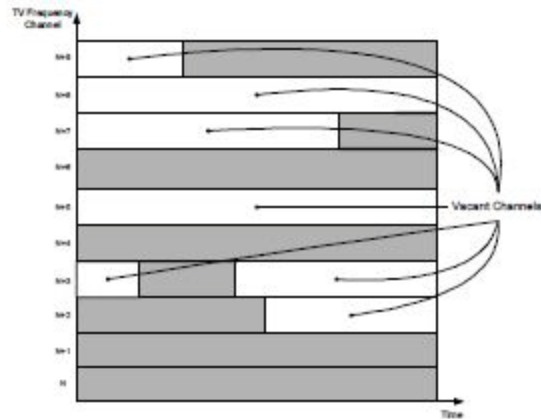
Εικόνα 6 Ταξινόμηση του 802.22 σε σύγκριση με άλλα ασύρματα πρότυπα.

2.3.3 Το Air Interface του 802.22

Η πιο σημαντική προϋπόθεση για το 802.22 air interface(διασυνδεδετικό στοιχείο) είναι η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα, η οποία απορρέει από το γεγονός ότι το 802,22 λειτουργεί σε ένα φάσμα, στο οποίο οι primary users (αδειούχοι χρήστες) θα πρέπει να προστατεύονται με κάθε τρόπο. Δεδομένου ότι η λειτουργία του 802.22 είναι unlicensed και ο BS (base station) εξυπηρετεί μια μεγάλη περιοχή, η συνύπαρξη αυτών των δύο είναι μεγάλης σημασίας. Στην παρακάτω ενότητα θα συζητήσουμε την PHYκαι MAC σχεδίαση, η οποία υποστηρίζει την ευελιξία και προσαρμοστικότητα που θέλουμε[9].

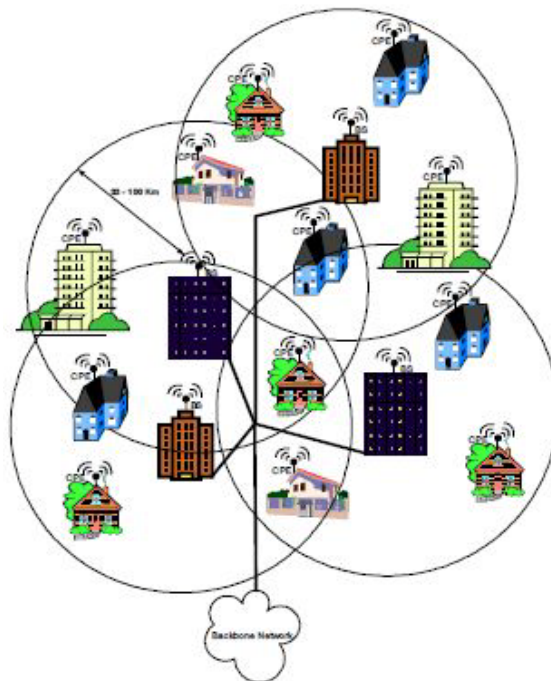
2.3.3.1 Το Φυσικό Επίπεδο (PHY)

Η Εικόνα 3 μας δείχνει πως θα μπορούσε να είναι το πρότυπο της κατανομής ενός καναλιού από τους κατεστημένους φορείς με βάση τον χρόνο και την συχνότητα. Όπως μπορούμε να δούμε οι δυνατότητες μετάδοσης από τους 802.22 BSs και τα CPEs συνήθως έχουν τυχαία συμπεριφορά και αυτό επηρεάζει τον σχεδιασμό των MAC(των BSs και των CPEs) αλλά και του PHY. Στην συγκεκριμένη περίπτωση του PHY θα πρέπει να προσφέρει υψηλές επιδόσεις, διατηρώντας παράλληλα χαμηλή πολυπλοκότητα. Για παράδειγμα εάν υιοθετηθεί ένα OFDM-based σύστημα , ο αριθμός των φερόντων σημάτων(carriers) θα έχει σημαντικό αντίκτυπο σε απόδοση αλλά και σε κόστος.[9]



Εικόνα 3 Παράδειγμα πληρότητας της τηλεοπτικής ζώνης(χρόνος-συχνότητα)

Το PHY επίπεδο του 802.22 θα πρέπει επίσης να παρέχει ευελιξία στην διαμόρφωση και στην κωδικοποίηση. Για παράδειγμα ας εξετάσουμε το σενάριο της Εικόνας 4 στο οποίο τα CPEs μπορεί να βρίσκονται σε διάφορες αποστάσεις από τον BS και έτσι να έχουν και διαφορετικό SNR (Signal-to-noise ratio) . Για να ξεπεραστεί αυτό το ζήτημα και να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος, ο BS θα πρέπει να είναι σε θέση να ρυθμίζει δυναμικά την διαμόρφωση και την κωδικοποίηση με βάση το CPE. Στην ορολογία του 802.22 οι εν λόγω πτυχές περιλαμβάνονται σε αυτό που λέμε *flexible adaptive performance* (ευέλικτη προσαρμοστική επίδοση).[9]



Εικόνα 4 Υποδειγματική ανάπτυξη του 802.22

Ένα άλλο σημαντικό θέμα προς εξέταση στον σχεδιασμό του PHY από το 802.22 πρωτόκολλο είναι σε ότι αφορά την μετάδοση ισχύος (Transmission Power Control-TCP) και την ευκινησία των συχνοτήτων (Frequency agility) . Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η παρέμβαση όχι μόνο

έναντι των ήδη υφιστάμενων υπηρεσιών αλλά και το λεγόμενο self-interference, είναι σημαντικός ο έλεγχος της ισχύος. Για να ικανοποιηθεί αυτό, το 802.22 προσδιορίζει την δυναμική περιοχή του TCP να είναι τουλάχιστον 30dB με βήματα του 1 dB. Η ευκινησία συχνότητας είναι το άλλο σημαντικό συστατικό του PHY επιπέδου, το οποίο θα πρέπει να είναι σε θέση να προσαρμόζει την συχνότητα όχι μόνο μέσα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα αλλά και όσες φορές χρειαστεί.[9]

2.3.3.2 Το MAC

Το MAC κομμάτι στο Cognitive Radio θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα δυναμικό ώστε να ανταποκρίνεται γρήγορα σε αλλαγές του περιβάλλοντος. Εκτός από τις παραδοσιακές υπηρεσίες, το 802.22 θα πρέπει επίσης να εκτελέσει ένα τελειώς καινούριο set από λειτουργίες για την αποτελεσματική λειτουργία στις μοιρασμένες συχνότητες που θα υπάρχουν στα TV Bands[9].

Εναρκτήρια Ρύθμιση Λειτουργίας (Initialization)

Γενικά όταν υπάρχει εξάρτηση από έναν κεντρικό BS για το θέμα της πρόσβασης, είναι μια απλή διαδικασία σε κάθε MAC πρωτόκολλο. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει στην περίπτωση που το σύστημα λειτουργεί σε κοινόχρηστη ζώνη(μεταξύ αδειούχων και μη χρηστών) όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 3.

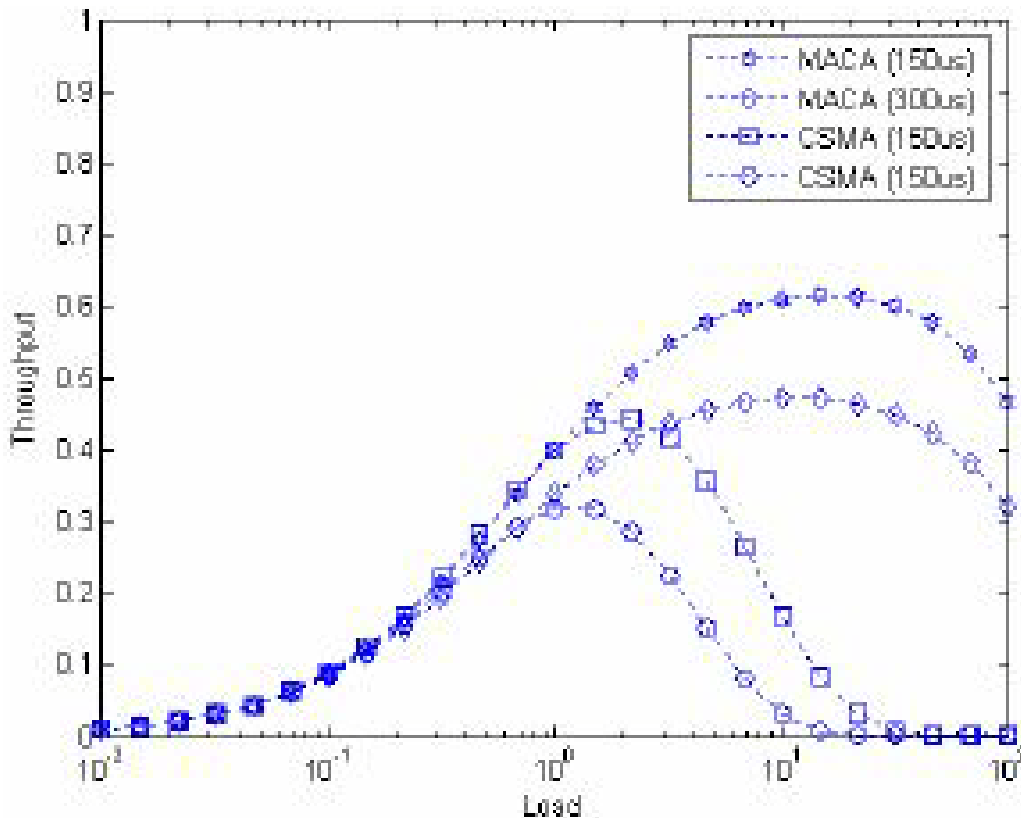
Για παράδειγμα, κάθε φορά που ξεκινάει ένα CPE την λειτουργία του, μπορεί να χρειαστεί πρώτα να εκτελέσει την διαδικασία της σάρωσης των TV channels, για να κατασκευάσει ένα «χάρτη φάσματος» ο οποίος θα δείχνει για κάθε κανάλι αν οι κατεστημένοι φορείς έχουν εντοπιστεί ή όχι[10][11]. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να μεταφερθούν στο BS και να χρησιμοποιηθούν από το CPE για να καθορίζει ποια κανάλια είναι κενά.

Η διαδικασία ενός CPE να κάνει μόνο του αναζήτηση για BS δεν είναι και τόσο απλή. Σε αντίθεση με άλλες υπάρχουσες ασύρματες τεχνολογίες, εδώ δεν υπάρχει προκαθορισμένο κανάλι(το κανάλι μπορεί να σημαίνει συχνότητα, ώρα, ή οποιοδήποτε συνδυασμό αυτών) το οποίο ένα CPE μπορεί να χρησιμοποιήσει για να ψάξει ένα BS. Για να κάνουμε τα πράγματα χειρότερα, ο 802.22 BS θα μπορεί να χρησιμοποιήσει τεχνικές συγκόλλησης (channel bonding techniques) για να ομαδοποιήσει πολλαπλές κενές συχνότητες και κατά συνέπεια να βελτιώσει τις επιδόσεις. Σε αυτή την περίπτωση το καθήκον του συγχρονισμού με τον BS γίνεται αισθητά πιο δύσκολο για τα CPEs. Έτσι το MAC επίπεδο του 802.22 θα πρέπει να σχεδιαστεί σωστά για να αντιμετωπιστούν αυτά τα ζητήματα, τα οποία δεν έχουν αντιμετωπιστεί από υπάρχοντα MAC ασύρματων πρωτοκόλλων.

Άλλα θέματα (Other Issues)

Μία άλλη σημαντική παράμετρος κατά τον σχεδιασμό του MAC επιπέδου του 802.22 πρωτοκόλλου είναι η καθυστέρηση μετάδοσης η οποία πρέπει να υποστηρίζεται. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4, το 802.22 προτείνει την παροχή υπηρεσιών σε αποστάσεις μέχρι και 100 χιλιόμετρα μακριά από την μετάδοση του BS, και ως εκ τούτου έχουμε καθυστερήσεις 300μs. Οι καθυστερήσεις αυτού του μεγέθους επιβάλλουν αυστηρούς περιορισμούς στην MAC και την

υποχρεώνει να αναπληρώσει για τις τυχόν καθυστερήσεις. Επίσης οι μεγάλες καθυστερήσεις μπορεί να απαγορεύσουν την χρήση συστημάτων πρόσβασης που διαφορετικά θα ήταν ιδιαίτερα επιθυμητό σε ένα περιβάλλον όπου η συνύπαρξη είναι ο κανόνας και όχι η εξαίρεση. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα, με τα contention-based protocols (τα πρωτόκολλα τα οποία είναι βασισμένα στον ανταγωνισμό) όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 5, το οποίο αναλύει το κανονικοποιημένο throughput των CSMA [14] και MACA [14] σύμφωνα με καθυστερήσεις διάδοσης των 150 μs και 300 μs, και την αύξηση του φόρτου[9].



Εικόνα 5 Ανάλυση της απόδοσης βάση των πρωτοκόλλων με μεγάλες καθυστερήσεις.

2.3.4 Ανίχνευση Φάσματος στο IEEE 802.22 (Spectrum Sensing)

2.3.4.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέραμε και στις προηγούμενα υποκεφάλαια έχει δημιουργηθεί ένα working group και αναπτύσσει το πρωτόκολλο 802.22 για τα Cognitive Radios WRAN, το οποίο θα λειτουργεί σε αχρησιμοποίητα τηλεοπτικά κανάλια και θα παρέχει υπηρεσίες ασύρματης πρόσβασης. Το τελικό πρότυπο θα υποστηρίζει 6, 7 και 8 Mhz κανάλια για λειτουργία σε όλο τον κόσμο. Το WRAN είναι βασισμένο σε ορθή κατανομή συχνοτήτων πολλαπλής πρόσβασης (OFDMA) . Το πρότυπο είναι υπό ανάπτυξη και είναι προς το παρόν υπό μορφή σχεδίου.[16][17]

Η διαδικασία του spectrum sensing εμπεριέχει την παρατήρηση των ελεύθερων ραδιοσυχνοτήτων (radio frequency) του ραδιοφάσματος και την υποβολή αυτών για την χρήση από το WRAN. Στο παρόν υποκεφάλαιο θα κάνουμε μία ανασκόπηση για το spectrum sensing σε συνεργασία με το πρότυπο IEEE 802.22. Ενδεικτικά θα αναφέρουμε για:

- Τις απαιτήσεις του spectrum sensing στο IEEE 802.22
- Το πλαίσιο του spectrum sensing (framework) και κάποια αποτελέσματα από spectrum sensing

2.3.4.2 Απαιτήσεις της Ανίχνευσης Φάσματος(Requirements)

Κάθε σταθμός σε ένα 802.22 δίκτυο οφείλει να εκτελέσει Spectrum Sensing. Τα 802.22 δίκτυα αποτελούνται από ένα Base Station (BS) και ένα αριθμό από σταθμούς πελάτη (Client Stations) που αναφέρονται και ως CPEs. Ο Base Station (BS) ελέγχει πότε γίνεται Sensing στο φάσμα και όλα τα αποτελέσματα από αυτό το Spectrum Sensing αναφέρονται στον Base Station (BS). Η τελική απόφαση ως προς την διαθεσιμότητα του καναλιού γίνεται από τον Base Station (BS).

Ο Base Station μπορεί να βασιστεί στα αποτελέσματα του Spectrum Sensing και σε άλλες βοηθητικές πληροφορίες που παρέχονται από τον διαχειριστή του δικτύου για να πάρει την τελική απόφαση σχετικά με την διαθεσιμότητα του καναλιού. Δεδομένου ότι όλα τα αποτελέσματα από το Sensing αναφέρονται στον Base Station (BS), μπορούμε να δούμε την όλη διαδικασία του Spectrum Sensing σαν επεξεργασία σήματος και αναφορά λειτουργίας.

Το 802.22 draft δεν επιβάλλει την χρήση κάποιας συγκεκριμένης τεχνικής επεξεργασίας σήματος.

