



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

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

## **Πτυχιακή Εργασία**

“Μελέτη και ανάπτυξη μοντέλων βασισμένα στη μικροοικονομία για την αξιοποίηση τους σε μηχανισμούς δυναμικής διαχείρισης του φάσματος σε δίκτυα επόμενης γενιάς”

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ:** Μαρία Αστρινάκη

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:** Δρ. Γεώργιος Μαστοράκης

Ηράκλειο 24 Μαρτίου 2010

Αφιερώνεται στον πατέρα μου  
που έφυγε τόσο νωρίς από κοντά μας.

## 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, οι οποίοι βοήθησαν στην περάτωση αυτής της εργασίας.

Κατά κύριο λόγο οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου από το Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης, Επιστημονικό Συνεργάτη, Δρ. Γεώργιο Μαστοράκη όπως επίσης και τον Επίκουρο Καθηγητή και Υπεύθυνο του Εργαστηρίου Έρευνας και Ανάπτυξης Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων (ΠΑΣΙΦΑΗ), Δρ. Ευάγγελο Πάλλη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν δίνοντας μου την 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 όλες τις απορίες μου οποιαδήποτε στιγμή το χρειαζόμουν.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους μου, Κωνσταντίνο Χούνο, Ελένη Βεϊσάκη, Μαρίνα Κατσιρντάκη, Ειρήνη Μαλλιωτάκη και Ιάσωνα Κονταξάκη καθώς χωρίς τη βοήθειά και την ευχάριστη διάθεση τους, δεν θα μπορούσα ποτέ να περατώσω αυτή την πτυχιακή εργασία και τις δυσκολίες που αυτή είχε.

Τέλος ευχαριστώ από καρδιάς την οικογένεια μου, τις φίλες μου Θεοδώρα Κουτσού και Ειρήνη Αθανασίου και το συντροφό μου για την αγάπη και την κατανόηση που μου έδειξαν όλο αυτόν τον καιρό.

Ηράκλειο, Μάρτιος 2010

Μαρία Αστρινάκη

## Περίληψη

Τα σημερινά παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα λειτουργούν αξιοποιώντας τη στατική κατανομή φάσματος παρέχοντας τις διαθέσιμες υπηρεσίες τους. Αυτή η πολιτική διαχείρισης εκχώρησης φάσματος στατικά απαιτείται να τροποποιηθεί καθώς η απαίτηση για την παροχή ετερογενών υπηρεσιών χρησιμοποιώντας τους περιορισμένους πόρους των ασυρμάτων δικτύων αυξήθηκε δραματικά, αναδεικνύοντας την ανάγκη ανάπτυξης έρευνας για μία βέλτιστη αξιοποίηση του φάσματος. Οι νέες απαιτήσεις επηρεάζουν την παραδοσιακή διαχείριση κατανομής του φάσματος, οδηγώντας σε προσπάθειες έτσι ώστε να βρεθούν λύσεις βασιζόμενες στην εκμετάλλευση των ήδη υπάρχοντων πόρων με την χρήση μοντέλων των οικονομικών. Στα πλαίσια αυτά και παίρνοντας υπ' όψιν τη συνεχή απαίτηση για παροχή πολλαπλών υπηρεσιών, τα παραδοσιακά ασύρματα συστήματα επικοινωνίας πρέπει να γίνουν περισσότερο προσαρμόσιμα, χρησιμοποιώντας μηχανισμούς δυναμικής διαχείρισης φάσματος έτσι ώστε να ταιριάζει με τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς των τελικών χρηστών αξιοποιώντας με αυτόν τον τρόπο πιο αποτελεσματικά το διαθέσιμο ασύρματο φάσμα. Το πρόβλημα, με το οποίο ασχολείται η πτυχιακή αυτή εργασία, διευθετείται από την έρευνα η οποία πραγματοποιείται από τα επιστημονικά πεδία της δυναμικής διαχείρισης του φάσματος και των γνωσιακών δικτύων (Cognitive Radio - CR) αναπτύσσοντας πρωτοποριακούς μηχανισμούς βασισμένους σε μοντέλα των οικονομικών που οδηγούν προς μία πιο αποτελεσματική χρήση του ασύρματου φάσματος.

Στα πλαίσια αυτά η πτυχιακή αυτή εργασία μελετάει τους περιορισμούς και την αναποτελεσματικότητα των τεχνικών της παρούσας διαχείρισης του φάσματος οι οποίες έχουν αξιοποιηθεί μέχρι σήμερα και αναλύει τις λύσεις που επέφερε η έρευνα, η οποία βασίζεται σε πρωτότυπους μηχανισμούς. Οι λύσεις, οι οποίες παρουσιάζονται βασίζονται σε ευκαιριακές τεχνικές πρόσβασης φάσματος και εισάγουν τους όρους spectrum sharing και spectrum trading, που αξιοποιούνται σε γνωσιακά δίκτυα. Τα χαρακτηριστικά αυτών των ασύρματων δικτύων επικεντρώνονται στην ικανότητα προσαρμογής των χαρακτηριστικών μετάδοσης πρωτεύοντων και δευτερεύοντων συστημάτων για τον εντοπισμό του μη αξιοποιούμενου φάσματος σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Η έρευνα αυτών των πεδίων υπόσχεται πιο αποτελεσματικές λύσεις που αφορούν τη διαχείριση του διαθέσιμου φάσματος με δυναμικούς μηχανισμούς που βασίζονται στις οικονομικές επιστήμες συμβάλλοντας έτσι προς την βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων των ασύρματων δικτύων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Αντικείμενο εργασίας	9
1.2 Διάρθρωση Εργασίας	9
2.1.1 Ανάγκη αποτελεσματικής διαχείρισης φάσματος	10
3. Δυναμική πρόσβαση φάσματος στα ασύρματα δίκτυα (Dynamic Spectrum Access)	12
4. Γνωσιακά Δίκτυα	15
4.1 Software Defined Radios	15
4.1.1 Cognitive radios	16
4.1.2 Φυσική αρχιτεκτονική του cognitive radio	17
4.1.3 Συνύπαρξη (COEXISTENCE)	21
5. IEEE 802.22	23
5.1 Εισαγωγή	23
5.1.1 Εφαρμογές και αγορές	23
5.1.2 Το IEEE 802.22 σύστημα	24
5.1.2.1 Τοπολογία , οντότητες και σχέσεις	25
5.1.2.2 Ικανότητα υπηρεσίας (Service Capacity)	25
5.1.2.3 Κάλυψη υπηρεσίας (Service Coverage)	26
5.2 THE 802.22 Air Interface	26
5.2.1 Το Φυσικό επίπεδο	26
5.2.2 MAC	29
5.2.2.1 Super frame και δομή του frame	29
5.2.2.2 Network Entry and Initialization	30
5.2.2.3 Μετρήσεις και διοίκηση εύρους ζώνης	31
5.3 Quiet Periods for Incumbent Sensing	31
5.3.1 Συνύπαρξη στο IEEE 802.22	33
5.3.1.1 Κεραίες	33
5.3.2.2 Συνύπαρξη με τηλεόραση και ασύρματα μικρόφωνα	34
5.3.2.2.1 Sensing Thresholds	34
5.3.2.2.2 Χρόνος απόκρισης	34
5.3.2.2.3 Self-Coexistence	35
5.4 Σχετικές ερευνητικές προσεγγίσεις	36
6. Καθεστώς εκχώρησης φάσματος	48
6.1 Command and Control	48
6.2 Spectrum commons	48
6.3 Spectrum markets	50
7. Προτεινόμενες έρευνες	51

7.1 Κίνητρο ερευνών -----	51
7.1.1 Ιδέα -----	52
7.1.2 Στόχοι -----	52
7.1.3 Πιθανά σενάρια υλοποίησης -----	53
8. Επίλογος - Συμπεράσματα -----	56
Αναφορές -----	57

---

DSA	Dynamic Spectrum Access
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
MC-CDMA	multi-channel code division multiplexing
NC-OFDM	noncontiguous OFDM
OFDM	orthogonal frequency division multiplexing
OFDMA	orthogonal frequency division multiple access
SDR	software-defined radio
DARPA	
SSC	Shared Spectrum Company
XG	Next Generation
FPGAs	Field Programmable Gate Arrays
DSPs	Digital Signal Processors
DFS	dynamic frequency selection
PC	power control
WRAN	wireless regional area network
PHY	physical
UWB	users in ultra wideband
MAC	medium access control
CR	Cognitive Radio
WISPs	Wireless Internet Service Providers
DS	downstream
US	upstream
QoS	Quality-of-Service
SOHO	small office/home office
SNR	Signal to noise ratio
Cp	primary services
DTV	Digital TV

## Λίστα εικόνων

Εικόνα 1 παράδειγμα Spectrum Pooling .....	14
Εικόνα 2. Ιδεατό και πρακτικό διάγραμμα SDR συστήματος.....	15
Εικόνα 3. Spectrum hole σενάριο.....	17
Εικόνα 4. Φυσική αρχιτεκτονική των cognitive radio [34,35]: (a) Cognitive radio μεταφορέα and (b) wideband RF/analog front-end architecture .....	18
Εικόνα 5. Cognitive κύκλος .....	20
Εικόνα 6. 802.22 η τάξη των ασυρμάτων LAN .....	24
Εικόνα 7. υποδειγματική διάμορφωση του 802.22 .....	25
Εικόνα 8. πληρότητας της τηλεοπτικής ζώνης στην πάροδο του χρόνου και συχνότητας .....	27
Εικόνα 9. Simplified diagrams of the channel bonding scheme illustrating 1 (top), two (middle), and three TV channels (bottom) .....	28
Εικόνα 10. Γενική δομή του super frame .....	29
Εικόνα 11. Παράμετροι συστήματος.....	29
Το MAC επίπεδο του CR σταθμού βάσης πρέπει να είναι δυναμικό έτσι ώστε να ανταποκρίνεται γρήγορα στις αλλαγές του περιβάλλοντος . Εκτός από την παροχή των παραδοσιακών υπηρεσιών το 802.22 MAC απαιτεί να έχει ένα νέο σύνολο από λειτουργίες για αποτελεσματική λειτουργία στα πλαίσια μοιρασμού των συχνοτήτων[53].....	29
Εικόνα 11. Χρόνος/Συχνότητα δομή ενός Mac frame .....	30
Εικόνα 12. Τα δύο στάδια των μηχανισμών της περιόδου ησυχίας.....	32
Εικόνα 13. Performance analysis of contention-based protocols under large propagation delays.....	33
TABLE 2 DFS Parameters for wireless microphones.....	36
Εικόνα 14. πρωτεύον και δευτερεύον υπηρεσίες.....	37
Εικόνα 15. μοντέλο για μοιρασμό φάσματος.....	37
TABLE 3 .....	38
Market-equilibrium .....	38
Competitive .....	38
Cooperative .....	38
Εικόνα 16. Συνοπτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών των market- equilibrium , competitive and cooperative pricing models .....	38
Εικόνα 17. xG αρχιτεκτονική δικτύου. ....	39
Εικόνα 18. xG δίκτυο σε μπάντες με άδεια. ....	41
Εικόνα 19. xG δίκτυο σε μπάντες χωρίς άδεια.....	42
Εικόνα 20. μοντέλο για μοιρασμό φάσματος :μία προσέγγιση.....	42
Εικόνα 21. Best responses and trajectories to Nash equilibrium.....	43
Εικόνα 22. Nash equilibrium του μοιρασμού φάσματος κάτω από διαφορετικές ποιότητες καναλιών .....	43
Εικόνα 23. Region of values for $a_1$ and $a_2$ for stable Nash equilibrium.....	43
Εικόνα 24. μοντέλο συστήματος.....	45
Εικόνα 25 πιθανότητες σταθερής κατάστασης που προέρχονται από το στοχαστικό μοντέλο για την εξέλιξη της δευτεροβάθμιας χρηστών (with $\rho = 10^{-3}$ ). ....	45
Εικόνα 26 Μοντέλο για μοιρασμό φάσματος.....	46
Εικόνα 27. Μέγεθος φάσματος, τιμή και κέρδος ισοροπίας κάτω από διαφορετικές ποιότητες καναλιών .....	46
Εικόνα 28. Root locus for the equilibrium price control system. ....	47
Εικόνα 29. Βήματα απόκρισης των τιμών ισοροπία υπό συνθήκες ανισοροπίας. ....	47
Εικόνα 30. Οι εξαρτήσεις στην ανάπτυξη των εργασιών.....	52



# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Αντικείμενο εργασίας

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη του προβλήματος που δημιουργεί η ανεπαρκής διαχείριση του φάσματος των ασύρματων δικτύων καθώς και οι τεχνικές που μπορούν να αξιοποιηθούν, οι οποίες οδηγούν σε μία πιο δυναμική και βέλτιστη διαχείρισή του.

## 1.2 Διάρθρωση Εργασίας

Ακολουθώντας την εισαγωγή στο 2ο κεφάλαιο παρατίθεται το πρόβλημα που έχει δημιουργηθεί λόγω της ανεπαρκούς διαχείρισης φάσματος και ο λόγος που πρέπει να γίνει βέλτιστη και πιο αποτελεσματική διαχείριση. Στη συνέχεια, θα μπορέσει ο αναγνώστης να αποκτήσει μία γενική άποψη για το ερευνητικό πεδίο Dynamic Spectrum Access (DSA), ενώ στο 4ο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά στοιχεία για τα γνωσιακά δίκτυα, τα οποία συνεισφέρουν στην ελάττωση των προβλημάτων που προαναφέρθηκαν. Στο 5ο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά το πρότυπο IEEE 802.22 το οποίο αποτελεί ένα σημαντικό πρότυπο των γνωσιακών δικτύων επιπλέον στο κεφάλαιο αυτό ο αναγνώστης μπορεί να ενημερωθεί για πειράματα και έρευνες βασισμένες σε μοντέλα μικροοικονομίας όπου εφαρμόζονται μέχρι σήμερα. Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών έχουν δημοσιευθεί σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια και περιοδικά. Προχωρώντας ο αναγνώστης θα αποκτήσει μία εις βάθος γνώση για το μοντέλο που χρησιμοποιείται σήμερα για την κατανομή του φάσματος στατικά καθώς και για τα δύο προτεινόμενα μοντέλα που θα το αντικαταστήσουν. Τέλος, στο 7ο κεφάλαιο αναλύεται ο κύριος ερευνητικός άξονας των γνωσιακών δικτύων στα πλαίσια χρηματοδοτούμενης έρευνας.

## **2. Θεωρητικό Υπόβαθρο: Ανεπαρκής Διαχείριση Φάσματος**

### **2.1 Έλλειψη φάσματος**

Οι οικονομικές επιπτώσεις των σφαλμάτων στη διαχείριση και κατανομή του φάσματος έχουν γίνει εμφανείς εδώ και αρκετά χρόνια (1,2,3,4,5), αν και το πρόβλημα εντάθηκε στις αγορές τηλεπικοινωνιών με την υιοθέτηση των ασύρματων δικτύων. Αυτός ο ριζικός μετασχηματισμός της αγοράς των χρηστών του ραδιοφάσματος αύξησε σημαντικά τη ζήτηση για συγκεκριμένες ζώνες, με αποτέλεσμα να υπάρξει αλλοίωση στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται συνήθως για την εκχώρηση δικαιωμάτων των χρηστών (π.χ. μετάβαση από άδεια σταθερών μισθώσεων σε μηχανισμούς καθορισμού των τιμών της αγοράς όπως οι πλειστηριασμοί), σε διάφορες χώρες. Η εκτίμηση που αφορά το ερώτημα εάν είναι εφικτό η τεχνολογική πρόοδος να κάνει νέες προσεγγίσεις στη διαχείριση του ραδιοφάσματος, είναι ένα αμφισβητήσιμο ζήτημα [6,7].

Ωστόσο υπάρχει η αίσθηση μεταξύ των υπηρεσιών και των πανεπιστημιακών κύκλων ότι ο προβληματισμός και ο πειραματισμός είναι απαραίτητα στοιχεία πριν εκτελεστούν σαρωτικές μεταρρυθμίσεις στο παλαιό κεντρικό σύστημα [8]. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν ισχυροί υπαινιγμοί ότι η αποτελεσματική διαχείριση του ραδιοφάσματος δεν πρέπει να σχεδιαστεί με «ένα μέγεθος για όλες τις προσεγγίσεις», και προτείνεται να υπάρξουν ομοιότητες με τη διαχείριση των άλλων κοινών πόρων [9].

#### **2.1.1 Ανάγκη αποτελεσματικής διαχείρισης φάσματος**

Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων αποτελεί βασικό στρατηγικό πλεονέκτημα για την οικονομία των βιομηχανικών χωρών. Χρησιμοποιείται για ένα ευρύ φάσμα επιχειρήσεων και για την επικοινωνία καταναλωτών, για ερευνητικούς και αναπτυξιακούς σκοπούς, όπως και για τις ιδιωτικές και δημόσιες επιχειρήσεις τηλεπικοινωνιών (π.χ. δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, ασύρματων επικοινωνιών στο Διαδίκτυο, για την αεροπορία, τη ναυτιλία, την άμυνα, και για τη δημόσια ασφάλεια). Επίσης, οι ραδιοηλεκτρονικές εκπομπές, ραντάρ, αστρονομία και διάφορες άλλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων αμέτρητες μικρής εμβέλειας, χαμηλής ισχύος ασύρματες συσκευές, χρησιμοποιούν, το φάσμα. Η διάδοση και η κοινωνικά αποτελεσματική διαχείριση της χρήσης του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι βασικό στοιχείο στην απόδοση των εν λόγω αγορών.

Τα ευέλικτα ρυθμιστικά καθεστώτα καθώς και τεχνολογίες που κάνουν την χρήση του φάσματος πιο προσιτή σε νεοσύστατες επιχειρήσεις και άλλες μικρές καινοτόμες επιχειρήσεις προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες για να μειώσουν τον χρόνο παράδοσης από την καινοτομία στην αγορά όσον αφορά τα προϊόντα επικοινωνίας [10,11], και προσφέρουν ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στους εγχώριους παραγωγούς των νέων αγορών. Αντίθετα, οι τρέχουσες ρυθμίσεις έλεγχου και χειρισμού στις περισσότερες χώρες σχετικά με τα διοικητικά καθεστώτα αδειοδότησης που διαθέτουν τμήματα του φάσματος για συγκεκριμένες χρήσεις και φορείς (συχνά μεγάλες επιχειρήσεις) προκύπτουν ανάλογα με τις ανάγκες. Αν και, ο έλεγχος και η διοίκηση μέσω αδειών παρουσιάζουν επιθυμητές ιδιότητες όσον αφορά τον έλεγχο των παρεμβολών, τη διεθνή εναρμόνιση της κατανομής συχνοτήτων, τα νέα προϊόντα της τυποποίησης και της διεθνούς περιαγωγής. Ωστόσο, καθώς η ζήτηση για τα δικαιώματα του ραδιοφάσματος αυξήθηκε θεαματικά την πάροδο

του χρόνου, το πρόβλημα της στενότητας του ραδιοφάσματος έγινε το κύριο μειονέκτημα της τρέχουσας προσέγγισης.

Η προσέγγιση αυτή παρέχει τα λανθασμένα κίνητρα στους δικαιούχους του φάσματος διότι δεν αξιολογεί τους πόρους του φάσματος που βασίζονται στο πρότυπο της προσφοράς και της ζήτησης με βάση τα οικονομικά κριτήρια. Επίσης, αφήνει ένα μεγάλο μέρος στις ζώνες συχνοτήτων να είναι αδρανές σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, συμβάλλοντας με τη σπανιότητα, την κυκλοφοριακή συμφόρηση, καθώς και μείωση των οικονομικών επιδόσεων σε αγορές επικοινωνίας [9].

### 3. Δυναμική πρόσβαση φάσματος στα ασύρματα δίκτυα (Dynamic Spectrum Access)

Το 2002, ο οργανισμός FCC συγκρότησε το Spectrum Policy Task Force που είχε την ευθύνη εξέλιξης της τρέχουσας πολιτικής εκχώρησης φάσματος “command and control” έτσι ώστε να επιτευχθεί μία πιο ευέλικτη διαχείριση του φάσματος [12]. Στο παρόν μοντέλο “command and control” ο ρυθμιστής διαθέτει αυστηρά μη-επικάλυπτες ζώνες συχνοτήτων για συγκεκριμένες χρήσεις και αναθέτει δικαιώματα χρήσης στους δικαιοδόχους.

Η απόκτηση της άδειας δεν παρέχει δικαιώματα ιδιοκτησίας για τον χρήστη, αλλά παρέχει δικαιώματα εκτέλεσης όσον αφορά την τήρηση της σταθερής χρήσης σε σχέση με το σκοπό, τη ζώνη συχνοτήτων, της ισχύος μετάδοσης και τον τόπο [13], αποτρέποντας έτσι δυναμικές χρήσεις και προσαρμογές για την αντιμετώπιση των τεχνολογικών αλλαγών. Το μοντέλο command and control, κατά κανόνα, δεν επιτρέπει την εμπορική άδεια, συνεπώς δεν παρέχονται κίνητρα στους δικαιοδόχους να μεγιστοποιήσουν την αξία των συμμετοχών του φάσματος τους, με αποτέλεσμα τη μη αποτελεσματική χρήση του ραδιοφάσματος. Επίσης αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αδράνεια σε ζώνες λήψης καθώς όλα τα προηγούμενα σε συνάρτηση με τους κανόνες και τη γραφειοκρατία, να επιφέρουν περιορισμούς προσαρμογής στις νέες συνθήκες της αγοράς [9].

Για τους παραπάνω λόγους η επιτροπή πρότεινε αμέσως μετά δύο εναλλακτικές λύσεις για να αντικαταστήσουν το παρόν μοντέλο.

Το πρώτο μοντέλο που ονομάζεται, **exclusive use model**, χορηγεί στο χρήστη ευέλικτα και μεταβιβάσιμα δικαιώματα χρήσης σε μια γεωγραφική περιοχή και απαιτήσεις μη παρεμβολών. Το δεύτερο, το οποίο ονομάζεται **commons model** επιτρέπει σε οποιονδήποτε αριθμό χρηστών που δε διαθέτουν άδεια να μοιράζονται μια ζώνη συχνοτήτων, με την μέθοδο συνεργασίας μεταξύ των χρηστών επιτυγχάνοντας προστασία από τις παρεμβολές.

Με το commons model θα καταστεί δυνατή η δεοντολογία που βασίζεται στο DSA στην οποία ραδιοφωνικά συστήματα προσπαθούν να αποφύγουν το ένα το άλλο. Στο exclusive model ο κάτοχος του φάσματος θα είναι σε θέση να επιτρέψει σε άλλους χρήστες να χρησιμοποιεί DSA τεχνικές χωρίς να έχουν την κύρια άδεια κατοχής φάσματος. Η προώθηση αυτής της ιδέας, έγινε τον Οκτώβριο του 2006 και η FCC θεσμοθέτησε κανονισμούς που θα επέτρεπαν τη μη αδειοδοτημένη χρήση συσκευών DSA να λειτουργούν ευκαιριακά σε αχρησιμοποίητα τηλεοπτικά κανάλια [14]. Παρόλο που αυτή η ιδέα συνάντησε κάποιες δυσκολίες, είναι σαφές ότι η πολιτική αλλάζει επιτρέποντας την σύσταση δικτύων που θα υποστηρίζουν το DSA [15]. Παράλληλα με τις εξελίξεις της πολιτικής που γίνονται για το DSA, η έρευνα έχει εξελιχθεί όσον αφορά την κατανόηση των θεμάτων που σχετίζονται με το DSA και τις πιθανές εφαρμογές του. Μία από τις πιο βασικές απαιτήσεις ενός DSA κόμβου είναι ότι είναι σε θέση να καταλάβει όταν μια ζώνη συχνοτήτων είναι αχρησιμοποίητη όπου στην περίπτωση αυτή θεωρείται η ζώνη ότι είναι whitespace. Μία κοινή προσέγγιση για τον εντοπισμό whitespace είναι χρήση ενός αισθητήρα ενέργειας. Μελέτες έχουν δείξει ότι αυτή η μέθοδος παρουσιάζει αρκετά προβλήματα, ένας από τα πιο σημαντικά είναι το πρόβλημα του κρυφού κόμβου. Αναφορικά με αυτό το πρόβλημα απαιτείται ένας πομπός, ένας δέκτης και ένας πομποδέκτης. Ο δέκτης βρίσκεται μεταξύ του πομπού και του πομποδέκτη. Ο πομπός και ο πομποδέκτης βρίσκονται σε τέτοια απόσταση, λόγω της τοπολογίας, όπου ο πομποδέκτης δεν μπορεί να εντοπίσει τον πομπό, και θεωρεί ότι οι ζώνες του πομπού είναι κενές . Ο

δέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να λαμβάνει τόσο από τον πομποδέκτη αλλά και από τον πομπό αλλά αυτοί δεν μπορούν να λαμβάνουν σήμα επειδή παρεμβαίνουν.

Σε μια κατάσταση όπου ο πομπός είναι ο βασικός χρήστης και ο πομποδέκτης είναι ένας δευτερεύων κόμβος DSA, το ζήτημα του κρυφού κόμβου μπορεί να οδηγήσει σε απαράδεκτα επίπεδα παρεμβολών με τον πρωταρχικό χρήστη. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος έχει προταθεί ως λύση η αύξηση του αριθμού των συνεταιριστικών κόμβων DSA όπου έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της πιθανότητας για ένα κρυφό κόμβο [16].

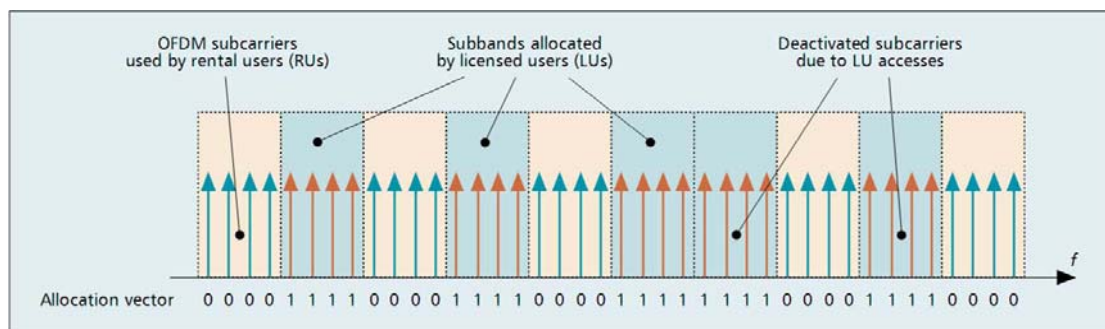
Επιπλέον πέρα από τους κρυφούς κόμβους, ανιχνευτές ενέργειας αποτελούν επίσης «... δεν συγχέονται από τις παρεμβολές στην ζώνη φάσματος, ισχυρά στην διάδοση του σήματος, οι επιδόσεις τους υποφέρουν υπό συνθήκες ξεθωριάσματος .....»[17]. Μια ακόμη φορά αποδεικνύεται ότι οι αλγόριθμοι που προσλαμβάνουν έναν αριθμό συνεταιριστικών κόμβων μπορούν να μειώσουν αυτά τα ζητήματα σε αποδεκτά επίπεδα [17]. Είναι κοινώς αποδεκτό τα δίκτυα στα οποία κάθε κόμβος προσπαθεί να εντοπίσει σήμα πρωταρχικού χρήστη και συμερίζεται αυτή την ανακάλυψη με τους γύρω κόμβους θα ονομάζονται αισθητήρες. Μία εναλλακτική λύση είναι να έχουμε ένα διακομιστή φάσματος που χρησιμοποιεί ένα ειδικό κανάλι για να εκχωρήσει αχρησιμοποίητο φάσμα σε διάφορα ασύρματα συστήματα. Αυτό έχει αποδειχθεί από [18] ότι έχει 25 με 35% μείωση στην απόδοση σε σύγκριση με την συντονισμένη ανακάλυψη του whitespace.

