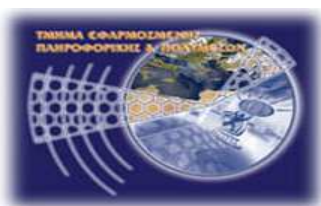


## **Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης**



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



### **Πτυχιακή εργασία**

**ΣΕΝΕΤΑΚΗΣ ΜΑΞΙΜΟΣ**

**Τίτλος: Μελέτη και υλοποίηση πλατφόρμας δικτύων με χρήση αλγορίθμων δημοπρασίας φάσματος, για την βέλτιστη διαχείριση των λευκών περιοχών του ραδιοφάσματος, εφαρμοσμένων σε γνωσιακά δίκτυα επικοινωνιών.**

**Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Μπουρδένα Αθηνά**

*Στην οικογενειά μου και σε όσους με στήριξαν...*

## **Ευχαριστίες**

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω, όλους όσους με βοήθησαν κατά την ενασχολήσή μου με αυτήν. Κατά κύριο λόγο θα ήθελα να απευθύνω θερμές ευχαριστίες στην επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κ. Αθηνά Μπουρδένα και στον καθηγητή μου Δρ. Γεώργιο Μαστοράκη, για την καθοδήγηση και την ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της πτυχιακής εργασίας, καθώς και τον ξαδερφό μου Νικόλα Καπνίση για την αμέριστη βοήθειά που μου παρείχε κατά την υλοποίηση της πλατφόρμας.

Τελευταίους στην σειρά αλλά πρώτους σε συνεισφορά, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου, ως ελάχιστο δείγμα ευγνωμοσύνης για την τεράστια υπομονή που υπέδειξαν, αλλά και για την ανυπολόγιστη συμπαράσταση που μου παρείχαν καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου, χωρίς την βοήθεια των οποίων δεν θα κατάφερνα να φτάσω στον στόχο μου.

## **Περίληψη**

Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων αποτελούσε ανέκαθεν ένα πολύ σημαντικό οικονομικό πόρο. Παρόλα αυτά διάφορες μελέτες έχουν αποδείξει ότι η χρησιμοποίησή του, δεν είναι βέλτιστη καθώς για μεγάλα χρονικά διαστήματα, τμήματα του παραμένουν ανενεργά. Εισάγεται έτσι μία νέα ιδέα ανάπτυξης δικτύων επικοινωνιών, τα γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών, τα οποία θα είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον γύρω τους, να αλληλεπιδρούν με αυτό και να διαθέτουν το φάσμα στους χρήστες ανάλογα με τις ανάγκες τους. Η νέα αυτή τεχνολογία θα επιτρέπει οι διάφοροι χρήστες/συστήματα να ανταγωνίζονται μεταξύ τους, για τα φασματικά αυτά τμήματα. Στα πλαίσια αυτά η πτυχιακή αυτή εργασία θα πραγματοποιήσει μια πλατφόρμα cognitive radio δικτύων σε visual studio με δυνατότητα εκτέλεσης πολλαπλών σεναρίων σε διαφορετικά radio access technologies καθώς και εκτέλεσης δημοπρασιών για την εκχώρηση του διαθέσιμου φάσματος. Η πλατφόρμα C.R. δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να πραγματοποιήσει μετρήσεις και να πάρει αποτελέσματα που έχουν να κάνουν με τον υπολογισμό της μέγιστης περιοχής κάλυψης των σταθμών μετάδοσης καθώς επίσης και το uplink load factor. Τέλος γίνεται παρουσίαση των υλοποιημένων δικτύων σε γραφικό αποτελούμενο από όλους τους users οι οποίοι συνδέονται στους basestations και τους εξυπηρετούν καλύτερα.

## **Abstract**

Spectrum has always been an important economic resource. Nevertheless several studies have demonstrated that the use, is not optimal as for long periods, the parts remain inactive. Document introduces a new idea of developing communication networks, cognitive networks, which is able to perceive the environment around them, interact with it and have the range to users depending on their needs. This new technology will allow different users/systems to compete for the spectral segments. Within this framework this thesis will work out a platform for cognitive radio networks in visual studio can run multiple scenarios on different radio access technologies and executing auctions for the allocation of the available spectrum. The platform C.R. enables the user to perform measurements and get results that have to do with the calculation of the maximum coverage area of transmitting stations as well as the uplink load factor. Finally we present the graphical materialized networks composed of all users who are connected to basestations and serve them better.