Οι απαιτήσεις(requirements) του Sensing καθώς και κάποιες άλλες απαιτήσεις μπορούν να βρεθούν στο IEEE 802.22 functional requirements document [18], το οποίο βρίσκεται στο IEEE 802.22 working group site [19]. Το Sensing απαιτείται: για την αναλογική τηλεόραση (analog TV), την ψηφιακή τηλεόραση(digital TV) και τα ασύρματα μικρόφωνα (wireless microphones). Τα ασύρματα μικρόφωνα χρησιμοποιούνται σε κενές συχνότητες τηλεοπτικών καναλιών. Η μορφή του σήματος των ασυρμάτων μικροφώνων(wireless microphones) δεν είναι τυποποιημένη. Τείνουν να είναι αναλογικής συχνότητας με πομπούς διαμόρφωσης (FM). Το εύρος ζώνης είναι συνήθως περιορίζεται στα 200 kHz, με βάση την εκάστοτε νομοθεσία. Η μορφή της εκπομπής της αναλογικής και ψηφιακής τηλεόρασης εξαρτάται από την περιοχή. Στην βόρεια Αμερική για παράδειγμα η αναλογική βασίζεται στο πρότυπο NTSC και η ψηφιακή στο ATSC.[16]

Ο απαιτούμενος χρόνος ανίχνευσης για τους τρεις τύπους σημάτων (analog-TV, digital TV και wireless microphones) είναι 2 δευτερόλεπτα. Η απαιτούμενη ευαισθησία ανίχνευσης είναι το επίπεδο ισχύος(power level) στην οποία η πιθανότητα ανίχνευσης είναι 0,9, ενώ η πιθανότητα ψευδούς συναγερμού είναι 0,1. Ο Πίνακας 2 συνοψίζει την απαραίτητη ευαισθησία του δέκτη (sensing receiver sensitivity) για τους τρεις τύπους licensed σημάτων. Επίσης στον Πίνακα 2 βλέπουμε το απαιτούμενο SNR σε dB. Υποθέτοντας πως έχουμε μια συντηρητική εικόνα ενός sensing receiver με 11dB θόρυβο[20]. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ο θόρυβος μετράται σε κανάλι των 6Mhz.

	Analog TV	Digital TV	Wireless Mics
Sensitivity	-94 dBm	-116 dBm	-107 dBm
SNR	1 dB	-21 dB	-12 dB

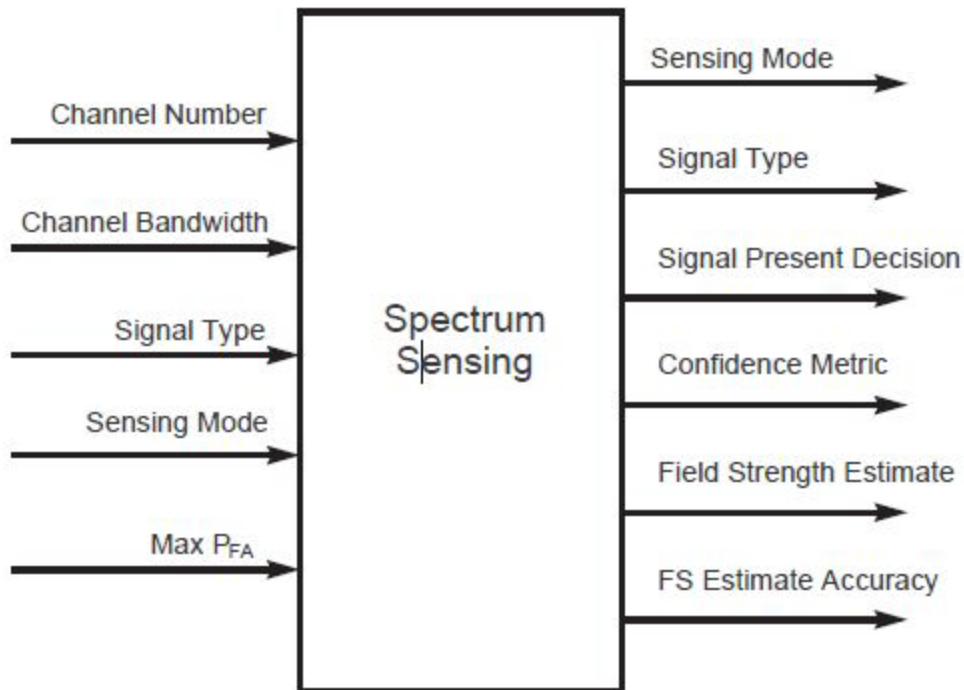
Πίνακας 2 Απαιτήσεις Ευαισθησίας Δέκτη.

Βλέπουμε από τις εν λόγω απαιτήσεις ανίχνευσης ότι μερικά από τα licensed σήματα (πχ digital TV) θα πρέπει να ανιχνεύονται σε πολύ χαμηλό SNR. Αυτό είναι και η πρωταρχική πρόκληση στο Spectrum Sensing. Η λογική των απαιτήσεων αυτών είναι να προστατέψει τις μεταδόσεις των licensed χρηστών [16].

2.3.4.3 Πλαίσιο της Ανίχνευσης Φάσματος(Framework)

Το IEEE 802.22 δεν απαιτεί την χρήση κάποιας συγκεκριμένης τεχνικής Sensing τόσο για τον Base Station (BS) όσο και για τα CPEs. Ωστόσο είναι υποχρεωτικό το Spectrum Sensing να συμμορφώνεται με το Spectrum Sensing Framework, το οποίο καθορίζει τις εισροές (Inputs) και (εκροές)Outputs του Spectrum Sensor όπως και επίσης την συμπεριφορά του. Το Spectrum Sensing Framework φαίνεται στην Εικόνα 7. Αυτό το υποκεφάλαιο παρέχει μια σύντομη επισκόπηση των Inputs και Outputs του Spectrum Sensing.

Τα πρώτα δύο Inputs, ‘Channel Number’ και ‘Channel Bandwidth’, καθορίζουν σε ποιο κανάλι να γίνει το Sensing και το Bandwidth του καναλιού, στο οποίο θα γίνει το sensing. Το Bandwidth είναι απαραίτητο δεδομένου ότι πρόκειται για ένα διεθνές πρότυπο και ως εκ τούτου πολλαπλά ‘Channel Bandwidths’ υποστηρίζονται. Ο τύπος του σήματος για το sense προσδιορίζεται από το Input ‘Signal Type’. Οι τύποι σημάτων περιλαμβάνουν διάφορα αναλογικά τηλεοπτικά σήματα (πχ NTSC), ψηφιακά τηλεοπτικά σήματα (π.χ. ATSC), σήματα ασυρμάτων μικροφώνων, κλπ. Είναι δυνατό το sense για πολλαπλούς τύπους σημάτων ταυτόχρονα, ωστόσο για να απλουστεύει η περιγραφή θα επικεντρωθούμε στην διάγνωση για ένα μόνο τύπο κάθε φορά. Το input του ‘Sensing Mode’ προσδιορίζει τον τρόπο του sensing που θα χρησιμοποιηθεί. Υπάρχουν τρεις τρόποι sensing που καθορίζονται σε αυτό το draft. Στον πρώτο τρόπο sensing το Output του ‘Signal Present Decision’ είναι ενεργό. Το συγκεκριμένο Output αλλά και τα υπόλοιπα Outputs θα περιγραφτούν στην παρακάτω παράγραφο. Στον δεύτερο τρόπο sensing έχουμε ενεργά τα ‘Signal Present Decision’ και Confidence Metric. Τέλος, στον τρίτο τρόπο sensing έχουμε ενεργά τα Outputs ‘Field Strength Estimate’ και ‘Field Strength (FS) Estimate Accuracy’. Το ‘MAX PFA’ input προσδιορίζει την μέγιστη επιτρεπτή πιθανότητα ψευδούς συναγερμού(false alarm) μόνο όταν ο θόρυβος είναι παρόν στο κανάλι.

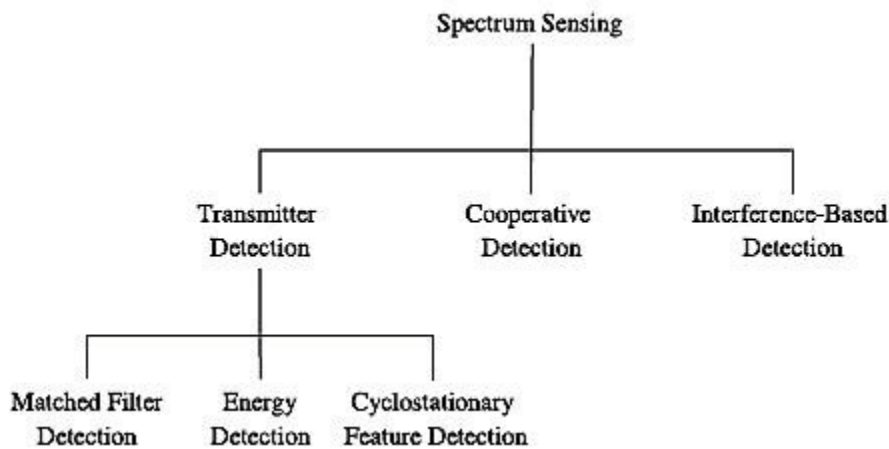


Εικόνα 7 Πλαίσιο Ανίχνευσης Φάσματος.

Τα Outputs ‘Sensing Mode’ και ‘Signal Type’ χρησιμοποιούνται για την ερμηνεία των υπολοίπων Outputs. Το ‘Signal Present Decision’ Output είναι μια δυαδική (binary) τιμή η οποία καθορίζει, εάν το Signal Type που έχει καθοριστεί είναι το παρόν στο κανάλι. Η έξοδος αυτή είναι αποτέλεσμα ενός binary test, το οποίο περιέχει δοκιμές στο εάν το κανάλι περιέχει μόνο θόρυβο ή σήμα συν θόρυβο. Το Confidence Metric output αποτελεί το μέτρο της εμπιστοσύνης το οποίο έχει ο Spectrum Sensor στο Signal Present Decision output. Για παράδειγμα, εάν το στατιστικό αποτέλεσμα της δοκιμής υπερβαίνει κατά πολύ το όριο που χρησιμοποιείται στην δυαδική δοκιμή, τότε το Confidence Metric θα είναι υψηλό. Εάν, ωστόσο, το στατιστικό αποτέλεσμα της δοκιμής υπερβαίνει μετά βίας το όριο τότε το Confidence Metric θα είναι χαμηλό. Το Confidence Metric αποτελεί επίσης πρόσθετες πληροφορίες τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιήσει ο BS (Base Station) όταν συνδυάζει αποτελέσματα Spectrum Sensing για πολλούς WRAN σταθμούς. Τα τελευταία δύο Outputs δίνουν ακόμα περισσότερες πληροφορίες στον BS (Base Station) στο να πάρει την απόφαση διαθεσιμότητας για το συγκεκριμένο κανάλι. Το Field Strength Estimate output εκφράζει μια εκτίμηση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου των συγκεκριμένων σημάτων. Αυτή η εκτίμηση της έντασης του πεδίου είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για να αποφευχθούν παρεμβολές. Τέλος, το FS Estimate Accuracy είναι ένα μέτρο της ακρίβειας της εκτίμησης πεδίου [16].

2.3.4.4 Τεχνικές Ανίχνευσης Φάσματος(Spectrum Sensing Techniques)

Μία σημαντική υποχρέωση των Cognitive Radios είναι να μπορούν να ανιχνεύσουν τα φασματικά κενά (Spectrum Holes). Όπως εξηγήσαμε και στον ορισμό τους, τα Cognitive Radios έχουν σχεδιαστεί για να γνωρίζουν τις αλλαγές που συμβαίνουν γύρω τους. Η διαδικασία του Spectrum Sensing επιτρέπει στα Cognitive Radios να προσαρμόζονται στο περιβάλλον τους, μέσω του εντοπισμού των Spectrum Holes. Γενικά οι τεχνικές ανίχνευσης του φάσματος μπορούν να χωριστούν σε : Ανίχνευση πομπού (Transmitter detection), Συνεργατική ανίχνευση (Cooperative detection) και Ανίχνευση με βάση την παρεμβολή (Interference-based detection), όπως μπορούμε να δούμε και από την Εικόνα 8 [21].



Εικόνα 8 Τεχνικές Ανίχνευσης Φάσματος.

2.3.4.4.1 Ανίχνευση Πομπού (non-cooperative detection)

Η προσέγγιση ανίχνευσης πομπού βασίζεται στην ανίχνευση του σήματος του πρωτεύοντος πομπού μέσω τοπικών παρατηρήσεων του cognitive χρήστη. Το βασικό μοντέλο υποθέσεων αυτής της κατηγορίας τεχνικών μπορεί να ορισθεί ως εξής:

$$x(t) = \begin{cases} n(t) & H_0, \\ hs(t) + n(t) & H_1, \end{cases} \quad (2-1)$$

όπου $x(t)$ είναι το σήμα που δέχεται ο cognitive χρήστης, $s(t)$ είναι το σήμα που στέλνει ο πρωτεύων πομπός, $n(t)$ είναι ο Προσθετικός Λευκός Γκαουσιανός Θόρυβος (Additive White Gaussian Noise – AWGN) και h είναι το κέρδος του καναλιού. H_0 είναι η μηδενική υπόθεση, που δηλώνει ότι δεν υπάρχει σήμα πρωτεύοντος χρήστη στη συγκεκριμένη συχνοτική ζώνη. Από την άλλη πλευρά, H_1 είναι η εναλλακτική υπόθεση, που υποδεικνύει ότι κάποιο πρωτεύον σήμα είναι παρόν.

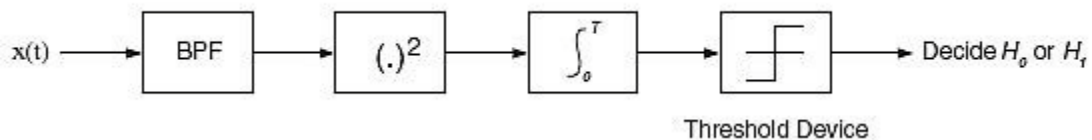
Υπάρχουν τρία γενικά σχήματα που ανιχνεύουν τον πρωτεύοντα πομπό σύμφωνα με το μοντέλο υποθέσεων της Σχέσης (2-1): : *Ανίχνευση προσαρμοσμένου φίλτρου* (matched filter detection), *ανίχνευση ενέργειας* (energy detection) και *ανίχνευση κυκλοστάσιμων χαρακτηριστικών* (cyclostationary feature detection) [21][22][23][24].

Ανίχνευση Προσαρμοσμένου Φίλτρου (Matched Filter detection)

Όταν η πληροφορία για το σήμα του πρωτεύοντος χρήστη είναι γνωστή στο cognitive χρήστη, ο βέλτιστος ανιχνευτής σε περιβάλλον στάσιμου Gaussian θορύβου είναι το προσαρμοσμένο φίλτρο καθώς αυτό μεγιστοποιεί το λόγο σήματος προς θόρυβο (Signal-to-Noise Ratio –SNR) στο δέκτη[23]. Το κύριο πλεονέκτημα του προσαρμοσμένου φίλτρου είναι ότι απαιτεί λιγότερο χρόνο για να επιτύχει μεγάλο κέρδος επεξεργασίας. Ωστόσο, απαιτεί κάποια εκ των προτέρων γνώση για το πρωτεύον σήμα όπως τον τύπο διαμόρφωσης, τη μορφοποίηση παλμού και τη μορφή του πακέτου. Έτσι, αν αυτή η πληροφορία δεν είναι ακριβής, το προσαρμοσμένο φίλτρο δεν αποδίδει καλά. Πάντως, τα περισσότερα ασύρματα συστήματα διαθέτουν σήματα-πλότους, προθέματα, λέξεις συγχρονισμού ή κώδικες διάχυσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σύμφωνη ανίχνευση[21][24].

Ανίχνευση Ενέργειας (Energy Detection)

Στην πιο γενική περίπτωση όπου ο δευτερεύων δέκτης δε διαθέτει αρκετές πληροφορίες για το πρωτεύον σήμα, αν για παράδειγμα γνωρίζει μόνο την ισχύ του θορύβου, ο βέλτιστος ανιχνευτής είναι ο ανιχνευτής ενέργειας. Προκειμένου να μετρήσει την ενέργεια του λαμβανόμενου (δειγματοληπτημένου) σήματος, το τετραγωνίζει και στη συνέχεια ολοκληρώνει επί το διάστημα παρατήρησης T . Τελικά η έξοδος του ολοκληρωτή, Y , συγκρίνεται με ένα κατώφλι λ και λαμβάνεται απόφαση για το αν είναι παρών κάποιος πρωτεύων χρήστης ή όχι (Εικόνα 9)



Εικόνα 9 Μπλοκ διάγραμμα του ανιχνευτή ενέργειας [22].