Η παράταση για αυτή την ιδέα αφορά τα δικαιώματα των αρχικών δικαιούχων να μεταδώσουν έναν ήχο για να δείξουν ότι η μπάντα δεν χρησιμοποιείται [19]

Η λύση αυτή εξασφαλίζει ότι ο δευτερεύων χρήστης δεν θα προσδιορίσει εσφαλμένα το φάσμα που χρησιμοποιεί ένας πρωτεύων χρήστης ως whitespace. Ακόμη και αν ο δευτερεύων κόμβος DSA είναι εκτός της εμβέλειας του σήματος του πρωτογενούς χρήστη, δεν θα διαβιβάσει, διότι δεν θα λάβει τον ασφαλή ήχο για να μεταδώσει. Επιπλέον, η λογική που απαιτείται από τον κόμβο DSA για την εξεύρεση κενών μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Αυτό το μειονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ότι είναι το κρυφό αποτελέσματα πρόβλημα κόμβο στο υποεκμετάλλευτο φάσμα, διότι ο δευτερεύων χρήστης δεν θα είναι σε θέση να μεταδώσει με ασφάλεια.

Ένα άλλο θέμα που τέθηκε για τα DSA δίκτυα που λειτουργούν με την παρουσία του πρωτογενούς χρήστη είναι ότι ακόμη και αν ο δευτερεύων χρήστης του σήματος δεν επηρεάζει άμεσα το πρωταρχικό χρήστη, μπορεί να αυξήσει τον λόγο θορύβου, ταπεινωτικό για το σήμα του πρωταρχικού χρήστη, ή επίσης η ενδοδιαμόρφωση μεταξύ δευτερεύων σημάτων θα μπορούσε να οδηγήσει σε παρέμβαση στο σήμα του πρωτεύον χρήστη[20]. Έχουν προταθεί δύο πιθανά συστήματα διαμόρφωσης για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, οι δύο εκ των οποίων είναι επεκτάσεις της τρέχουσας (MC-CDMA) και (OFDM). Η MC-CDMA τεχνική διαμόρφωσης με πολυπλέκτες των επικοινωνιών χρησιμοποιούν τους ορθογώνιους κωδικούς σύμφωνα με τους οποίους πολλαπλές μεταδόσεις μπορούν να μοιράσουν τις electrospace τόσο σε χρόνο όσο και τη συχνότητα. Η OFDM τεχνική διαμόρφωσης με πολυπλέκτες επικοινωνιών εφαρμόζονται σε ολόκληρες τις ορθές συχνότητες, έτσι ώστε να μοιράζονται οι μεταδόσεις electrospace στο χρόνο. Για να χρησιμοποιήσετε οποιαδήποτε από αυτές τις τεχνικές ορισμένες συχνότητες, ή κανάλια, πρέπει να είναι "απενεργοποιημένες", προκειμένου να αποφευχθούν παρεμβάσεις στον πρωταρχικό χρήστη, η παράταση αυτή είναι γνωστή ως μη συνεχόμενες(non-contiguous) με αποτέλεσμα να μην είναι συνεχόμενες MC-CDMA (NC - MC-CDMA) και NC-OFDM. Παρόλο που πίστευαν αρχικά ότι NC-MC-CDMA είχε καλύτερη απόδοση σφάλματος για DSA από NC-OFDM, διαπιστώθηκε αργότερα ότι εφόσον ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών μειώνεται, η NC-OFDM δείχνει λιγότερο υποβάθμιση από NCMC-CDMA, με αποτέλεσμα την καλύτερη απόδοση από NC-OFDM πομποδέκτη σε ένα συσσωρευμένο μέσο [21].

Εάν εφαρμόσουμε NC-OFDM διαφοροποίηση στις ζώνες ψηφιακής τηλεόρασης επιτρέπουμε σε έναν πομποδέκτη να χρησιμοποιήσει μια αχρησιμοποίητη μπάντα, όταν δεν καταλαμβάνονται γειτονικές ζώνες. Επίσης, ο NC-OFDM πομποδέκτης μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα τμήμα μιας αχρησιμοποίητης μπάντας που οι γειτονικές κατελλειμένες μπάντες δεν προκαλούν παρεμβολές [22]. Είναι επίσης δυνατή η χρήση DSA σε πιο δυναμική ζώνη συχνοτήτων. Τον Αύγουστο του 2006, η ΕΣΕ και το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ DARPA διεξήγαγε τη δοκιμή του ραδιοφώνου XG όπου έδειξε ότι DSA ραδιοσυστήματα θα μπορούσαν να λειτουργήσουν χωρίς να υπάρξει παρέμβολή με τα υφιστάμενα συστήματα ασυρμάτου [23]. Ένας DSA κόμβος μπορεί να χρησιμοποιήσει τη διαμόρφωση OFDM για να λειτουργεί σε αχρησιμοποίητες συχνότητες, κατά την παρουσία του πρωτογενούς χρήστη δεν θα παρεμβαίνει με πρωταρχικό χρήστη. Για ένα πλήρες σύστημα εκεί πρέπει να υπάρχει μια μεθοδολογία για τον εντοπισμό whitespace αλλιώς γνωστό και ως φορέα κατανομής, καθώς και μια μέθοδο για τη διαβίβαση στην αχρησιμοποίητη ζώνη. Ο συνδυασμός ενός πρωτοκόλλου πρόσβασης στο φάσμα και η διαμόρφωση OFDM είναι μια τεχνική που αναφέρεται ως spectrum pooling [24]. Spectrum pooling μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρουσία των κληροδοτημένων συστημάτων δεν χρειάζεται οποιαδήποτε προσαρμογή του υλικού με το λογισμικό του κληρονομιά, στις περιπτώσεις κατά τις οποίες το πρωτόκολλο πρόσβασης σε ραδιοφάσμα δεν απαιτεί σταθμούς μετάδοσης .



*Εικόνα 1 παράδειγμα Spectrum Pooling*

Συνολικά, το DSA είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που φαίνεται να είναι στα πρόθυρα της αποδοχής. Η FCC είναι στη διαδικασία να επιτρέψει στην DSA τεχνολογία να χρησιμοποιείται σε αχρησιμοποίητες τηλεοπτικές μπάντες. Το πρότυπο IEEE 802.22 αναπτύχθηκε έτσι ώστε να επιτρέψει επικοινωνία μεταξύ δευτερεύων κόμβων στις τηλεοπτικές μπάντες [14]. Τελικά το DARPA xG πρόγραμμα απέδειξε ότι υπάρχει υλικό ικανό να ασκήσει DSA. Οι ενέργειες που απαιτούνται για να μπορέσουν οι DSA τεχνικές να εφαρμοσθούν σε εμπορικό προϊόν είναι να ολοκληρωθούν από την άποψη της νομιμότητας, τα πρότυπα, και τα πρωτότυπα [25].

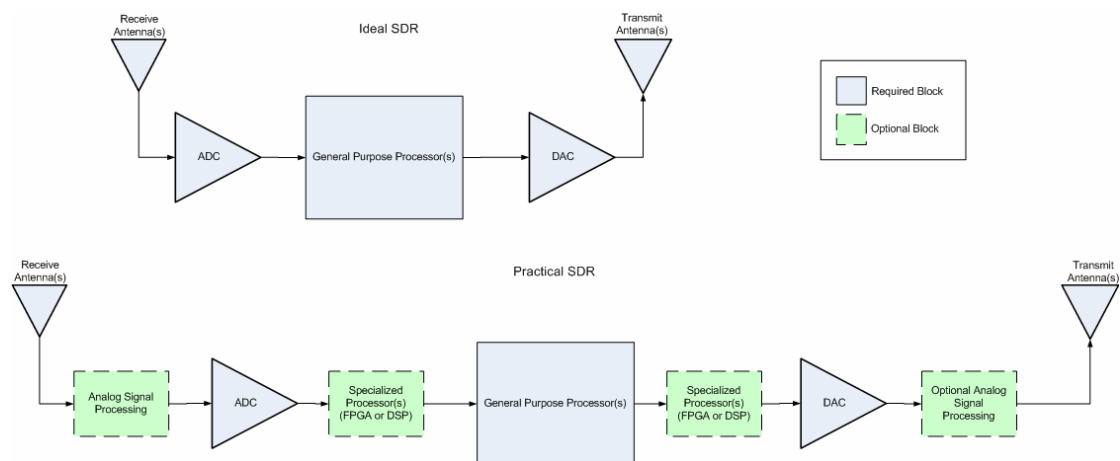
## 4. Γνωσιακά Δίκτυα

Τα γνωσιακά δίκτυα συμβάλλουν στο πρόβλημα της ανεπαρκούς διαχείρισης του φάσματος. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί ο ορισμός των δικτύων cognitive radio και του software defined radio. Θα παρουσιαστεί επίσης η φυσική αρχιτεκτονική ενός γνωσιακού δικτύου.

### 4.1 Software Defined Radios

Προκειμένου να συζητήσουμε SDR ζητήματα , πρέπει να καθοριστούν οι διαφορές μεταξύ της ιδανικής SDR και την πρακτική SDR. Το ιδανικό SDR καθορίζει όλες τις πτυχές τόσο της αλυσίδας εκπομπής, την αλυσίδα λήψης , συμπεριλαμβανομένης της διαμόρφωσης , της απο-διαμόρφωσης, και της επιλογής της ζώνης της συχνότητας , σε επίπεδο λογισμικού [26].

Χρησιμοποιώντας μια τέτοια πλατφόρμα δεν είναι συχνά εφικτές οι μεταδόσεις υψηλής συχνότητας όπως επίσης δεν είναι συχνά εφικτές οι διαμορφώσεις πολύπλοκων συστημάτων Η πρακτική SDR όπου ορίζεται εφεξής ως «ραδιοσύστημα πολλαπλής μάντας όπου είναι ικανό να υποστηρίξει πολλαπλές διεπαφές και πρωτόκολλα χρησιμοποιώντας μία κατάλληλη σύνθεση από ASICs, FPGAs, DSPs και μικροεπεξεργαστές γενικής χρήσης.» [27]. Σε πολλαπλές SDR υλοποιήσεις η επεξεργασία του αναλογικού σήματος χρησιμοποιείται για την μετατροπή μεταξύ της επεξεργασίας σε χαμηλή μάντα συχνοτήτων και στην υψηλή μάντα συχνοτήτων που χρησιμοποιείται για την μετάδοση. Τα εξειδικευμένα τμήματα επεξεργασίας χρησιμοποιούνται στην συνέχεια για την βελτίωση της απόδοσης του φυσικού επιπέδου. [25] Πιο αναλυτικά οι διαφορές μεταξύ των δύο συστημάτων φαίνονται στο Σχήμα 2[27]



Εικόνα 2. Ιδεατό και πρακτικό διάγραμμα SDR συστήματος

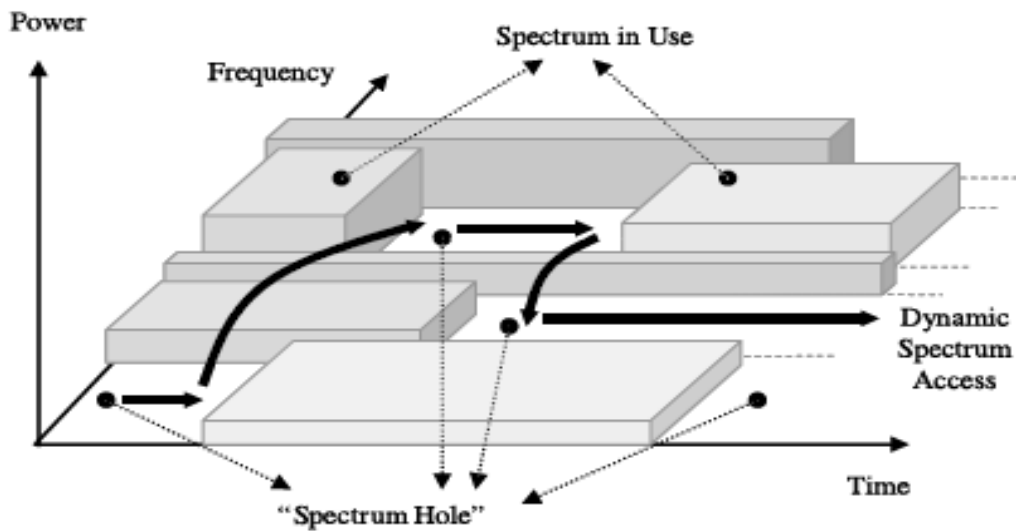
### 4.1.1 Cognitive radios

Η FCC ορίζει τα Cognitive radios ως «ένα ραδιοσύστημα το οποίο είναι ικανό να αλλάξει τις παραμέτρους του πομπού βασιζόμενο στην αλληλεπίδραση του με το περιβάλλον, στο οποίο λειτουργεί»[28]. Επισημαίνουν επίσης ότι «η πλειονότητα των cognitive radios θα είναι πιθανώς SDR, αλλά δεν έχουν δημιουργήσει ούτε λογισμικό ούτε υπάρχει κάποιο πεδίο το οποίο να είναι επαναπρογραμματίσιμο καθιστώντας τα παραπάνω απαιτήσεις των cognitive radio [28]. Η ιδέα πίσω από το cognitive radio είναι ότι οι cognitive χρήστες θα αναζητούν ενεργά το φάσμα των διαθέσιμων συχνοτήτων, προσαρμόζοντας δυναμικά τις μεταδόσεις τους, ώστε να αποφευχθεί παρεμβολή με άλλους χρήστες. Αυτοί οι χρήστες θα μπορούσαν να είναι συστήματα που έχουν την ικανότητα να κληρονομούν ιδιότητες ή άλλες cognitive συσκευές. [29]. Επιπλέον, ο τελικός στόχος ενός cognitive radio είναι να αποκτήσει το μέγιστο ποσοστό του διαθέσιμου φάσματος, μέσω των cognitive ικανοτήτων και με την ικανότητα να απαναρρυθμίζει τις παραμέτρους του, αυτή η ικανότητα του είναι γνωστή και ως reconfigurability. Εφόσον το μεγαλύτερο μέρος του φάσματος έχει ήδη εκχωρηθεί, η σημαντικότερη πρόκληση είναι η διαμοίραση της άδειας χρήσης του φάσματος χωρίς να παρεμβαίνουν με την μετάδοσή τους σε άλλους εξουσιοδοτημένους χρήστες όπως εμφανίζεται στην εικόνα 3. Τα cognitive radio επιτρέπουν την χρήση του φάσματος που παραμένει προσωρινά ανεκμετάλλευτο, το φάσμα αυτό είναι γνωστό ως spectrum hole ή white space [30]. Εάν αυτή η ζώνη συχνοτήτων χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση ενός εξουσιοδοτημένου χρήστη, το cognitive radio, μετακινείται σε μία άλλη spectrum hole ή μένει στην ίδια μπάντα, μεταβάλλοντας το επίπεδο ισχύος για την μετάδοση ή το πλάνο διαμόρφωσης έτσι ώστε να αποφύγει τις παρεμβολές, αυτό αναπαριστά η εικόνα 3 [31]. Δύο κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων αυτών μπορούν να προσδιορισθούν [30,32]:

**Cognitive capability:** Cognitive ικανότητα αναφέρεται στην ικανότητα που έχουν τα ραδιοσυστήματα να συλλαμβάνουν ή να ανιχνεύσουν της πληροφορία από το περιβάλλον του ραδιοσυστήματος. Αυτή η τεχνική δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί από την καταγραφή της ισχύος στην μπάντα συχνοτήτων που μας ενδιαφέρει, αλλά απαιτούνται πιο εξελιγμένες τεχνικές προκειμένου να συλλάβουμε τις χρονικές και χωρικές διαφοροποιήσεις στο περιβάλλον του ραδιοσυστήματος, με σκοπό να αποφύγουμε την παρεμβολή με τους άλλους χρήστες. Μέσω αυτής της ικανότητας τα τμήματα του φάσματος τα οποία είναι αχρησιμοποίητα σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή ή σε μία περιοχή, μπορεί να προσδιορισθούν. Εν κατακλείδι, το “καλύτερο φάσμα όπως και οι κατάλληλοι παραμέτροι λειτουργίας μπορεί να επιλεγεί.

**Reconfigurability:** Η cognitive αυτή ικανότητα παρέχει την ανίχνευση του φάσματος δεδομένου την Reconfigurability που επιτρέπει στο σύστημα να προγραμματίζεται δυναμικά σύμφωνα με το περιβάλλον του ραδιοσυστήματος. Πιο συγκεκριμένα, το cognitive radio μπορεί να προγραμματισθεί έτσι ώστε να μεταφέρει και να λαμβάνει βασιζόμενο σε μία ποικιλία από συχνότητες που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης, που υποστηρίζονται από το σχεδιασμό του υλικού, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μετάδοση. Ωστόσο λεπτομέρειες αυτής της ιδιότητας θα αναφερθούν και στο υποκεφάλαιο που ακολουθεί [33]. [31]

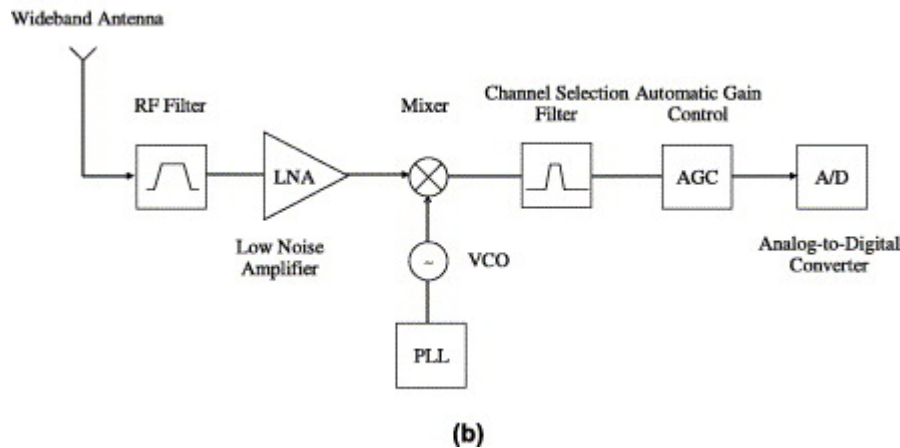
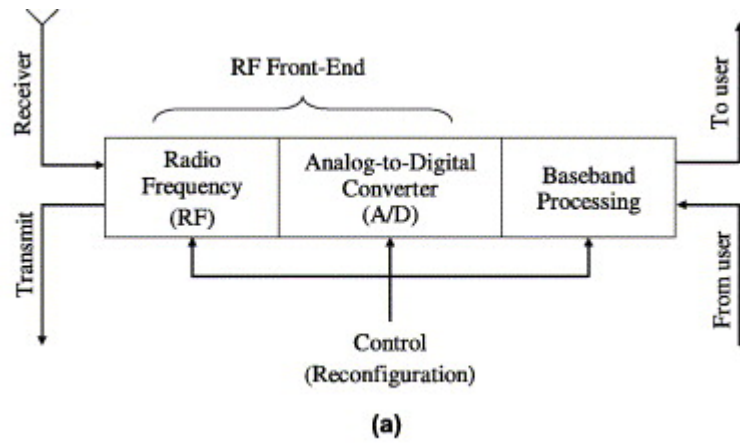




Εικόνα 3. Spectrum hole σενάριο

#### 4.1.2 Φυσική αρχιτεκτονική του cognitive radio

Μια γενική αρχιτεκτονική των cognitive radio πομπού φαίνεται στην εικόνα 4(a) [34]. Τα κύρια στοιχεία ενός cognitive radio πομποδέκτη είναι τα front-end radio και η baseband μονάδα επεξεργασίας. Κάθε στοιχείο μπορεί να αναδιορθώνεται μέσω ενός busto ελέγχου που υιοθετεί τις χρονομεταβλητές μέσα σε ένα περιβάλλον ραδιοσυχνοτήτων(RF). Στο RF front-end το λαμβανόμενο σήμα ενισχύεται ,αναμιγνύεται και γίνεται η A/D μετατροπή . Στην baseband μονάδα επεξεργασίας το σήμα διαμορφώνεται/αποδιαμορφώνεται και κωδικοποιείται/αποκωδικοποιείται. Η baseband μονάδα επεξεργασίας ενός cognitive radio είναι ουσιαστικά παρεμφερές με υφιστάμενους πομποδέκτες . Ωστόσο, η πρωτοτυπία των δικτύων αυτών είναι το RF front-end. Ως εκ τούτου, θα εστιάσουμε σε αυτό το χαρακτηριστικό. Το κύριο χαρακτηριστικό λοιπόν του cognitive πομποδέκτη είναι η ευρυζωνική ικανότητα ανίχνευσης των RF front-end. Η λειτουργία αυτή κυρίως σχετίζεται με τεχνολογίες υλικού όπως π.χ ευρυζωνικές κεραίες, ενισχυτή ισχύος, και προσαρμοστικά φίλτρα . Τα υλικά του RF για τα cognitive radio πρέπει να είναι σε θέση να συντονίζονται σε κάθε κομμάτι ενός μεγάλου εύρους συχνοτήτων. Επιπλέον, αυτή η αίσθηση επιτρέπει μετρήσεις των φασματικών πληροφοριών του περιβάλλοντος του ραδιοσυστήματος σε πραγματικό χρόνο. Γενικά, μία ευρυζωνική front-end αρχιτεκτονική για τα Cognitive radio έχει την ακόλουθη δομή όπως φαίνεται στην εικόνα 4(b) [35]



**Εικόνα 4.** φυσική αρχιτεκτονική των *cognitive radio* [34,35]: (a) *Cognitive radio μεταφορά* and (b) *wideband RF/analog front-end architecture*

Τα χαρακτηριστικά ενός *cognitive radio RF front-end* είναι τα παρακάτω:

- φίλτρο RF: το φίλτρο αυτό συλλέγει την επιθυμητή μπάντα φιλτράροντας το λαμβανόμενο RF σήμα
- LNA: Το LNA ενισχύει το επιθυμητό σήμα ενώ ελαχιστοποιεί συγχρόνως τον θόρυβο
- Μίκτης (Mixer): Στον μίκτη, το λαμβανόμενο σήμα αναμιγνύεται με ενδογενές RF συχνότητες και μετατρέπεται στη βασική συχνότητα ή σε ενδιάμεση συχνότητα (IF).
- VCO: το VCO δημιουργεί ένα σήμα σε μία συγκεκριμένη συχνότητα για μία δοθίσα ισχύς έτσι ώστε να το αναμίξει με το ερχόμενο σήμα. Αυτή η διαδικασία κάνει το ερχόμενο σήμα στη βασική συχνότητα ή σε ενδιάμεση συχνότητα (IF).
- PLL: το PLL διασφαλίζει ότι το σήμα έχει κλειδωθεί σε μία συγκεκριμένη συχνότητα και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει συχνότητες ακρίβειας με τελική ανάλυση κανάλι φίλτρου επιλογής (Channel selection filter): Αυτό το φίλτρο χρησιμοποιείται με σκοπό να συλλέξει το επιθυμητό κανάλι και να απορρίψει τα υπόλοιπα. Υπάρχουν 2 τύποι φίλτρου καναλιού επιλογής [36]. Ο

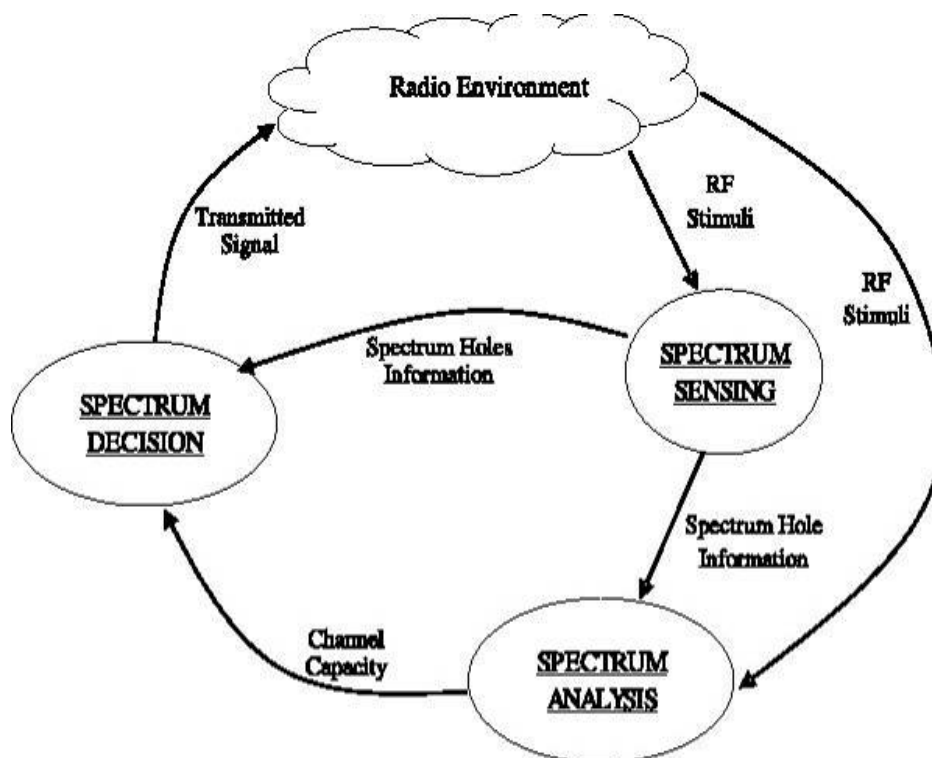
δέκτης άμμεσης μετατροπής χρησιμοποιεί ένα χαμηλοπερατό φίλτρο για την επιλογή του καναλιού . Από την άλλη πλευρά Η άμεση μετατροπή δέκτη χρησιμοποιεί ένα φίλτρο χαμηλής για την επιλογή καναλιού. Από την άλλη πλευρά, ο διαχειριστής ετεροδυνότητας υιοθετεί μια μπάντα φίλτρου διέλευσης.

- AGC: Η AGC διατηρεί το κέρδος ή τη στάθμη ισχύος εξόδου ενός ενισχυτή σταθερή σε ένα ευρύ φάσμα των επιπέδων σήματος εισόδου.