## Περιεχόμενα

<b>1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>9</b>
1.1 Αντικείμενο εργασίας .....	9
1.2 Διάρθρωση εργασίας .....	9
1.3 Σημερινό τοπίο των ασύρματων επικοινωνιών .....	9
1.3.1 Ασύρματα τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα.....	9
1.3.2 Κυψελωτά συστήματα 2ης γενιάς .....	10
1.3.3 Η Γενιά 2,5 Δικτύων .....	10
1.3.4 Κυψελωτά συστήματα 3ης γενιάς.....	11
1.4 Περιβάλλον πέραν της 3ης γενιάς.....	11
1.4.1 Εξέλιξη των 3G - HSPA .....	11
1.4.2 Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών 4ης Γενιάς(4G) .....	11
1.5 Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων .....	12
<b>2.COGNITIVE RADIO NETWORKS .....</b>	<b>15</b>
2.1 Κίνητρα ανάπτυξης.....	15
2.2 Ορισμός.....	15
2.3 Προγράμματα βασισμένα στις αρχές του Cognitive Radio .....	15
2.4 Χαρακτηριστικά του Cognitive Radio .....	16
2.5 Ο Κύκλος της Γνώσης .....	17
<b>3. SPECTRUM SENSING .....</b>	<b>20</b>
3.1 Εισαγωγή.....	20
3.2 Χαρακτηριστικά Ανίχνευσης Φάσματος.....	20
3.3 Τεχνικές Ανίχνευσης Φάσματος .....	20
3.4 Διαμοιρασμός φάσματος.....	22
3.5 Ευκαιριακή χρήση συχνοτήτων .....	23
3.6 Μέτρα εκτίμησης παρεμβολών .....	24
3.6.1 Λόγος σήματος προς παρεμβολή και θόρυβο .....	24
3.6.2 Θερμοκρασία παρεμβολών .....	25
3.7 Μηχανισμοί δημοπρασίας.....	25
3.8 Συνάρτηση ωφέλειας .....	26
<b>4. ΑΝΑΛΥΣΗ-ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ COGNITIVE RADIO .....</b>	<b>27</b>
4.1 Εισαγωγή.....	27
4.2 Παρουσίαση .....	27
4.3 Εκτέλεση και αποτελέσματα.....	28
4.4 Συμπεράσματα .....	48
4.5 Μελλοντική ανάπτυξη .....	48
<b>5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>49</b>

## Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1.1	Εξέλιξη δικτύων κινητών επικοινωνιών[1]	12
Εικόνα 1.2	Διάθεση φασματικών πόρων στις Η.Π.Α	13
Εικόνα 2.1	CR Δίκτυα[2]	15
Εικόνα 2.2	Κύκλος της γνώσης(Mitola)[4]	17
Εικόνα 2.3	Νοητικές διεργασίες, όπως προκύπτουν από το Γνωστικό Κύκλο[5]	19
Εικόνα 3.1	Spectrum sensing in Cognitive Network[6]	20
Εικόνα 3.2	Τεχνικές ανίχνευσης φάσματος	22
Εικόνα 3.3	Υποχρησιμοποίηση φασματικών συχνοτήτων[10]	23
Εικόνα 3.4	Φασματικές οπές σε 2 διαστάσεις[8]	24
Εικόνα 4.1	RAT Simulator	28
Εικόνα 4.2	Status Bar	29
Εικόνα 4.3	Settings	29
Εικόνα 4.4	Data->BaseStations	30
Εικόνα 4.5	Base Stations Window	30
Εικόνα 4.6	Base Stations Window(zoom)	31
Εικόνα 4.7	Data->Users	32
Εικόνα 4.8	User's Scenario 1 Window	32
Εικόνα 4.9	User's Scenario 1 Window(zoom)	33
Εικόνα 4.10	Normalized User's Scenario1	34
Εικόνα 4.11	Normalized graph with Scenario 1	35
Εικόνα 4.12	Bid User's Scenario 1	36
Εικόνα 4.13	Comparative Graph with Scenario's 1	37
Εικόνα 4.14	Standard mode	39
Εικόνα 4.15	Percentage mode	40
Εικόνα 4.16	File->Save As	41
Εικόνα 4.17	File Operation	41
Εικόνα 4.18	Base Stations(coverage) Office file	42
Εικόνα 4.19	Base Stations(uplink) Office file	44
Εικόνα 4.20	Data->User's Scenario's 2	46
Εικόνα 4.21	User's Scenario's 2	46
Εικόνα 4.22	Data->User's Scenario's 3	47
Εικόνα 4.23	User's Scenario's 3	47