Η επίδοση ενός ανιχνευτή φάσματος συχνά μετρείται από ένα ζεύγος πιθανοτήτων, την *πιθανότητα ανίχνευσης* (Probability of detection - P_d) και την *πιθανότητα εσφαλμένου συναγερμού* (Probability of false alarm - P_f). Η πιθανότητα ανίχνευσης είναι η πιθανότητα ο ανιχνευτής να αποφασίσει ότι υπάρχει σήμα, όταν αυτό είναι πραγματικά παρόν (υπόθεση H_1 στη Σχέση 2-1). Η πιθανότητα ανίχνευσης είναι ένα μέτρο της αξιοπιστίας του cognitive radio, ως προς την αποφυγή παρεμβολής στο πρωτεύον τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Για αυτό είναι επιθυμητή μία όσο το δυνατόν μεγαλύτερη πιθανότητα ανίχνευσης. Η πιθανότητα εσφαλμένου συναγερμού αντίθετα είναι η πιθανότητα ο ανιχνευτής να αποφασίσει ότι υπάρχει σήμα, όταν στην πραγματικότητα υπάρχει μόνο θόρυβος (υπόθεση H_0). Η πιθανότητα εσφαλμένου συναγερμού μετρά ουσιαστικά τις “χαμένες ευκαιρίες” ή, αλλιώς, την υποχρησιμοποίηση του φάσματος από το cognitive radio. Για αυτό, είναι επιθυμητή μία όσο το δυνατόν μικρότερη πιθανότητα εσφαλμένου συναγερμού. Δυστυχώς, ένα θεμελιώδες αποτέλεσμα της θεωρίας ανίχνευσης είναι

ότι οι δύο αυτές απαιτήσεις είναι ανταγωνιστικές και η σύγχρονη ικανοποίησή τους είναι αδύνατη, αφού η αύξηση της πρώτης πιθανότητας οδηγεί σε υποχρεωτική αύξηση και τη δεύτερη [24][25].

Στην περίπτωση του ανιχνευτή ενέργειας, όταν έχουμε να κάνουμε με περιβάλλον χωρίς εξασθένηση όπου h είναι το κέρδος του καναλιού όπως στη Σχέση 2-1, οι πιθανότητες ανίχνευσης και εσφαλμένου συναγερμού δίνονται από τις σχέσεις [21]:

$$P_d = P\{Y > \lambda | H_1\} = Q_m(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda}) \quad (2-2)$$

$$P_f = P\{Y > \lambda | H_0\} = \frac{\Gamma(m, \lambda/2)}{\Gamma(m)} \quad (2-3)$$

, όπου γ είναι το SNR, $m=TW$ είναι το γινόμενο χρόνου-εύρους ζώνης (time-bandwidth product), $\Gamma(\cdot)$ και $\Gamma(\cdot, \cdot)$ είναι πλήρεις και μη-πλήρεις συναρτήσεις Γάμμα και $Qm(\cdot)$ είναι η γενικευμένη Marqum Q-συνάρτηση[24].

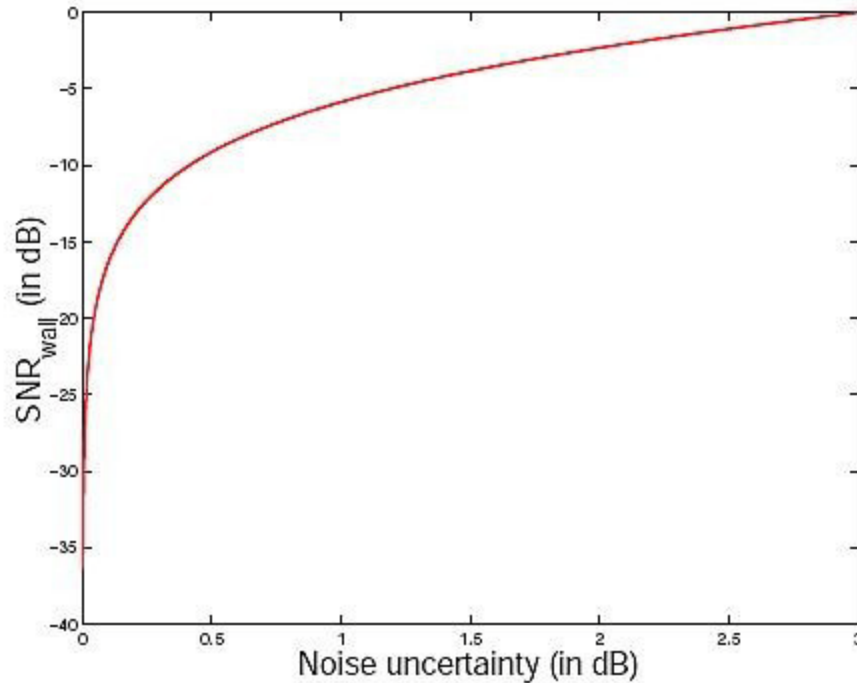
Αν λάβουμε υπ' όψη μας τους παράγοντες εξασθένησης όπως η πολύδρομη μετάδοση και η επισκίαση, τότε η πιθανότητα εσφαλμένου συναγερμού δεν αλλάζει καθώς δεν εξαρτάται από το SNR. Ωστόσο, η σχέση που δίνει την πιθανότητα ανίχνευσης τροποποιείται ώστε να συμπεριλάβει την εξάρτηση από το *στιγμιαίο SNR* ως εξής:

$$P_d = \int Q_m(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda} f_\gamma(x) dx) \quad (2-4)$$

όπου $f_\gamma(x)$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του SNR υπό συνθήκες εξασθένησης.

Ο ανιχνευτής ενέργειας είναι πολύ εύκολος στην υλοποίηση, για αυτό και έχει υιοθετηθεί ευρέως στη βιβλιογραφία. Ωστόσο, η επίδοσή του είναι πολύ ευαίσθητη στην αβεβαιότητα της ισχύος του θορύβου. Σε πραγματικές συνθήκες, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι ο δευτερεύων δέκτης θα γνωρίζει μόνο κατ' εκτίμηση την ισχύ του θορύβου. Επομένως, αν το SNR είναι αρκετά χαμηλό, ο ανιχνευτής δεν μπορεί να διακρίνει αξιόπιστα μεταξύ σήματος και θορύβου και καθίσταται ανώφελος. Συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί [13] ότι για μια αβεβαιότητα x dB στην ισχύ του θορύβου υπάρχει ένα κατώφλι στο SNR, κάτω από το οποίο ο ανιχνευτής ενέργειας δεν μπορεί να ανιχνεύσει το σήμα. Το κατώφλι αυτό καλείται SNR_{wall} (Εικόνα 10) και δίνεται από τη σχέση:

$$SNR_{wall} = 10 \log_{10} \left[10^{(x/10)} - 1 \right] \quad (2-5)$$



Εικόνα 10 Η θέση του SNR_{wall} σαν συνάρτηση της αβεβαιότητας του θορύβου x [13].

Επιπλέον, ο ανιχνευτής ενέργειας δεν είναι σε θέση να διακρίνει μεταξύ διαφορετικών τύπων σημάτων, παρά μόνο να αποφασίσει περί παρουσίας ή απουσίας σήματος[24].

Ανίχνευση Κυκλοστάσιμων Χαρακτηριστικών (Cyclostationary Feature Detection)

Οι κυκλοστάσιμες διαδικασίες είναι τυχαίες διαδικασίες των οποίων οι στατιστικές ιδιότητες όπως η μέση τιμή και η αυτοσυσχέτιση αποτελούν περιοδικές συναρτήσεις του χρόνου [26]. Πιο αυστηρά, μία τυχαία διαδικασία συνεχούς χρόνου $X(t)$ είναι *κυκλικά στάσιμη δεύτερης τάξης με την ευρεία έννοια* αν υπάρχει $T_0 > 0$ τέτοιο ώστε

$$\mu_x(t) = \mu_x(t + T_0) \quad \forall t \quad (2-6)$$

και

$$R_x(t_1, t_2) = R_x(t_1 + T_0, t_2 + T_0) \quad \forall t_1, t_2 \quad (2-7)$$

όπου $\mu_x(t)$ είναι η μέση τιμή τη χρονική στιγμή t και $R_x(t_1, t_2)$ είναι η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης για τις χρονικές στιγμές t_1, t_2 .

Λόγω περιοδικότητας, η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης έχει αναπαράσταση σε σειρά Fourier. Θέτοντας $t_1=t+\tau/2$ και $t_2=t-\tau/2$, έχουμε την ακόλουθη έκφραση για τη σειρά Fourier:

$$R_X(t+\tau/2, t-\tau/2) = \sum_a R_X^a(\tau) e^{j2\pi a t}, \quad (2-8)$$

όπου οι συντελεστές Fourier δίνονται από τη σχέση:

$$R_X^a(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} R_X(t+\frac{\tau}{2}, t-\frac{\tau}{2}) e^{-j2\pi a t} dt \quad (2-9)$$

και το a καλείται κυκλική συχνότητα. Η συνάρτηση R_X^a (ονομάζεται συνάρτηση κυκλικής αυτοσυσχέτισης). Όταν η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης έχει ακριβώς μία περίοδο T_0 , έχουμε το ακόλουθο σύνολο κυκλικών συχνοτήτων:

$$A = \{a = k/T, k \geq 1\} \quad (2-10)$$

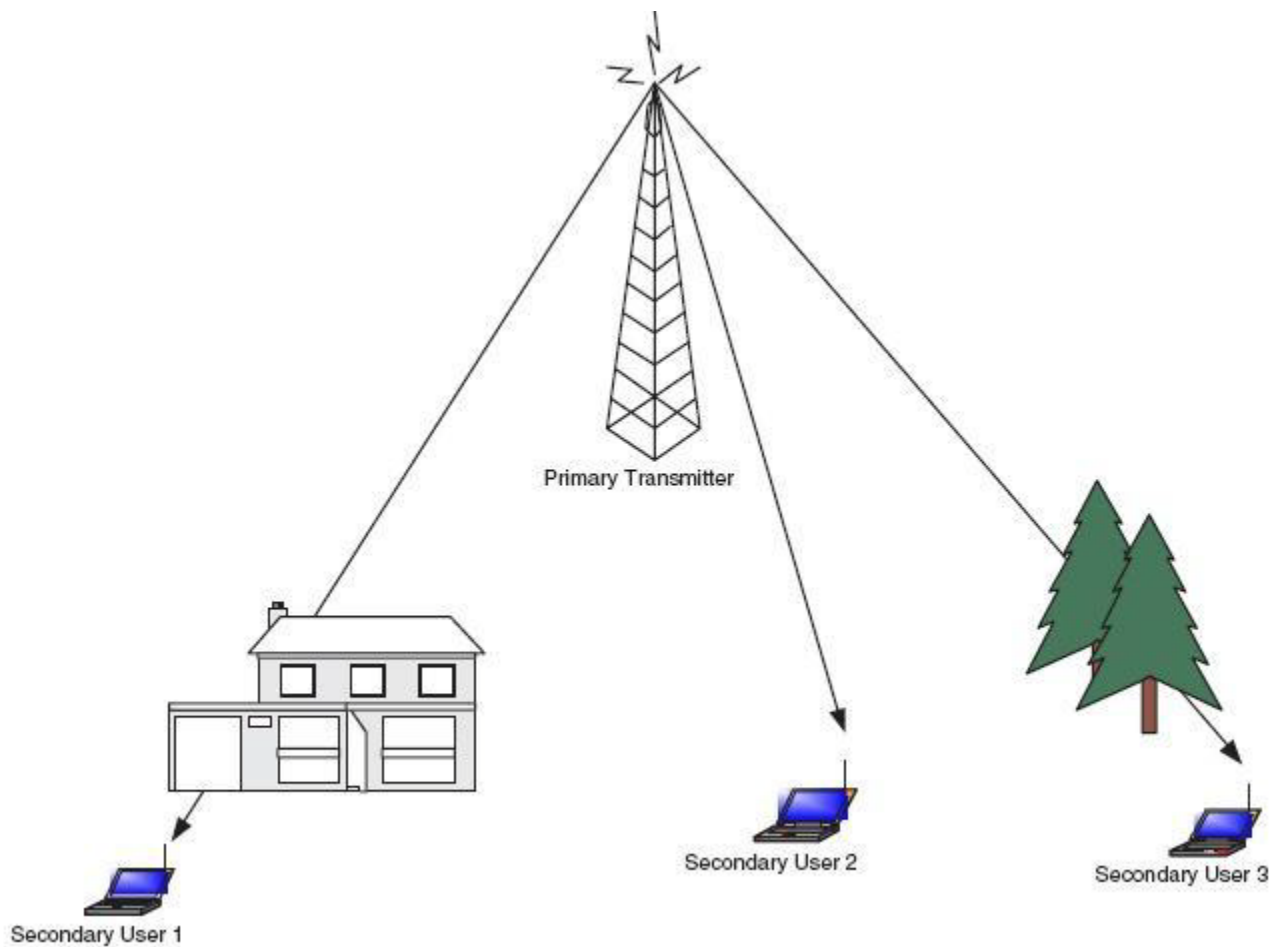
οι οποίες είναι αρμονικές της θεμελιώδους συχνότητας a .

Πολλά από τα σήματα που χρησιμοποιούνται στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες διαθέτουν την ιδιότητα της κυκλοστασιμότητας. Η κυκλοστασιμότητα μπορεί να είναι συνέπεια της χρησιμοποιούμενης διαμόρφωσης ή κωδικοποίησης, ή μπορεί ακόμα να προστίθεται σκόπιμα για να βοηθήσει στην ισοστάθμιση καναλιού ή στο συγχρονισμό.

Οι ανιχνευτές αυτής της κατηγορίας αναζητούν χαρακτηριστικά κυκλοστασιμότητας στο λαμβανόμενο σήμα, αναλύοντας την κυκλική συνάρτηση αυτοσυσχέτισης. Η χρήση κυκλοστάσιμων στατιστικών στην ανίχνευση είναι ελκυστική για πολλούς λόγους: Πρώτον, ο θόρυβος είναι σπάνια μια κυκλοστάσιμη διαδικασία. Έτσι, ο ανιχνευτής κυκλοστάσιμων χαρακτηριστικών μπορεί να διακρίνει μεταξύ ενός τηλεπικοινωνιακού σήματος και του θορύβου, ανεξάρτητα από την αβεβαιότητα στην ισχύ του θορύβου και αποδίδει καλύτερα από τον ανιχνευτή ενέργειας σε χαμηλά SNR. Επιπλέον, ένας τέτοιος ανιχνευτής μπορεί να διακρίνει μεταξύ διαφορετικών τύπων σημάτων, αν αυτά έχουν ξεχωριστές κυκλικές συχνότητες. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή έχει μεγάλη υπολογιστική πολυπλοκότητα και χρειάζεται ένα αρκετά μεγάλο διάστημα παρατήρησης για να λειτουργήσει[24].

2.3.4.4.2 Συνεργατική Ανίχνευση(Cooperative Detection)

Οι τεχνικές ανίχνευσης πομπού δεν μπορούν να αποφύγουν το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού. Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου έχει προταθεί η ιδέα της συνεργατικής ανίχνευσης, όπου πολλοί δευτερεύοντες χρήστες ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικές με το φάσμα με στόχο μια ακριβέστερη ανίχνευση. Η Εικόνα 11 παρουσιάζει με απλό τρόπο την ιδέα πίσω από τη συνεργασία:



Εικόνα 11: Συνεργατική ανίχνευση σε περιβάλλον με επισκίαση. Σε αυτή την περίπτωση μόνο ο δεύτερος cognitive χρήστης μπορεί να ανιχνεύσει το πρωτεύον σήμα [22][24].