Σε αυτή την αρχιτεκτονική, το ευρυζωνικό σήμα έχει ληφθεί μέσω το RF front-end, από την δειγματοληψία την υψηλής ταχύτητας από την αναλογική στην ψηφιακή μετατροπή (A/D) επίσης μετρήσεις έγιναν για την ανίχνευση σήματος που προκύπτει από κάποιον εξουσιοδοτημένο χρήστη .Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί σχετικά με την ανάπτυξη της cognitive radio front-end Οι ευρυζωνικές RF καιρέες λαμβάνουν σήματα από διάφορους πομπούς που λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα υσχύς , ζώνες εύρους , και τοποθεσίες. Ως αποτέλεσμα, το frontend RF πρέπει να έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν ένα αδύναμο σήμα σε ένα μεγάλο εύρος. Ωστόσο, η ικανότητα αυτή προϋποθέτει ένα Μετατροπέας A / D με υψηλή ανάλυση, που θα μπορούσε να είναι ανέφικτη [35,37]. Η απαίτηση αυτού του μετατροπέα απαιτεί η δυναμική εμβέλεια του σήματος να έχει ελαχιστοποιηθεί πριν την A/D μετατροπή. Η μείωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί φιλτράροντας τα ισχυρά σήματα.Εφόσον, ισχυρά σήματα μπορούν να βρεθούν σε όλο τα φάσμα φίλτρα απαιτούνται για την ελαχιστοποίηση τους [35].Μία άλλη προσέγγιση, είναι η χρήση πολλαπλών κεραιών,με σκοπό το φιλτράρισμα να γίνεται στο στον χωρικό τομέα και όχι στο πεδίο της συχνότητας . Πολλαπλές κεραιές μπορούν να λάβουν σήματα χρησιμοποιώντας την τεχνική beamforming [37]. Η βασική πρόκληση της φυσικής αρχιτεκτονικής του cognitive radio είναι μια ακριβή ανίχνευση των ασθενών σημάτων εξουσιοδοτημένων χρηστών σε ένα ευρύ φάσμα Ως εκ τούτου,η εφαρμογή του RF wideband front-end και A / D μετατροπέα είναι κρίσιμα ζητήμα για τα δίκτυα επόμενης γενιάς [31].

#### Cognitive ιδιότητα (cognitive capability)

Η cognitive ικανότητα ενός cognitive radio επιτρέπει αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο με το περιβάλλον του έτσι ώστε να καθορίσουν τις κατάλληλες παραμέτρους επικοινωνίας και να προσαρμοστούν στο δυναμικό περιβάλλον του ραδιόυσσθήματος. Τα βήματα που απαιτούνται για την λειτουργία αυτή σε ανοικτό φάσμα φαίνονται στο Σχ.. 5 [30, 38,32],τα βήματα αυτά αναφέρονται ως cognitive κύκλος.



Εικόνα 5. Cognitive κύκλος

Σε αυτό το υποκεφάλαιο αναφέρουμε τα τρία βασικά βήματα του κύκλου τα οποία είναι τα παρακάτω:

- ανίχνευση φάσματος (spectrum sensing), ανάλυση φάσματος (spectrum analysis), and απόφαση φάσματος (spectrum decision). Τα βήματα του cognitive κύκλου όπως φέρεται στην εικόνα 5 είναι τα παρακάτω :
- ανίχνευση φάσματος (Spectrum sensing): Ένα cognitive radio ανιχνεύει τις διαθέσιμες μπάντες, λαμβάνει τις πληροφορίες και ανιχνεύει τις spectrum holes
- ανάλυση φάσματος (Spectrum analysis): Τα χαρακτηριστικά των spectrum holes οι οποίες έχουν βρεθεί κατά την διάρκεια της ανίχνευσης φάσματος έχουν εκτιμηθεί.
- απόφαση φάσματος (Spectrum decision): Ένα cognitive radio καθορίζει τον ρυθμό δεδομένων , την μέθοδο μεταφοράς και το εύρος ζώνης που θα χρειαστεί η μεταφορά.

Έπειτα η κατάλληλη μπάντα συχνοτήτων επιλέγεται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του φάσματος και τις απαιτήσεις των χρηστών. Μόλις , η λειτουργία της μπάντας καθορισθεί , μπορεί να εκτελεσθεί η επικοινωνία, χρησιμοποιώντας το επιλεγμένο φάσμα.[31]

Reconfigurability

*Reconfigurability* είναι η δυνατότητα προσαρμογής των παραμέτρων λειτουργίας για τη μετάδοση χωρίς τροποποιήσεις στα στοιχεία του υλικού . Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει τα cognitive radio να προσαρμοστούν εύκολα στο δυναμικό περιβάλλον του συστήματος. Υπάρχουν αρκετοί *Reconfigurability* παραμέτροι που μπορούν να ενσωματωθούν στο cognitiveradio[31] οι οποίοι εξηγούνται παρακάτω:

*Συχνότητα λειτουργίας (Operating frequency)*: Ένα cognitive radio είναι ικανό να αλλάξει τη συχνότητα λειτουργίας. Βασιζόμενο στις πληροφορίες που λαμβάνει σχετικά με το περιβάλλον του ραδιοσυστήματος , η πιο κατάλληλη συχνότητα λειτουργίας μπορεί να καθορισθεί και η επικοινωνία μπορεί δυναμικά να εκτελεσθεί πάνω σε αυτή την κατάλληλη συχνότητα

*Συντονισμός (Modulation)*: Ένα cognitive radio πρέπει να είναι σε θέση να ρυθμίσει ξανά τις παραμέτρους του ραδιοσυστήματος, έτσι ώστε να μπορεί να προσαρμοσθεί στις απαιτήσεις των χρηστών και στις συνθήκες του καναλιού.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση καθυστέρησης ανίχνευσης των εφαρμογών , το ποσοστό των δεδομένων είναι πιο σημαντικό από το ποσοστό λάθους. Έτσι, το καθεστώς διαμόρφωσης που επιτρέπει την υψηλότερη φασματική απόδοση, θα πρέπει να επιλεγεί.

*Ισχύς μεταφοράς (Transmission power)*: Η ισχύς που χρησιμοποιείται για μεταφορά σήματος μπορεί να αναδιαρθρώνεται εντός των ορίων ισχύς. . Αν η αύξηση της ισχύς δεν είναι απαραίτητη, τα cognitive radio μειώνουν την ισχύ εκπομπής σε χαμηλότερο επίπεδο για να επιτραπεί σε περισσότερους χρήστες να μοιράζονται το ραδιοφάσμα και να μειωθεί η παρεμβολή

*Τεχνολογία της επικοινωνίας (Communication technology)*: Ένα cognitive radio μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει interoperability μεταξύ διαφορετικών επικοινωνιακών συστημάτων

Οι παραμέτροι που αφορούν την μετάδοση σε ένα cognitive radio μπορούν να αναδιαρθρωθούν όχι μόνο στην αρχή της μετάδοσης αλλά και κατά την διάρκεια της μετάδοσης αυτής

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του φάσματος, αυτές οι παράμετροι μπορεί να αναδιαρθρώνονται, επίσης , όταν το cognitive radio μεταβαίνει σε διαφορετική μπάντα συχνοτήτων , οι παραμέτροι του πομπού και του δέκτη επαναρυθμίζονται, επίσης οι παραμέτρο του κατάλληλου πρωτοκόλλου επικοινωνίας επαναρυθμίζονται όπως και το σχέδιο διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται .[31]

#### **4.1.3 Συνύπαρξη (COEXISTENCE)**

Μια γνωστική περιοχή γνωστή ως συνύπαρξη, η οποία συνδέεται έμμεσα με τα cognitive radio, έχει ερευνηθεί για πολλά χρόνια. Πολλά ραδιοσυστήματα πρέπει να περιλαμβάνουν την ικανότητα να συνυπάρχουν με άλλα ραδιοσυστήματα , χρησιμοποιώντας διαφορετικά πρωτόκολλα στην ίδια μπάντα. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα σε μπάντες όπου οι χρήστες δεν είναι εξουσιοδοτημένοι όταν μία μεγάλη ποικιλία από διαφορετικά πρωτόκολλα συνυπάρχουν συμπεριλαμβανομένων τα IEEE πρότυπα λ.χ IEEE 802,11, IEEE 802,15 και IEEE 802,16. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος αναπτύχθηκαν τεχνικές όπως DFS και PC όπου και τυποποιήθηκαν . Σε μπάντες όπου οι χρήστες δεν έχουν άδεια τα πρωτόκολλα που συνυπάρχουν έχουν ισότιμη θέση και

μοιράζονται ισότιμα. Αλλά η πιο σημαντική εφαρμογή του CR σήμερα είναι για τους δευτερεύων χρήστες (secondary users) οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιούν ορισμένες ζώνες όταν δεν δημιουργούν πρόβλημα στους πρωτεύων χρήστες. Η έλλειψη ραδιοφάσματος συχνά γίνεται αντιληπτή (κυρίως σε χαμηλότερες συχνότητες), επειδή όλο το φάσμα έχει διατεθεί για τους πρωτογενείς χρήστες. Ωστόσο, έχει διαπιστωθεί ότι σε διαφορετικές γεωγραφικές θέσεις, μεγάλα τμήματα του καταναμημένου φάσματος δεν έχουν χρησιμοποιηθεί. (Βλέπε, για παράδειγμα, [33].)

Οι CR / τεχνικές DSA μπορεί να επιτρέψει επιπλέον (δευτερεύουσα) χρήση του ραδιοφάσματος, με παράλληλη προστασία των αρχικών χρηστών. Πολλές εφαρμογές για την τεχνολογία CR υπάρχουν, αλλά ελάχιστα περιλαμβάνουν εμπορικά δίκτυα δεδομένων, δίκτυα και υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης (την πρώτη αντίδραση), και στρατιωτικών δικτύων. Αυτές οι εφαρμογές της CR/DSA τεχνικές ακόμη μπορεί να θεωρηθούν ως η συνύπαρξη [39]. Οι τεχνικές μετάδοσης των cognitive ραδιοσυστημάτων περιλαμβάνουν επικάλυψη, υπόστρωμα και διαπλοκή [40]. Το υπόστρωμα ή το μοντέλο αποφυγή παρεμβολών επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση των πρωτεύων και δευτερεύων χρηστών του UWB όπου οι κύριοι χρήστες προστατεύονται από την επιβολή φασματικών μασκών στα σήματα των δευτερεύων, ώστε να δημιουργείται η παρεμβολή πιο χαμηλά από τον θόρυβο για τον κύριο χρήστη. Ωστόσο, το υπόστρωμα επιτρέπει μόνο επικοινωνία μικρής εμβέλειας, λόγω των διακοπών ρεύματος. Οι δευτερεύοντες χρήστες χρησιμοποιούν μέρος της ισχύος εκπομπής τους για τη μεταβίβαση των δεδομένων των πρωτογενών χρηστών και για την δικιά τους μεταφορά. Στο διαπλέκομενο μοντέλο του cognitive radios παρακολουθεί το ραδιοφάσμα περιοδικά και ευκαιριακά επικοινωνεί πάνω από τις τρύπες του φάσματος. Σημειώστε ότι ο όρος επικάλυψη χρησιμοποιείται σε πολλά έγγραφα, όπως [41] για να χαρακτηρίσει τη χρήση των cognitive radios. Ωστόσο, χρησιμοποιούμε τον όρο διαπλεκομενομοντέλο για τον χαρακτηρισμό των ευκαιριακών χρηστών του φάσματος. [42]

## 5. IEEE 802.22

### 5.1 Εισαγωγή

Έχει παρατηρηθεί ότι το ραδιοφάσμα που διατίθενται για τις υπηρεσίες τηλεόρασης παραμένει σε μεγάλο βαθμό ελεύθερο σε πολλές περιοχές . Για να βελτιωθεί η χρήση αυτού του ραδιοφάσματος, η FCC ξεκίνησε μια αλλαγή στην πολιτική της χρήσης του φάσματος για να επιτρέψει να λειτουργήσουν κάτω από το 900 MHz υπηρεσίες. Δεδομένου ότι οι ζώνες αυτές της τηλεόραση έχουν χαμηλή συχνότητα, το χαρακτηριστικό του πολλαπλασιασμού του σήματος είναι κατάλληλο για μεταφορά σε μεγάλη απόσταση [43]. Το FCC Μάιο 2004 ανακοινώθηκαν οι κανόνες [44] και η χρήση των συχνοτήτων χωρίς άδεια για ασύρματες εφαρμογές ,όσον αφορά την αναλογική τηλεόραση [39]. Το IEEE 802.22 είναι εμπλουτισμένο με την ανάπτυξη ενός CR που βασίζεται σε Wran, PHY και MAC στρώματα . Έτσι το 802.22 χρησιμοποιείται για την επαναχρησιμοποίηση του φάσματος της τηλεόρασης χωρίς να δημιουργεί παρεμβολές σε όργανα (πχ τηλεοπτικούς πομποδέκτες), οι τεχνικές των cognitive radio είναι πρωταρχικής σημασίας για να ανιχνεύσουμε και να μετρήσουμε το φάσμα,όπως και για να εντοπίσουμε εάν υπάρχουν ή όχι σήματα Εκτός αυτού, άλλες προηγμένες τεχνικές που διευκολύνουν τη συνύπαρξη, όπως η δυναμική διαχείριση του ραδιοφάσματος και το περιβάλλον του ραδιοσυστήματος θα μπορούσε να σχεδιαστεί. [45] Επιπλέον, η βάση του IEEE 802.22 Wran αναμένεται να στηρίξει μια πολύ μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης που ξεπερνάει τις άλλες τεχνολογίες που παρέχουν ασύρματη πρόσβαση(π.χ., IEEE 802.16 με βάση το WiMAX και βάση IEEE 802.20 MobileFi). [43]

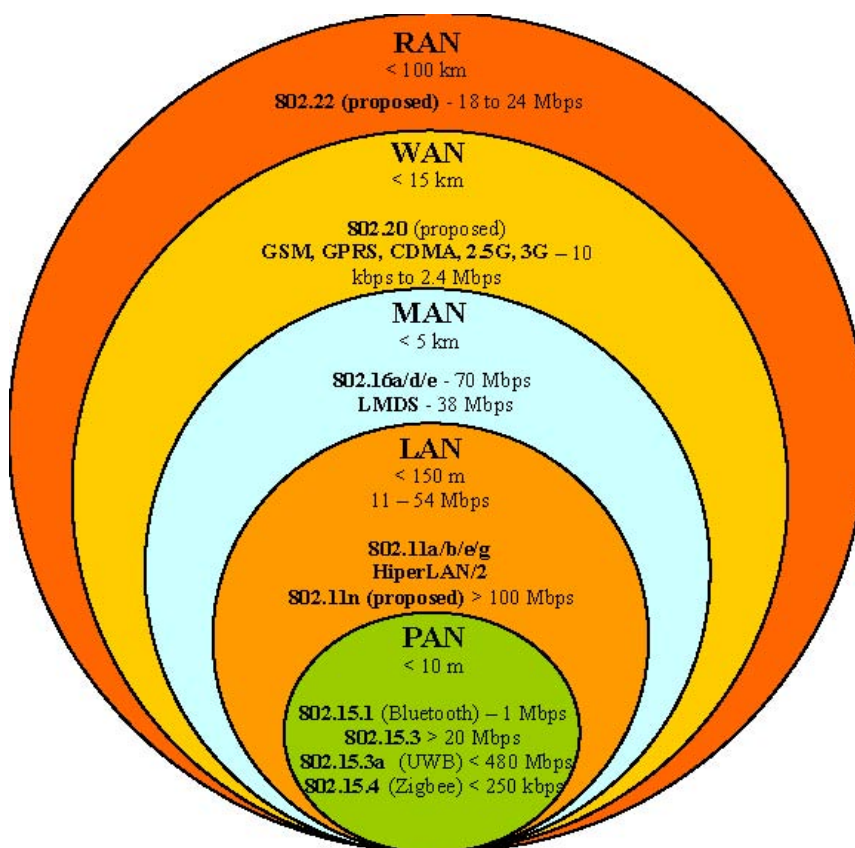
#### 5.1.1 Εφαρμογές και αγορές

Ο σημαντικότερος στόχος του 802.22 WRANs είναι η παροχή ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, με επιδόσεις ανάλογες με εκείνες των υφιστάμενων σταθερών ευρυζωνικών τεχνολογιών πρόσβασης (π.χ., DSL και τα καλωδιακά μόντεμ) που εξυπηρετούν αστικές και περιφερειακές περιοχές.

Τα τελευταία 5 χρόνια οι ΗΠΑ έχει μετακινηθεί από την τρίτη θέση στην 16η όσον αφορά το ποσοστό του πληθυσμού με ευρυζωνική και την ταχύτητα αυτών των συνδέσεων [46,47,48]]

Ενώ η διαθεσιμότητα της ευρυζωνικής πρόσβασης μπορεί να μην είναι τόσο κρίσιμη στις αστικές και περιφερειακές περιοχές, αυτό βεβαίως δεν συμβαίνει σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, όπου περίπου το ήμισυ του πληθυσμού των ΗΠΑ είναι συγκεντρωμένο (παρόμοιο επιχείρημα ισχύει και ενδεχομένως σε άλλες χώρες, ιδιαίτερα εκείνες που βρίσκονται στη Νότια Αμερική, Αφρική και Ασία). Ως εκ τούτου, αυτό προκάλεσε την FCC να ανάπτυξη νέες τεχνολογίες (π.χ., με βάση CR), που αυξάνουν τη διαθεσιμότητα της ευρυζωνικής πρόσβασης στις αγορές που υπο-εξυπηρετούνται [49] [47] [50] [51]. Η FCC επέλεξε ζώνες τηλεόρασης για την παροχή τέτοιων υπηρεσιών, επειδή οι συχνότητες αυτές διαθέτουν πολύ ευνοϊκά χαρακτηριστικά διάδοσης, έτσι θα επιτρέψουν σε πολλούς χρήστες να εξυπηρετούνται και παρέχουν ένα κατάλληλο επιχειρησιακό πλάνο για τις υπηρεσίες WISP . Επιπλέον, η FCC έχει αντιληφθεί ότι πολλά τηλεοπτικά κανάλια σε μεγάλο βαθμό είναι κενά σε πολλά μέρη των ΗΠΑ [52] δεδομένου ότι τα περισσότερα νοικοκυριά και επιχειρήσεις βασίζονται σε υπηρεσίες καλωδιακής και δορυφορικής τηλεόρασης. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι οι συσκευές 802.22 στις ζώνες της τηλεόρασης θα είναι χωρίς άδεια, το οποία μειώνει περαιτέρω το κόστος και συντελεί στην παροχή πιο προσιτών υπηρεσιών. Οι άλλες βασικές αγορές-στόχους που απευθύνεται από

802.22 Wran δίκτυα περιλαμβάνουν κατοικίες, multi-οικιστικών μονάδων, μικρό γραφείου / οικιακού γραφείου (SOHO), μικρές επιχειρήσεις, κτίρια πολλαπλών ενοικιαστής, και των δημόσιων και ιδιωτικών πανεπιστημιούπολεων. Τα 802.22 δίκτυα παρέχουν υπηρεσίες, όπως δεδομένα, φωνή, καθώς και ήχου και βίντεο της κυκλοφορίας με την κατάλληλη ποιότητα-of-Service (QoS) υποστήριξη. [53] Τέλος, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τις βασικές διαφορές μεταξύ 802.22 και 802.16 (WiMAX) [48], εφόσον σύγχυση προκύπτει συχνά κατά τη συζήτηση των δύο αυτών IEEE προτύπων. Το 802.22 απευθύνεται κυρίως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, η περιοχή κάλυψης του είναι σημαντικά μεγαλύτερος από 802.16 (βλέπε διάγραμμα 6) και αυτός είναι ο λόγος που το 802.22 είναι το πρώτο πρότυπο για WRANs που έχει δημιουργηθεί ποτέ. Επίσης, 802.16 δεν περιλαμβάνει εγκατεστημένες τεχνικές προστασίας απαραίτητες να λειτουργούν σε εγκεκριμένες ζώνες, ενώ θα έχει ένα έργο που εξελίσσεται (802.16h) σήμερα επικεντρώνονται σε συνύπαρξη μεταξύ 802.16 συστήματα μόνο.

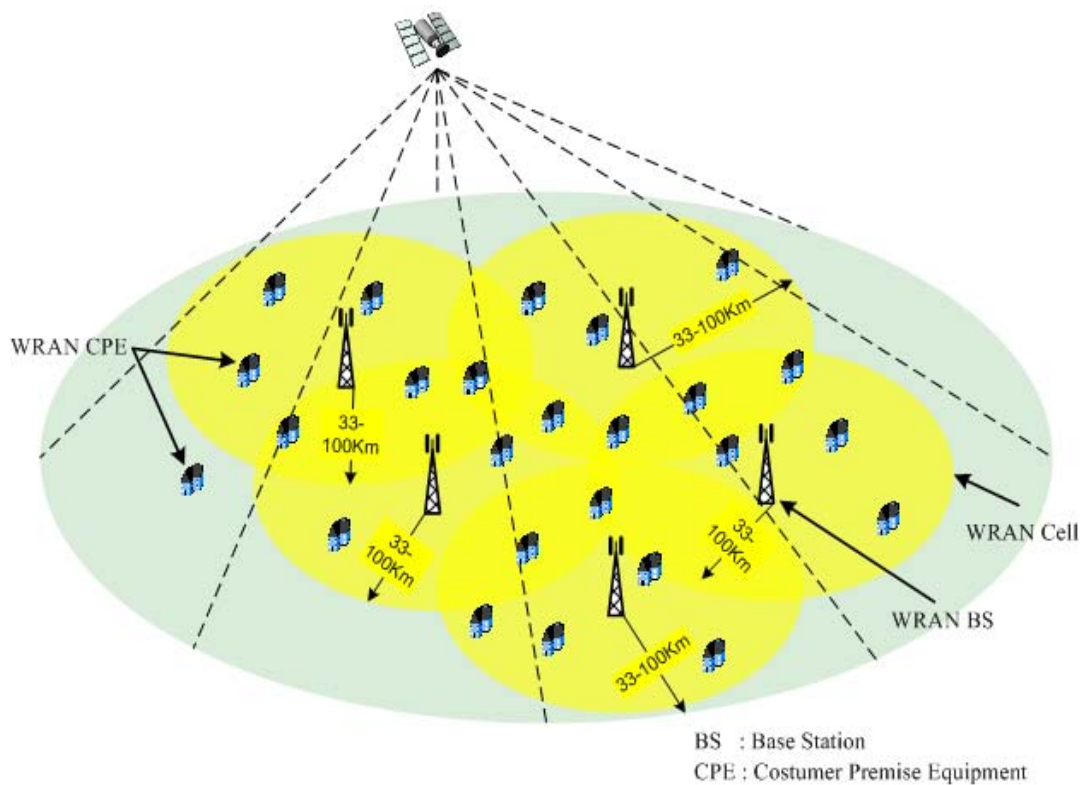


Εικόνα 6. 802.22 η ταξη των ασυρμάτων LAN

### 5.1.2 Το IEEE 802.22 σύστημα

Όπως προείπαμε στην αρχή αυτού του κεφαλαίου το IEEE 802.22 WRAN πρότυπο καθορίζει τις προδιαγραφές που πρέπει να έχουν για την λειτουργία του στις ζώνες συχνοτήτων μεταξύ 54 MHz και 862 MHz τα επίπεδα PHY και MAC ενώ αποφεύγουμε και τις παρεμβολές στις ήδη υπάρχουσες συσκευές. Το πρότυπο είναι υπό ανάπτυξη και [54]περιλαμβάνει νέες cognitive radio λειτουργίες οι οποίες θα συζητηθούν σε αυτό το κεφάλαιο [55]





Εικόνα 7. υποδειγματική διάμορφωση του 802.22

### 5.1.2.1 Τοπολογία , οντότητες και σχέσεις

Το 802.22 σύστημα καθορίζει ένα σταθερό σημείο-προς-πολλαπλά σημεία (P-MP) ασύρματη διασύνδεση όπου ένας σταθμός βάσης (BS) διαχειρίζεται το δικό του κελλί και άλλων των συναφών CPEs όπως απεικονίζεται στο σχεδιάγραμμα 7. Ο BS ελέγχει το μέσον πρόσβασης στο κελί του και μεταδίδει σε μια ροή προς τα κάτω στους διάφορους CPEs ,οι οποίοι ανταποκρίνονται πίσω σε μια ροή με κατεύθυνση προς τα πάνω δηλ προ τον BS Προκειμένου να εξασφαλιστεί η προστασία των κατεστημένων υπηρεσιών, το 802,22 σύστημα ακολουθεί μία πιο αυστηρή σχέση αφέντη/σκλάβου όπου ο BS παίζει τον ρόλο του αφέντη και οι CPEs τον ρόλο του σκλάβου .Οι CPE δεν επιτρέπεται να διαβιβάζει πριν λάβει την κατάλληλη εξουσιοδότηση από το BS, το οποίο ελέγχει επίσης όλα τα χαρακτηριστικά της ραδιοσυχνότητας (RF) λ.χ διαμόρφωσης, την κωδικοποίηση, και συχνότητες λειτουργίας που χρησιμοποιείται από το CPE. Εκτός από τον παραδοσιακό ρόλο της BS, ο οποίος είναι να ρυθμίζει την μεταβίβαση δεδομένων σε ένα κελί, ένας 802.22 BS διαχειρίζεται ένα μοναδικό χαρακτηριστικό του της διανομής με ανίχνευση . Αυτό είναι απαραίτητο για να διασφαλιστεί η ορθότητα της προστασίας των κατεστημένων συσκευών και η διαχείριση από το BS οποία αναθέτει τις διάφορες CPEs να εκτελεί τις μετρήσεις. Με βάση τις πληροφορίες που θα πάρει θα το BS θα αποφασίσει τα βήματα που θα κάνει [45].

### 5.1.2.2 Ικανότητα υπηρεσίας (Service Capacity)

Το σύστημα προσδιορίζει 802.22 φασματική απόδοση της τάξης του 0,5 bit / (sec / Hz) έως 5 bit / (sec / Hz). Αν λάβουμε υπόψη ένα μέσο όρο 3 bits / sec / Hz, αυτό θα αντιστοιχεί σε

συνολικό ποσοστό PHY δεδομένων των 18 Mbps σε ένα κανάλι TV 6 MHz. Προκειμένου να επιτύχει το ελάχιστο ποσοστό των δεδομένων για κάθε CPE συνολικά 12 ταυτόχρονοι χρήστες έχουν ληφθεί υπόψη το οποίο οδηγεί σε ένα ελάχιστο ρυθμό διεκπεραίωσης της κορυφής στο άκρο της κάλυψης των 1,5 Mbps ανά CPE στα κατάντη κατεύθυνση. Στην κατεύθυνση από τον BS στον CPE, μία κορυφή των 384 Kbps έχει καθορισθεί, η οποία είναι συγκρίσιμη με υπηρεσίες DSL. [45]

### 5.1.2.3 Κάλυψη υπηρεσίας (Service Coverage)

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των 802.22 Wran σε σύγκριση με τα ισχύοντα πρότυπα IEEE 802 είναι η περιοχή κάλυψης BS, το οποίο μπορεί να ανέλθει σε 100 χιλιόμετρα, εάν η ισχύς δεν είναι ένα θέμα (τρέχουσα καθορισμένα όρια κάλυψης είναι 33 χιλιόμετρα σε 4 Watts CPE EIRP). Όπως φαίνεται στο σχήμα 6, WRANs έχουν ένα πολύ μεγαλύτερο εύρος κάλυψης από τα δίκτυα σήμερα, η οποία οφείλεται κυρίως στην αύξηση της ισχύς και τις ευνοϊκά χαρακτηριστικά διάδοσης των ζωνών συχνοτήτων τηλεόρασης. Αυτό το ενισχυμένο εύρος κάλυψης προσφέρει μοναδικές τεχνικές προκλήσεις καθώς και ευκαιρίες [45].