## **Ακρωνύμια**

**ABC** Always Best connected

**ADSL** Asymmetric Digital Subscriber Line

**B3G** Beyond Third Generation

**BS** Base Station

**CDMA** Code Division Multiple Access

**CR** Cognitive Radio

**DSL** Digital Subscriber Line

**DVB-T** Digital Video Broadcasting Terrestrial

**ETSI** European Telecommunication Standard Institute

**EDGE** Enhanced Data Rates for GSM Evolution

**FCC** Federal Communications Commission

**GPRS** General Packet Radio Service

**GSM** Global System for Mobile Communications

**HSCS** High-Speed Circuit Switched Data

**IEEE** Institute of Electrical & Electronics Engineers

**IT** Interference Temperature

**OFDM** Orthogonal Frequency Division Multiplexing

**PUS** Primary Users

**QOS** Quality of Service

**RAT** Radio Access Technology

**SLA** Service Level Agreements

**SNR** Signal to Noise plus Interference Ratio

**Sus** Secondary Users

**UCC** Universal Control Channel

**UMTS** Universal Mobile Telecommunications System

**UHF** Ultra High Frequency

**UWB** Ultra High Frequency

**WLAN** Wireless Lan

**WIMAX** Worldwide Interoperability for Microwave Access

**WSPS** Wireless Service Providers



## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Διάφορες μελέτες έχουν αποδείξει ότι η χρησιμοποίησή του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων, δεν είναι η βέλτιστη καθώς για μεγάλα χρονικά διαστήματα τμήματα αυτού παραμένουν ανενεργά. Για αυτόν τον λόγο λοιπόν αναπτύχθηκε μια νέα ιδέα δικτύων επικοινωνιών, τα γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών, τα οποία είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον γύρω τους, να αλληλεπιδρούν με αυτό και να διαθέτουν το φάσμα στους χρήστες ανάλογα με τις ανάγκες τους. Τα νέα αυτά ασύρματα συστήματα επικοινωνίας βελτιστοποιούν την απόδοση του δικτύου με την χρήση μηχανισμών δυναμικής διαχείρισης φάσματος ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις και περιορισμούς των τελικών χρηστών. Με αυτό τον τρόπο το διαθέσιμο φάσμα ασύρματης επικοινωνίας αξιοποιείται αποτελεσματικότερα. Η νέα αυτή τεχνολογία προμηνύει ότι οι διάφοροι χρήστες, θα ανταγωνίζονται μεταξύ τους, για τα φασματικά τμήματα. Επίσης ορίζονται σαφείς κανόνες για το πότε κάθε χρήστης έχει δικαίωμα να εκπέμψει. Ο μηχανισμός δημοπρασίας θέτει τους κανόνες αυτούς οι οποίοι προστατεύουν τον ανταγωνισμό μεταξύ των χρηστών. Οι χρήστες (δευτερεύοντες χρήστες) εισέρχονται σε μια διαδικασία δημοπρασίας όπου πλειοδοτούν για τα φασματικά τμήματα και καταθέτουν τις προσφορές τους στον πωλητή (πρωτεύον χρήστης). Ανάλογα με το είδος της δημοπρασίας ο πωλητής καθορίζει τους νικητές, και τους κανόνες βάσει των οποίων αυτοί πρέπει να εκπέμψουν. Στα επόμενα κεφάλαια θα αναπτυχθούν διάφορες έννοιες σχετιζόμενες με την τεχνολογία των cognitive radio όπως είναι spectrum allocation, spectrum auctions και white spaces ή λευκά διαστήματα τα οποία χαρακτηρίζουν το αχρησιμοποίητο ραδιοφάσμα. Επίσης θα γίνει αναφορά στην αναγκαιότητα για καλύτερη εκμετάλευση του αχρησιμοποίητου ραδιοφάσματος, η οποία προκύπτει από την όλο και αυξανόμενη χρήση των ασύρματων δικτύων.

### 1.1 Αντικείμενο εργασίας

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η αξιοποίηση των χαρακτηριστικών των γνωστικών δικτύων με στόχο την βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου ραδιοφάσματος. Στα πλαίσια αυτής, μελετήθηκε η τεχνολογία cognitive radio, οι αλγόριθμοι δημοπρασίας φάσματος για την βέλτιστη διαχείριση των λευκών περιοχών και τέλος υλοποιήθηκε πλατφόρμα CR δικτύων.

### 1.2 Διάρθρωση εργασίας

Στην πτυχιακή εργασία αυτή, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά στις υφιστάμενες τεχνολογίες των δικτύων επικοινωνιών καθώς και στην εξέλιξή τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η cognitive radio τεχνολογία με τα χαρακτηριστικά της. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στις τεχνικές ανίχνευσης και διαμοιρασμού του φάσματος και τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο προσομοιωτής cognitive radio.