Ως γνωστόν, τα κύρια φαινόμενα που συντελούν στο πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού είναι η εξασθένηση λόγω πολύδρομης μετάδοσης (multipath fading) και η εξασθένηση λόγω επισκίασης (shadowing). Στο συνεργατικό σενάριο, η πιθανότητα όλοι οι δευτερεύοντες χρήστες να “δουν” ταυτόχρονα βαθιά εξασθένηση είναι εξαιρετικά χαμηλή· η συνεργασία οδηγεί επομένως σε σημαντικά βελτιωμένη ακρίβεια ανίχνευσης. Συγκεκριμένα, αν οι συνθήκες εξασθένησης είναι ανεξάρτητες από χρήστη σε χρήστη, τότε οι πιθανότητες ανίχνευσης και εσφαλμένου συναγερωμού του συνεργατικού σχήματος γράφονται [22]

$$Q_d = 1 - (1 - P_d)^n \quad (2-11)$$

$$Q_f = 1 - (1 - P_f)^n \quad (2-12)$$

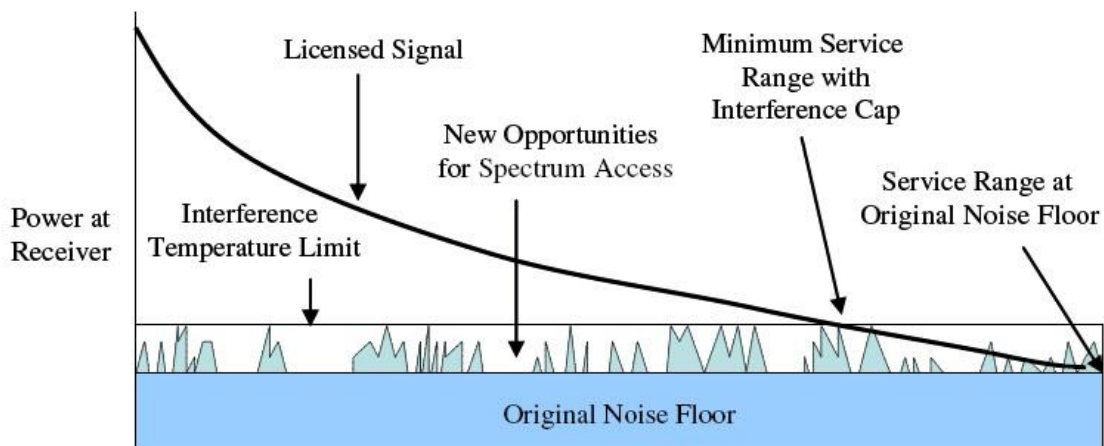
όπου P_d και P_f είναι οι ατομικές πιθανότητες ανίχνευσης και εσφαλμένου συναγερού που δίνονται από τις Σχέσεις 2-3 και 2-4, ενώ n είναι ο αριθμός των χρηστών. Βλέπουμε, δηλαδή, ότι τόσο η πιθανότητα ανίχνευσης όσο και η πιθανότητα εσφαλμένου συναγερού αυξάνονται μονοτόνως με τον αριθμό των χρηστών. Ωστόσο, το καθαρό αποτέλεσμα (net effect) είναι η βελτίωση της επίδοσης του συστήματος[24].

Η συνεργατική ανίχνευση μπορεί να υλοποιηθεί είτε με κεντρικοποιημένο είτε με καταναμημένο τρόπο. Στην κεντρικοποιημένη μέθοδο, υπάρχει ένας δευτερεύων σταθμός βάσης ο οποίος συγκεντρώνει όλη την πληροφορία ανίχνευσης από τους cognitive χρήστες και εντοπίζει τις φασματικές οπές. Αντιθέτως, στην καταναμημένη μέθοδο οι δευτερεύοντες χρήστες ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους.

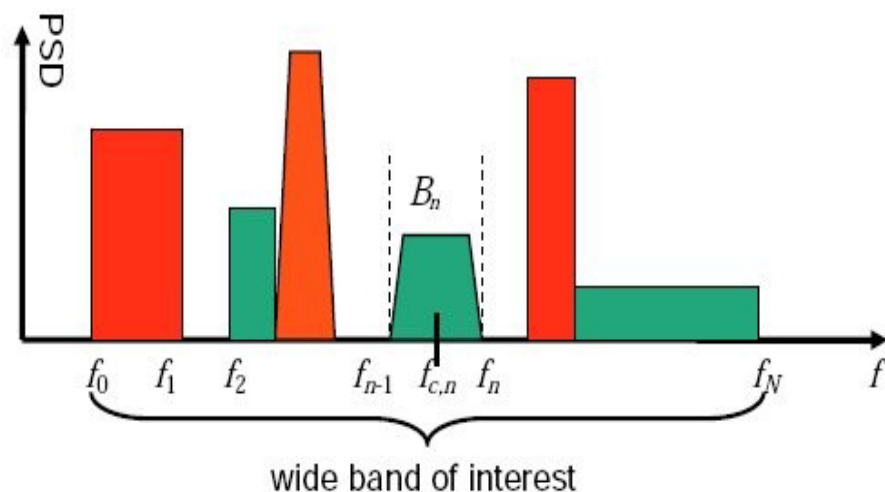
Η συνεργασία στην ανίχνευση είναι μια μορφή χωροποικιλότητας (space diversity). Η ύπαρξη χωρικά συσχετισμένων χρηστών, π.χ. πολλοί χρήστες που επισκιάζονται από το ίδιο φυσικό εμπόδιο, μειώνει το κέρδος από την χωροποικιλότητα (diversity gain). Επιπλέον, η συνεργασία εισάγει πρόσθετη επιβάρυνση και καθυστέρηση στο δίκτυο λόγω της πληροφορίας που πρέπει να ανταλλαγεί. Τέλος, οι συνεργατικές τεχνικές (όπως και οι τεχνικές ανίχνευσης πομπού) πάσχουν από το πρόβλημα της αβεβαιότητας στη θέση του πρωτεύοντος δέκτη, αφού οι cognitive χρήστες δεν γνωρίζουν τίποτα για το κανάλι μεταξύ αυτών και του δέκτη παρά διαθέτουν μόνο τοπικές παρατηρήσεις του σήματος του πρωτεύοντος πομπού. Η επόμενη υποενοότητα παρουσιάζει τις μεθόδους με βάση την παρεμβολή, οι οποίες προσπαθούν να επιλύσουν αυτό το πρόβλημα[24].

2.3.4.4.3 Ανίχνευση με Βάση την Παρεμβολή(Interference Based Detection)

Τυπικά, η παρεμβολή ρυθμίζεται με έναν “πομποκεντρικό” τρόπο, δηλαδή η παρεμβολή ελέγχεται στον πομπό μέσω της εκπεμπόμενης ισχύος, των εκπομπών εκτός-ζώνης και της θέσης του πομπού. Ωστόσο, στην πραγματικότητα η παρεμβολή λαμβάνει χώρα στο δέκτη. Για αυτό πρόσφατα, η FCC εισήγαγε ένα νέο μοντέλο μέτρησης της παρεμβολής, τη *θερμοκρασία παρεμβολής* (interference temperature).



Εικόνα 12 Το μοντέλο θερμοκρασίας παρεμβολής [21].



Εικόνα 13 N συχνοτικές ζώνες με τμηματικά ομαλή PSD [27].

Η Εικόνα 13 δείχνει το σήμα ενός σταθμού που έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί σε μία ακτίνα όπου η λαμβανόμενη ισχύς προσεγγίζει το επίπεδο του θορύβου. Καθώς εμφανίζονται επιπρόσθετα παρεμβάλλοντα σήματα, το επίπεδο του θορύβου αυξάνεται σε διάφορα σημεία μέσα στην περιοχή εξυπηρέτησης, όπως φαίνεται από τις κορυφές πάνω από το αρχικό επίπεδο θορύβου. Αντίθετα με την πομποκεντρική προσέγγιση, το μοντέλο θερμοκρασίας παρεμβολής διαχειρίζεται την παρεμβολή στο δέκτη μέσω του ορίου θερμοκρασίας παρεμβολής (interference temperature limit), το οποίο μετρά το ποσό της νέας παρεμβολής που μπορεί να ανεχτεί ο δέκτης. Με άλλα λόγια, το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπ' όψη του τη συνολική ενέργεια παρεμβολής που προέρχεται από πολλαπλές πηγές και θέτει ένα πάνω όριο στο αθροιστικό τους επίπεδο. Εφ' όσον οι δευτερεύοντες χρήστες δεν υπερβαίνουν αυτό το όριο με τις δικές τους εκπομπές, μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη συγκεκριμένη συχνοτική ζώνη.

Η δυσκολία αυτής της μεθόδου έγκειται στην αξιόπιστη μέτρηση της θερμοκρασίας παρεμβολής. Ένας cognitive χρήστης είναι φυσικά ενήμερος για το δικό του επίπεδο ισχύος εκπομπής και για την ακριβή θέση του, μέσω ενός συστήματος εντοπισμού. Ωστόσο, προς το παρόν δεν υπάρχει πρακτικός τρόπος για ένα cognitive radio να μετρήσει ή να εκτιμήσει τη θερμοκρασία παρεμβολής σε έναν κοντινό πρωτεύοντα δέκτη. Εφ' όσον οι πρωτεύοντες δέκτες είναι συνήθως παθητικές συσκευές, ο cognitive χρήστης δεν μπορεί να γνωρίζει τις ακριβείς θέσεις τους. Στο [28] παρουσιάζεται μια μέθοδος ανίχνευσης αυτών των παθητικών δεκτών, που εκμεταλλεύεται τη διαρρέουσα ισχύ του τοπικού ταλαντωτή που εκπέμπουν όλοι οι ασύρματοι δέκτες. Για την ανίχνευση όμως αυτής της διαρρέουσας ισχύος, η μέθοδος απαιτεί την προσάρτηση μικρών αισθητήρων κοντά στους πρωτεύοντες δέκτες που θα πληροφορούν το cognitive radio, γεγονός που δυσκολεύει την πρακτική εφαρμογή της μεθόδου [24].

2.4 Συμπεράσματα

Στο παραπάνω κεφάλαιο εξηγήσαμε τι είναι τα Cognitive Radios, κάποια βασικά δομικά χαρακτηριστικά τους όπως: το πρωτόκολλο 802.22, το PHY και το MAC. Επίσης αναλύσαμε μία από τις σημαντικότερες τους λειτουργίες, την ανίχνευση φάσματος. Για να μπορέσουν όμως όλα αυτά να εφαρμοστούν θα πρέπει το σημερινό “Command and Control” σύστημα εκχώρησης ραδιοφάσματος πρέπει να αλλάξει και να γίνει πιο «δυναμικό». Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναλύσουμε δύο πιθανά καθεστώτα. Επίσης θα αναφέρουμε ενδεικτικά κάποιες αρχιτεκτονικές και κάποια άλλα θέματα που αφορούν τις έννοιες Spectrum Sharing και Spectrum Trading.

3 Spectrum Sharing & Spectrum Trading

3.1 Βασικά Καθεστώτα Ραδιοφάσματος

“Spectrum Commons” και “Spectrum Markets” είναι τα δύο κύρια καθεστώτα που μπορούν να λειτουργήσουν ως εναλλακτική λύση για το "command and control" σύστημα εκχώρησης του ραδιοφάσματος. Το “Spectrum commons” αντιμετωπίζει προβλήματα ζήτησης, αλλά βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην πλευρά της προσφοράς για την εφαρμογή της και το "spectrum markets" εκτιμά τα ιδιωτικά δικαιώματα ιδιοκτησίας (δηλαδή, λύση η οποία θα αντιμετωπίζει το φάσμα της ζήτησης και των εκτιμήσεων της αποτίμησης)

3.1.1 Spectrum Commons

Σύμφωνα με το καθεστώς “Spectrum Commons” αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες του διαμοιρασμού του φάσματος επιτρέποντας σε έναν απεριόριστο εικονικό αριθμό χρηστών να χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα χωρίς να προκαλούν ο ένας στον άλλο παρεμβολές, εξαλείφοντας με αυτό τον τρόπο την ανάγκη για δικαιώματα ιδιοκτησίας ή τον έλεγχο της κυβέρνησης στο φάσμα. Σε αυτό το καθεστώς δεν υπάρχει διαχειριστής του φάσματος που θα προεδρεύσει στην κατανομή των πόρων. Προκειμένου, το καθεστώς αυτό να είναι βιώσιμο, ένας διαχειριστής πρέπει να ελέγχει το σύνολο των πόρων και την ομαλή κατανομή των κανόνων που διέπουν τη χρήση του. Αν η κυβέρνηση είναι αυτός ο υπεύθυνος της επεξεργασίας, της κατανομής και της κοινής διαχείριση του ραδιοφάσματος τότε είναι παρόμοιες διαδικασίες με το command and control καθεστώς έχοντας ως αποτέλεσμα την αναποτελεσματική διαχείριση του φάσματος [29]

Το “Spectrum commons” προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένων την μεγαλύτερη ελευθερία πειραματισμού με τις τοπικές παραλλαγές της χρήσης του ραδιοφάσματος και μεγαλύτερο κίνητρο για την ανάπτυξη τεχνολογιών για την κοινή χρήση του φάσματος (όπως spread spectrum radios ή ultra-wide-band τεχνολογίες). Επιπλέον, η ρύθμιση του ραδιοφάσματος ως μιας κοινότητας θα μπορούσε να διευκολύνει την αποτελεσματική συναλλαγή μεταξύ ανταγωνιστικών χρηστών, και να κάνουν εφικτές οικονομικές κλίμακες για τις διασυννοριακές χρήσεις του φάσματος Τα πιθανά οφέλη είναι αρκετά μεγάλα για να δικαιολογήσει σοβαρή εξέταση του “Spectrum Commons” [30]. Η ανάγκη ενός ελεγκτή ραδιοφάσματος έχει ουσιαστική σημασία όταν εγκριθεί αυτό το καθεστώς, με σκοπό τη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων και την πρόληψη της υποβιβασμού. Έτσι ο ιδιοκτήτης του φάσματος εσωτερικεύει το κόστος των δράσεων του και ως εκ τούτου κάνει προσπάθειες για να αποφευχθεί το σενάριο της "τραγωδίας" που επηρεάζει άμεσα ένα ανοιχτό καθεστώς πρόσβασης στο φάσμα.

Οι ιδιοκτήτες του “Common Ραδιοφάσματος” θα πρέπει να έχουν την εξουσία να διαχειρίζονται τον πόρο με τον καθορισμό και την επιβολή άλλων κανόνων και την απαγόρευση σε άλλους χρήστες να χρησιμοποιούν τους πόρους αυτούς. Η κυριότητα ή τουλάχιστον ο νομικός έλεγχος, είναι απαραίτητο για το συγκεκριμένο καθεστώς προκειμένου να είναι χρήσιμο και να μην είναι ένα καθεστώς ελεύθερης πρόσβασης που αυξάνει την αναποτελεσματικότητα της χρήσης του ραδιοφάσματος. Σε αυτή την κατεύθυνση ένας ιδιοκτήτης ή μια ομάδα συνιδιοκτητών ή η

κυβέρνηση πρέπει να ελέγχει το φάσμα και να ορίζει ένα σύνολο κανόνων που περιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούνται οι πόροι.

Το μοντέλο “Spectrum commons” δεν χρησιμοποιεί τους μηχανισμούς της αγοράς ως εργαλείο για την κατανομή των περιορισμένων πόρων μεταξύ ανταγωνιστικών χρηστών. Από την άποψη αυτή, υπάρχει πάντα το ρίσκο ότι η ελεύθερη πρόσβαση θα οδηγήσει τελικά σε κορεσμό (πχ “τραγωδία των Κοινών»). Αυτά τα προβλήματα μπορούν να ξεπεραστούν σε κάποιο βαθμό, χρησιμοποιώντας ρυθμιστικές οδηγίες και απαιτήσεις, όπως η ισχύς και τα όρια εκπομπών. Όμως, αν η έλλειψη ραδιοφάσματος, εξακολουθεί να εμφανίζεται, πρέπει να επαναπροσδιορισθούν τα δικαιώματα και οι μηχανισμοί της αγοράς για την αποφυγή αναποτελεσματικής χρήσης του ραδιοφάσματος [29].

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για το “Spectrum Commons”. Μία προσέγγιση, που περιγράφηκε παραπάνω, επιτρέπει την πρόσβαση και τη χρήση του ραδιοφάσματος χωρίς να περιορίζει τους πιθανούς χρήστες και αναφέρεται ως “open access” μοντέλο. Το μοντέλο είναι ένα καθεστώς συν-διαχείρισης που αντλεί από την επιτυχημένη συνεργασία με άλλα είδη σπάνιων πόρων και είναι γνωστό ως “common property” μοντέλο. Σε αυτή την προσέγγιση, η κυβέρνηση νομιμοποιεί και προστατεύει τα όρια της χρήσης του φάσματος από μια ομάδα χρηστών (συμπεριλαμβανομένων των κριτηρίων για συμμετοχή στην ομάδα), αλλά δεν λαμβάνει μέρος στην εσωτερική διακυβέρνηση της. Η κοινότητα της διαχείρισης του ραδιοφάσματος έτσι ορίζεται, αποτελείται μόνο από τους τελικούς χρήστες και έχει την αποκλειστική εξουσία για χρήσεις του ραδιοφάσματος, με τη θέσπιση προτύπων και την αντιμετώπιση των παρεμβολών. Στην ουσία, αυτό το μοντέλο αποκλείει τα ατομικά δικαιώματα ιδιοκτησίας για εκμετάλλευση των πόρων, αλλά ανέχεται περιορισμούς πρόσβασης. Προσεγγίσεις που περιορίζουν την πρόσβαση και τη χρήση της ζώνης συχνοτήτων από μια ομάδα χρηστών στο πλαίσιο της ιδιωτικής ιδιοκτησίας αναφέρονται ως “privately run commons” ή “commons parks”. Τα οφέλη του «spectrum commons» περιλαμβάνουν χαμηλά φράγματα εισόδου, πάντα υπάρχει μικρή αβεβαιότητα σχετικά με την πρόσβαση στην μπάντα, χαμηλοί χρόνοι παράδοσης από την καινοτομία στην αγορά, λιγότερη πίεση στις μερίδες άδεια χρήσης του ραδιοφάσματος, της δημιουργικότητας μέσω την ανταλλαγή πληροφοριών και την ποικιλομορφία. Το μοντέλο αυτό μπορεί επίσης να είναι πιο συμβατό με τις διεθνείς προσπάθειες εναρμόνισης και τυποποίησης, καθώς προσφέρει ένα συνεργατικό και όχι ανταγωνιστικό περιβάλλον για τις προδιαγραφές εξοπλισμού (π.χ. οι κατασκευαστές πρώτα συνεργάζονται σε πρότυπα και στη συνέχεια ανταγωνίζονται στις αγορές) [31][32].