## 5.2 THE 802.22 Air Interface

Η πιο σαφής και η πιο κρίσιμη προϋπόθεση για τη διασύνδεση 802.22 είναι η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα, η οποία απορρέει από το γεγονός ότι 802.22 λειτουργεί σε ένα φάσμα όπου οι κατεστημένοι φορείς πρέπει να προστατεύονται με κάθε τρόπο. Περαιτέρω, δεδομένου ότι οι λειτουργίες 802.22 χωρίς άδεια και BS εξυπηρετεί μια μεγάλη περιοχή, η συνύπαρξη μεταξύ 802.22 κυττάρων (στο εξής αναφέρονται ως ανεξάρτητοι συνύπαρξη) είναι υψίστης σημασίας. Ως εκ τούτου, σε αυτό το σημείο θα συζητήσουμε το σχεδιασμό του PHY και MAC που υποστηρίζει αυτή την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα, η οποία προβλέπει την ιδανική βάση για την προσέγγιση θεμάτων που αφορούν την συνύπαρξη [45].

### 5.2.1 Το Φυσικό επίπεδο

Στο σχήμα 8 απεικονίζει τι θα μπορούσε να είναι το πρότυπο της κατοχής τηλεοπτικού καναλιού από τους κατεστημένους φορείς με την πάροδο του χρόνου και της συχνότητας (δηλαδή ο χρόνος όπου ένα κανάλι είναι κενό) από 802.22 BS και CPEs όπου συνήθως μέσω εμπειρίας μία τυχαία συμπεριφορά έχει αντίκτυπο στον σχεδιασμό του PHY και MAC

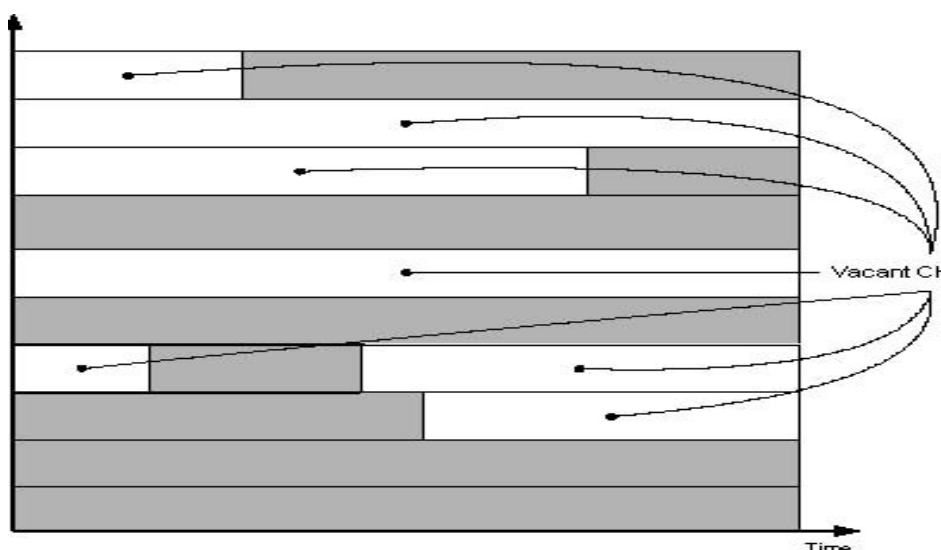
Στη συγκεκριμένη περίπτωση των PHY, θα πρέπει να προσφέρει υψηλή απόδοση, διατηρώντας παράλληλα την πολυπλοκότητα χαμηλά. Επιπλέον, θα πρέπει να αξιοποιήσει τις διαθέσιμες συχνότητες με αποτελεσματικό τρόπο έτσι ώστε να παρέχουν επαρκείς επιδόσεις, κάλυψη και τις απαιτήσεις του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων της υπηρεσίας.

Wran εφαρμογές απαιτούν ευελιξία στην ροή από τον Bs στους CPES έτσι ώστε να επιτύχουμε υποστήριξη σε μεταβλητό αριθμό χρηστών όπου έχουν διαφορετική ίσως απόδοση. Το WRANs πρέπει επίσης να υποστηρίζει πολλαπλή πρόσβαση στην κατεύθυνση από τον CPEs στο BS. Όπως επίσης πρέπει να παρέχει υψηλή ευελιξία στην διαμόρφωση και στην κωδικοποίηση.

Για παράδειγμα, εξετάστε το σενάριο στο σχήμα 7 όπου CPEs μπορεί να βρίσκονται σε διάφορες αποστάσεις από την BS και ως εκ τούτου έχουν διαφορετική Signal-to-Noise Ratio (SNR) ποιότητας. Για να ξεπεραστεί αυτό το ζήτημα και να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος, η BS πρέπει να είναι σε θέση να κάνει δυναμικά την προσαρμογή του εύρους ζώνης της διαφοροποίησης και της κωδικοποίησης σε τουλάχιστον μια βάση ανά CPE .

Πράγματι, το OFDMA αποτελεί έναν ιδανικό συνεργάτη για την επίτευξη αυτών των στόχων, διότι επιτρέπει την αποτελεσματική κατανομή των επιμέρους μεταφορών έτσι ώστε να ταιριάζουν με τις απαιτήσεις της CPEs. Μία πρόταση, είναι να χωρίσουν οι συνδρομητές σε 48 υποκανάλια. Η διαμόρφωση προγραμμάτων είναι QPSK, 16-QAM, 64QAM με συνέλιξη συστημάτων κωδικοποίησης του ποσοστού  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ ,  $2 / 3$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το εξίς ποσοστό στοιχείων, αρχής γενομένης από λίγες Kbps ανά κανάλι μέχρι 19 Mbps ανά κανάλι τηλεόρασης, παρέχοντας επαρκή ευελιξία. Είναι γνωστό, σε γενικές γραμμές, ότι το ευρύτερο εύρος ζώνης συχνοτήτων μειώνεται. Επιπλέον, το ευρύτερο εύρος ζώνης παρέχει μεγαλύτερη ικανότητα. Έτσι, κάθε φορά που το φάσμα είναι διαθέσιμο, είναι επωφελής για την ευρύτερη χρήση εύρος ζώνης του συστήματος. Η εν λόγω διάθεση του ευρύτερου φάσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συναλλαγές δεδομένων σε συνάρτηση με την απόσταση. Για παράδειγμα, οι συσκευές που είναι πιο κοντά στην BS μπορούν να απολαύσουν υψηλή χωρητικότητα, ενώ αυτά που είναι μακριά μπορούν να επωφεληθούν από την πολυ-ποικιλότητα. Η προκαταρκτική ανάλυση του προϋπολογισμού σύνδεσμου έχει δείξει ότι θα ήταν δύσκολο να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις το 802.22 (περίπου 19 Mbps σε 30 χιλιόμετρα) με τη χρήση μόνο 1 τηλεοπτικό κανάλι για τη μετάδοση. Η χρήση των συνδεδεμένων καναλιών με την άθροιση συνεχόμενων καναλιών επιτρέπει να πληρείται η απόφαση που απαιτείται.

Υπάρχουν δύο συστήματα συγκόλλησης καναλιού: bonding of contiguous and non-contiguous. Το 802.22 υποστηρίζει και τα δύο αυτά καθεστώτα. Ωστόσο, έμφαση στη συνέχεια θα δοθεί στο contiguous Bonding κανάλι.

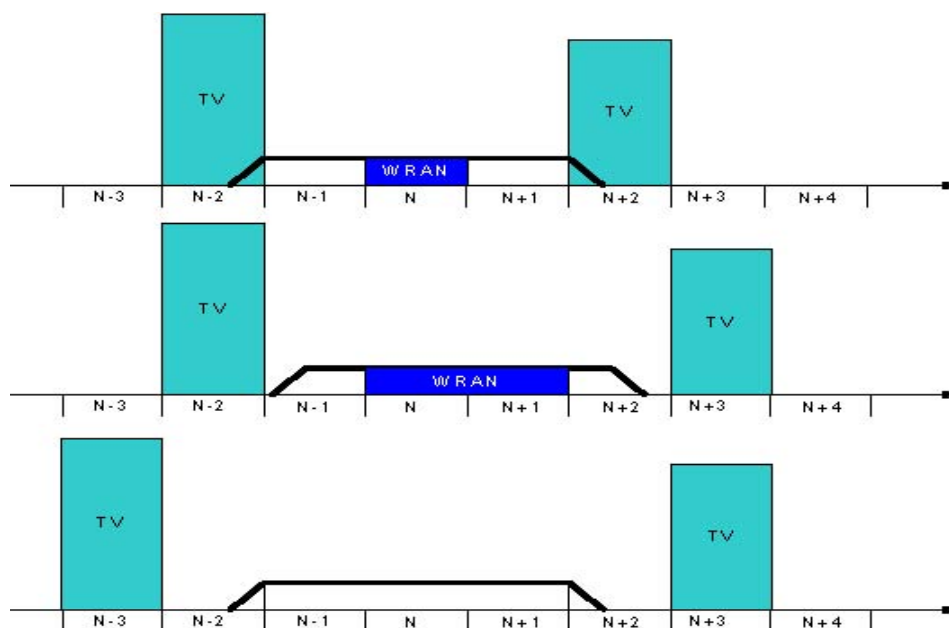


Εικόνα 8. πληρότητας της τηλεοπτικής ζώνης στην πάροδο του χρόνου και συχνότητας

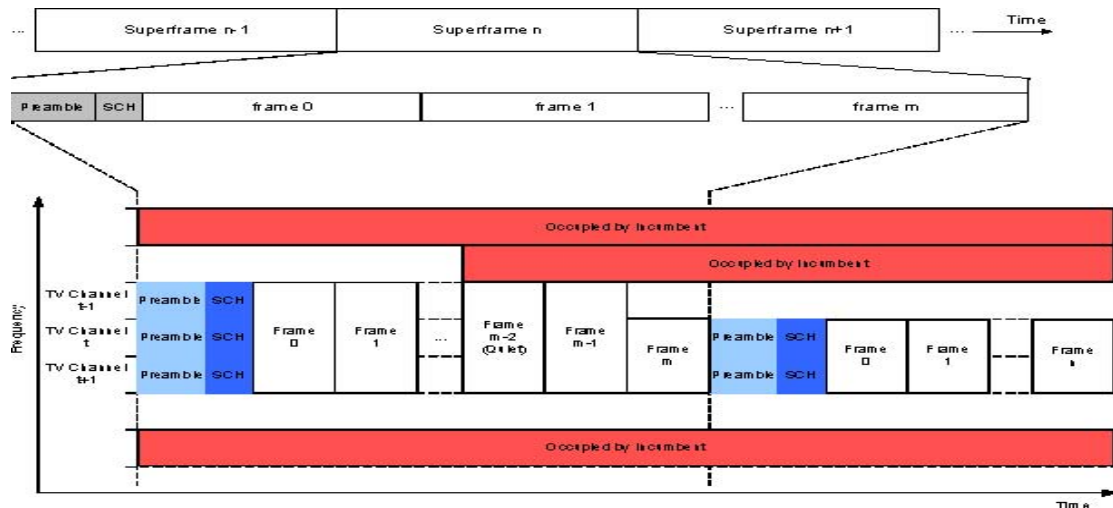
Το σχήμα 9 παρουσιάζει το απλοποιημένο διάγραμμα του συστήματος contiguous channel bonding scheme. Πρακτικά,πρέπει να εφαρμόσουμε περιορισμούς σχετικά με των αριθμο

των καναλιών που θα ενωθούν. Για τους σκοπούς της εφαρμογής, είναι απαραίτητο να περιοριστεί το εύρος ζώνης του RF front-end part του συστήματος επικοινωνίας. Η σημερινή κατανομή τηλεόρασης στις ΗΠΑ, υποχρεώνει να υπάρχουν 2 τουλάχιστον άδεια κανάλια μεταξύ των καναλιών. Αυτό γίνεται διότι θέλουμε να μειώσουμε τις παρεμβολές μεταξύ των καναλιών. Έτσι, για μία W-RAN συσκευή ο ελάχιστος αριθμός κενών καναλιών που απαιτούνται είναι 3 τηλεοπτικά κανάλια.

Με βάση αυτό, το εύρος ζώνης ραδιοσυχνοτήτων είναι περιορισμένο σε 3 συνεχόμενα κανάλια μόνο. Για 6 κανάλια MHz, αυτό συνεπάγεται σε ένα εύρος ζώνης ραδιοσυχνοτήτων των 18 MHz. Σε γενικές γραμμές, το σύστημα βασίζεται σε 6K FFT για συνδεδεμένα 3 τηλεοπτικά κανάλια. Όταν μόνο ένα τηλεοπτικό κανάλι χρησιμοποιείται, η εξωτερική φορέας του FFT θα είναι στο μηδέν συνεπώς μόνο λίγα subcarriers (δηλαδή, περίπου 1.7K) είναι ενεργά. Όταν τα δύο κανάλια συνδεθούν, περίπου 3.4K subcarriers θα είναι ενεργοί και οι υπόλοιποι εξωτερικοί subcarriers ορίζονται στο μηδέν. Για 7 και 8 κανάλια MHz, η απόσταση μεταξύ του μεταφορέα θα προσαρμοστεί αναλόγως. Ωστόσο, η προσέγγιση συνδεδεμένων παραμένει η ίδια με εκείνη του 6 τηλεοπτικών καναλιών MHz. Όταν μια συσκευή αρχίζει να συγχρονίζεται, δεν θα γνωρίζει -εκ των προτέρων τα κανάλια τα οποία συνδέονται. Για να διευκολυνθεί ο αρχικός συγχρονισμός, έχουμε ορίσει μία σούπερ δομή πλαισίου (φαίνεται στο Σχήμα 10). Η επικεφαλίδα του σούπερ πλαισίου θα πρέπει να μεταδίδεται σε γνωστό 6 MHz mode. Η νέα συσκευή μπορεί αρχικά να ξεκινήσει τη σάρωση μέσα στο 6 MHz mode. Όταν βρει την κεφαλίδα του σούπερ frame, τότε αποκτά τις απαραίτητες πληροφορίες του frame όπου ακολουθεί την κεφαλίδα. Η super κεφαλίδα βασίζεται σε περίπου 5 MHz εύρους ζώνης. Αυτό χαλαρώνει τις απαιτήσεις φιλτραρίσματος για τη μείωση των παρεμβολών από γειτονικά κανάλια. Η κεφαλίδα περιέχει ένα προοίμιο για τον συγχρονισμό χρόνου, AGC καθορισμό και εκτίμηση καναλιού. Το προοίμιο ακολουθείται στη συνέχεια με 1 κεφαλίδα συμβόλου που περιέχει τις ισχύουσες bits πληροφοριών. Οι ίδιες πληροφορίες διαβιβάζονται κατ'επανάληψη σε όλα τα τηλεοπτικά κανάλια που είναι συνδεδεμένα. [53] Οι παράμετροι της παρούσας προδιαγραφής παρουσιάζονται στον πίνακα 1[55].



**Εικόνα 9.** *Simplified diagrams of the channel bonding scheme illustrating 1 (top), two (middle), and three TV channels (bottom)*



Εικόνα 10. Γενική δομή του super frame

TABLE 1 System parameters	
Parameters	Specification
Frequency range	54~862 MHz
Bandwidth	6 and/or 7, and/or 8 MHz
Data rate	1.51~22.69 Mb/s
Spectral Efficiency	0.25~3.78 b/s/Hz
Payload modulation	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Transmit EIRP	Default 4W for CPEs
FFT Mode	2048
Cyclic Prefix Modes	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Duplex	TDD
FEC codes	LDPC, Turbo Code, and STBC

Εικόνα 11. Παράμετροι συστήματος

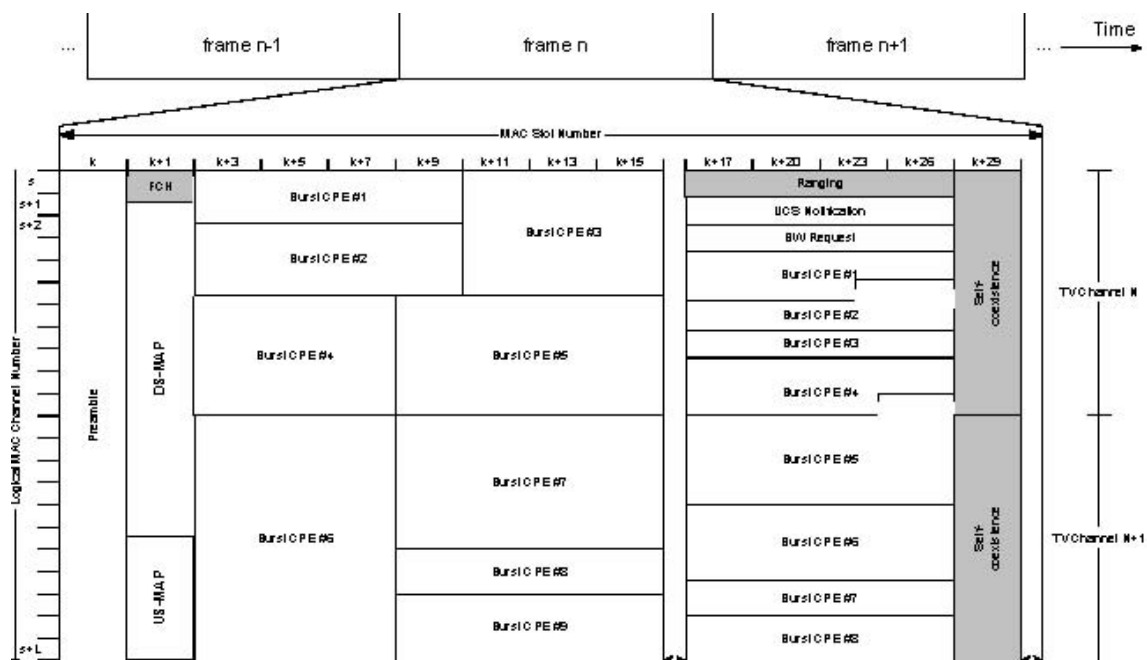
## 5.2.2 MAC

Το MAC επίπεδο του CR σταθμού βάσης πρέπει να είναι δυναμικό έτσι ώστε να ανταποκρίνεται γρήγορα στις αλλαγές του περιβάλλοντος. Εκτός από την παροχή των παραδοσιακών υπηρεσιών το 802.22 MAC απαιτεί να έχει ένα νέο σύνολο από λειτουργίες για αποτελεσματική λειτουργία στα πλαίσια μοιρασμού των συχνοτήτων[53].

### 5.2.2.1 Super frame και δομή του frame

Στο τρέχον προσχέδιο του 802.22 MAC απασχολεί η δομή superframe που απεικονίζεται στο Σχήμα 10. Κατά την έναρξη του κάθε super frame, το BS στέλνει ειδικό προοίμιο και

SCH (κεφαλίδα ελέγχου superframe) μέσα από κάθε τηλεοπτικό κανάλι (μέχρι 3 συνεχόμενα) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία, είναι μία εγγύηση για την προστασία των ήδη υπάρχουσων συσκευών οι CPEs μπορεί να είναι συντονισμένοι σε οποιοδήποτε από αυτά τα κανάλια και τα οποία συγχρονίζει και λαμβάνει το SCH, είναι σε θέση να συγκεντρώσει όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται για να συνδεθούν με το BS. Κατά τη διάρκεια της ζωής ενός superframe, πολλαπλά MAC πλαίσια μπορούν να εκπέμπονται σε πολλούς σταθμούς και ως εκ τούτου μπορεί να προσφέρει καλύτερη χωρητικότητα του συστήματος, το φάσμα, διαφορετικά multipath, και ρυθμό δεδομένων. Σημειώστε, ωστόσο, ότι για λόγους ευελιξίας της MAC υποστηρίζει CPEs τα οποία είναι ικανά να λειτουργούν σε ένα ένα ή περισσότερα κανάλια. Κατά τη διάρκεια του MAC frame η BS έχει την ευθύνη για τη διαχείριση των ροών από το BS στο cpe και το αντίθετο, οι ροές μπορεί να περιλαμβάνουν τακτική επικοινωνία δεδομένων, μέτρησης, τις διαδικασίες συνύπαρξης, και ούτω καθεξής. Η δομή πλαισίου MAC φαίνεται στο Σχήμα 11.



Εικόνα 11. Χρόνος/Συχνότητα δομή ενός Mac frame

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε ένα frame αποτελείται από δύο μέρη : μία DS subframe και μία US subframe .Το σύνορο μεταξύ αυτών των δύο μερών είναι προσαρμόσιμο και έτσι ο έλεγχος της χωρητικότητας του US και DS μπορεί εύκολα να γίνει .Το DS subframe περιλαμβάνει ένα DS PHY PDU με πιθανά διαστήματα διεκδίκησης για τους σκοπούς της συνύπαρξης .Ένα US subframe αποτελείται από διαστήματα διεκδίκησης για τον προγραμματισμό λ,χ initial ranging, αιτήσεις εύρους ,UCS γνωστοποίηση και πιθανούς σκοπούς συνύπαρξης ,μπορεί να υπάρχουν ένα ή πολλαπλά upstream PHY PDUs το καθένα να μεταδίδεται από διαφορετικούς CPEs.[53]

### 5.2.2.2 Network Entry and Initialization

Γενικά, όταν υπάρχει εξάρτηση από μια κεντρική BS για την πρόσβαση και την είσοδο του δικτύου, είναι μια απλή διαδικασία σε οποιοδήποτε πρωτόκολλο MAC. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει όταν λειτουργούν σε μια κοινόχρηστη ζώνη και σε ευκαιριακές βάση, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7. Σε αντίθεση με υπάρχουσες ασύρματες τεχνολογίες, δεν

υπάρχει προκαθορισμένο κανάλι (εδώ, το κανάλι μπορεί να σημαίνει τη συχνότητα, ώρα, κωδικός, ή οποιοδήποτε συνδυασμό αυτών) όπου ένα CPE μπορεί να χρησιμοποιήσει για να αναζητήσει ένα BS. Έτσι, η MAC πρέπει να είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να αντιμετωπίσει την είσοδο του δικτύου, το οποίο είναι συνήθως μια απλή διαδικασία στα υπάρχοντα ασύρματα πρωτόκολλα MAC. Στο προσχέδιο 802.22 MAC, όταν ένα CPE ξεκινά πρώτα να σαρώνει (ίσως όλα) τα τηλεοπτικά κανάλια και να φτιάχνει ένα χάρτη πληρότητας του φάσματος που προσδιορίζει για κάθε κανάλι εάν οι εγκατεστημένοι φορείς έχουν εντοπιστεί ή όχι [56] [57]. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί μεταγενέστερα να προσκόμισθούν στους BS και χρησιμοποιούνται επίσης από το CPE για να καθορίσει ποια κανάλια είναι κενά και ως εκ τούτου να αναζητήσουν BSS. Σε αυτά τα κενά κανάλια, το CPE πρέπει στη συνέχεια να σάρωση για SCH μεταδόσεις από την BS. Η διάρκεια διαμονής ενός CPE σε ένα κανάλι είναι τουλάχιστον ίσο με την διάρκεια ενός superframe . Μόλις το CPE λαμβάνει το SCH, αποκτά το κανάλι και πληροφορίες δικτύου που χρησιμοποιούνται για να προχωρήσει με την είσοδο του δικτύου και την αρχικοποίηση.

### 5.2.2.3 Μετρήσεις και διοίκηση εύρους ζώνης

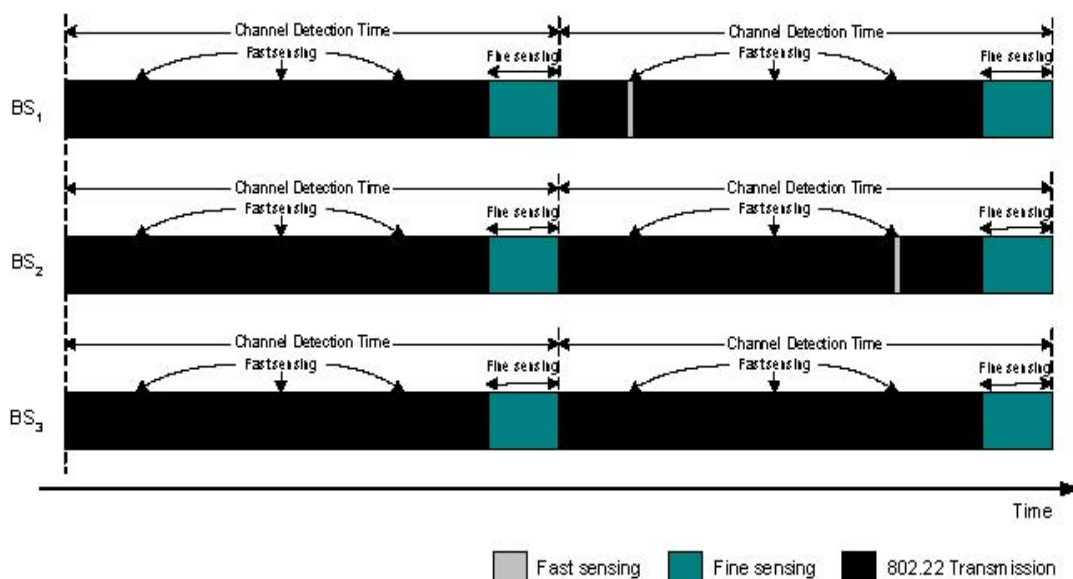
Μια από τις συνιστώσες του προσχεδίου 802.22 MAC που αποτελεί σημαντικό τμήμα του cognitive χαρακτηριστικά του προτύπου αυτού, αφορά τις μετρήσεις και την διαχείριση των καναλιών. Ένα 802.22 κύτταρο λειτουργεί χωρίς να προξενεί επιζήμιες παρεμβολές σε κατεστημένες συσκευές, η BS αναθέτει στις CPEs σε να ασκούν περιοδικές μετρήσεις , οι οποίες μπορεί να είναι είτε in-of-band ή out-of-band. Σε μέτρησης μπάντας σχετίζεται με το κανάλι (ια) που χρησιμοποιείται από την BS για να επικοινωνεί με το CPEs, ενώ out-of-band αντιστοιχεί σε όλα τα άλλα κανάλια. Για τις μετρήσεις σε ζώνη το BS περιοδικά σταματάει στο κανάλι, ώστε η ανίχνευση των κατεστημένων να μπορούν να πραγματοποιηθούν κάτι που δεν ισχύει για τις για out-of-band μετρήσεις. Προκειμένου να διαπιστωθεί η παρουσία των κατεστημένων φορέων, η 802.22 συσκευή πρέπει να ανιχνεύει τα σήματα σε πολύ χαμηλά επίπεδα SNR και με ορισμένη ακρίβεια, η οποία θα πρέπει να ελέγχεται δυναμικά από την BS. Δεδομένου ότι οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται σε χαμηλά επίπεδα SNR, γίνεται δεκτό ότι η ανίχνευση των τηλεοπτικών σημάτων γίνεται με μη συνεκτικό τρόπο, που υποτίθεται ότι δεν είναι συγχρονισμός [58] [59]. Ανάλογα με τον κατεστημένο φορέα αλγόριθμου ανίχνευσης διαθέσιμα στα διάφορα CPEs, οι μετρήσεις μπορούν να λάβουν διάφορες χρονικό διάστημα. Η BS πρέπει επίσης να αναφέρει ποιο κανάλι,για πόσο καιρό ,και με πια πιθανότητα ανίχνευσης και με λάθος συναγερμό.Επιπλέον,για καλύτερη διαδικασία ο BS μπορεί να μην απιτήσει σε κάθε CPEs που επικοινωνεί να κάνει τις μετρήσεις . Αντίθετα, μπορεί να ενσωματώνει αλγόριθμους που κατανέμουν το φορτίο των μετρήσεων σε όλους τους CPEs και χρησιμοποιούν τις μετρούμενες τιμές για να αποκτήσουν ένα χάρτη φάσματος πληρότητας για το σύνολο των κυττάρων. Οι μετρούμενες τιμές από την CPEs πρέπει επίσης να επιστραφούν στην BS, που αναλύει στη συνέχεια και λάμβανει μέτρα, εφόσον χρειάζεται. Το τρέχον 802,22 MAC προσχέδιο προβλέπει την υποστήριξη όλων αυτών των πτυχών. Ενσωματώνει επίσης ένα ευρύ σύνολο των λειτουργιών που του επιτρέπουν να διαχειρίζονται αποτελεσματικά το φάσμα. Εργασίες, όπως διακόπτη καναλιού , να αναστείλει / συνεχίζει τη λειτουργία του καναλιού, και να προσθέσει / αφαιρέσει κανάλια είναι από τις πολλές δράσεις της MAC όπου μπορεί να πρέπει να λάβει για να εγγυηθεί την προστασία των κατεστημένων και την αποτελεσματική συνύπαρξη. [53]

## 5.3 Quiet Periods for Incumbent Sensing

Για τα in-band κανάλια , το σημερινό προσχέδιο 802,22 MAC απασχολείται από τον μηχανισμό των περιόδων ησυχίας, όπως φέεται στο σχήμα 12. Αποτελείται από δύο στάδια, τα οποία έχουν διαφορετικές χρονικές κλίμακες: ταχεία ανίχνευση και τελική ανίχνευση

**Ταχεία ανίχνευση :** Το στάδιο της γρήγορης ανίχνευσης αποτελείται από μία ή περισσότερες περιόδους γρήγορης ανίχνευσης όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 12. Κατά το στάδιο αυτό, ένας αλγόριθμος γρήγορης ανίχνευσης έχει προσληφθεί (π.χ., ενέργεια απλής ανίχνευσης ). Συνήθως, αυτό γίνεται πολύ γρήγορα (στο πλαίσιο 1ms/channel) συνεπώς είναι πιο αποτελεσματική διαδικασία .Όλοι οι CPEs πήραν μέρος για την έκβαση των αποτελεσμάτων όσον αφορά τις μετρήσεις και ενσωματώνονται στο στάδιο, αυτό στον BS όπου αποφασίζει στην συνέχεια σχετικά με την διαδικασία του τελικού σταδίου ανίχνευσης Για παράδειγμα, αν κατά τη διάρκεια της ταχείας ανίχνευσης συνάγεται το συμπέρασμα ότι η ισχύς στο κανάλι είναι πάντα κάτω από το όριο, το BS μπορεί να αποφασίσει να ακυρώσει την επόμενη προγραμματισμένη φάση που είναι η τελική ανίχνευση.

**Τελική ανίχνευση:** Η ύπαρξη αυτού του σταδίου καθορίζεται δυναμικά από το BS βασιζόμενο στα αποτελέσματα της προηγούμενης διαδικασίας .Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας , εκτελείται μία πιο λεπτομερείς ανίχνευσης στα κανάλια που μας ενδιαφέρουν . Συνήθως, οι αλγόριθμοι που εκτελούνται κατά το στάδιο αυτό μπορεί να είναι της τάξης των χιλιοστών του δευτερολέπτου (π.χ., 25ms στην περίπτωση του επιτόπιου εντοπισμού συγχρονισμού για ATSC3) για κάθε μεμονωμένο κανάλι συχνότητας, ψάχνουν κυρίως για μεταδιδόμενα σήματα των πρωτογενών χρηστών . Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι τηλεοπτικοί σταθμοί δεν εμπίπτουν στην συχνότητα του αέρα , ο μηχανισμός αυτός γίνεται ιδιαίτερα αποδοτικός.



**Εικόνα 12. Τα δύο στάδια των μηχανισμών της περιόδου ησυχίας**

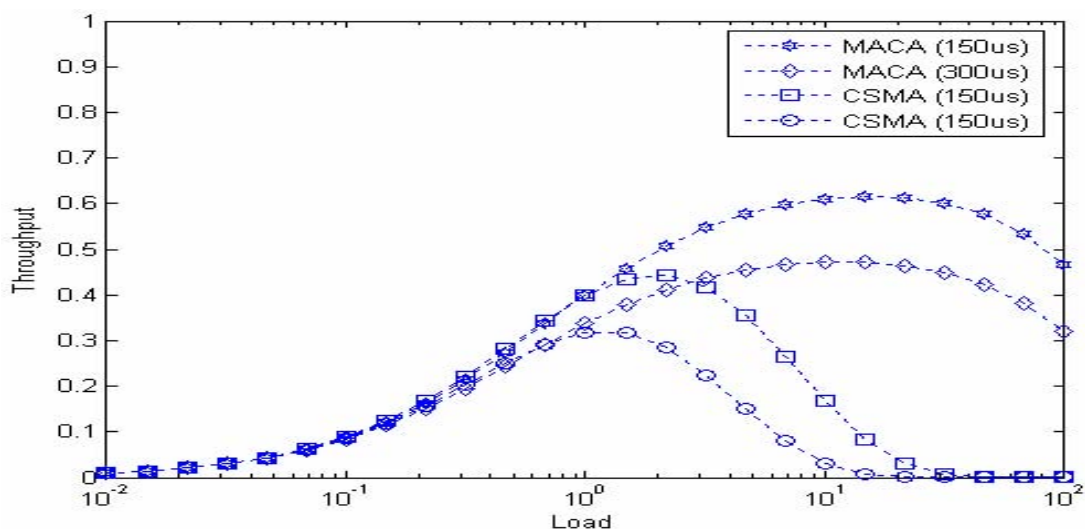
Σαφώς, η δυνατότητα να έχουμε πολλαπλές επικαλύψεις των BS που λειτουργούν στην ίδια γεωγραφική περιοχή μπορεί να υπομονεύσει αυτά τα δύο στάδια που αφορούν τις περιόδους ησυχίας . Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, το 802,22 σύστημα ενσωματώνει ένα πολύ αποτελεσματικό αλγόριθμο που είναι σε θέση να συγχρονίσει δυναμικά πολλαπλές επικαλύψεις κυττάρων . Με βάση αυτό, οι ήσυχοι περίοδοι



επικάλυψης των BSS συγχρονίζονται επίσης με αποτέλεσμα τη ρύθμιση που απεικονίζεται στο σχήμα 13. Έτσι, ανίχνευση μπορεί να γίνει με υψηλή αξιοπιστία. [53]

### 5.3.1 Συνύπαρξη στο IEEE 802.22

Η διαδικασία συνύπαρξης είναι ζωτικής σημασίας για τη διασύνδεση του 802.22 στον αέρα, το οποίο, σε αντίθεση με άλλα ασύρματα πρότυπα IEEE, είναι υποχρεωμένα να συμπεριλαμβάνουν μηχανισμούς συνύπαρξης στα αρχικά στάδια του προτύπου. Για το σκοπό αυτό, οι τεχνικές CR έχουν ενσωματωθεί στο 802.22 μέσω της ανίχνευσης, τις μετρήσεις, τους αλγόριθμους εντοπισμού, καθώς και τη διαχείριση του ραδιοφάσματος. Ο συνδυασμός αυτών των μηχανισμών παρέχει ένα ραδιοσύστημα που είναι εξαιρετικά ευέλικτο και προσαρμοζόμενο στο περιβάλλον και μπορούν να αντιδράσουν σε αιφνίδιες αλλαγές αυτού.



Εικόνα 13. Performance analysis of contention-based protocols under large propagation delays

Όπως συζητήθηκε νωρίτερα, οι τηλεοπτικές μπάντες εκπομπής που θα λειτουργεί το 802.22 έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί από τηλεοπτική εκπομπή από ασύρματα μικρόφωνα και PLMRS/CMRS. Ως εκ τούτου, σε αυτό το κεφάλαιο θα συζητήσουμε λεπτομερώς την παρούσα κατάσταση της συνύπαρξης στο 802,22, έτσι ώστε να προστατέψουμε αυτές τις συσκευές και επιπλέον να μειώσουμε την αυτοσυνύπαρξη.[45]

#### 5.3.1.1 Κεραίες

Ο πρωταρχικός στόχος του 802.22 είναι να καθορίσει μια τεχνολογία που δεν παρέχει μόνο την υπηρεσία που προορίζεται, αλλά και για να εγγυηθεί ότι οι υπηρεσίες που παρέχουν οι ήδη υπάρχουσες συσκευές θα συνεχίσουν να παρέχονται. Έχοντας υπόψιν αυτούς τους δύο στόχους και την σαφή πρόκληση για την συνύπαρξη, πιστεύεται ότι το κάθε CPE θα χρειασθεί να κατέχει 2 ξεχωριστές κεραίες (Υπό τον έλεγχο ενούς μοναδικού

MAC και PHY). Οι δύο αυτές κεραίες, είναι η κατευθυντική και η Παγκατευθυντική (με κέρδος 0 dBi ή και μεγαλύτερο).

*Η κατευθυντική κεραία* θα είναι η κεραία που χρησιμοποιείται συνήθως από την CPE για να επικοινωνεί με το BS. Οι κατευθυντικές κεραίες έχουν το επιθυμητό χαρακτηριστικό ότι η ισχύς δεν ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις έτσι ελαχιστοποιούνται οι παρεμβάσεις [60]. Επιπλέον, αυτές οι κεραίες προσφέρουν την ικανότητα να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα των TPC που διευκολύνει περαιτέρω τη συνύπαρξη.

*Η Παγκατευθυντική κεραία*, από την άλλη πλευρά, θα χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανίχνευση και την εκτέλεση των μετρήσεων. Ως εκ τούτου, για να εκτελέσει μια αξιόπιστη ανίχνευση αυτή η κεραία είναι πολύ πιθανόν να πρέπει να τοποθετηθεί σε εξωτερικούς χώρους. Χρησιμοποιώντας μία παγκατευθυντική κεραία, οι CPEs είναι σε θέση να ψάχνουν για εγκατεστημένους φορείς σε όλη τη γειτονιά του, και δεν ψάχνουν μόνο σε μία κατεύθυνση, όπως θα συνέβαινε με την κατευθυντική κεραία. [45]

### **5.3.2.2 Συνύπαρξη με τηλεόραση και ασύρματα μικρόφωνα**

Στο 802.22, τόσο το BS και CPE είναι υπεύθυνοι για την προστασία των ήδη εγκατεστημένων μηχανημάτων το οποίο βασίζεται στην ανίχνευση RF και τις CR τεχνικές. Από μετρήσεις που εκτελούνται από ένα μόνο CPE δεν μπορεί να είναι πλήρως αξιόπιστο, μία περιοδική διανομή του μηχανισμού ανίχνευσης απασχολείται από το BS, το οποίο χρησιμοποιεί τεχνικές όπως η συγχώνευση δεδομένων και των δημοψηφισμάτων σε όλα τα στοιχεία μετρήσεων για να αποκτήσει ένα αξιόπιστο φάσμα. [53]

#### **5.3.2.2.1 Sensing Thresholds**

Το 802.22 όπως ήδη γνωρίζουμε είναι υπεύθυνο για την ανίχνευση των μεταδόσεων που γίνονται από εξουσιοδοτημένους χρήστες, αυτό μπορεί να γίνει πιθανότατα με την χρήση μιας πολυκατευθυντικής καιρέας σε κάθε κατεύθυνση και πόλωση. Το BS εγκαταλείπει ένα κανάλι εάν ανιχνεύσει σήματα από εξουσιοδοτημένους χρήστες, τα σήματα αυτά εντοπίζονται αν είναι πάνω από τα ακόλουθα όρια (αναφέρονται στην είσοδο του παραλήπτη) ψηφιακή τηλεόραση (DTV): -116 dBm πάνω από κανάλι 6 MHz

Αναλογική τηλεόραση : -94 dBm μετρήθηκε στην κορυφή φέροντος του συγχρονισμού της NTSC4 φωτογραφίας.

Ασύρματα μικρόφωνα : -107 dBm μετρήθηκε σε εύρος 200 KHz. [53]

#### **5.3.2.2.2 Χρόνος απόκρισης**

Ο χρόνος απόκρισης είναι ο χρόνος διάρκειας της τηλεοπτικής μετάδοσης και της λειτουργίας του ασυρμάτου μικροφώνου χωρίς την παρεμβολή του συστήματος του IEEE 802.22 στο κανάλι. Για τον σκοπό της ανίχνευσης ενός νέου DTV σταθμού, ο χρόνος απόκρισης δεν είναι κατάλληλο κριτήριο. Το ελάχιστο ποσοστό της ανίχνευσης για τηλεοπτική ανίχνευση μπορεί να είναι 1 ώρα και ο χρόνος εκκένωσης λιγότερο από 30

λεπτά, επιτρέποντας στον μηχανισμό ανίχνευσης να επιβιβαστεί την παρουσία μίας DTN λειτουργίας. Ωστόσο, στην περίπτωση όπου τηλεοπτικοί σταθμοί (TV stations) δεν λειτουργούν συνεχόμενα π.χ δεν λειτουργούν κατά την διάρκεια τη νύχτας χρειάζεται πολύ γρήγορη ανίχνευση για να εγκαταλείψουμε το κανάλι όταν η συσκευή απανταλειουργήσει. Εδώ, το ελάχιστο ποσοστό της ανίχνευσης θα μπορούσε να είναι 5 λεπτά και ο χρόνος εκκένωσης να μην υπερβαίνει το 1 λεπτό. Σε αντίθεση με την ανίχνευση των τηλεοπτικών μεταδόσεων, η ανίχνευση της λειτουργίας ασύρματου μικροφώνου είναι πολύ πιο δύσκολη, επειδή αυτές μεταδίδουν σε πολύ χαμηλότερη ισχύ (συνήθως 50 mW, για μια σειρά κάλυψης 100 μ.) και καταλαμβάνουν πολύ χαμηλότερο εύρος ζώνης (200 KHz). Ως εκ τούτου, η 802.22 WG εξετάζει δύο επιλογές, έτσι ώστε να μην είναι αποκλειστικά ανάγκη να προστατεύσει αυτές τις υπηρεσίες: συνήθεις ανίχνευση και εντοπισμό, όπως και σταθμούς μετάδοσης. Η ανίχνευση και ο εντοπισμός βασίζεται στην επιλογή δυναμικής συχνότητας (DFS), το μοντέλο με εντολή από την FCC είναι στην ζώνη των 5 GHz [61], όπου συνιστάται παραμέτρους για την προστασία του ασύρματου μικροφώνου, αναφέρονται στον πίνακα 2. Επιπλέον, η άλλη επιλογή που αφορά την λειτουργία του ασύρματου μικροφώνου είναι η χρήση μιας εξειδικευμένης μηχανής η οποία θα μπορούσε να λειτουργήσει ως σταθμός μετάδοσης στο κανάλι που λειτουργούν τα ασύρματα μικρόφωνα. Για παράδειγμα, σε μια συναυλία όπου τα ασύρματα μικρόφωνα χρησιμοποιούνται σε, ας πούμε, στο κανάλι Γ, οι ειδικές αυτές διατάξεις θα διαβιβάζουν περιοδικά σημάδια (ενδεχομένως σε μια ανώτερη δύναμη) μέσω ενός καναλιού Γ BSS. Το 802.22 CPEs με την λήψη αυτών των σημάτων μέσω του σταθμού μετάδοσης του καναλιού Γ θα το εγκαταλείψει αποφεύγοντας την παρεμβολή [45]

### 5.3.2.2.3 Self-Coexistence

Σε αντίθεση με άλλα πρότυπα του IEEE 802 όπου τα θέματα self coexistence συζητούνται μετά από την τελειοποίηση του προτύπου, το 802.22 WG υιοθετεί μία προληπτική προσέγγιση, με αποτέλεσμα πρωτόκολλα self coexistence όπως και αλγόριθμοι να περιλαμβάνονται στον ορισμό του IEEE 802.22. Πολλαπλοί, 802.22 Bs και CPE μπορεί να λειτουργούν στο ίδια περιοχή έτσι λαμβάνονται υπόψιν παράγοντες όπως self interference όπου μπορούν να καταστρέψουν το σύστημα. Αυτό επιδεινώνεται περαιτέρω από το γεγονός ότι το 802.22 παρέχει κάλυψη φάσματος έως και 100 χιλιόμετρα, και κατά συνέπεια το φάσμα των παρεμβολών είναι μεγαλύτερες από ό, τι σε οποιαδήποτε υπάρχουσα τεχνολογία. Παρακαλώ σημειώστε ότι σε αντίθεση με άλλες μπάντες, όπως κινητά, όπου οι φορείς έχουν πάρει άδεια για ένα ειδικό τμήμα του φάσματος για συγκεκριμένη χρήση τους, οι 802.22 BSS και CPEs λειτουργούν με έναν ευκαιριακό τρόπο σε μπάντες χωρίς να έχουμε άδεια και, συνεπώς, δεν μπορεί να θεωρηθεί ο συντονισμός μεταξύ των δικτύων των διαφόρων φορέων παροχής υπηρεσιών και κατά πάσα πιθανότητα δεν υπάρχει. Η self-coexistence συνεπάγει ότι τα 802,22 δίκτυα τα οποία είναι εντός εμβέλειας ραδιοσυστήματος πρέπει το ένα με το άλλο είναι σε θέση να συγχρονίζουν τα super frames μεταξύ τους. Στο τρέχων προσχέδιο του προτύπου τέτοιος συγχρονισμός επιτυγχάνεται από τους BS ή τους CPE όπου έχουν σταθμού μετάδοσης έτσι ώστε να είναι σε θέση να ακουστούν από ένα γειτονικό δίκτυο. Οι CPEs μέσα σε ένα δίκτυο, όταν δεν επικοινωνούν με τους BS, αναζητούν σταθμούς μετάδοσης για συνύπαρξη ενός γειτονικού δικτύου. Όταν ένας BS λαμβάνει συνύπαρξη από τον σταθμό μετάδοσης ενός γείτονα (είτε απευθείας είτε από ένα από CPEs του), αλλάζει την ώρα έναρξης των σούπερ πλαισίου του σύμφωνα με ορισμένους κανόνες. Σημειώστε ότι αυτή η πράξη διανέμεται εντελώς, και ως εκ τούτου, η σύγκλιση του συγχρονισμού πρέπει να εξασφαλίζεται από τους κανόνες αυτούς [45].

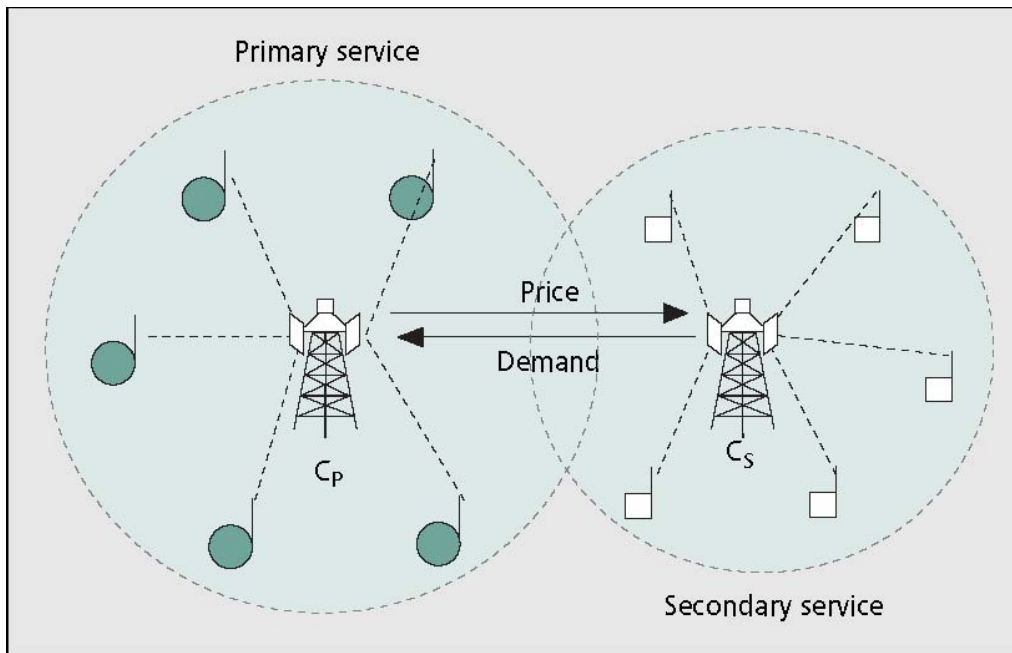
TABLE 2 DFS Parameters for wireless microphones

PARAMETER	VALUE
Channel Availability Check Time	30 sec
Non-Occupancy Period	10 minutes
Channel Detection Time	500 msec –
Channel Setup Time	2 sec
Channel Opening Transmission Time (Aggregate transmission time)	100 msec
Channel Move Time (In-service monitoring)	2 sec
Channel Closing Transmission Time (Aggregate transmission time)	100 msec
Interference Detection Threshold	-107 dBm

## 5.4 Σχετικές ερευνητικές προσεγγίσεις

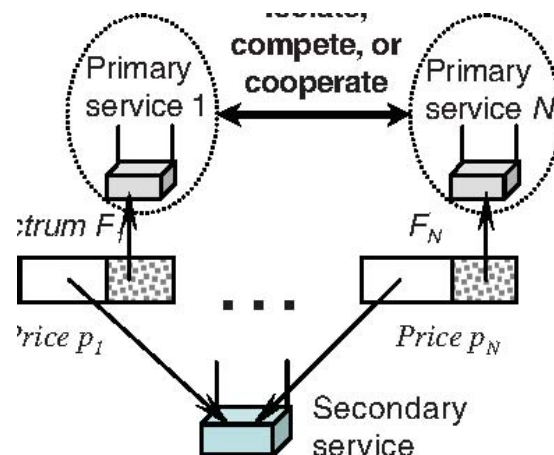
Αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει τα Cognitive radios .Μερικοί από αυτούς εφάρμοσαν μοντέλα μικροοικονομίας στα CR όπως για παράδειγμα η ερευνητική ομάδα του Dusit Niyato.Μερικοί άλλοι παρουσίασαν μία πιθανή αρχιτεκτονική των CR.Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών έχουν δημοσιευθεί σε σημαντικά επιστημονικά περιοδικά όπως IEEE ή Springer κλπ ή δημοσιεύθηκαν σε σημαντικά διεθνοί συνέδρια.Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρω μερικές ερευνητικές προτάσεις

Το πρώτο σύστημα το οποίο αναφέρεται στην παρούσα διατριβή (εικόνα 14), αποτελείται από ένα προτεύων φορέα παροχής υπηρεσιών (ή πωλητή φάσματος ) που μοιράζεται το διαθέσιμο ραδιοφάσμα με ένα δευτερεύον φορέα παροχής υπηρεσιών (αγοραστής φάσματος). Τόσο ο αγοραστής και ο πωλητής έχουν ως συμφέρον τους να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους / ωφέλειας. Ωστόσο, χρειάζονται να επικοινωνούν ,να μαθαίνουν,και να υιοθετούν στρατηγικές έτσι ώστε να φθάσουν στην ισοροπία της αγοράς (market-equilibrium),αυτή η ισοροπία χαρακτηρίζεται με μία τιμή για την οποία η ζήτηση ισούται με την προσφορά ,έτσι το κέρδος του πωλητή και η ικανοποίηση του πελάτη μεγιστοποιείται.Ένας GFM αλγόριθμος μάθησης [62] μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την δευτερεύουσα υπηρεσίας για την εκτίμηση της τιμής που χρεώνει η κύρια υπηρεσία. [63]



Εικόνα 14. πρωτεύων και δευτερεύων υπηρεσίες

Μία άλλη δημοσίευση όπου έχει γραφτεί από τους κύριους Dusit Niyato και Ekram Hossain έχει ως θέμα την υλοποίηση τριών σημαντικών μικροοικονομικών μοντέλων και αναφέρονται παρακάτω. Ωστόσο τα μοντέλα τιμολόγησης που χρησιμοποιούνται στα CR έχουν την εξής αρχιτεκτονική δομή



Εικόνα 15. μοντέλο για μοιρασμό φάσματος.

### Market-Equilibrium-Based Pricing Model:

Στο μοντέλο αυτό είναι δεδομένο ότι η κύρια υπηρεσία δεν έχει λάβει γνώση των άλλων. Σε ένα πραγματικό περιβάλλον, αυτό μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη κεντρικού ελεγκτή ή στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των υπηρεσιών πρωτοβάθμιας. Ως αποτέλεσμα, από την πλευρά του πωλητή, η κύρια υπηρεσία καθορίζει την τιμή ανάλογα με τη ζήτηση φάσματος της δευτερεύουσας υπηρεσίας. Αυτή η ρύθμιση των τιμών βασίζεται στην

προθυμία της πρωτογενούς υπηρεσία για την πώληση του φάσματος η οποία καθορίζεται γενικά από τη λειτουργία της προσφοράς. Για μια δεδομένη τιμή, καθορίζεται το μέγεθος του φάσματος που θα μοιρασθεί μεταξύ των δύο χρηστών. Από την πλευρά των αγοραστών, η προθυμία της δευτερεύουσας υπηρεσίας για την αγορά του ραδιοφάσματος καθορίζεται από τη λειτουργία της ζήτησης. Και πάλι, για μια δεδομένη τιμή, η λειτουργία της ζήτησης καθορίζει το μέγεθος του ραδιοφάσματος που απαιτείται από μια δευτερεύουσα υπηρεσία. Σε αυτή την συναλλαγή φάσματος η ισοροπημένη τιμή της αγοράς (market-equilibrium price)προσδιορίζει την τιμή όπου το φάσμα ισούται με την ζήτηση του φάσματος. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζουμε ότι δεν υπάρχει επιπλέον προσφορά στην αγορά και επίσης η προσφορά φάσματος συναντάει όλες τις απαιτήσεις του φάσματος

**Competitive Pricing:** Σε αυτό το μοντέλο θεωρείται ότι η πρωτεύον υπηρεσία είναι ενήμερη για την ύπαρξη άλλων πρωτεύων υπηρεσιών και των υπηρεσιών τους όπου θα πρέπει να ανταγωνιστεί έτσι ώστε να επιτύχει το υψηλότερο κέρδος. Υποθέτουμε ότι ο ανταγωνισμός λαμβάνει χώρα εδώ όσον αφορά την τιμολόγηση του ραδιοφάσματος. Έτσι λοιπόν μία υπηρεσία αποφασίζει την τιμολόγηση του φάσματος της σύμφωνα με τις τιμές που έχουν αποφασίσει οι άλλοι πρωτεύοντες χρήστες για το φάσμα τους , έτσι ώστε να μεγιστοποιήσει το κέρδος της .