3.1.2 Spectrum Markets

Το καθεστώς του “Spectrum commons” προωθεί την ανταλλαγή, αλλά δεν παρέχει επαρκή ποιότητα υπηρεσίας (QoS) για ορισμένες εφαρμογές. Για εφαρμογές που απαιτούν sporadική πρόσβαση στο φάσμα και για τις οποίες οι εγγυήσεις του QoS είναι σημαντικές, η λύση μπορεί να είναι η παροχή άδεια χρήσης του ραδιοφάσματος σε πραγματικό χρόνο για τις δευτερογενείς αγορές (π.χ. Spectrum Markets μοντέλο). Η εμπορική συναλλαγή επιτρέπει στους παίκτες να ανταλλάσσουν απ'ευθείας δικαιώματα χρήσης του ραδιοφάσματος, με αποτέλεσμα τη θέσπιση δευτερογενούς αγοράς για τη μίσθωση του φάσματος και τον πλειστηριασμό φάσματος. Το μοντέλο αυτό έχει δυνατότητα να διευκολύνει τις μικρές εταιρείες να εισέλθουν στην αγορά του ραδιοφάσματος, ενισχύοντας τον ανταγωνισμό και την καινοτομία στον τομέα των ασύρματων τηλεπικοινωνιών. Σε αντίθεση για τις σημερινές χωρίς άδεια ζώνες οι πρωτεύοντες και δευτερεύοντες χρήστες θα συντονιστούν άμεσα, καθιστώντας δυνατή την προστασία QoS. Σε

αυτό το συγκεκριμένο συντονισμό, ο κάτοχος της άδειας τρέχει μηχανισμούς ελέγχου εισόδου, που επιτρέπουν την πρόσβαση σε δευτερεύοντες χρήστες στο φάσμα όταν το QoS πρωτευόντων και δευτερευόντων χρηστών θα είναι ικανοποιητικό. Ο κάτοχος της άδειας χρησιμοποιεί επίσης έναν έξυπνο αλγόριθμο εκχώρησης συχνοτήτων για τον καθορισμό της συχνότητας με τον οποία θα πρέπει ο δευτερεύων χρήστης να λειτουργήσει και επίσης να παρέχει κίνητρα για την αύξηση της οικονομίας. Οι δευτερεύοντες χρήστες ζητούν δυναμικά την πρόσβαση στο φάσμα, όταν είναι απαραίτητο. Η ανταλλαγή του φάσματος στους δευτερεύοντες χρήστες μπορεί να συμβεί μέσω μεσαζόντων, όπως έναν Spectrum Broker. Σε γενικές γραμμές οι μηχανισμοί που ψάχνουν για μια ταιριαστή λύση μεταξύ των πρωτευόντων και δευτερευόντων χρηστών βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στους τύπους των υπηρεσιών, τα χαρακτηριστικά και τα επίπεδα πρόσβασης υπηρεσίας που ζήτησαν οι δευτερεύοντες χρήστες. Οι τύποι πρόσβασης μπορεί να είναι μακροχρόνια μίσθωση, προγραμματισμένη μίσθωση και βραχυπρόθεσμη μίσθωση. Κάθε τύπος απαιτεί διαφορετικούς μηχανισμούς ανακάλυψης και εφαρμόζεται με διαφορετικά επίπεδα συμφωνίας παροχής υπηρεσιών[32].

3.2 Μοντέλα & Αρχιτεκτονικές Dynamic Spectrum Sharing

Η κοινή χρήση φάσματος, η οποία επιτρέπει σε πολλούς secondary χρήστες να έχουν πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο, ώστε να επιτυγχάνουν τους στόχους τους, είναι ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα των CR. Η δυναμική αρχιτεκτονική πρόσβασης στο φάσμα μπορεί να είναι είτε κεντριοποιημένη είτε κατανεμημένη, καθώς τα αντίστοιχα πρωτόκολλα θα εξαρτηθούν από την συμπεριφορά (δηλαδή, συνεργασία ή μη-συνεργασία) των φορέων CR. Σε μια κεντριοποιημένη αρχιτεκτονική ενός κεντρικός controller συλλέγει πληροφορίες (για παράδειγμα, ευκαιρία φάσματος, ζήτηση φάσματος) και παίρνει μια απόφαση σχετικά με την πρόσβαση στο φάσμα(δηλ., εκχώρηση εύρους ζώνης και μετάδοση κατανομής ισχύος).Παρά το γεγονός ότι η βέλτιστη λύση μπορεί να έχει επιτευχθεί (π.χ., η οποία μεγιστοποιεί τα έσοδα του primary φορέα υπηρεσιών ή / και την χρησιμότητα των secondary χρηστών), αυτό μπορεί να γίνει μέσω ενός μεγάλου overhead. Επίσης, η ανάπτυξη ενός κεντριοποιημένου controller μπορεί να είναι ανέφικτο σε ορισμένα σενάρια (π.χ., σε ad hoc ή sensor networking). Από την άλλη, σε μία κατανεμημένη αρχιτεκτονική στους CR φορείς θα παρατηρεί και θα λαμβάνει αποφάσεις ανεξάρτητα. Αλγόριθμοι εκτίμησης και εκμάθησης απαιτούνται για να διανέμεται δυναμική πρόσβαση του φάσματος σε ένα τέτοιο περιβάλλον[33].

Σε περιβάλλον μη-συνεργασίας, οι φορείς CR λαμβάνουν ατομικά αποφάσεις για την επίτευξη των επιμέρους στόχων τους. Αυτή η συμπεριφορά είναι κοινή σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον (π.χ., όπου primary χρήστες ανταγωνίζονται για να πωλήσουν spectrum opportunities σε secondary χρήστες).Αντίθετα μπορούν να συνεργάζονται οι φορείς CR μεταξύ τους για να αποκτήσουν την καλύτερη λύση για όλους. Τα οφέλη της συνεργασίας μπορούν να επιτευχθούν μέσω κεντριοποιημένης βελτιστοποίησης ή διαπραγματεύση μεταξύ των φορέων CR. Σε μια προσέγγιση βασισμένη στην βελτίωση, ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης πρέπει να διατυπώνεται και να επιλύεται για να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση (π.χ., primary χρήστες συνεργάζονται για να επιλέξουν τις τιμές του φάσματος για την επίτευξη των υψηλότερων εσόδων). Με τη συνεργασία μέσω διαπραγματεύσεων, οι φορείς CR μπορούν να διαπραγματεύονται για τους περιορισμένους πόρους καθώς και για την επίτευξη δίκαιης και αποτελεσματικής λύσης (π.χ., στην αποτελεσματική ένας χρήστης δεν μπορεί να αυξήσει το πλεονέκτημα του χωρίς να υποβαθμίσει

το όφελος των άλλων). Τελικά, η συνεργασία προκαλεί μεγαλύτερη επιβάρυνση της επικοινωνία από μη-συνεργασία[33].

Οι διάφορες αρχιτεκτονικές δικτύων για CR μπορεί να περιγράφουν ως εξής:

Centralized cooperative dynamic spectrum access: Σε μια κεντροκοιμημένη συνεταιριστική δυναμικής αρχιτεκτονικής φάσματος, ένας κεντρικός ελεγκτής (π.χ., ιδιοκτήτης του φάσματος) συγκεντρώνει πληροφορίες για CR περιβάλλον. (π.χ., spectrum opportunity, spectrum demand). Στη συνέχεια, με βάση τις πληροφορίες ολόκληρου του δικτύου, η απόφαση λαμβάνεται έτσι ώστε να επιτυγχάνονται οι στόχοι όλων των φορέων

Centralized noncooperative dynamic spectrum access: Με τα πλήρη στοιχεία του δικτύου στον κεντρικό ελεγκτή, η λύση για δυναμική πρόσβαση σε φάσμα του non-cooperative περιβάλλον μπορεί να εξακριβωθεί αν ικανοποιεί όλους φορείς CR (δηλαδή, κανείς δεν μπορεί να επιτευχθεί μια καλύτερη λύση από την αλλαγή του / της δράση)[34].

Distributed cooperative dynamic spectrum access: Σε ένα καταναμημένο δυναμικό φάσμα πρόσβασης, δεν υπάρχει κεντρικός ελεγκτής, καθώς και όλοι οι φορείς CR πρέπει να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση μόνο στις τοπικές πληροφορίες. Με τη συνεργασία μεταξύ των CR φορέων, τις επιδόσεις CR σε ένα καταναμημένο περιβάλλον μπορούν να βελτιωθούν όσον αφορά τόσο την αποτελεσματικότητα όσο και την δικαιοσύνης [35]. Ωστόσο, η σηματοδότηση και η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των φορέων θα προκαλούσε overhead.

Distributed noncooperative dynamic spectrum access: Αυτή η καταναμημένη non-cooperative αρχιτεκτονική είναι κοινή για CR δίκτυα, στην οποία δεν υπάρχει διαθέσιμη πληροφόρηση των φορέων CR. Επίσης, ο φορέας μπορεί να έχει ατομικό συμφέρον, συνεπώς, η συνεργασία μπορεί να μην είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί[33].

3.3 Δομή του Spectrum Trading

Single Seller: Μονοπώλιο-- Η πιο απλή δομή της εμπορίας φάσματος προκύπτει όταν υπάρχει ένας μόνο πωλητής στο σύστημα. Δεδομένου ότι υπάρχει μόνο ένας πωλητής σε αυτή τη διάρθρωση της αγοράς, ο πωλητής μπορεί να βελτιστοποιήσει την εμπορία του φάσματος για την επίτευξη του υψηλότερου κέρδους με βάση τη ζήτηση από τους αγοραστές. Με αυτή την διάρθρωση της αγοράς μπορεί να είναι είτε seller-driven ή buyer-driven. Στην πρώτη περίπτωση, ο πωλητής καθορίζει την τιμή και να μεταδίδει τις πληροφορίες για διαθέσιμου φάσματος. Ο αγοραστής καθορίζει την ζήτηση φάσματος και πληρώνει για να αγοράσει το φάσμα. Τα βήματα αυτά μπορούν να εκτελούνται είτε μονομιάς είτε επαναλαμβανόμενα. Στην πρώτη περίπτωση, μετά τα αιτήματα αγοράς του φάσματος και την πληρωμή, η συναλλαγή έχει ολοκληρωθεί. Στην τελευταία περίπτωση, ο αγοραστής και ο πωλητής μπορεί να διαπραγματευθούν επανειλημμένα σχετικά με την τιμή και με το ζητούμενο φάσμα έως ότου βρεθεί η επιθυμητή λύση και για τους δύο. Εναλλακτικά, η αγορά μπορεί να είναι buyer-driven όταν ο αγοραστής προτείνει την τιμή και προσδιορίζει το απαιτούμενο φάσμα. Ο πωλητής επιλέγει ο αγοραστής με το καλύτερο κίνητρο και συνέχεια κατανέμει το φάσμα αναλόγως. Πρόκειται για τον αποκαλούμενο πλειστηριασμό. [33][34][36].

Multiple Sellers: Ολιγοπώλιο -- Η δομή αυτής της αγοράς αποτελείται από πολλούς πωλητές, οι οποίοι προσφέρουν φάσμα στην αγορά. Ο αγοραστής έχει την επιλογή να επιλέξει την καλύτερη προσφορά για να μεγιστοποιήσει την ικανοποίησή του τόσο όσον επιδόσεις όσο και την τιμή. Η αγορά αυτή είναι αναφέρεται ως ολιγοπώλιο, και ο πωλητής σε αυτή την αγορά ονομάζεται ολιγο-πωλητής . Αν οι πληροφορίες σχετικά με όλους τους πωλητές είναι διαθέσιμες, η διαπραγμάτευση μπορεί να γίνει μονομιάς. Ωστόσο, εάν οι πληροφορίες δεν είναι διαθέσιμες (η οποία είναι η συνηθισμένη η περίπτωση), απαιτείται η διαπραγμάτευση μεταξύ ενός αγοραστή και ενός πωλητή για την επίτευξη της λύση (π.χ., ο πωλητής κερδίζει το υψηλότερο κέρδος και / ή ο αγοραστής λαμβάνει την υψηλότερη ικανοποίηση σε ένα ανταγωνιστικό σενάριο)[33].

No Permanent Seller: Αγορά Ανταλλαγής -- Σε αυτή την δομή αγοράς δεν υπάρχει μόνιμος πωλητής φάσματος (όπως στο δημόσιο μοντέλο commons), και όλοι οι χρήστες έχουν το δικαίωμα να έχουν πρόσβαση στο φάσμα. Ωστόσο, εάν ένας συγκεκριμένος χρήστης απαιτεί να έχει μεγαλύτερο μερίδιο φάσματος από κάποιον άλλο χρήστη οι άλλοι χρήστες θα πρέπει να αποζημιωθούν. Για παράδειγμα, ένας χρήστης που νοικιάζει ενδέχεται να αποτελέσει κίνητρο για έναν χρήστη leasing και να έχει πρόσβαση στο φάσμα, με ιδιαίτερα δικαιώματα (π.χ., ισχυρότερη από το μέσο μετάδοσης) για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Όταν ένας χρήστης που νοικιάζει μπαίνει στο φάσματος με ιδιαίτερα δικαιώματα, δίνεται credit στον leasing χρήστη. Κατόπιν, όταν είναι απαραίτητο, ο χρήστης leasing μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτό το credit ώστε να έχει πρόσβαση στο φάσμα ως ενοικιαστής χρήστης με ειδικά δικαιώματα, ενώ κάποιος άλλος χρήστης γίνεται leasing[33]

3.4 Θέματα Συζήτησης στο Spectrum Trading

Spectrum Pricing : Η τιμή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εμπορία του φάσματος, δεδομένου ότι δείχνει την αξία του φάσματος, τόσο για τον πωλητή και όσο και για τον αγοραστή. Για τον αγοραστή, η τιμή που καταβάλλεται στον πωλητή του φάσματος θα εξαρτηθεί από την ικανοποίηση που επιτεύχθηκε μέσω της χρήσης του εν λόγω φάσματος. Για τον πωλητή του φάσματος, η τιμή καθορίζει τα έσοδα του, επομένως το κέρδος. Αν το φάσμα των τιμών είναι υψηλό, η ικανοποίηση του αγοραστή είναι μειωμένη, ενώ τα έσοδα του πωλητή είναι αυξημένα. Η τιμή φάσματος θα πρέπει να καθορίζεται με βάση το φάσμα ζήτησης του αγοραστή και της προσφοράς του φάσματος από τον πωλητή. Επίσης, ο ανταγωνισμός μεταξύ των αγοραστών / πωλητών θα αντίκτυπο καθορισμό των τιμών. Παραδείγματα φάσματος χορήγηση και την τιμολόγηση στα CR δίκτυα μπορούν να βρεθούν στο [33][37][38]

Spectrum Supply and Cost of Spectrum Sharing: Στην μικροοικονομική θεωρία, για μια δεδομένη τιμή, η λειτουργία της προσφοράς καθορίζει το ποσό πόρων που θα πωλείται από τον πωλητή. Ομοίως, στην εμπορία φάσματος, για μια δεδομένη τιμή, το φάσμα προσφοράς καθορίζει τις παραμέτρους μετάδοσης για τον αγοραστή φάσματος για να έχει πρόσβαση στο φάσμα. Σε ένα wireless cognitive σύστημα αυτή η προσφορά του φάσματος μπορεί να είναι από την άποψη του αριθμού των καναλιών συχνότητας (π.χ., frequency-division multiple access

[FDMA] συστήματα), ο αριθμός του διαθέσιμου χρόνου (π.χ., με time-division multiple access [TDMA] συστήματα), ή δύναμη μετάδοσης (π.χ., code-division multiple access [CDMA] συστήματα) που η τιμή που χρεώνεται στον αγοραστή. Αυτή η προσφορά φάσματος μπορούν να προκύψει με βάση την μεγιστοποίηση του κέρδους, το οποίο ορίζεται ως έσοδα μείον το κόστος (ή ζημίες που προκύπτουν λόγω επιμερισμού του φάσματος). Υπάρχουν δύο είδη κόστους: σταθερό και μεταβλητό. Ενώ το σταθερό κόστος γεννάται λόγω των επενδύσεων σε υποδομές, το μεταβλητό κόστος που υφίστανται λόγω της υποβάθμισης των επιδόσεων προκύπτει από την ανταλλαγή / πώληση του φάσματος (π.χ., υψηλότερη σύνδεση κλειδίωμα πιθανότητα, υψηλότερη καθυστέρηση, ή υψηλότερο επίπεδο παρεμβολών).