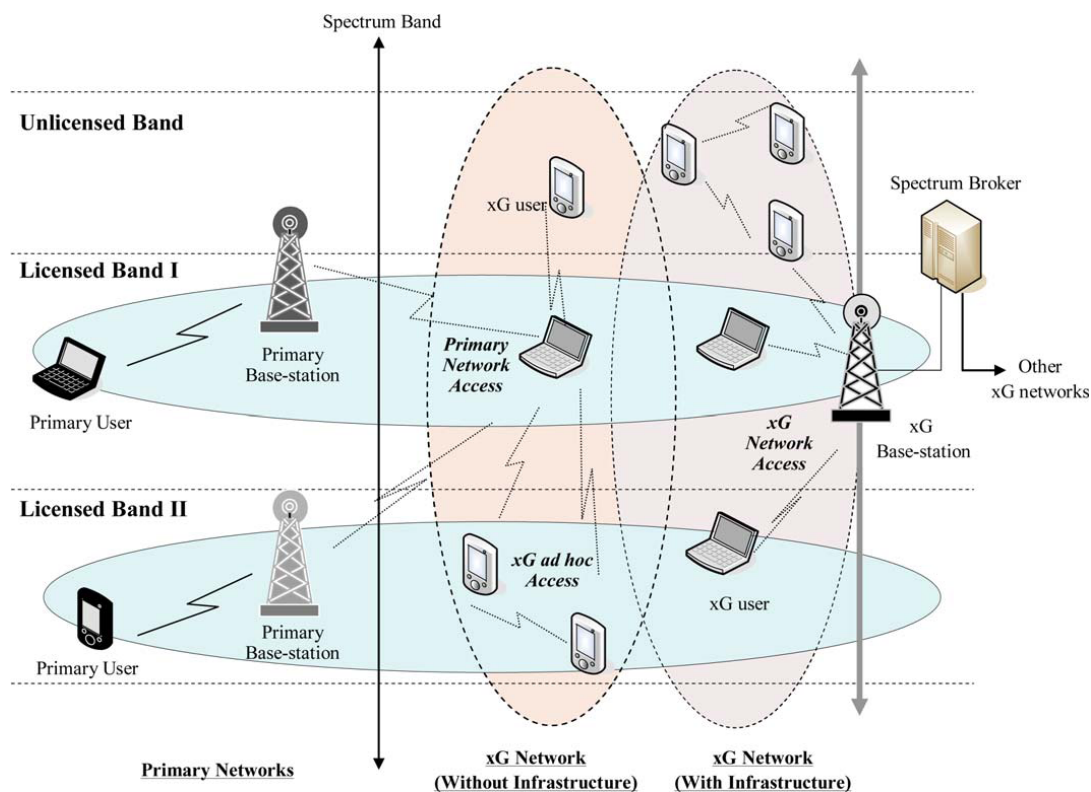
**Cooperative Pricing:** Σε αυτό το μοντέλο, είναι βέβαιο ότι όλοι οι πρωτεύοντες χρήστες γνωρίζονται μεταξύ τους και συνεργάζονται πλήρως έτσι ώστε να κερδίσουν το υψηλότερο συνολικό όφελος πουλώντας φάσμα σε δευτερεύων υπηρεσίες. Σε ένα πραγματικό περιβάλλον για να επιτύχουμε την πλήρης συνεργασία απαιτείται εκτεταμένη επικοινωνία μεταξύ των πρωτευόντων χρηστών [64].

Μετά την χρήση πολλών μαθηματικών τύπων κατέληξαν στα συμπεράσματα που συνοψίζονται στο παρακάτω πίνακα:

TABLE 3	Market-equilibrium	Competitive	Cooperative
<b>Solution</b>	<i>Market-equilibrium</i> (spectrum demand equals spectrum supply)	<i>Nash equilibrium</i> (none of primary service deviates given others' decisions)	<i>Optimal price</i> (maximizes total profit of all primary services)
<b>Behavior of primary service</b>	Neither competition nor cooperation	Perform competition	Perform cooperation
<b>Profit Stability (at the same learning rate)</b>	Smallest Most stable	Moderate Moderate	Highest Least stable
<b>Communication overhead</b>	2 messages per iteration (price from primary service and demand from secondary service)	4 messages per iteration (to estimate marginal individual profit)	4N messages per iteration (to estimate marginal total profit)
<b>Impact of number of primary services</b>	Increase in price	Decrease in price	Increase in price
<b>Existence of solution</b>	When bandwidth requirement is neither too high not too low	When bandwidth requirement is neither too high nor too low	Only when bandwidth requirement is not too high

Εικόνα 16. Συνοπτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών των market-equilibrium , competitive and cooperative pricing models

Οι ερευνητές Akyildiz, Lee , Vuran and Mohanty συνεργάστηκαν για να γράψουν την δημοσίευση με τίτλο: NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey. Στην έρευνα τους πρότειναν μια cognitive αρχιτεκτονική για την ανάπτυξη πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Αυτή η αρχιτεκτονική εμφανίζεται παρακάτω.



Εικόνα 17. xG αρχιτεκτονική δικτύου.

**Primary network:** Μια υπάρχουσα υποδομή δικτύου γενικά αναφέρεται ως το κύριο δίκτυο, το οποίο έχει το αποκλειστικό δικαίωμα σε μία ορισμένη ζώνη του φάσματος. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τα κοινά κυψελοειδή δίκτυα μετάδοσης και την τηλεόραση. Τα στοιχεία του δικτύου της πρωτοβάθμιας είναι ως εξής:

**Primary user:** Αυτός ο χρήστης έχει άδεια να λειτουργήσει σε μία συγκεκριμένη μπάντα συχνοτήτων. Αυτή η πρόσβαση μπορεί να ελεγχθεί από των πρωτεύων σταθμό βάσης και δεν πρέπει να επιπρεάζεται από τις λειτουργίες των δευτερευόντων χρηστών. Οι πρωτεύοντες χρήστες δεν χρειάζονται επιπλέον λειτουργίες για την συνύπαρξη με τους xG base-stations και xG users.

- **Primary base-station:** είναι ένα σταθερό δίκτυο που διαθέτει άδεια φάσματος, όπως ο BTS σε ένα κυτταρικό σύστημα. Κατ' αρχήν, ο πρωτεύων σταθμός δεν έχει καμία δυνατότητα XG έτσι ώστε να επιτύχει κοινή χρήση του φάσματος με XG χρήστες. Ωστόσο, ο πρωτεύων σταθμός μπορεί να ζητήσει να έχει τόσο την κληρονομιά αλλά και XG πρωτόκολλα για την πρόσβαση στο πρωτογενές δίκτυο των XG χρηστών, το οποίο εξηγείται παρακάτω

**xG network:** xG network δεν έχει άδεια να λειτουργήσει σε μία επιθυμητή μπάντα. Έτσι η πρόσβαση στο φάσμα γίνεται με έναν ευκαιριακό τρόπο. Τα xG networks μπορούν να

αναπτυχθούν ως ένα δίκτυο υποδομής ή ως ένα ad hoc δίκτυο όπως φέεται στην εικόνα 6. Τα χαρακτηριστικά των xG network είναι τα εξής :

– **xG user:** xG user δεν έχει άδεια πρόσβασης στην μπάντα συχνοτήτων. Έτσι επιπλέον λειτουργίες απαιτούνται ώστε να μοιρασθεί το φάσμα με τους εξουσιοδοτημένους χρήστες

– **xG base-station:** xG base-station είναι ένα σταθερό στοιχείο με XG δυνατότητες. Ο XG σταθμός βάσης παρέχει μοναδική σύνδεση με χρήση hop στους XG χρήστες που δεν έχουν άδεια πρόσβασης στο φάσμα. Μέσα από αυτό το πλαίσιο, ένα XG χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε άλλα δίκτυα.

- **Spectrum broker:** Spectrum broker (or scheduling server) είναι μια κεντρική οντότητα δικτύου που διαδραματίζει κάποιο ρόλο στην κατανομή των πόρων του φάσματος μεταξύ των διαφόρων XG δικτύων. Ο μεσίτης φάσματος μπορεί να συνδεθεί σε κάθε δίκτυο και μπορεί να χρησιμεύσει ως manager πληροφοριών του ραδιοφάσματος έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η συνύπαρξη πολλών XG δικτύων. Η αναφορά της XG αρχιτεκτονικής του δικτύου φαίνεται στην εικόνα.17, η οποία αποτελείται από διαφορετικούς τύπους δικτύων:

primary network, μία υποδομή XG δικτύου, καθώς και ad-hoc δικτύου XG. Τα XG δίκτυα που λειτουργούν υπό το σύνθετο περιβάλλον, που αποτελείται από μπάντες με άδεια ή χωρίς Επίσης, XG χρήστες μπορούν είτε να επικοινωνούν μεταξύ τους με τρόπο πολλαπλών αλμάτων ή με πρόσβαση στο σταθμό βάσης. Έτσι, στα XG δίκτυα, υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι πρόσβασης, όπως εξηγείται παρακάτω

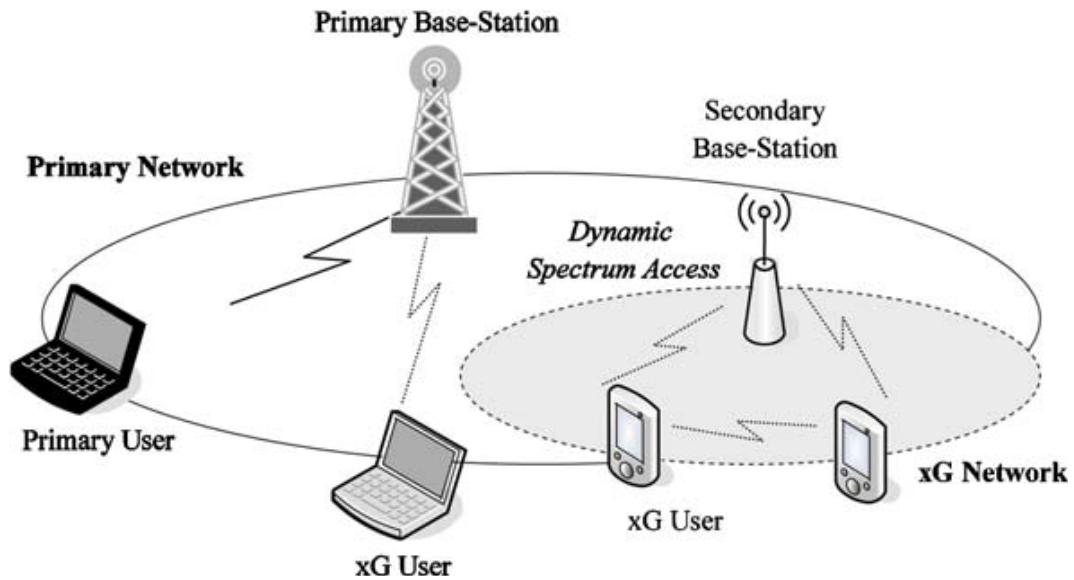
- **xG network access:** Οι χρήστες έχουν πρόσβαση στον δικό τους XG σταθμό και στις εξουσιοδοτημένες και μη μπάντες.
- **xG ad hoc access:** Οι χρήστες μπορούν να επικοινωνήσουν με άλλους χρήστες μέσω ad hoc σύνδεση και στις εξουσιοδοτημένες και μη μπάντες.
- **Primary network access:** Οι χρήστες μπορούν επίσης να έχουν πρόσβαση στον πρωτεύον σταθμό βάσης μέσω εξουσιοδοτημένων συχνοτήτων.

Όπως αναφέρθηκε πρωτίτερα το XG δίκτυο μπορεί να λειτουργήσει και σε εξουσιοδοτημένες και μη μπάντες. Έτσι κατηγοριοποιούν τις λειτουργίες των XG δικτύων ως δίκτυα με άδεια και δίκτυα χωρίς άδεια.

#### A. Μπαντες με άδεια

Επειδή υπάρχουν προσωρινά αχρησιμοποίητες τρύπες συχνοτήτων σε μία εξουσιοδοτημένη μπάντα , τα δίκτυα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξερευνήσουν τις τρύπες αυτές μέσω cognitive τεχνολογίες επικοινωνίας.Αυτή η αρχιτεκτονική φέεται παρακάτω



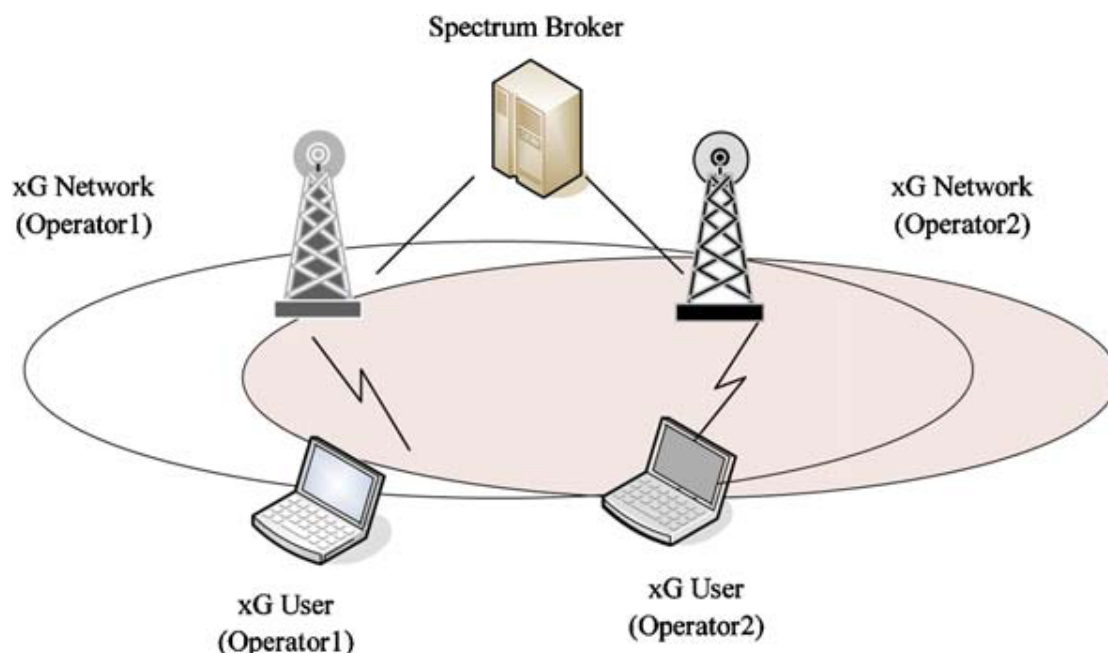


Εικόνα 18. xG δίκτυο σε μπάντες με άδεια.

Υπάρχουν πολλές προκλήσεις για τα XG δίκτυα όσον αφορά τις μπάντες που έχουν άδεια εξαιτίας της ύπαρξης των πρωτεύων χρηστών. Ωστόσο ο κύριος σκοπός των δικτύων αυτών είναι να προσδιορίσουν το βέλτιστο διαθέσιμο εύρος οι xG λειτουργίες σε εξουσιοδοτημένες μπάντες αλλά κυρίως στοχεύει στην ανίχνευση της παρουσίας των πρωτεύοντων χρηστών. Η χωρητικότητα του καναλιού στις τρύπες φάσματος εξαρτάται από την παρεμβολή των κοντινών χρηστών. Έτσι, η αποφυγή της παρεμβολής με τους πρωτεύοντες χρήστες είναι το πιο σημαντικό θέμα σε αυτήν την αρχιτεκτονική. Ωστόσο εάν οι πρωτεύοντες χρήστες που εμφανίζονται στην φασματική μπάντα κατέχονται από τους XG χρήστες, οι χρήστες πρέπει να εγκαταλείψουν την παρούσα φασματική μπάντα και να μετακινηθούν σε μία άλλη φασματική μπάντα άμεσα, αυτό ονομάζεται spectrum handoff .

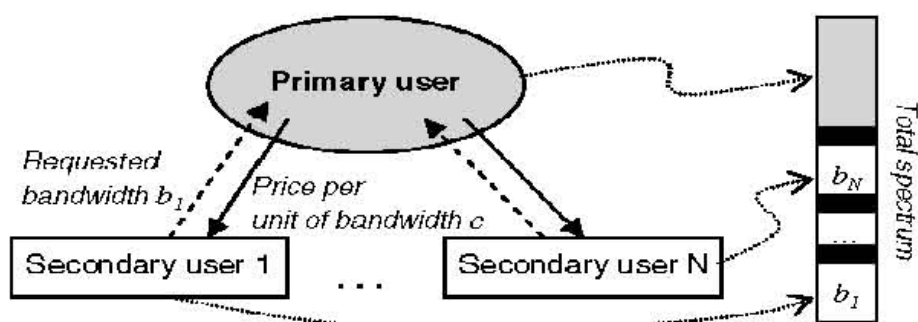
## B. Μπάντα χωρίς άδεια

Σε αυτήν την αρχιτεκτονική στις μη εξουσιοδοτημένες μπάντες οι XG χρήστες εστιάζουν στην μεταφορά των άλλων XG χρηστών. Δυστυχώς, η λειτουργία στις εξουσιοδοτημένες μπάντες το spectrum handoff δεν πυροδοτείται από την εμφάνιση των πρωτεύοντων χρηστών. Ωστόσο, από εφόσον οι χρήστες έχουν το ίδιο δικαίωμα πρόσβασης στο φάσμα ,οι χρήστες πρέπει να ανταγωνίζονται ο ένας στο άλλο για την μπάντα που δεν χρειάζεται άδεια.[31]



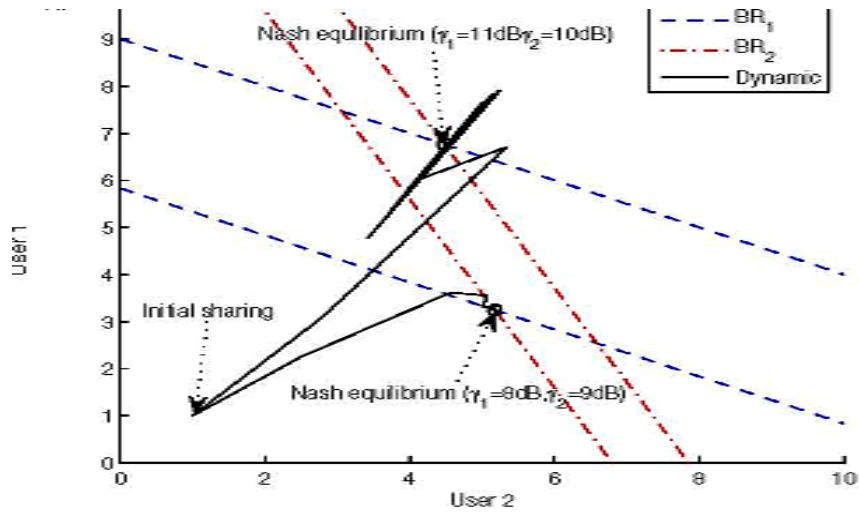
Εικόνα 19. xG δίκτυο σε μπάντες χωρίς άδεια

Οι Dusit Niyato και ο Ekram Hossain μελέτησαν το πρόβλημα του διαμοιρασμού φάσματος μεταξύ ενός πρωτεύον χρήστη και πολλαπλών δευτερευόντων χρηστών. Διατύπωσαν το πρόβλημα ως ένα διαγωνισμό ολιγόπολης αγοράς (oligopoly market competition) που χρησιμοποιεί το μοντέλο Cournot για να γίνει φασματική κατανομή για τους δευτερεύοντες χρήστες. Το Nash equilibrium θεωρείται η λύση αυτού του προβλήματος. Αυτοί αρχικά παρουσίασαν το στατικό Cournot για την υπόθεση όταν δευτερεύοντες χρήστες μπορούν να κερδίσουν στρατηγικές και να πληρώσουν ο ένας τον άλλο. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση δεν είναι εφικτή στα πραγματικά cognitive δίκτυα. Ωστόσο, παρουσίασαν και μία δυναμική προσέγγιση του Cournot όπου η στρατηγική του δευτερεύον χρήστη αποκλειστικά βασίζεται σε πληροφορίες τιμολόγησης [65] Χρησιμοποιούν το παρακάτω δίκτυο.

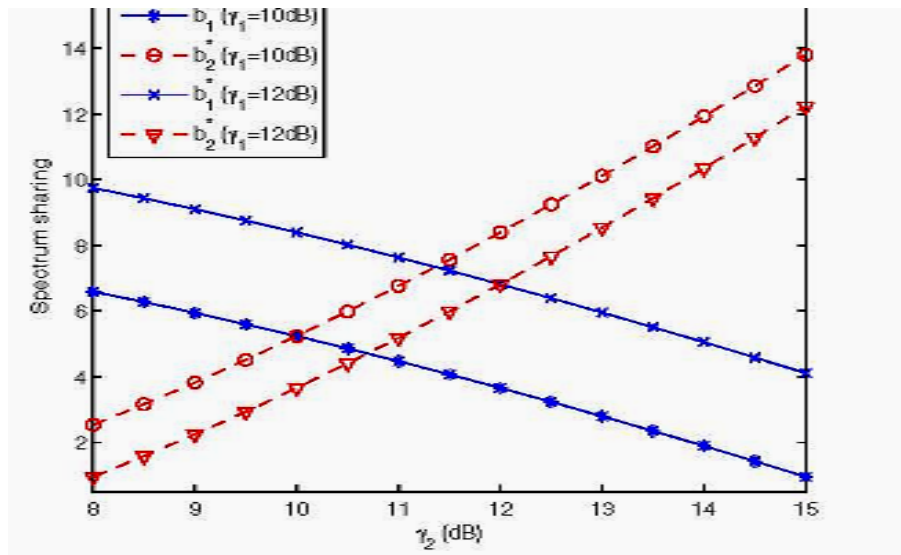


Εικόνα 20. μοντέλο για μοιρασμό φάσματος :μία προσέγγιση

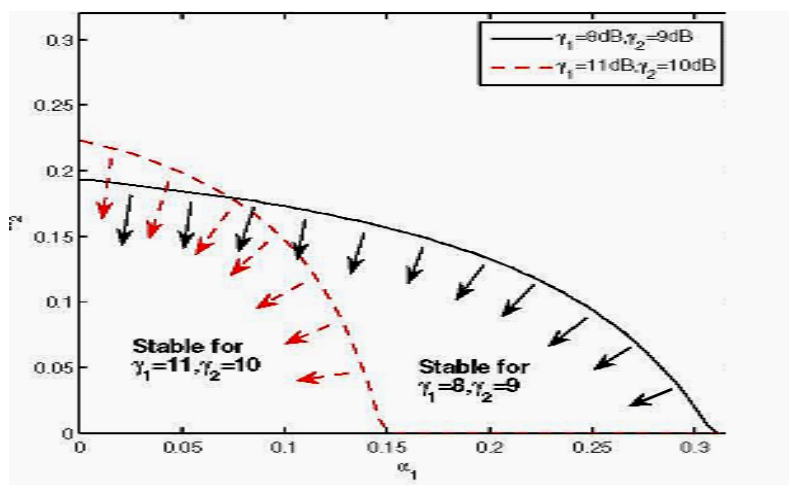
Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της έρευνας τους κατέληξαν στις παρακάτω γραφικές αναπαραστάσεις



Εικόνα 21. Best responses and trajectories to Nash equilibrium



Εικόνα 22. Nash equilibrium του μοιρασμού φάσματος κάτω από διαφορετικές ποιότητες καναλιών



Εικόνα 23. Region of values for  $a_1$  and  $a_2$  for stable Nash equilibrium

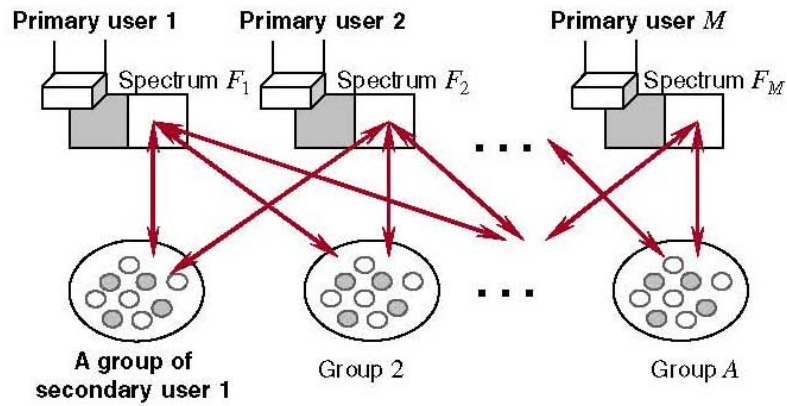
Από τα αποτελέσματα αυτά, είναι προφανές ότι το οριακό κέρδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη της Nash ισορροπίας που χρησιμοποιείται για την κοινή χρήση του φάσματος και διανέμεται σε ένα cognitive περιβάλλον ραδιοσυστήματος, οι δευτερεύον χρήστες δεν έχουν τις πληροφορίες σχετικά με τις στρατηγικές και τα κέρδη των άλλων χρηστών. Ωστόσο, η ταχύτητα για κατάλληλη ρύθμιση των παραμέτρων προσαρμογής απαιτείται για να διασφαλιστεί ότι η κοινή χρήση του φάσματος είναι σταθερή και ότι είναι σε θέση να επιτύχει την Nash ισορροπία. [65]

Μια επίσης σημαντική δημοσίευση που έχει γραφτεί από τους Dusit Niyato και Ekram Hossain όπου το κύριο θέμα τους είναι η χρήση μοντέλων μικροοικονομίας πάνω σε cognitive συστήματα καταγράφεται παρακάτω.