Utility Function and Spectrum Demand: Για μια δεδομένη τιμή, η λειτουργία της ζήτησης καθορίζει το ποσό των πόρων που θα αγοραστεί από τον αγοραστή. Στην εμπορία φάσματος, η ζήτηση του καθορίζει το ποσό του φάσματος που θέλει να έχει πρόσβαση σε συγκεκριμένη τιμή ο αγοραστής, έτσι ώστε η ικανοποίησή του μεγιστοποιείται. Ανάλογα με την απαίτηση του αγοραστή, διαφορετικοί τύποι λειτουργίας κοινής ωφέλειας (π.χ., σε λογαριθμική ή sigmoid λειτουργία του ποσοστού μετάδοσης) μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η λειτουργία της ζήτησης φάσματος μπορεί να προκύψει με βάση μεγιστοποίηση της χρησιμότητας των secondary χρηστών για μια δεδομένη τιμή.

Competition and Cooperation in Spectrum Sharing: Όταν είναι περισσότεροι του ενός φορείς εμπλέκονται στην εμπορία φάσματος (π.χ., πολλαπλή πωλητές ή πολλαπλές αγοραστές), οι φορείς αυτοί μπορούν να ανταγωνιστούν ή να συνεργαστούν μεταξύ τους για να επιτύχουν τους στόχους τους. Ο ανταγωνισμός που προκύπτει όταν καθένας από τους φορείς έχει το ενδιαφέρον για τον εαυτό του και είναι λογικό να ενδιαφέρεται για την μεγιστοποίηση των οφελών του. Ανταγωνισμός μπορεί να είναι μεταξύ πολλών πωλητών φάσματος για να προσελκύσει περισσότερους αγοραστές ή μεταξύ των αγοραστών του φάσματος για την απόκτηση καλύτερης ποιότητας / ποσότητας του φάσματος με την χαμηλότερη δυνατή τιμή. Ωστόσο, ο ανταγωνισμός μπορεί να μην έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη λύση για τους φορείς συμμετέχουν στον ανταγωνισμό, καθώς και μια οντότητα εκτός του ανταγωνισμού μπορεί να έχει μεγαλύτερο όφελος. Ας εξετάσουμε ένα διαγωνισμό μεταξύ πωλητών φάσματος όπου μειώνουν την τιμή του φάσματος για να προσελκύσει περισσότερους αγοραστές. Με αυτή την τιμή λόγω ανταγωνισμού, ο πωλητής (δηλαδή, ο φορέας που συμμετέχει στον ανταγωνισμό), πάντα χάνει σε κέρδος, ενώ ο αγοραστής (δηλαδή, οντότητα εκτός του ανταγωνισμού) έχει πλεονέκτημα λόγω χαμηλότερης τιμής. Συνεπώς, οι φορείς που εμπλέκονται στην εμπορία του φάσματος μπορεί να έχουν επιλογή να συνεργαστούν ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη λύση. Στο παραπάνω παράδειγμα οι πωλητές μπορούν να συνεργαστούν για να αυξηθούν οι τιμές, ώστε να αποκομίσει κάποιο υψηλότερο κέρδος από ότι στην περίπτωση του ανταγωνισμού.

Microeconomic Approach: Η Μικροοικονομική Θεωρία μπορεί να εφαρμοστεί στην εμπορία του φάσματος, όπου υπάρχουν δύο μεγάλες οντότητες ο πωλητής και ο αγοραστής. Η λύση της προσέγγισης αυτής, βασίζεται στην ισορροπία της αγοράς, που χαρακτηρίζει μια τιμή για την οποία, το φάσμα ζήτησης ισούται με την προσφορά φάσματος. Σύμφωνα με την ισορροπία της αγοράς, τόσο το κέρδος του πωλητή όσο και η ικανοποίηση αγοραστής μεγιστοποιείται. Ένα παράδειγμα αυτής μικροοικονομική προσέγγιση στο φάσμα /εύρος ζώνης συναλλαγών παρουσιάστηκε στο [39], όπου υπήρχε ιεραρχική κατανομή εύρους ζώνης σε ένα private commons μοντέλο. Σε αυτό το ιεραρχικό μοντέλο ένας primary χρήστης πωλεί το φάσμα σε

έναν secondary χρήστη, και στη συνέχεια, ο secondary χρήστης μπορεί να πωλήσει το καταναμημένο φάσμα σε έναν tertiary χρήστη. Η ισορροπία της αγοράς βασίζεται στην ζήτηση εύρους ζώνης. Η λύση είναι η παροχή. Επιπλέον, προτάθηκε ένας καταναμημένος αλγόριθμος για το οποίο η λύση συγκλίνει προς την ισορροπία της αγοράς.

Classical Optimization Approach: Μια κλασική σύνθεση βελτιστοποίησης αποτελείται από ένα στόχο που μεγιστοποιείται / ελαχιστοποιείται και ένα σύνολο περιορισμών. Διάφορες τεχνικές (π.χ., γραμμικός προγραμματισμός) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξασφαλίσουμε την βέλτιστη λύση. Ένα κλασικό πρόβλημα βελτιστοποίησης μπορεί να διατυπωθεί από τους φορείς ελέγχου (π.χ., ιδιοκτήτης του φάσματος) για την εμπορία του φάσματος ώστε να μεγιστοποιηθεί το κέρδος του ιδιοκτήτη του προσαρμόζοντας την τιμή του φάσματος. Ένας περιορισμός σε αυτή διατύπωση θα ήταν να διατηρηθεί η ποιότητα της μετάδοσης στο επιδιωκόμενο επίπεδο. Επίσης, το πρόβλημα μπορεί να διατυπωθεί έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η χρήση των χρηστών cognitive (στο δημόσιο μοντέλο Commons) με την προσαρμόζοντας την ισχύ εκπομπής διαβιβάζει την εξουσία. Ένα παράδειγμα αυτής της κλασικής προσέγγισης βελτιστοποίησης για την εμπορία του φάσματος μπορεί να βρεθεί στο [40]. Στο σύστημα μοντέλου που θεωρείται στο [40], πολλαπλοί cognitive χρήστες ζητούν φάσμα, το οποίο βασίζεται τμηματική γραμμική ζήτησης τιμών (PLPD), στον ιδιοκτήτη του φάσματος. Ο ιδιοκτήτης του φάσματος διαμορφώνει ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης για να μεγιστοποιήσει τα έσοδα βάσει του περιορισμού των παρεμβολών.

Non-cooperative Game: Η κλασική προσέγγιση βελτιστοποίησης βασίζεται σε μια ενιαία λειτουργία όπου στόχος είναι η λύση του οποίου είναι το σοφό-σύστημα βέλτιστη για μία οντότητα. Ωστόσο, σε ένα περιβάλλον non-cooperative οι διάφορες οντότητες που εμπλέκονται, και έχουν διαφορετικά (και πιθανόν αντικρουόμενα) συμφέροντα. Αυτή η κατάσταση μπορεί να αναλυθεί με τη χρησιμοποίηση της θεωρίας των παιγνίων. Σε γενικές γραμμές ένα αποτελείται από παίκτες (π.χ., γνωστικές οντότητες ραδιόφωνο), ενέργειες των παικτών, καθώς και η εξοφλήσεις των παίκτες για δεδομένες δράσεις. Για παράδειγμα, το Spectrum trading, πολλαπλοί primary χρήστες (δηλαδή, παίκτες) προσφορές τιμής (δηλαδή, δράσεις) για την πώληση του φάσματος σε secondary χρήστες που προτίθενται να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους(εν μέσω πληρωμών).

Bargaining Game: Ένα παιχνίδι διαπραγμάτευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου οι παίκτες μπορούν να συνεργαστούν, και ένας παίκτης μπορεί να επηρεάσει τη δράση των άλλων παικτών στην εμπορία του φάσματος. Μέσα αυτό το παιχνίδι οι παίκτες μπορούν να διαπραγματεύονται μεταξύ τους. Μια γενική λύση των παιχνιδιών διαπραγμάτευσης είναι η λύση Nash, η οποία μπορεί διασφαλίζει την αποτελεσματικότητα και την δικαιοσύνη. Ένα παράδειγμα παιχνιδιού διαπραγμάτευσης για την κατανομή των εσόδων μπορεί να βρεθεί στο [41]. Κάθε radio access network (RAN), διαθέτει ένα φάσμα. Ωστόσο, σε μια δεδομένη στιγμή τα διαθέσιμο φάσμα μπορεί να μην είναι αρκετό για να εξυπηρετεί όλους τους χρήστες σε ένα συγκεκριμένο RAN. Ως εκ τούτου, αυτό το RAN μπορεί να διαπραγματευθεί με άλλους για την μίσθωση πρόσθετου φάσματος.

Auction: Μια αποτελεσματική προσέγγιση στο spectrum trading είναι να χρησιμοποιήσει τη διαδικασία πλειστηριασμού. Η δημοπρασία εκτελείται από τους αγοραστές οι οποίοι υποβάλλουν τις προσφορές τους σε ένα πωλητή. Ο πωλητής αποφασίζει σε ποιο βαθμό και σε

ποιον θα πωλήσει το φάσμα. Αυτή η δημοπρασία είναι κατάλληλη για μια κατάσταση όπου η τιμή των πόρων είναι απροσδιόριστη και είναι μεταβλητή με απαιτήσεις των αγοραστών. Για παράδειγμα, σε έναν πλειστηριασμό, όλοι οι αγοραστές ταυτόχρονα υποβάλουν τις τιμές προσφοράς. Στη συνέχεια η νίκη του αγοραστή καθορίζεται από το ποιος πληρώνει την υψηλότερη τιμή. Ένα παράδειγμα του πλειστηριασμού, στο πλαίσιο της εμπορίας του φάσματος μπορεί να βρεθεί στο [36], όπου προτάθηκε ένας μηχανισμός για τη δημοπρασία δυναμικής κατανομής φάσματος. Αυτή η κατανομή ήταν μεταξύ φορέων CDMA των οποίων οι προσφορές για το φάσμα γίνονται από ένα διαχειριστή του φάσματος. Η τιμή προσφοράς κάθε φορέα καθορίστηκε βασισμένη στη μεγιστοποίηση εισοδήματος λόγω δυναμικής κατανομής μεταξύ των χρηστών. Οι φορείς καταθέτουν προσφορά για αυτά τα κανάλια, και ο φορέας που νίκησε καταβάλλει την δεύτερη υψηλότερη τιμή (δηλαδή, η δεύτερη προσφορά τιμής) στον υπεύθυνο φάσματος[33].

4 DVB-H με Cognitive Ιδιότητες

4.1 Το πρότυπο DVB-H

4.1.1 Γενικά

Το Digital Video Broadcasting-Handheld (DVB-H) είναι ένα από τα πιο σύγχρονα πρότυπα διαβίβασης που αναπτύχθηκε από το Digital Video Broadcasting(DVB) Project. Το DVB-H το οποίο βασίζεται στο πρότυπο για την επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (DVB-T) , προσφέρει κινητή τηλεόραση και άλλες υπηρεσίες ραδιοτηλεοπτικών μεταδόσεων για μικρές φορητές συσκευές όπως τα κινητά τηλέφωνα κτλ. Το παρακάτω υποκεφάλαιο παρουσιάζει μια σύντομη επισκόπηση του DVB-H όσον αφορά την βασική δομή του και τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας αυτής [42].



Εικόνα 14 Παράδειγμα DVB-H

4.1.2 Κίνητρο (Motivation)

Ο αριθμός των χαρακτηριστικών που ενσωματώνονται σε ένα κινητό τερματικό-τηλέφωνο αυξήθηκε σημαντικά με την πάροδο του χρόνου. Σήμερα τα κινητά τηλέφωνα προσφέρουν υπηρεσίες πολύ πέρα από την ομιλία και τείνουν να γίνουν κινητοί σταθμοί πολυμέσων. Έτσι είναι αναμενόμενο και τηλεοπτικές υπηρεσίες να προσφέρονται σε αυτές τις συσκευές. Η

πρόσβαση σε τηλεόραση και βίντεο σε ένα κινητό τηλέφωνο είναι ήδη δυνατή μέσω του universal mobile telecommunications system (UMTS), αλλά αυτή η λύση μπορεί να είναι δυσμενείς λόγω έλλειψης διαθέσιμου Data Rate καθώς και όσον αφορά το ποσό της κίνησης του δικτύου που παράγεται από τις πολλές απαιτούμενες point to point συνδέσεις. Μία πιο αποτελεσματική λύση είναι η μεταφορά του βίντεο στα τερματικά μέσω ενός κλασσικού δικτύου broadcast, όπως αυτό της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης. Το πρότυπο της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης DVB-T είναι ήδη σε λειτουργία σε πολλές χώρες του κόσμου. Τα οφέλη από αυτό το ισχυρό σύστημα επίγειας μετάδοσης προσέλκυσαν το ενδιαφέρον της κινητής βιομηχανίας. Λόγοι για αυτό το ενδιαφέρον είναι τα χαρακτηριστικά που προσφέρονται από το DVB-T, όπως η ικανότητα επικοινωνίας με τα τερματικά μέσω ασύρματης point to multipoint σύνδεσης (χρήσιμο κυρίως όταν υπάρχει ευρεία γεωγραφική κάλυψη). Το Διεθνές πρόγραμμα DVB ανταποκρίθηκε σε αυτό το ενδιαφέρον με τον καθορισμό του νέου DVB-H το οποίο είναι ένα spin-off του DVB-T με τις ανάγκες φορητών δεκτών[42].

4.1.3 Απαιτήσεις-Στόχοι (Objectives)

Πριν τελειώσει η ανάπτυξη του πρότυπου DVB-H είχαν συλλεχθεί ορισμένες απαιτήσεις. Η πιο σημαντική από αυτές τις απαιτήσεις είναι ότι το DVB-H θα πρέπει να προσφέρει broadcast υπηρεσίες σε κινητά τερματικά οι οποίες θα συμπεριλαμβάνουν streaming ήχου και βίντεο σε καλή ποιότητα. Τέτοιες συσκευές έρχονται με ενσωματωμένες κεραίες, οι οποίες έχουν χαμηλό κέρδος και ως εκ τούτου ενδέχεται η μετάδοση σφαλμάτων. Επίσης ακόμη μια απαίτηση είναι η δυνατότητα πρόσβασης των υπηρεσιών σε εσωτερικούς-εξωτερικούς χώρους και σε τερματικά τα οποία κινούνται εκείνη την στιγμή. Είναι γνωστό ότι στις κινητές λήψεις μπορούν να υπάρχουν πολλά είδη παρεμβολών. Για αυτό τον λόγο το DVB-H ενέκρινε ισχυρή διόρθωση λάθους. Το DVB-H έχει σχεδιαστεί για κανάλια στις συχνότητες των (VHF/UHF). Δεδομένου ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι κινητές συσκευές δεν έχουν εξωτερική τροφοδοσία, το DVB-H ήταν υποχρεωμένο να υιοθετήσει μια τεχνολογία time-multiplexing, η οποία οδηγεί σε χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Μεταβιβάσεις μεταξύ γειτονικών κελιών πρέπει να γίνονται ανεπαίσθητα προς τον χρήστη κατά την μετακίνηση του σε μεγάλες αποστάσεις. Επιπλέον το DVB-H θα πρέπει να είναι συμβατό με το DVB-T, επιτρέποντας την μετάδοση DVB-H και DVB-T με το ίδιο multiplex χρησιμοποιώντας έτσι τις ήδη υπάρχουσες υποδομές του DVB-T [42].

4.1.4 Οργανισμός Έκδοσης & Πρόγραμμα

Ο πρώτος ορισμός του προτύπου DVB-H εμφανίστηκε το 2004 από το DVB Project, το οποίο είναι μια βιομηχανία που αποτελείται από περισσότερους των 260 ραδιοτηλεοπτικών φορέων, κατασκευαστών, φορέων δικτύων, κατασκευαστών λογισμικού και άλλους φορείς οι οποίοι έχουν δεσμευτεί να κατασκευάσουν global standards για ψηφιακή τηλεόραση και υπηρεσίες δεδομένων. Το πρότυπο δημοσιεύθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιών(ETSI) ως ευρωπαϊκό πρότυπο EN 302 304 τον Νοέμβριο του 2004 [42].