Στην δημοσίευση αυτή, ερευνούν το πρόβλημα της μοντελοποίησης της δυναμικής των πολλαπλών πωλητών και των πολλαπλών αγοραστών του φάσματος, όπου πολλαπλοί πρωτεύοντες χρήστες θέλουν να πουλήσουν και πολλαπλοί δευτερεύοντες χρήστες θέλουν να αγοράσουν φάσμα. Από την πλευρά των αγοραστών θεωρούμε ότι οι δευτερεύοντες χρήστες μπορούν να εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου με το να αγοράζουν φάσμα το οποίο παρέχει την βέλτιστη απολαβή ως προς τις επιδόσεις λ.χ εύρος μεταφοράς και ως προς την τιμή. Η ανάπτυξη και η δυναμική συμπεριφορά των δευτερευόντων χρηστών, διατυπώνεται ως ένα παιχνίδι ανάπτυξης [66]

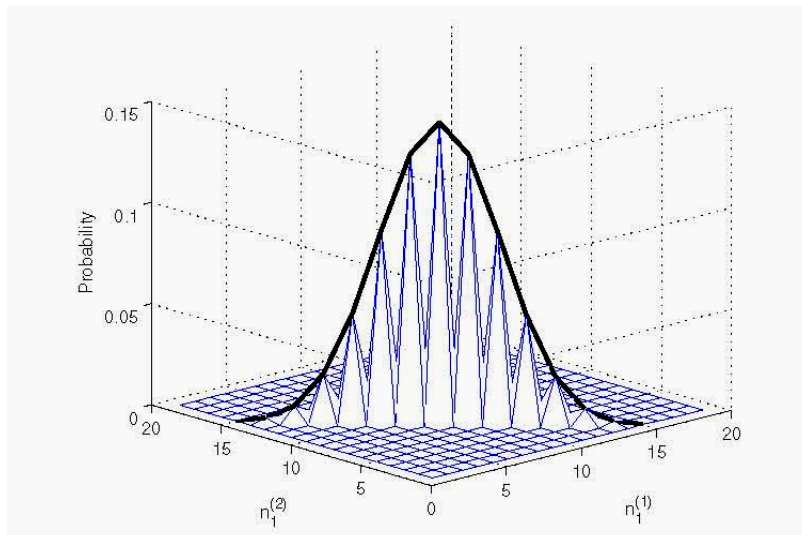
Χρησιμοποιούνται δύο μοντέλα για το δυναμικό παιχνίδι ανάπτυξης τα ντετερμινιστικά και τα στοχαστικά μοντέλα. Στα ντετερμινιστικά μοντέλα, η δυναμική επανάληψη [66], η οποία εκφράζεται ως ένα σύνολο διαφορετικών εξισώσεων, χρησιμοποιεί το μοντέλο για την ανάπτυξη των δευτερεύον χρηστών. Στο στοχαστικό μοντέλο μία αλυσίδα γνωστή ως Markov chain χρησιμοποιείται για να φυλακίσει τα απρογραμμάτιστα γεγονότα που συντέσαν ή μη στην ανάπτυξη των δευτερευόντων χρηστών λ.χ λόγω της διαταραχής που προκαλείται από τον θόρυβο στις πληροφορίες. Για τα δύο μοντέλα, η εξελικτική ισορροπία θεωρείται ως η λύση. Επίσης, ένας αλγόριθμος για την υλοποίηση της διαδικασίας εξέλιξης σε κάθε δευτερεύον χρήστη παρουσιάζεται μέσω του οποίου μπορεί η εξελικτική ισορροπία να επιτευχθεί από την πλευρά του πωλητή, βλέπουμε την διαμόρφωση του ανταγωνισμού μεταξύ των πολλών πρωτογενών χρηστών όσον αφορά την πώληση του φάσματος ως ένα παιχνίδι μη συνεργασίας, όπου κάθε πρωτογενής χρήστης μπορεί να ορίσει το μέγεθος του φάσματος όπου μοιράζεται και την τιμή του φάσματος, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η πληρωμή του. Η Nash ισορροπία θεωρείται ως η λύση και έτσι για τους πρωτογενούς χρήστες μπορούν να βελτιώσουν την πληρωμή χωρίς να παρεκλείνουν από την ισορροπία. Για τον πρωτογενή χρήστη, προτείνεται ένας επαναληπτικός αλγόριθμος για την προσαρμογή της στρατηγικής του. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί τα τοπικά στοιχεία του πρωτεύον χρήστη και χρησιμοποιεί πληροφορίες από τους δευτερεύοντες χρήστες

Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται είναι τα παρακάτω:



Εικόνα 24. μοντέλο συστήματος

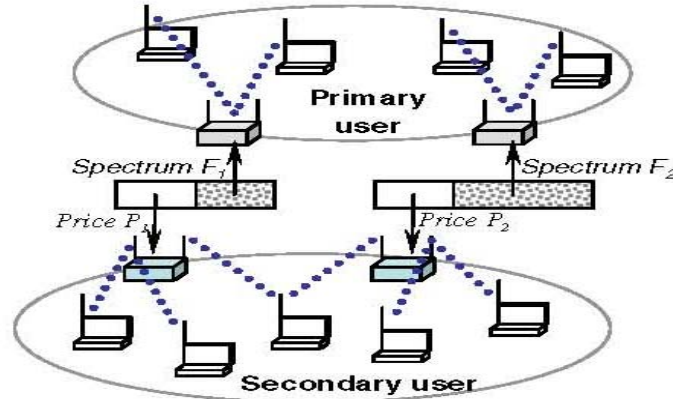
έπειτα από ένα σύνολο μαθηματικών πράξεων και χρησιμοποιώντας το μοντέλο στοχαστικού κατέληξαν στο παρακάτω συμπέρασμα



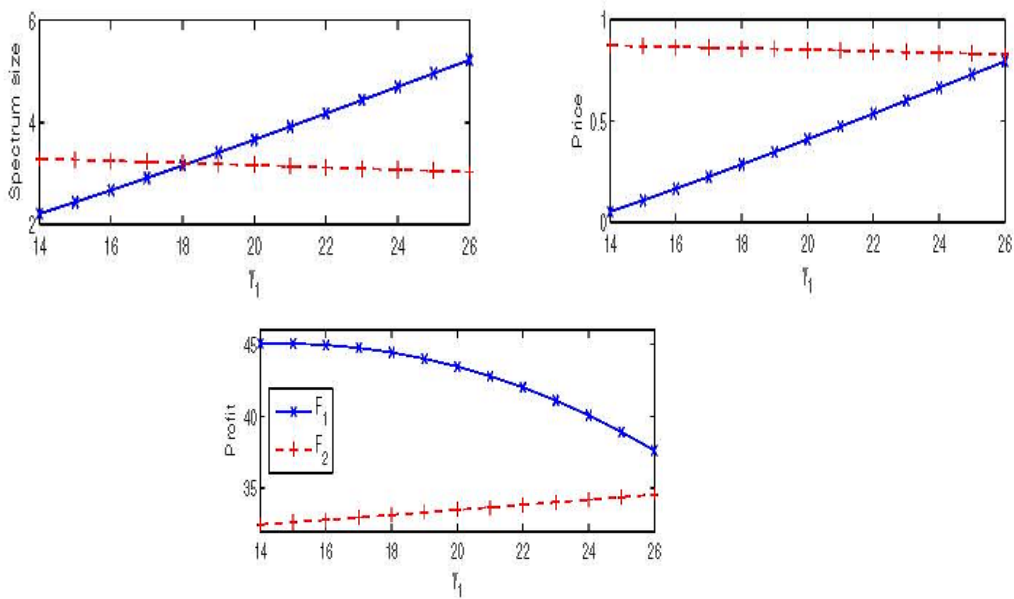
Εικόνα 25 πιθανότητες σταθερής κατάστασης που προέρχονται από το στοχαστικό μοντέλο για την εξέλιξη της δευτεροβάθμιας χρηστών (with  $\rho = 10^{-3}$ ).

Μία άλλη δημοσίευση η οποία αναφέρεται στην συναλλαγή του φάσματος σε cognitive περιβάλλον παρουσιάζεται παρακάτω. Σε αυτή της δημοσίευση οι πρωτεύοντες υπηρεσίες (π.χ ο ιδιοκτήτης του φάσματος ) μοιράζονται το φάσμα με τις δευτερεύοντες υπηρεσίες (π.χ αγοραστής φάσματος). Πολλαπλές εμπορικές συναλλαγές φάσματος καθορίστηκαν σε πολλαπλές συχνότητες. Η λειτουργία της παροχής φάσματος αποκομίζεται βασιζόμενη στην αύξηση του κέρδους των πρωτευόντων χρηστών. Για τους πρωτεύοντες χρήστες το κόστος του μοιρασμού του φάσματος είναι μία λειτουργία για την αύξηση της ποιότητας υπηρεσιών. Η απαίτηση του φάσματος των δευτερευόντων χρηστών που κερδίζεται βασίζεται στην αύξηση της χρησιμότητας των ασύρματων συνδέσεων που παρέχονται στους δευτερεύοντες χρήστες. Πρώτα θεωρούμε ότι η παροχή φάσματος ισούται με την απαίτηση φάσματος έχουμε δηλαδή ισοροπία και αυτο για να αποκτήσουμε την λύση τιμολόγησης του φάσματος. Έπειτα, σκεπτόμαστε την υπόθεση μη ισοροπίας όπου η τιμή του φάσματος δεν συμφωνεί με την ισοροπία της αγοράς. Μια τέτοια υπόθεση μπορεί να προκύψει ,για παράδειγμα κατά την διάρκεια περιορισμών στο ποσό του φάσματος που θα διαμοιραστεί. Αυτοί μοντελοποιούν την τιμή της ισοροπίας και της έλλειψης

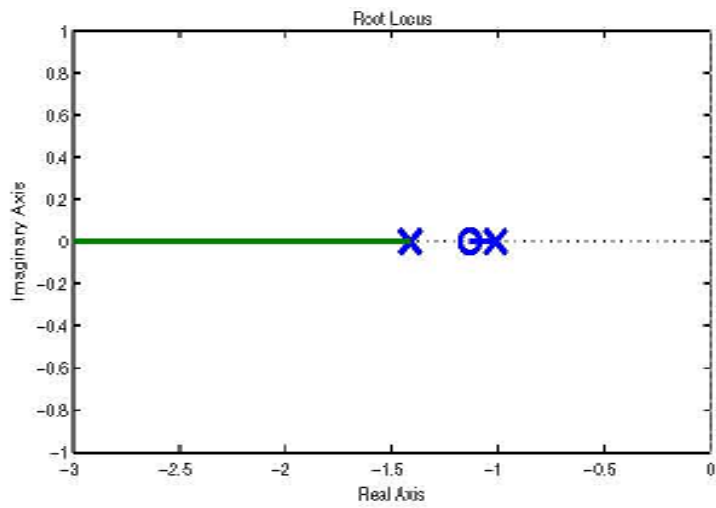
ισσοροπίας χρησιμοποιώντας τον γραμμικό χρόνο ανάδρασης στα συστήματα ελέγχου. Έπειτα κλασσικές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναλύσουν την συμπεριφορά της. Ένα πλεονέκτημα της χρήσης του ελέγχου ανάδρασης είναι ότι η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σταθεροποίηση της παραγωγής (δηλαδή, της τιμής) του συστήματος, ιδιαίτερα, στο cognitive περιβάλλον του ραδιοσυστήματος, όπου οι παράμετροι του συστήματος μπορούν να αλλάξουν δυναμικά [67]. Το μοντέλο που χρησιμοποιήσαν για την έρευνα εμφανίζεται στην εικόνα 26.



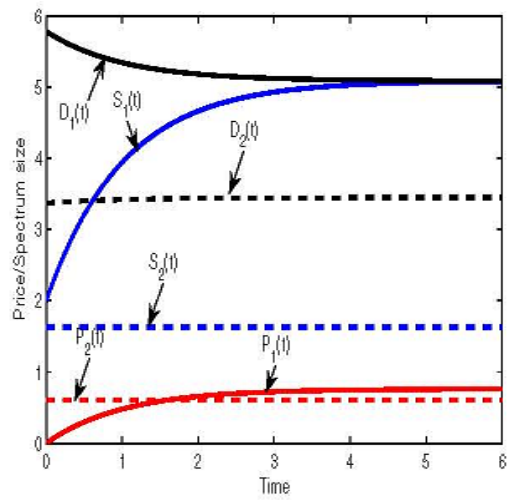
Εικόνα 26 Μοντέλο για μοιρασμό φάσματος .



Εικόνα 27. Μέγεθος φάσματος, τιμή και κέρδος ισοροπίας κάτω από διαφορετικές ποιότητες καναλιών



Εικόνα 28. Root locus for the equilibrium price control system.



Εικόνα 29. Βήματα απόκρισης των τιμών ισορροπία υπό συνθήκες ανισοροπίας.

## 6. Καθεστώς εκχώρησης φάσματος

### 6.1 Command and Control

Δυστυχώς, αυτά τα πρότυπα δεν μπορούν να λειτουργήσουν στο υπάρχον σύστημα διοίκησης που ονομάζεται command and control , δεδομένου ότι δεν υποστηρίζει τη δυναμική πρόσβαση στο φάσμα. Έτσι, προκειμένου αυτά τα πρότυπα να εκτελεστούν, πρέπει να αλλάξει το υφιστάμενο καθεστώς. Με τον ορισμό του command and control εννοούμε ένα ρυθμιστή που διαθέτει αυστηρά μη επικαλυπτόμενες ζώνες συχνοτήτων για συγκεκριμένες χρήσεις και εκχωρεί δικαιώματα χρήσης στους δικαιούχους. Πιθανοί χρήστες υποβάλλουν αίτηση στον ρυθμιστή για την παροχή άδειας για ένα συγκεκριμένο σκοπό, χωρίς όμως να υπάρχει εγγύηση της επιτυχίας. Με λίγα λόγια το μοντέλο αυτό μπορεί να χαρακτηρίζεται από :

- κατανομή των μη επικαλυπτόμενων συχνοτήτων σε συγκεκριμένες χρήσεις και χρήστες
- ελάχιστη ή και ανύπαρκτη εμπορία φάσματος
- ισχυρό έλεγχο όσον αφορά τις παρεμβολές μεταξύ χρηστών
- αργή πρόοδο όσον αφορά τις καινοτομίες
- αργή ανακατανομή του φάσματος ώστε να πάρουν φάσμα και τα νέα συστήματα
- Παράλογες αντιθέσεις μεταξύ των ελλείψεων του φάσματος και την αποθησαυριση του φάσματος [9]

Έτσι, υπάρχουν δύο σημαντικά καθεστώτα εναλλακτικά να αντικαταστήσουν το υπάρχον μοντέλο. Αυτά τα δύο μοντέλα ονομάζονται "Spectrum Commons" και " Spectrum markets".

### 6.2 Spectrum commons

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

Σύμφωνα με το καθεστώς “spectrum commons” αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες του μοιρασμού 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 ο υπεύθυνος της επεξεργασίας, της κατανομής και της κοινής διαχείριση του ραδιοφάσματος τότε είναι περόμοιες διαδικασίες με το command and control καθεστώς έχοντας ως αποτέλεσμα την αναποτελεσματική διαχείριση του φάσματος [39]

Το “Spectrum commons” μοντέλο προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένων την μεγαλύτερη ελευθερία να πειραματιστούν με τις τοπικές παραλλαγές της χρήσης του ραδιοφάσματος και μεγαλύτερο κίνητρο για την ανάπτυξη τεχνολογιών για την κοινή χρήση του φάσματος (όπως ραδιόφωνα φάσματος ή υπερ-



τεχνολογία ευρείας ζώνης). 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 των commons ως κανονιστική δυνατότητα [40].

Η ανάγκη ενός ελεγκτή ραδιοφάσματος έχει ουσιαστική σημασία όταν εγκριθεί το μοντέλο αυτό με σκοπό τη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων και την πρόληψη της υποβάθμισης. Στο πλαίσιο αυτό ο ιδιοκτήτης του φάσματος εσωτερικεύει το κόστος των δράσεων του και ως εκ τούτου κάνει προσπάθειες για να αποφευχθεί το είδος της "τραγωδία" που επηρεάζει ένα ανοικτό σύστημα πρόσβασης. Οι Κοινοί ιδιοκτήτες του ραδιοφάσματος θα πρέπει να έχουν την εξουσία να διαχειρίζονται τον πόρο με τον καθορισμό και την επιβολή των άλλων κανόνων εκτός της χρήσης του φάσματος

Η κυριότητα ή τουλάχιστον ο νομικός έλεγχος, είναι απαραίτητο για το προαναφερθέν καθεστώς προκειμένου να είναι χρησιμο 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 όριζει 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 ο κίνδυνος ότι η ελεύθερη πρόσβαση θα οδηγήσει τελικά σε κορεσμό (δηλαδή "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 πραγματική έλλειψη ραδιοφάσματος, εξακολουθεί να εμφανίζεται, πρέπει να επαναπροσδιορισθούν τα δικαιώματα και οι μηχανισμοί της αγοράς για την αποφυγή αναποτελεσματικής χρήσης του ραδιοφάσματος [39].

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για το καθεστώς. Μία προσέγγιση, που περιγράφηκε παραπάνω, επιτρέπει την πρόσβαση και τη χρήση του ραδιοφάσματος χωρίς να περιορίζει τους πιθανούς χρήστες και συνήθως 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 της «spectrum commons" περιλαμβάνουν χαμηλά εμπόδια εισόδου (η οποία αποτελεί πηγή ανταγωνισμού), πάντα υπάρχει μικρή αβεβαιότητα σχετικά με την πρόσβαση στην μπάντα, χαμηλή χρονο 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 πρώτης συνεργαστούν σε πρότυπα και στη συνέχεια να ανταγωνιστούν στις αγορές) [28] [67].

## 6.3 Spectrum markets

“Spectrum commons” καθεστώς προωθεί την ανταλλαγή, αλλά δεν παρέχει επαρκή ποιότητα υπηρεσίας (QoS) για ορισμένες εφαρμογές. Για εφαρμογές που απαιτούν σποραδική πρόσβαση στο φάσμα και για τις οποίες οι QoS εγγυήσεις είναι σημαντικές, η λύση μπορεί να είναι η παροχή άδεια χρήσης του ραδιοφάσματος σε πραγματικό χρόνο για τις δευτερογενείς αγορές (π.χ. μοντέλο φάσμα αγορών). 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 τη 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 πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας χρήσης θα συντονισθούν 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 τόσο της πρωτοβάθμιας όσο και της δευτεροβάθμιας θα ήταν επαρκής. Ο κάτοχος της άδειας χρησιμοποιεί επίσης έναν ευφυή αλγόριθμο εκχώρησης συχνοτήτων για τον καθορισμό της συχνότητας με τον οποία θα πρέπει ο δευτερογενής χρήστης να λειτουργήσει και επίσης να παρέχει κίνητρα για την αύξηση της οικονομίας. Οι δευτερεύοντες χρήστες ζητούν δυναμικά την πρόσβαση στο φάσμα, όταν το φάσμα είναι απαραίτητο. Ως ημερομηνία έναρξης διαπραγμάτευσης των δευτερευόντων χρήσης μπορεί να καθορισθεί μέσω μεσαζόντων, όπως είναι ένας μεσίτης φάσματος. Σε γενικές γραμμές, οι μηχανισμοί ψάχνουν για μια αντιστοιχία μεταξύ των πρωτευόντων και των δευτερευόντων [67].

## 7. Προτεινόμενες έρευνες

Στις παραπάνω παραγράφους έχουν ήδη αναλυθεί τα cognitive συστήματα και το πρότυπο που παρέχει τις ιδιότητες των συστημάτων αυτών. Όπως ήδη γνωρίζουμε αυτός ο ερευνητικός τομέας είναι νέος και για αυτό νέες χρηματοδοτούμενες προσεγγίσεις έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται.

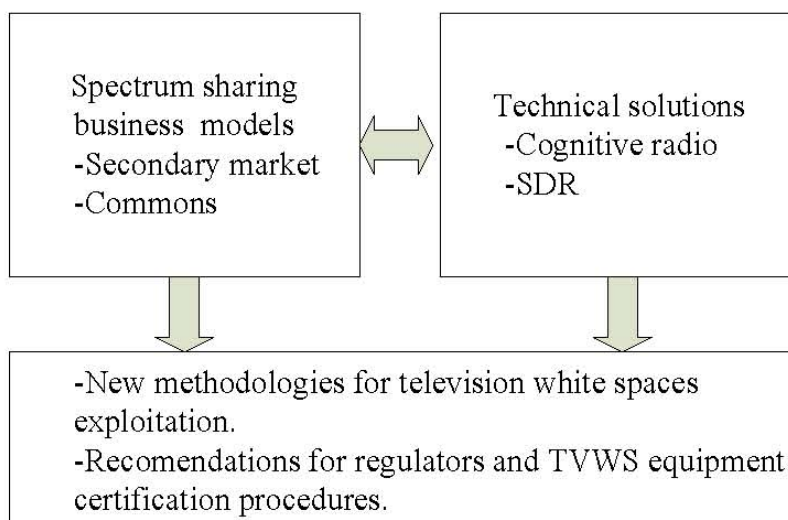
### 7.1 Κίνητρο ερευνών

Τα ασύρματα συστήματα είναι ένα από τα βασικά στοιχεία για τη διευκόλυνση της λεγόμενης κοινωνίας των πληροφοριών. Αναμένεται ότι η ζήτηση για ασύρματες υπηρεσίες θα συνεχιστεί να αυξάνεται στο άμεσο και μεσοπρόθεσμο μέλλον, ζητώντας μεγαλύτερη χωρητικότητα και θέτοντας όλο και μεγαλύτερη πίεση για το διαθέσιμο φάσμα. Τα ασύρματα συστήματα βασίζονται στο φάσμα συχνοτήτων ως ο θεμελιώδης πόρος τους. Ενώ η χρήση των προηγμένων τεχνικών επεξεργασίας σήματος μπορεί να καταστήσει δυνατή μία πιο αποτελεσματική χρήση του φάσματος ακόμα και στο παραδοσιακό “command and control” καθεστώς, υπάρχει μία γενική διαπίστωση ότι αυτές οι μέθοδοι διαχείρισης φάσματος έχουν φτάσει στα όρια τους και δεν μπορούν να αναπτυχθούν περισσότερο. Ουσιαστικά, σε μελέτες που έχουν διεξαχθεί για την αξιοποίηση του φάσματος οι οποίες έγιναν σε διαφορετικές τοποθεσίες έδειξαν ότι το μεγαλύτερο μέρος του φάσματος που χρησιμοποιείται με άδεια είναι σε υποανάπτυξη [68]. Αξιόλογο μέρος του φάσματος είναι διαθέσιμο όταν οι διαστάσεις του χρόνου και του χώρου θα εξεταστούν. Συνεπώς, το πρόβλημα της έλλειψης του φάσματος, όπως το αντιλαμβανόμαστε στις μέρες μας είναι η ανεπαρκής διαχείριση του φάσματος και όχι αυτή καθέ αυτή η έλλειψη του φάσματος. Οι ιδέες που ίσως μας δώσουν μία πιο αποτελεσματική διαχείριση του φάσματος περιλαμβάνουν λ.χ. συστήματα όπου δευτερεύοντα συστήματα μπορούν ευκαιριακά να χρησιμοποιούν το διαθέσιμο φάσμα. Η απελευθέρωση της χρήσης του φάσματος βασίζεται στην δυναμική συνύπαρξη, ελέγχοντας τα επίπεδα παρεμβολής παρά με σταθερές εκχωρήσεις του φάσματος. Οι ερευνητές πρότειναν την αξιοποίηση των λευκών περιοχών (white spaces) που πρόκειται να αυξηθούν μετά το πέρασμα από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση. Στην Ευρώπη η ολική μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση πρέπει να έχει ολοκληρωθεί έως το 2012 και θα ανοίξει μία και μοναδική ευκαιρία για το μέλλον των δικτύων. Ανεξάρτητες μελέτες [69,70] κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η Ευρώπη θα έχει οικονομικά πλεονεκτήματα που φτάνουν το λιγότερο τα 20 δις ευρώ εάν διαθέσει λιγότερο από το ¼ του UHF φάσματος σε κινητές υπηρεσίες. Η Ευρωπαϊκή commission ετοιμάζει μια μελέτη πάνω “στα οικονομικά, κοινωνικά και πολιτιστικά πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την απελευθέρωση του φάσματος” στην οποία τα κράτη-μέλη μπορούν να παρέχουν πληροφορίες. Μόλις η μελέτη γίνει διαθέσιμη (σύμφωνα με τον προγραμματισμό αργότερα του 2009) η Ευρωπαϊκή commission θα μπορέσει να παρουσιάσει μία συγκεκριμένη νομοθετική πρόταση για το κοινό πλαίσιο διαχείρισης του απελευθερωμένου φάσματος στην Ευρώπη [71]. Αν και οι περιορισμοί του “command and control” καθεστώτος στην διαχείριση του φάσματος έχουν ήδη αναγνωρισθεί, αναμένεται ότι θα υλοποιηθεί μετά την ψηφιακή μετάβαση από πολλούς Ευρωπαϊκούς ρυθμιστές με σκοπό να επιτύχουν μία αρμονική χρήση του φάσματος από υπηρεσίες μετάδοσης λ.χ. HDTV, κινητη τηλεόραση, και δημόσια ασφάλεια. Ωστόσο, αναμένεται ότι ένα αξιόλογο κομμάτι από αυτά τα white spaces θα διαχειριστούν σε μία πιο φιλελεύθερη βάση, αυτό θα συμβεί έφθασον νέα μοντέλα μοιρασμού θα υλοποιηθούν, τα οποία προωθούν τον διαγωνισμό και την καινοτομία τον Ευρωπαϊκό τομέα ασυρμάτων.

### 7.1.1 Ιδέα

Η ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιακών δικτύων για τα νέα απελευθερωμένα TVWS, θα διαφέρουν από την κλασική ανάπτυξη των συστημάτων σε μία μπάνα με άδεια. Το ίδιο ισχύει και για τη μεθοδολογία και τις διαδικασίες για την πιστοποίηση εξοπλισμού και συμμόρφωσή που, επίσης, πρέπει να αναπτυχθούν. Η ανάπτυξη της συχνότητας για τα εύστροφα τερματικά που μπορούν να ανιχνεύσουν το φάσμα και να υιοθετήσουν τα χαρακτηριστικά μετάδοσης που θα χρησιμοποιήσουν στα απελευθερωμένα TVWS μπορεί να παρέχει ένα εργαλείο για την αντιμετώπιση και την επωφέληση αυτού του φάσματος. Αν και εννοιολογικά είναι αρκετά απλή, υπάρχουν σημαντικές τεχνολογικές προκλήσεις να αντιμετωπισθούν που κυμαίνονται από το επίπεδο συσκευής έως την αρχιτεκτονική του δικτύου. Η διακοπτόμενη φύση του κοινού ραδιοφάσματος οδηγεί σε νέες τεχνικές προκλήσεις για την παροχή QoS και την κινητικότητα σε απαιτητικές εφαρμογές του χρήστη. Επιπλέον, δεδομένου ότι αυτό αποτελεί μια διαταραχή των εν εξελίξει προτύπου διαχείρισης του ραδιοφάσματος, η ανάπτυξη των τεχνικών λύσεων είναι αλληλένδετα με το επιχειρηματικό και ρυθμιστικό μοντέλο που θα μπορούσαν τελικά να εγκριθούν.

Αυτές οι εξαρτήσεις αναπαριστούνται στο σχήμα 30. Η κύρια της έρευνας σχετίζεται με την ανάπτυξη και την επικύρωση των τεχνικών λύσεων, με βάση το cognitive radio και Software Defined Radio (SDR), αλλά υπάρχει μια φυσική σχέση μεταξύ των τεχνικών λύσεων και των επιχειρηματικών ευκαιριών, καθώς και του ρόλου του έργου στον επηρεασμό και στην ενημέρωση της πολιτικής για τα TVWS. Τα θέματα αυτά θα εξετασθούν προσεκτικά σε όλη τη διάρκεια του έργου. Αν και είναι σαφές ότι το σημερινό μοντέλο της χορήγησης αδειών για την τηλεόραση πρέπει να αλλάξει για να παρέχει ευελιξία και αποτελεσματικότητα, υπάρχουν πολλές επιλογές ή φιλοσοφίες που εξετάζει.



Εικόνα 30. Οι εξαρτήσεις στην ανάπτυξη των εργασιών

### 7.1.2 Στόχοι

Ο κύριος στόχος αυτού του Project είναι ο σχεδιασμός, η υλοποίηση και η επίδειξη τεχνολογιών που επιτρέπουν μία πιο αποτελεσματική χρήση των TVWS για τις ασύρματες επικοινωνίες, βασιζόμενο σε δύο μοντέλα μοιρασμού: spectrum commons and real-time secondary spectrum markets. Το project αυτό θα καθορίσει, επιπλέον, νέες μεθοδολογίες για την πιστοποίηση των συσκευών TVWS και την συμμόρφωση ενώ θα εστιάζει στην

συνύπαρξη με το DVB-T/H Ευρωπαϊκό πρότυπο. Διαφορετικές τεχνολογικές λύσεις θα πρέπει να αναπτυχθούν για τις μπάντες οι οποίες είναι εμπορεύσιμες και για μπάντες οι οποίες είναι άνευ άδειας. Τα Cognitive radio τα οποία μπορούν να ανιχνεύσουν το φάσμα, να μάθουν και να υιοθετήσουν τα χαρακτηριστικά μετάδοσης έτσι ώστε να χρησιμοποιήσουν τα απελευθερωμένα TVWS είναι μία τεχνολογία όπου εστιάζει και επωφελείται από το νέο φάσμα.