4.1.5 Εφαρμογές Χρήσης

Η κύρια εφαρμογή που καλύπτει το DVB-H είναι η παράδοση της κινητής τηλεόρασης για μεγάλα ακροατήρια. Σε αυτή την εφαρμογή το τερματικό χρησιμοποιείται σαν τηλεοπτικός δέκτης με την δυνατότητα επιλογής καναλιού. Με το DVB-H όλοι οι καταναλωτές μιας υπηρεσίας μοιράζονται τους ίδιους πόρους, έτσι αποφεύγουμε τα προβλήματα υπερφόρτωσης του δικτύου. Αντίθετα στην 3G τεχνολογία(που επίσης παρέχει υπηρεσίες κινητής τηλεόρασης) χρησιμοποιείται unicast σύστημα επικοινωνίας. Αυτό προϋποθέτει την κατανομή των πόρων επικοινωνίας για κάθε καταναλωτή ξεχωριστά, το οποίο εύκολα μπορεί να οδηγήσει σε υπερφόρτωση του δικτύου.

Επίσης οι συνδρομητές του DVB-H μπορούν να έχουν πρόσβαση διαφόρων πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, σχετικά με αθλητισμό, πολιτικά ή άλλα γεγονότα. Αυτό είναι δυνατό μέσω της εκπομπής notifications που αποστέλλονται στους συνδρομητές ανάλογα με τις προτιμήσεις τους. Το DVB-H επιτρέπει την χρήση διαδραστικών υπηρεσιών πολυμέσων για τα τερματικά που είναι εξοπλισμένα με κανάλι επιστροφής μέσω point to point δικτύου, όπως είναι το GPRS και το UMTS. Οι διαδραστικές υπηρεσίες περιλαμβάνουν streaming media, εφαρμογές παιχνιδιών όπως κουίζ ή διαδικτυακά παιχνίδια σε πραγματικό χρόνο και κατέβασμα εφαρμογών όπου το περιεχόμενο αποθηκεύεται στο τερματικό για περαιτέρω χρήση. Το περιεχόμενο του κατεβάσματος μπορεί να είναι γενικού ενδιαφέροντος, ομαδικού ενδιαφέροντος και μεμονωμένου ενδιαφέροντος. Όλοι αυτοί οι τύποι περιεχομένου μπορεί να είναι είτε δωρεάν είτε να αγοράζονται ανά τεμάχιο [42].

4.1.6 Δομή

Το σύστημα του DVB-H βασίζεται σε μια οικογένεια προτύπων:

- το πρότυπο DVB-T το οποίο ορίζει το φυσικό επίπεδο μετάδοσης του DVB-H
- το DVB Data Broadcast πρότυπο το οποίο περιλαμβάνει νέα εργαλεία για το link layer που χρησιμοποιείται στο DVB-H
- το DVB Service Information(SI) το οποίο καθορίζει τον τρόπο πρόσβασης των υπηρεσιών του DVB-H
- το DVB Signal Frequency Network Megaframe πρότυπο το οποίο καθορίζει τον συγχρονισμό των επίγειων single frequency δικτύων με διάφορους πομπούς [42].

4.1.7 Τεχνολογία

4.1.7.1 Functionalities

Το DVB-H επεκτείνει την σύνδεση κινητών τερματικών, όπως κινητά τηλέφωνα και PDAs. Συγκεκριμένα, το DVB-H προσφέρει δυναμική, αποδοτική και ισχυρή λήψη ψηφιακών broadcasting υπηρεσιών, όπως η κινητή τηλεόραση και άλλες broadcasting υπηρεσίες για μικρές φορητές συσκευές.

Χαρακτηριστικά του DVB-H είναι ένα High Capacity downstream κανάλι, Internet Protocol (IP) interface, δυνατή προστασία ενάντια στα σφάλματα μετάδοσης και μεγάλη διάρκεια της μπαταρίας στο κινητό τερματικό. Σαν broadcast τεχνολογία παρέχει υπηρεσίες οι οποίες συνήθως καταναλώνονται από πολλούς συνδρομητές ταυτόχρονα, το DVB-H αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο σε σχέση με τις άλλες ασύρματες unicast τεχνολογίες, όπως το UMTS για παράδειγμα. Το ευρυζωνικό downstream κανάλι διαθέτει ένα χρήσιμο ρυθμό δεδομένων από 3,32Mb/s μέχρι και 31,67Mb/s [42].

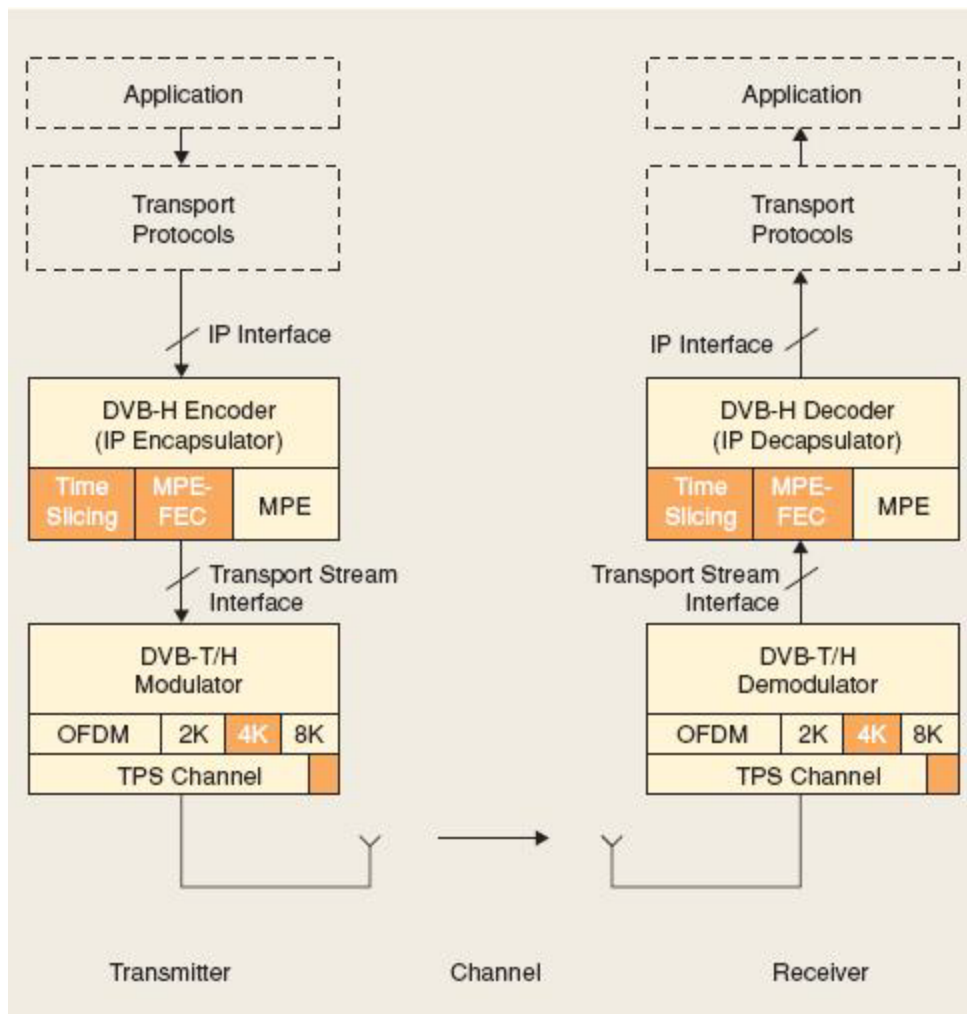
4.1.7.2 Αρχιτεκτονική

Όπως αναφέρθηκε και πιο πριν το PHY του DVB-H βασίζεται στο πρότυπο DVB-T, το οποίο καθορίζει το framing structure, κωδικοποίηση καναλιού, διαμόρφωση, παραμέτρους σηματοδότησης TPS(transmission parameter signaling) και το εκτός ζώνης spectrum mask. Το DVB-H και το DVB-T υποστηρίζουν εύρος ζώνης καναλιού των 5, 6, 7 και 8 MHz στα VHF, UHF και L-Band, έτσι μπορούν να προσαρμοστούν στις ρυθμίσεις της κάθε χώρας. Τα χαρακτηριστικά του PHY του DVB-H επιτρέπουν την ανάπτυξη σε multiple frequency δίκτυα και single frequency δίκτυα. Οι στόχοι του είναι: αποτελεσματική χρήση του ραδιοφάσματος, αύξηση της περιοχής κάλυψης και η μείωση της πιθανότητας διακοπής του σήματος.

Το DVB-H αναβαθμίζει το πρότυπο DVB-T με: ένα επεκταμένο TPS (transmission parameter signaling), με μια προαιρετική λειτουργία διαμόρφωσης (4K mode), ένα καινούριο time slicing σύστημα που έχει σκοπό την μείωση της κατανάλωσης του τερματικού και με ένα σύστημα διόρθωσης λαθών το (MPE-FEC) [42].

4.1.7.3 Εργαλεία

Τα στοιχεία μετάδοσης του DVB-H εμφανίζονται στην Εικόνα 14. Στην παρακάτω εικόνα τα στοιχεία τα οποία δεν καλύπτονται από προηγούμενα πρότυπα DVB επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα. Παρακάτω κάνουμε μια πολύ μικρή περίληψη από τα εργαλεία που προσφέρονται από το DVB-H.



Εικόνα 15 Στοιχεία του DVB-H

Το πρότυπο προσφέρει μια μέθοδο εξοικονόμησης ενέργειας για μεγαλύτερη διάρκεια της μπαταρίας γνωστή σαν time slicing, το οποίο αποτελεί ένα μέσο για να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας σε ένα DVB-H δέκτη με την βοήθεια της διαλείπουσας μεταφοράς και βασισμένη στην ρύθμιση του time-multiplexing. Τα δεδομένα της κάθε υπηρεσίας μεταδίδονται περιοδικά με την μορφή “έκρηξεων”. Κάθε υπηρεσία παραμένει αδιαβίβαστη για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε ο δέκτης να “απενεργοποιηθεί” προσωρινά. Ο χρόνος μέχρι την επόμενη “έκρηξη” γεφυρώνεται με την τεχνική του buffering δεδομένων. Αυτή η μέθοδος έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον το time slicing επιτρέπει την χωρίς απώλειες παράδοση(στην οποία ένα τερματικό εναλλάσσει συχνότητες χωρίς να χάσει την υπηρεσία δεδομένων).

Για αξιόπιστη λήψη κάτω από κακές συνθήκες, το πρότυπο κάνει χρήση ενισχυμένης προστασίας λαθών MPE-FEC στο link layer. Το MPE-FEC συνδυάζει Reed Solomon κωδικοποίηση με επεκταμένο χρόνο παρεμβολής της ροής δεδομένων. Το MPE-FEC είναι συνδυασμένο με το time slicing.

Επιπλέον το stream δεδομένων του DVB-H είναι πλήρως συμβατό με MPEG-2 streams. Αυτή η ιδιότητα εγγυάται ότι ροές δεδομένων DVB-H μπορούν να γίνουν είτε μέσω δικτύων τα οποία είναι εξολοκλήρου αφιερωμένα στο DVB-H, καθώς και μέσω DVB-T δίκτυα, μεταφέροντας DVB-H υπηρεσίες εκτός των κλασσικών τηλεοπτικών υπηρεσιών. Για αυτό το λόγο βασικές τεχνολογίες όπως το time slicing και το MPE-FEC, είναι σκόπιμα τοποθετημένες ανωτέρω του MPEG-2 transport stream όπως φαίνεται στην Εικόνα 14.

Το DVB-H χρησιμοποιεί OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) και συνεκτική QPSK, 16QAM ή 64QAM διαμόρφωση [42].

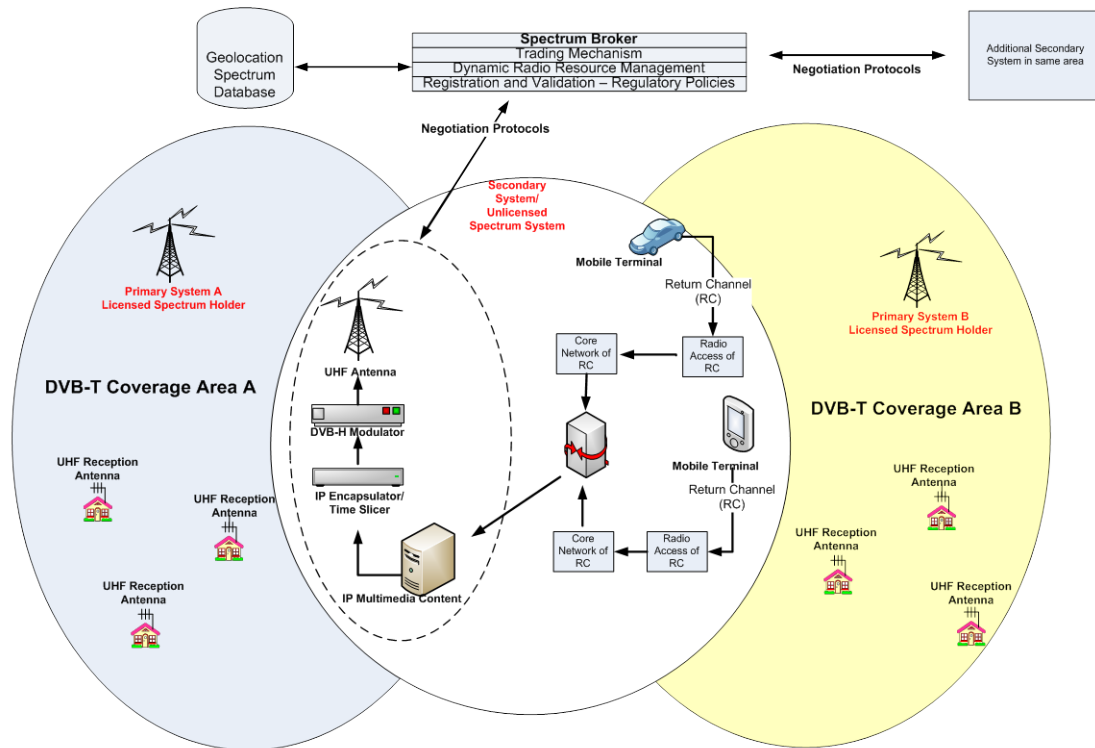
4.2 Δίκτυο Κινητής Τηλεόρασης με Cognitive Ιδιότητες.

Το τηλεοπτικό φάσμα το οποίο θα απελευθερωθεί μετά την ψηφιακή μετάβαση (δηλαδή, ψηφιακό μέρισμα), προτείνεται να χρησιμοποιηθεί για την παροχή πρόσθετων ασύρματων ευζωνικών υπηρεσιών δικτύωσης, για υπηρεσίες υψηλής ευκρίνειας επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης (HDTV), για υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας και διαδραστικές υπηρεσίες κινητής τηλεόρασης. Ειδικότερα, οι διαδραστικές υπηρεσίες κινητής τηλεόρασης, που παρέχονται χρησιμοποιώντας συγκλίνοντα κυψελοειδή και επίγεια δίκτυα ευρυεκπομπής, έχουν σήμερα μεγάλο ενδιαφέρον. Ταυτόχρονα, οι διαχειριστές των κυψελοειδών και ευρυζωνικών δικτύων ψάχνουν για μια νέα ενδιάμεση κοινή αγορά, η οποία δεν έχει πλήρως προσδιοριστεί, αλλά που θα μπορούσε να συνδυάσει χαρακτηριστικά των σημερινών προσφορών τους. Μέχρι τώρα, η εισαγωγή και η αφομοίωση των υπηρεσιών κινητής τηλεόρασης στην Ευρωπαϊκή Ένωση ήταν αργή, ενώ οι ανταγωνιστές της Ευρώπης έχουν προχωρήσει σημαντικά. Εάν η Ευρώπη δεν λάβει άμεσα συγκεκριμένα μέτρα, κινδυνεύει να χάσει το ανταγωνιστικό της πλεονέκτημα. Επιπλέον, η ανυπαρξία του φάσματος, θεωρήθηκε ο μεγαλύτερος φραγμός για την έναρξη των υπηρεσιών κινητής τηλεόρασης, ως εκ τούτου, η Επιτροπή κάλεσε τα κράτη μέλη να καταστήσουν διαθέσιμο το φάσμα για κινητές εκπομπές, το συντομότερο δυνατόν, συμπεριλαμβανομένης της ζώνης UHF (δηλαδή 470-862 MHz), μόλις αυτή είναι διαθέσιμη. Στο πλαίσιο αυτό, η παρακάτω ενότητα αναλύει την περιγραφή ενός διαδραστικού δικτύου κινητής τηλεόρασης, ικανό να λειτουργεί με μια γνωσιακή προσέγγιση, αξιοποιώντας τα “TV White Spaces” κάτω από δύο μοντέλα καταμερισμού του φάσματος (π.χ. spectrum commons, secondary spectrum market).