▪ **Σε τεχνικό επίπεδο οι κύριοι στόχοι είναι :**

- Να δημιουργήσουμε, να υλοποιήσουμε και να επιδείξουμε υλοποιήσιμες τεχνολογίες βασιζόμενες στα cognitive radio έτσι ώστε να υποστηρίξουν κινητές εφαρμογές πάνω από TVWS για μοντέλα μοιρασμού.
- Να προσδιορίσουμε την επίπτωση των TVWS συσκευών στους DVB-T δέκτες και να καθορίσουμε μεθοδολογίες για την πιστοποίηση των TVWS συσκευών.

▪ **Στην διαχείριση / επιχειρηματικά μοντέλα οι κύριοι στόχοι είναι**

- Η έρευνα καινοτόμων επιχειρηματικών μοντέλων για εκμετάλλευση των TVWS βασίζεται στα spectrum commons and secondary market καθεστώτα ,για να αυξήσει την αξιοποίηση του φάσματος υλοποιεί καινοτόμες ασύρματες υπηρεσίες
- Να καθορίσουμε πολιτικές φάσματος και κανόνες για να προωθήσουμε την δικαιοσύνη και να αποφύγουμε τα παρακάτω:
- Την τραγωδία των commons σε ένα επιχειρησιακό μοντέλο άνευ αδειας .
- Την μονοπώληση της δευτερεύον αγοράς του φάσματος
- Να αναλύσουμε την δυναμική του μοιρασμού του φάσματος και της τιμολόγησης του φάσματος στο TVWS περιβάλλον κάτω από QoS και καθεστώτα περιορισμών.

Κατά συνέπεια το σχέδιο θα πρέπει να βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό τους Ευρωπαίους υπεύθυνους να μετακινήσουν το μοντέλο διαχείρισης του τηλεοπτικού φάσματος σε μία φιλελεύθερη και αποτελεσματική μέθοδο, παρέχοντας επαρκή αποδεικτικά στοιχεία σχετικά με την τεχνολογία και την οικονομία τη βιωσιμότητα και την ανάπτυξη της.

### 7.1.3 Πιθανά σενάρια υλοποίησης

#### **Πρώτο σενάριο υλοποίησης :επεκτασιμότητα δικτύου πάνω από τα TVWS**

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι δικτύων που μπορούν να επεκταθούν πάνω από τα TVWS,ονομαστικά είναι τα εξής κυψελοειδές , (3G και LTE), WiFi (802.11) και WiMAX (802.16)

Το καθένα εξετάζεται με την σειρά .

#### **Κυψελοειδής επεκτασιμότητα πάνω από TVWS**

Τα εξαιρετικά χαρακτηριστικά διάδοσης των UHF ζωνών θα επιτρέψουν στους χηριστές της κινητής τηλεφωνίας να καλύψουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές με λιγότερους σταθμούς βάσης και ως εκ τούτου, με χαμηλότερο κόστος , τους επιτρέπει να προσφέρουν φτηνότερες υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας σε πολλούς χρήστες ειδικότερα στις αγροτικές

περιοχές. Σε συνθήκες πυκνών αστικών περιοχών, το TVWS θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να αυξηθεί η στήριξη. Συστήματα για την απόκτηση και διανομή καναλιών σε προσωρινή βάση (βραχυπρόθεσμα ή μεσοπρόθεσμα) για να παρέχουμε “ανακούφιση” σε δίκτυα την ώρα αιχμής θα πρέπει να διερευνηθούν. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν πολλές προκλήσεις για την αποτελεσματική χρήση των TVWS στην κυψελοειδή επέκταση. Για παράδειγμα, τα διαθέσιμα TVWS θα είναι κατακερματισμένα, ιδίως στις μητροπολιτικές περιοχές. Η διαθεσιμότητα των TVWS είναι διαχρονική και εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση του ραδιοσυστήματος (θέματα κινητικότητας). Έτσι, η βασική πρόκληση στο σχεδιασμό των κινητών cognitive radios είναι η δυναμική κατανομή των TVWS σε διαφορετικά ραδιοσυστήματα μέσα στο δίκτυο. Η αποτελεσματικότητα της κατανομής του ραδιοφάσματος καθορίζει τόσο το QoS των κυψελοειδών δικτύων καθώς και το συνολικό ποσοστό χρησιμοποίησης του φάσματος. Για παράδειγμα, οι συχνότητες πρέπει να χορηγούνται έτσι ώστε η μπάνα uplink να είναι περισσότερο από τα κανάλια DVB-T (βλ. Σχήμα 3).

Secondary spectrum market είναι ένα κατάλληλο καθεστώς για πιστοποίηση του QoS. Ένα ενδιαφέρον ερευνητικό θέμα, ανεξερεύνητο σε προηγούμενες έρευνες και που θα ερευνηθεί από αυτό το project είναι να αναπτυχθεί τον αντίκτυπο της κυτταρικής επέκτασης πάνω στα TVWS σχεδιασμό κελιού για 3G και LTE συστήματα.

Λόγω του ότι οι πιο κατάλληλες ζώνες για τις κινητές επικοινωνίες χρησιμοποιούνται από άλλα συστήματα κινητής τηλεφωνίας (π.χ. GSM, UMTS), το νέο σύστημα 3GPP LTE σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει μια νέα πραγματικότητα στην οποία το φάσμα που χρησιμοποιείται δεν καθορίζεται κατά την έναρξη. Παρόλα αυτά, το σύστημα έχει προσαρμοστικότητα δηλ. λειτουργεί σε διάφορες μπάνες και κατανομή του φάσματος (1.25, 1.6, 2.5, 5, 10, 15 και 20MHz). Δεδομένου ότι TVWS θα είναι διαθέσιμα το 2012 και ότι κατά πάσα πιθανότητα την ίδια στιγμή θα αναπτυχθούν τα πρώτα LTE δίκτυα στις ζώνες TVWS είναι μια σοβαρή υποψήφια λύση ώστε να φιλοξενήσει το LTE σύστημα έως ότου να είναι δυνατή η κατανομή του ραδιοφάσματος από τα άλλα συστήματα κινητής τηλεφωνίας.

### **WiFi επεκτασιμότητα πάνω από TVWS**

Τα TVWS κανάλια ταιριάζουν απόλυτα στις χωρίς άδεια ασύρματες υπηρεσίες διαδικτύου. Η πρόσβαση στα κενά κανάλια τηλεόρασης θα διευκολύνει την αγορά παρέχοντας χαμηλό κόστος, μεγάλη χωρητικότητα και ασύρματα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Το ευνοϊκό φάσμα και τα χαρακτηριστικά επιρροής των TVWS σε σύγκριση με τα σήματα της μπάνα ISM θα μπορούσε επίσης να οδηγήσει σε εγκαταστάσεις με σημαντικά μικρότερη εγκατεστημένη υποδομή. Το σενάριο αυτό αναμένεται ότι θα έχει ένα πολύ καλό δυναμικό της αγοράς, δεδομένου ότι μπορεί να προσφέρει πολλές από τις ίδιες υπηρεσίες όπως κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες σε χαμηλότερο κόστος. Η επίτευξη υψηλής απόδοσης, θα είναι σημαντική σε TVWS όπου το μέγεθος των καναλιών θα είναι μικρότερα σύγκριση με 802,11 βασιζόμενο στο WLAN (22 MHz). Εδώ και πάλι ο κατακερματισμός των TVWS οδηγεί σε νέες τεχνολογικές προκλήσεις. Για παράδειγμα, νέα συστήματα κατανομής που επιτρέπουν στους χρήστες να προσαρμόζονται υιοθετώντας τον χρόνο, τη συχνότητα και το εύρος ζώνης σε μια λεπτή χρονική κλίμακα θα χρειαστούν. Αυτό έρχεται σε έντονη αντίθεση με την ευρέως καθεστώς κατανομής φάσματος, όπως το IEEE 802.11 και IEEE 802.16, που διαιρούν το φάσμα σε σταθερούς σταθμούς. Επιπλέον τεχνικές ανίχνευσης, συγχρονισμού και την αποφυγή παρεμβολών με τις γειτονικές DVB-T κανάλια θα πρέπει να εφαρμοστούν.

### **WiMAX επέκταση πάνω από TVWS**

Οι τεχνολογίες TVWS προσφέρουν τις υπηρεσίες WiMAX σε συχνότητες που μπορούν να

καλύψουν ένα πολύ μεγαλύτερο εύρος από ό, τι του παρόντος . Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε αγροτικές και σε περιοχές με χαμηλή πυκνότητα, όπως συζητήθηκε στο [73], όπου δεν είναι οικονομικά βιώσιμα να προσφέρει υπηρεσίες σταθερής γραμμής στους χρήστες. Ειδικότερα η έρευνας θα εστιαστεί στην προσαρμογή των IEEE 802.16e ώστε να λειτουργήσει δυναμικά μέσω του TVWS Η ανίχνευση μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση του BS ώστε να εντοπίσει την παρουσία καναλιών ψηφιακής τηλεόρασης και άλλους εξουσιοδοτημένους χρήστες και στη συνέχεια, αναθέτοντας με συνεργασία κινητές μονάδες. Διδάγματα μπορούν να αντληθούν από το 802.22.

### **Σενάριο υλοποίησης 2: κινητή τηλεόραση πάνω από TVWS**

Η πιθανές εναλλακτικές χρήσεις του τηλεοπτικού φάσματος που θα απελευθερωθεί μετά την μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση από το ραδιοτηλεοπτικό οργανισμό περιλαμβάνει την κινητή τηλεόραση, και την υψηλής ευκρίνειας επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (HDTV) και περισσότερους ψηφιακούς τηλεοπτικούς σταθμούς και κανάλια .. Ειδικότερα, η κινητή τηλεόραση είναι ένα παράδειγμα της σύγκλισης μεταξύ κινητών και των υπηρεσιών τηλεοπτικής μετάδοσης, που σήμερα προκαλεί μεγάλο ενδιαφέρον. Μέχρι τώρα, η εισαγωγή και η αφομοίωση της κινητής τηλεόρασης στην ΕΕ υπήρξε αργή, ενώ οι ανταγωνιστές της Ευρώπης έχουν προχωρήσει σημαντικά. Εάν η Ευρώπη δεν λάβει άμεσα συγκεκριμένα μέτρα, κινδυνεύει να απολέσει το ανταγωνιστικό της πλεονέκτημα.

Για να βοηθήσουν να επιτύχουν μαζική αγορά στην Ευρώπη ,από τον 1 Μάρτιο του 2008, το DVB-H (Digital Video Broadcasting για Handhelds) θεωρείται επίσημα από την ΕΕ ως η «προτιμώμενη τεχνολογία για τις επίγειες κινητές τηλεοπτικές εκπομπές» [72]. Επιπλέον, η αδυναμία του ραδιοφάσματος είναι το μεγαλύτερο εμπόδιο για την έναρξη των περισσότερων υπηρεσιών κινητής τηλεόρασης και η Επιτροπή καλεί τα κράτη μέλη να παράσχουν διαθέσιμο ραδιοφάσμα για κινητές εκπομπές το συντομότερο δυνατόν, συμπεριλαμβανομένης της ζώνης UHF (470-862 MHz)

### **Σενάριο υλοποίησης 3 : δημόσια ασφάλεια**

Η ευελιξία των cognitive ασυράτων δικτύων φέρεται να είναι σε θέση να παρέχει ενέργειες για την δημόσια ασφάλεια. Αρχικά, τα cognitive radio μπορούν να διευκολύνουν την πολυοργάνωση λ.χ επικοινωνία μεταξύ πυροσβεστικής και αστυνομίας, παρεμβάσεις σε επιχειρησιακό επίπεδο, το οποίο δεν θα βασίζεται στην ανάγκη για ειδική και εναρμονισμένη εκχώρηση φάσματος για την δημόσια ασφάλεια σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Αντ 'αυτού τα συστήματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν από κοινού το φάσμα ανεξάρτητα από το αν είναι διαθέσιμο σε ένα ανοικτό τρόπο πρόσβασης.. Η cognitive πύλη ραδιοσυστήματος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση δύο διαφορετικών συστημάτων ραδιοεπικοινωνιών σε διαφορετικές συχνότητες ή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το cognitive συστημα για να ελαχιστοποιηθεί η αμοιβαία παρεμβολή μεταξύ δύο συστημάτων.

## 8. Επίλογος - Συμπεράσματα

Σε αυτή την πτυχιακή μελετήθηκαν τα στοιχεία που έδωσαν το κίνητρο για την έρευνα του τομέα της δυναμικής διαχείρισης του φάσματος των ασύρματων δικτύων. Επίσης, μελετήθηκαν δίκτυα επόμενης γενιάς, γνωστά και ως cognitive δίκτυα.

Πιο συγκεκριμένα στην πτυχιακή εργασία αυτή μελετήθηκαν οικονομικά μοντέλα που εφαρμόζονται πάνω στα δίκτυα επόμενης γενιάς έχοντας ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη χρήση του διαθέσιμου φάσματος. Για να επιτευχθεί η δυναμική διαχείριση του διαθέσιμου εύρους ζώνης πρέπει να υπάρξει αλλαγή του μοντέλου που χρησιμοποιείται για τον μοιρασμό του φάσματος. Συμπερασματικά αναφέρεται επίσης μία μελλοντική ερευνητική μελέτη που προτείνει σενάρια βέλτιστης αξιοποίησης των TVWS, συχνότητες που απελευθερώνονται από τη μετάβαση στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση.



## Αναφορές

- [1]. Herzel, L., “Public Interest’ and the Market in Color Television Regulation”, *Electrical and Electronic Engineering.*, vol. 18, pp. 802 – 816, 1951.
- [2]. Coase, R., “The Federal Communications Commission”, *Journal of Law and Economics*, vol. 2(1), pp. 1-40, 1959.
- [3]. Coase, R., “The Problem of Social Cost” *Journal of Law and Economics*, vol. 3, pp. 1-44, 1960.
- [4]. Levin, H. J., “New Technologies and the Old Regulation in Radio Spectrum Management ”, *American Economic Review*, pp. 339-49, 1966.
- [5]. De Vany, A. S., Eckert, R. D., Meyers, C. J., O'Hara, D. J., and Scott, R. C. , “A Property System for Market Allocation of the Electromagnetic Spectrum: A Legal-Economic-Engineering Study”, *Stanford Law Review*, pp.1499-1561, 1969.
- [6]. Faulhaber, G. R., “The Question of Spectrum: Technology, Management, and Regime Change”, *Journal of Telecommunications and High Technology Law*, vol.5 , pp. 111-58, 2005.
- [7]. Faulhaber, G. R. , “The Future of Wireless Telecommunications: Spectrum as a Critical Resource”, *Information Economics and Policy*, vol.18 , pp. 256-71, 2006.
- [8]. Baumol, W. J., and Robyn, D., *Toward an Evolutionary Regime for Spectrum Governance: Licensing or Unrestricted Entry?*, Brookings Press, (2006).
- [9]. Australian Communication and Media Authority (ACMA), *The Economics Of Spectrum management: A Review*, (2007)
- [10]. Berggren, F., Queseth, O., Zander, J., Asp, B., Jönsson, C., Stenumgaard, P., Kviselius, N. Z., Thorngren, B., Landmark, U., and Wessel, J., “Dynamic Spectrum Access - Phase 1: Scenarios and Research Challenges” *DSA Report*, 23 September 2004 available at <http://www.volweb.cz/horvitz/os-info/library.html> (2004)
- [11]. Chapin, J. M., and Lehr, W. H., "The Path to Market Success for Dynamic Spectrum Access Technology" *IEEE Communications Magazine*, 45(5), (forthcoming), 2007.
- [12]. Federal Communications Commission, “FCC Chairman Michael K. Powell Announces Formation of Spectrum Policy Task Force,” FCC News Release, 2002.
- [13]. Faulhaber, G. R., and Farber, D., *Spectrum Management: Property Rights, Markets, and the Commons*, MIT Press, Cambridge, MA.(2003)
- [14]. Federal Communications Commission, “Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands,” Notice of Proposed Rule Making ET Docket No. 04-186, May, 2004.

- [15]. Federal Communications Commission, “Spectrum Policy Task Force Report,” ET Docket No. 02-135, 2002
- [16]. Visotsky, E., Kuffner, S., Peterson, R., “On Collaborative Detection of TV Transmissions in Support of Dynamic Spectrum Sharing,” *Proceedings of the DySPAN 2005*, Baltimore, MD, USA, 2005.
- [17]. Olivieri, M., Barnett, G., Lackpour, A., Davis, A., Ngo, P., “A Scalable Dynamic Spectrum Allocation System With Interference Mitigation for Teams of Spectrally Agile Software Defined Radios,” *Proceedings of the DySPAN 2005*, Baltimore, MD, USA, 2005.
- [18]. Zhao, J., Zheng, H., Guang-Hua, Y., “Distributed Coordination in Dynamic Spectrum Allocation Networks”, *Proceedings of the DySPAN 2005*, Baltimore, MD, USA, 2005.
- [19]. Mangold, S., Jarosch, A., Monney, C., “Operator Assisted Cognitive Radio and Dynamic Spectrum Assignment with Dual Beacons – Detailed Evaluation”, *Proceedings of the Comsware 2006*, Delhi, India, 2006.
- [20]. Rhodes, C., “Interference Between Television Signals due to Intermodulation in Receiver Front-Ends”, *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 51, pp. 31-37, 2005.
- [21]. Rajbanshi, R., Chen, Q., Wyglinski, M., Minden, G., Evans, J., “Quantitative Comparison of Agile Modulation Techniques for Cognitive Radio Transceivers”, *Proceeding of the IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, Las Vegas, Nevada, 2007
- [22]. Petty, V., Rajbanshi, R., Datla, D., Weidling, F., DePardo, D., Kolodzy, P., Marcus, M., Wyglinski, A., Evans, J., Minden, G., Roberts, J., “Feasibility of Dynamic Spectrum Access in Underutilized Television Bands”, *Proceedings of the DySpan 2007*, Dublin, Ireland, 2007.
- [23]. Seelig, F., “A Description of the August 2006 XG Demonstrations at Fort A.P. Hill”, *Proceedings of the DySpan 2007*, Dublin, Ireland, 2007.
- [24]. Weiss, T., Jondral, F., “Spectrum Pooling: An Innovative Strategy for the Enhancement of Spectrum Efficiency,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, no. 3, pp. 8-14, 2004.
- [25]. Frederick J., Weidling.,” A Design Workflow for Software Defined Radios” Thesis Committee University of Kansas, 2005
- [26]. Mitola, J., “Software Radio Architecture: A Mathematical Perspective,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 17, no. 4, pp. 514-538, 1999.
- [27]. Mitola, J., “Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications,” *Journal of Mobile Networks and Applications*, vol. 6, no. 5, 2001.
- [28]. FCC 03-322, Dec. 2003. Available: [http://hraunfoss.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/FCC-03-322A1.pdf](http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-03-322A1.pdf)
- [29]. Lars Berlemann, RWTH , George Dimitrakopoulos, Klaus Moessner, Jim Hoffmeyer, “Cognitive Radio and Management of Spectrum and Radio Resource in

- [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]. Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran , Shantidev Mohanty ., ”NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey”, *Elsevier Computer networks*, 2006.
- [32]. R.W. Thomas., L.A. DaSilva., A.B. MacKenzie., “Cognitive networks”, *Proc. IEEE DySPAN 2005*, Baltimore, Maryland USA., 2005
- [33]. F.K. Jondral., ”Software-defined radio-basic and evolution to cognitive radio”, *EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking*, pp 275–283, 2005
- [34]. F.K. Jondral., “Software-defined radio-basic and evolution to cognitive radio”, *EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking*, vol., no., pp. 275–283, 2005.
- [35]. D. Cabric, S.M. Mishra, R.W. Brodersen., “Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios”, *Proc. 38<sup>th</sup> Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, vol., no., pp. 772–776, 2004.
- [36]. B. Razavi, RF Microelectronics, Prentice Hall, 1997.
- [37]. D. Cabric, R.W Brodersen., “Physical layer design issues unique to cognitive radio systems”, *Proc. IEEE Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Berlin, Germany, 2005
- [38]. J. Mitola III., “Cognitive radio: an integrated agent architecture for software defined radio”, Ph.D Thesis, KTH Royal Institute of Technology, 2000.
- [39]. Mathew Sherman, Apurva N. Mody , Ralph Martinez , Cristian Rodriguez., “IEEE Standards supporting cognitive radio and networks, Dynamic Spectrum Access and coexistence ” *IEEE Communications Magazine*, vol.46, pp.72-79, 2008.
- [40]. S. Srinivasa, S. A. Jafar ., ”The throughput potential of cognitive radio:A theoretical perspective” *IEEE Communications Magazine* vol. 45, no. 5, pp. 73-79, 2007.
- [41]. D. Čabrić, A. Tkachenko and R.W. Brodersen., “Experimental study of spectrum sensing based on energy detection and network cooperation”, in *First International Workshop on Technology and Policy for Accessing Spectrum*, 2006.
- [42]. Marja Matinmikko Marko Höyhtyä, Miia Mustonen, Heli Sarvanko, Atso Hekkala, Marcos Katz, Aarne Mämmelä, Markku Kiviranta, Aino Kautio ., ”*Cognitive radio: An intelligent wireless communication system*” RESEARCH REPORT VTT-R-02219-08
- [43]. Dusit Niyato, Ekram Hossain, Zhu Han., “Dynamic Spectrum Access in IEEE 802.22 –based Cognitive wireless networks : a game theoretic model for competitive spectrum bidding and pricing ”, *IEEE Wireless Communications* , vol.16, no.2, pp.16-23, 2009.
- [44]. FCC Notice of Proposed Rule Making FCC 04-113, May 25, 2004.

- [45]. Carlos Cordeiro, Kiran Challapali, Dagnachew Birru, Sai Shankar N., "IEEE 802.22: The First Worldwide Wireless Standard based on Cognitive Radios", *DySPAN, First IEEE International Symposium on*, pp. 328 – 337, 2005.
- [46]. ITU's New Broadband Statistics, <http://www.itu.int/osg/spu/newslog/ITUs+New+Broadband+Statistics+For+1+January+2005.aspx>.
- [47]. Federal Communications Commission., "Report and Order AND Memorandum Opinion and Order," ET Docket no. 05-56, 2005.
- [48]. Business Week., "Commentary: Behind in Broadband," *Business Week Online Magazine*, 2004
- [49]. Federal Communications Commission., "Notice of Proposed Rule Making", *ET Docket* no. 04-113, 2004.
- [50]. Federal Communications Commission., "Report and Order," *ET Docket* , no. 05-57, 2005.
- [51]. K. Challapali, D. Birru, and S. Mangold., "Spectrum Agile Radio for Broadband Applications," *EE Times In-Focus*, (2004)
- [52]. M. McHenry, "Report on Spectrum Occupancy Measurements," Shared Spectrum Company, [http://www.sharespectrum.com/?section=nsf\\_summary](http://www.sharespectrum.com/?section=nsf_summary)
- [53]. Carlos Cordeiro, Kiran Challapali, Dagnachew Birru Sai Shankar N., "IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios", *journal of communications*, vol. 1, no. 1, 2006.
- [54]. IEEE 802.22 draft standard, "IEEE P802.22TM/D0.4.8 Draft Standard for Wireless Regional Area Networks," <http://www.ieee802.org/22/>, Draft 0.4.8 March 2008.
- [55]. Cavalcanti, D. Ghosh M., "Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications", *CrownCom 2008*, vol, no, pp.1-6, 2008.
- [56]. K. Challapali, S. Mangold, and Z. Zhong, "Spectrum Agile Radio: Detecting Spectrum Opportunities," in *ISART*, Boulder, CO, 2004.
- [57]. S. Mangold, Z. Zhong, K. Challapali, and C-T. Chou., "Spectrum Agile Radio: Radio Resource Measurements for Opportunistic Spectrum Usage," in *IEEE Globecom*, 2004
- [58]. K. Challapali., "Spectrum Agile Radios: Real-time Measurements," in *Cognitive Radio Conference*, Washington DC, 2004.
- [59]. Sahai, N. Hoven, and R. Tandra., "Some fundamental limits on cognitive radio," *Allerton Conference on Communication, Control, and Computing*, Monticello, Illinois, 2004.
- [60]. H. Gossain, C. Cordeiro, T. Joshi, and D. Agrawal., "Cross-Layer Directional Antenna MAC and Routing Protocols for Wireless Ad Hoc Networks," in *Wiley Wireless Communications and Mobile Computing Journal, Special Issue on Ad Hoc Wireless Networks, to Appear*, vol.6, no.2, pp. 171-182, 2006.

- [61]. Federal Communications Commission (FCC), “Revision of Parts 2 and 15 of the Commissions Rules to Permit Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII) Devices in the 5GHz Band,” *ET Docket no. 03-122*, November 18, 2003.
- [62]. D. Colucci and V. Valori., “Error Learning Behavior and Stability Revisited,” *J. Economic Dynamics and Control*, vol. 29, no. 3, pp. 371–88, 2005.
- [63]. Dusit Niyato, Nanyang, Ekram Hossain., “Spectrum trading in cognitive radio networks : a market- equilibrium - based approach ”, *IEEE wireless communications journal*, vol.15, no.6, pp.71-80, 2008
- [64]. Dusit Niyato and Ekram Hossain ., “Market-Equilibrium, Competitive, and Cooperative Pricing for Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks: Analysis and Comparison”, *IEEE transactions on wireless communications*, vol. 7, no. 11, 2008.
- [65]. Dusit Niyato and Ekram Hossain., “A Game-Theoretic Approach to Competitive Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks”, *Proceedings of the WCNC 2007*, Hong Kong, Asia , 2007.
- [66]. Dusit Niyato, Ekram Hossain., Zhu Han., “Dynamics of Multiple-Seller and Multiple-Buyer Spectrum Trading in Cognitive Radio Networks: A Game Theoretic Modeling Approach”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol.8, no.8, 2009
- [67]. Dusit Niyato and Ekram Hossain.,” Equilibrium and Disequilibrium Pricing for Spectrum Trading in Cognitive Radio: A Control-Theoretic Approach”, *Proceedings of the IEEE GLOBECOM 2007*, Washington D.C., USA , 2007.
- [68]. George Mastorakis, Maria Astrinaki, Evangelos Pallis, Vassilios Zacharopoulos., “Radio spectrum exploitation: A survey on a liberalized management framework business strategies and marketing opportunities ”, *Proceedings of the NHIBE 2009*, Santorini, Greece, 2009.
- [69]. Shared Spectrum Company. New York City Spectrum Occupancy Measurements September 2004.
- [70]. [www.spectrumstrategy.com](http://www.spectrumstrategy.com).
- [71]. Spectrum Value Partners report, “Getting the most out of the digital dividend”, 2008.
- [72]. Europe’s Information Society portal, “Study on Exploiting the digital dividend, a European approach”, Sep. 2008.
- [73]. Mobile TV across Europe: Commission endorses addition of DVB-H to EU List of Official Standards, EC press room, IP/08/451, Brussels, 17 March 2008
- [74]. WiMAX Forum White Paper, Spectrum Opportunities below 1 GHz, August 2008.