Τα “TV White Spaces” είναι κατάλληλα για εφαρμογές κινητής τηλεόρασης λόγω των ανώτερων συνθηκών διάδοσης, καθώς και λόγω των σχετικά χαμηλών συχνοτήτων οι οποίες διευκολύνουν τόσο το χαμηλό κόστος όσο και τα σχέδια χαμηλής ισχύος. Ταυτόχρονα, το μήκος κύματος των σημάτων είναι αρκετά μικρό ώστε οι παλλόμενες κεραίες να μπορούν να κατασκευαστούν σε μέγεθος και σχήμα που θα είναι αποδεκτό για πολλές φορητές συσκευές. Το προτεινόμενο δίκτυο κινητής τηλεόρασης βασίζεται στο σύστημα DVB-H, ικανό να λειτουργεί στα TV White Spaces, ενισχυμένο με γνωστικές λειτουργίες ραδιοφώνου(Cognitive Radio Features). Το σύστημα DVB-H είναι σε θέση να λειτουργήσει ως ένα δευτερεύον μη αδειοδοτημένο σύστημα μόνον εάν δεν υπάρχουν παρεμβολές σε άλλα αδειοδοτημένα πρωτογενή συστήματα (π.χ. συστήματα DVB-T), που λειτουργούν στην ζώνη των UHF.

Η γενική ιδέα για το προτεινόμενο γνωσιακό δίκτυο απεικονίζεται στην Εικόνα 16, υποδεικνύοντας ένα δευτερεύον σύστημα (δηλαδή δίκτυο DVB-H) για την εκμετάλλευση των διαθέσιμων «TV White Spaces» μέσω ενός μεσίτη φάσματος(Spectrum Broker) . Σε αυτήν τη ρύθμιση, οι γαλάζιες και οι κίτρινες σκιάσεις αντιπροσωπεύουν τις περιοχές κάλυψης DVB-T

(αδειοδοτημένων συστημάτων), που λειτουργούν ως κάτοχοι αδειών φάσματος στις ζώνες Α και Β, αντίστοιχα. Η λευκή σκίαση αντιπροσωπεύει την περιοχή κάλυψης του δευτερογενούς συστήματος ευρυεκπομπής που επιθυμεί να δημιουργήσει, με την αξιοποίηση πιθανών διαθέσιμων TVWS που παραδίδει γραμμικές ή / και διαδραστικές υπηρεσίες κινητής τηλεόρασης με μια γνωσιακή προσέγγιση και στο πλαίσιο μιας μη παρεμβολής στα πρωτογενή συστήματα. Το δευτερεύον σύστημα χρησιμοποιεί μια πλατφόρμα DVB-H που διαπραγματεύεται μέσω ενός μεσίτη φάσματος με άλλα δευτερογενή συστήματα, που λειτουργούν ως ένα γνωσιακό δίκτυο ευρυεκπομπής. Σε αυτήν τη ρύθμιση, τερματικά κινητής τηλεόρασης μπορούν να επικοινωνούν με την πλατφόρμα DVB-H μέσω διαφορετικών καναλιών επιστροφής, ζητώντας διαδραστικά, περιεχόμενα πολυμέσων.



Εικόνα 16 Δίκτυο DVB-H με Cognitive Λειτουργίες [43].

Στην προτεινόμενη ρύθμιση ανωτέρω, ο μεσίτης φάσματος τρέχει έναν αλγόριθμο ελέγχου αποδοχής, ο οποίος επιτρέπει μόνο δευτερογενή συστήματα (π.χ. συστήματα DVB-H), να έχουν πρόσβαση στο φάσμα όταν το QoS τόσο των πρωτογενών όσο και των δευτερογενών συστημάτων είναι επαρκές. Η οντότητα του μεσίτη φάσματος χρησιμοποιεί επίσης έναν ευφυή αλγόριθμο εκχώρησης συχνότητας για τον καθορισμό της συχνότητας με την οποία τα δευτερογενή συστήματα θα πρέπει να επιτρέπεται να λειτουργούν και τα οικονομικά των εν λόγω συναλλαγών, τα οποία παρέχουν κίνητρα για να μεγιστοποιήσουν τη χρησιμοποίηση του φάσματος. Τα δευτερογενή συστήματα δυναμικά ζητούν πρόσβαση στο φάσμα, όταν και μόνο όταν το φάσμα είναι απαραίτητο. Η διαπραγμάτευση της δευτερογενούς χρήσης στην περίπτωση αυτή, έγινε μέσω αποτελεσματικών αλγορίθμων που συγχωνεύτηκαν στον μεσίτη του φάσματος. Σε γενικές γραμμές, οι μηχανισμοί που ψάχνουν για ένα ταίριασμα μεταξύ των δευτερογενών συστημάτων που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στους τύπους των υπηρεσιών, στα χαρακτηριστικά πρόσβασης, και στα επίπεδα εξυπηρέτησης που απαιτούνται από αυτούς. Οι

τύποι πρόσβασης θα μπορούσαν να αποτελούνται από μια μακροχρόνια μίσθωση, μια προγραμματισμένη μίσθωση, καθώς και μια βραχυπρόθεσμη μίσθωση ή αγορές τοις μετρητοίς. Κάθε τύπος απαιτεί διαφορετικούς μηχανισμούς ανακάλυψης και εφαρμόζεται με διαφορετικά επίπεδα παροχής υπηρεσιών.

Η οντότητα του μεσίτη φάσματος είναι επίσης σε θέση να επικοινωνήσει με μία Geolocation βάση δεδομένων του φάσματος, προκειμένου να εμπορευτεί «TV White Spaces» φάσμα μεταξύ πολλών δευτερογενών μη αδειοδοτημένων συστημάτων. Σύμφωνα με τη διαθεσιμότητα συχνοτήτων που ορίζεται στη βάση δεδομένων, ώστε να αποφευχθεί η παρεμβολή με πρωτογενή συστήματα, οι μεσίτες φάσματος εκχωρούν πόρους φάσματος τους οποίους τα δευτερογενή συστήματα είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν για την παροχή υπηρεσιών κινητής τηλεόρασης. Επιπλέον, οι τηλεοπτικοί σταθμοί επιστροφής στην Εικόνα 16, μπορεί να είναι σε θέση να λειτουργούν στο φάσμα των “TV White Spaces” καιροσκοπικά χρησιμοποιώντας αισθητήρια μηχανισμών ολοκληρωμένα τόσο στο δίκτυο πρόσβασης όσο και στα τερματικά κινητής τηλεφωνίας.

Οι DVB-H υπηρεσίες μέσω κινητών συσκευών αναμένεται να πυροδοτήσουν νέα τηλεοπτική προβολή προτύπων συμπεριφοράς μεταξύ των καταναλωτών και να δημιουργήσει μια νέα αγορά για τηλεθέαση στην τηλεόραση. Πάντως, η κατανομή του φάσματος από τις εθνικές υπηρεσίες παραμένει ένα κρίσιμο εμπόδιο για την υιοθέτηση των υπηρεσιών κινητής τηλεόρασης. Στο πλαίσιο αυτό και λαμβάνοντας υπόψη το προτεινόμενο γνωσιακό δίκτυο, τα TV White Spaces θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως το φάσμα, όπου τα DVB-H συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά. Η ευκαιριακή και δευτερογενής χρήση των εν λόγω συστημάτων, όπως προτείνεται σε αυτό το υποκεφάλαιο, δίνει τη δυνατότητα για περαιτέρω αξιοποίηση της τεχνολογίας, διείσδυση κινητών τηλεοπτικών υπηρεσιών και αύξηση των εσόδων[43].

5 Επίλογος-Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, στην πτυχιακή αυτή μελετήθηκε η τεχνολογία των γνωσιακών δικτύων, γνωστά και ως τεχνολογίες Cognitive Radio. Δόθηκε έμφαση στο πρωτόκολλο IEEE802.22 το οποίο αποτελεί ένα πρότυπο γνωσιακού δικτύου. Έπειτα αναλύθηκαν κάποιες βασικές λειτουργίες των δικτύων Cognitive Radio δίνοντας μεγάλη σημασία στην ανίχνευση φάσματος. Εκτός αυτών αναφέρθηκαν τα βασικά καθεστάτα διαχείρισης φάσματος (Spectrum Commons, Spectrum Markets), η βασική δομή και άλλα θέματα πάνω στο Spectrum Trading. Επίσης έγινε μία μικρή εισαγωγή στο πρότυπο DVB-H (στα βασικά χαρακτηριστικά, την αρχιτεκτονική, στα εργαλεία κ.α.). Τέλος σχεδιάστηκε και αναλύθηκε ένα πρωτότυπο δίκτυο παροχής πολυμεσικών υπηρεσιών βασισμένο στο πρότυπο DVB-H, το οποίο έχει ιδιότητες γνωσιακών δικτύων για τη δυναμική πρόσβαση στο φάσμα των συχνοτήτων TVWS (TV White Spaces).

Reference

- [1] Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications
Simon Haykin, *Life Fellow, IEEE*
- [2] Analysis and Design of Cognitive Radio Networks and Distributed Radio Resource Management Algorithms
James O’Daniell Neel
- [3] COGNITIVE RADIOS – SPECTRUM SENSING ISSUES
A Thesis presented to the Faculty of the Graduate School at the University of Missouri-Columbia
AMIT KATARIA
- [4] Μελέτη και ανάπτυξη αποδοτικών τεχνικών για την ανίχνευση και παρακολούθηση φασματικών κενών σε ένα Γνωστικό Σύστημα Ραδιοεπικοινωνιών (“Cognitive Radio System”)
Βίγλας Ζαφείριος.
- [5] FCC, “Spectrum Policy Task Force Report (ET Docket no. 02-135),” Nov. 2002.
- [6] M. A. McHenry, “NSF Spectrum Occupancy Measurements Project Summary,” shared spectrum co. report, Aug. 2005.
- [7] FCC, “Notice of Proposed Rulemaking, in the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands (ET Docket no. 04-186) and Additional Spectrum for Unlicensed Devices below 900 MHz and in the 3 GHz Band (ET Docket no. 02-380), FCC 04-113,” May 2004
- [8] Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks: Requirements, Challenges and Design Trade-offs
Amir Ghasemi, Communications Research Centre Canada and University of Toronto
Elvino S. Sousa, University of Toronto
- [9] IEEE 802.22: The First Worldwide Wireless Standard based on Cognitive Radios
Carlos Cordeiro, Kiran Challapali, Dagnachew Birru, and Sai Shankar N*
- [10] K. Challapali, S. Mangold, and Z. Zhong,
“Spectrum Agile Radio: Detecting Spectrum Opportunities,” in *ISART*, Boulder, CO, March 2004.
- [11] S. Mangold, Z. Zhong, K. Challapali, and C-T.Chou, “Spectrum Agile Radio: Radio Resource Measurements for Opportunistic Spectrum Usage,” in *IEEE Globecom*, 2004.
- [12] K. Challapali, “Spectrum Agile Radios: Real-time Measurements,” in *Cognitive Radio Conference*, Washington DC, October 2004.
- [13] A. Sahai, N. Hoven, and R. Tandra, “Some fundamental limits on cognitive radio,” *Allerton*

Conference on Communication, Control, and Computing, October 2004.

[14] D. Agrawal and Q-A. Zeng, *Introduction to Wireless and Mobile Systems*, Brooks/Cole Publishing, 432 pages, ISBN 0534-40851-6, August 2002.

[15] F. K. Jondral, *Software-Defined Radio – Basics and Evolution to Cognitive Radio*, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2005, pp. 275–283.

[16] SPECTRUM SENSING IN IEEE 802.22 *Stephen J. Shellhammer*

[17] IEEE P802.22/D0.5, *Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands*, Mar. 2008.

[18] Carl R. Stevenson, Carlos Cordeiro, Eli Sofer, and Gerald Chouinard, *Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard*, IEEE 802.22-05/0007r46, Sept. 2005.

[19] IEEE 802.22 Working Group, “<http://grouper.ieee.org/groups/802/22/>” .

[20] Steve Shellhammer, Victor Tawil, Gerald Chouinard, Max Muterspaugh, and Monisha Ghosh, *Spectrum Sensing Simulation Model*, IEEE 802.22-06/0028r10, Sept. 2006.

[21] NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks
Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran *, Shantidev Mohanty

[22] A. Ghasemi, E.S. Sousa, Collaborative spectrum sensing for opportunistic access in fading environment, in: Proc. IEEE DySPAN 2005, November 2005, pp. 131–136.

[23] A. Sahai, N. Hoven, R. Tandra, Some fundamental limits in cognitive radio, Allerton Conf. on Commun., Control and Computing 2004, October 2004

[24] Ανίχνευση Φάσματος και Ταυτοποίηση Σήματος για Συστήματα Γνωστικών Επικοινωνιών (Cognitive Radio)
Χαχάμπης Νικόλαος

[25] Γεώργιος Μουστακίδης, "Εισαγωγή στη Θεωρία Εκτίμησης και Ανίχνευσης", -, 2006

[26] Lunden, Jarmo Koivunen, Visa Huttunen, Anu Poor, H. Vincent, "Spectrum Sensing in Cognitive Radios Based on Multiple Cyclic Frequencies", 2007, Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications

[27] Z Tian, GB Giannakis, "A wavelet approach to wideband spectrum sensing for cognitive radios", 2006, Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications

- [28] Ben Wild, Kannan Ramchandran, "Detecting primary receivers for cognitive radio applications", 2005, New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks
- [29] Buck S., "Replacing Spectrum Auctions with a Spectrum Commons", *Stanford Technology Law Review*, 2(2) 2002.
- [30] Haykin S., "Cognitive Radio: Brain-empowered Wireless Communications", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* vol. 23, no. 2, pp. 201–20, 2005.
- [31] Australian Communication and Media Authority(ACMA), *The Economics Of Spectrum management: A Review*, (2007)
- [32] RADIO SPECTRUM MANAGEMENT: A SURVEY ON A LIBERALIZED FRAMEWORK AND BUSINESS STRATEGIES, Department of Applied Informatics and Multimedia Technological Educational Institute of Crete
- [33] SPECTRUM TRADING IN COGNITIVE RADIO NETWORKS: A MARKET-EQUILIBRIUM-BASED APPROACH DUSIT NIYATO, NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY EKRAM HOSSAIN, UNIVERSITY OF MANITOBA
- [34] O. Ileri *et al.*, "Demand Responsive Pricing and Competitive Spectrum Allocation via a Spectrum Server," *Proc. IEEE DySPAN '05*, Nov. 2005, pp. 194–202
- [35] J. E. Suris *et al.*, "Cooperative Game Theory for Distributed Spectrum Sharing," *Proc. IEEE ICC '07*, June 2007.
- [36] V. Rodriguez, K. Moessner, and R. Tafazolli, "Auction Driven Dynamic Spectrum Allocation: Optimal Bidding, Pricing and Service Priorities for Multi-Rate, Multi-Class CDMA," *Proc. IEEE PIMRC '05*, vol. 3, Sept. 2005, pp. 1850–54.
- [37] C. Kloeck, H. Jaekel, and F. K. Jondral, "Dynamic and Local Combined Pricing, Allocation and Billing System with Cognitive Radios," *Proc. IEEE DySPAN '05*, Nov. 2005, pp. 73–81.
- [38] Y. Xing, R. Chandramouli, and C. M. Cordeiro, "Price Dynamics in Competitive Agile Spectrum Access Markets," *IEEE JSAC*, vol. 25, no. 3, Apr. 2007, pp. 613–21.
- [39] D. Niyato and E. Hossain, "Hierarchical Spectrum Sharing in Cognitive Radio: A Microeconomic Approach," *Proc. IEEE WCNC '07*, Mar. 2007.
- [40] S. Gandhi *et al.*, "A General Framework for Wireless Spectrum Auctions," *IEEE Proc. DySPAN'07*, Apr. 2007.
- [41] M. Pan *et al.*, "A Novel Bargaining Based Dynamic Spectrum Management Scheme in Reconfigurable Systems," *Proc. IEEE ICSNC '06*, Oct. 2006, p. 54.
- [42] The DVB-H Mobile Broadcast Standard, Michael Kornfeld and Khaled Daoud

[43] Efficient sharing of TV White Spaces utilizing mobile TV networks with a cognitive radio approach.

A. Bourdena, G. Kormentzas, M. Astrinaki, G. Mastorakis, E. Pallis and V. Zacharopoulos