### 1.3 Σημερινό τοπίο των ασύρματων επικοινωνιών

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται μια έκρηξη των παραγόμενων πληροφοριών που συνοδεύεται και από την αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών. Ο τομέας των ασύρματων επικοινωνιών αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της εξέλιξης. Σήμερα, ο τελικός χρήστης απολαμβάνει ελκυστικότερες υπηρεσίες φωνής και υπηρεσίες δεδομένων, με την προσθήκη χαρακτηριστικών όπως η επίγνωση θέσης, η επίγνωση προσωπικών προτιμήσεων και γενικότερα, η επίγνωση περιβάλλοντος χρήσης. Η ανάπτυξη των προσφερόμενων υπηρεσιών όμως, δε θα ήταν δυνατή χωρίς την εξέλιξη των αντίστοιχων τεχνολογικών υποδομών και συγκεκριμένα, των τεχνολογιών ραδιοπρόσβασης (Radio Access Technology - RAT). Οι κυριότερες τεχνολογίες πρόσβασης που συνυπάρχουν σήμερα, με τρόπο συνεργατικό και ενίοτε ανταγωνιστικό, παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

#### 1.3.1 Ασύρματα τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ευρυζωνικά ασύρματα, τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα. Με ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 54 Mbps και πρόσφατα μέχρι 248 Mbps (πρότυπο IEEE 802.11) τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks-WLANs) χρησιμοποιούνται ευρέως σε πανεπιστήμια, ξενοδοχεία

συνεδριακούς χώρους, αεροδρόμια κ.τ.λ. Το μεγαλύτερο μειονεκτημά τους, αυτό της σχετικά μικρής ακτίνας κάλυψης που δεν ξεπερνά τα 250 μέτρα έρχονται να καλύψουν τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (Wireless Metropolitan Network -WLANs) ή όπως συχνά αναφέρονται τα δίκτυα WIMAX (Worldwide Interopability for Microwave Access). Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την λειτουργία των WLANs είναι το 802.11.

### 1.3.2 Κυψελωτά συστήματα 2ης γενιάς

Το κύριο χαρακτηριστικό της δεύτερης γενιάς(2G) κινητών δικτύων επικοινωνιών είναι ότι χρησιμοποιεί ψηφιακή μετάδοση της κίνησης. Αυτή είναι και η βασική διαφορά μεταξύ των κινητών συστημάτων πρώτης και δεύτερης γενιάς δηλαδή ο διαχωρισμός αναλογικού - ψηφιακού. Τα δίκτυα δεύτερης γενιάς έχουν αυξημένες δυνατότητες σε σχέση με αυτά της πρώτης γενιάς. Ένα κανάλι συχνοτήτων διαιρείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διαφορετικούς χρήστες. Επιπλέον χρησιμοποιούνται ιεραρχικές δομές κυψελών, για την ακρίβεια η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε macrocells(κυψέλες μεγάλης έκτασης), microcells(κυψέλες μικρής έκτασης) και picocells(κυψέλες περιορισμένης έκτασης κυρίως σε μεγάλα αστικά κέντρα), με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση των δυνατοτήτων των δικτύων.

Έχουν αναπτυχθεί τρία κύρια πρότυπα για τα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς. Αυτά είναι το GSM(Global System for Mobile) communications, το D-AMPS(Digital AMPS) και το CDMA(Code Division Multiple Access) IS-95. Το GSM είναι μακράν το πιο επιτυχημένο και διαδεδομένο σύστημα δεύτερης γενιάς. Ξεκίνησε ως ένα ευρωπαϊκό σύστημα αλλά τελικά υιοθετήθηκε παγκοσμίως. Η μόνη ήπειρος στην οποία η διάδοση του GSM υστερεί είναι η αμερικανική. Το GSM χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz. Όμως υπάρχουν και αρκετά παράγωγα τα οποία χρησιμοποιούν τις ζώνες των 1800 ή 1900 MHz. Ο βασικότερος λόγος ήταν η έλλειψη χωρητικότητας στη ζώνη των 900 MHz. Η ζώνες των 1800 ή 1900 MHz μπορούν να εξυπηρετήσουν πολύ μεγαλύτερο αριθμό χρηστών, κυρίως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

### 1.3.3 Η Γενιά 2,5 Δικτύων

Η ονομασία 2.5G περιγράφει με τον καλύτερο τρόπο τις αναβαθμίσεις που έγιναν στα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς. Οι περισσότερες αναβαθμίσεις παρέχουν παρόμοιες δυνατότητες με αυτές των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς. Αν και τα όρια μεταξύ των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς και αυτών της γενιάς 2,5 είναι δυσδιάκριτα, υπάρχουν συγκεκριμένες τεχνολογίες οι οποίες χαρακτηρίζουν τη γενιά 2,5. Αυτές οι τεχνολογίες είναι η HSCSD(High-Speed Circuit-Switched Data), η GPRS(General Packet Radio Services) και η EDGE(Enhanced Data Rates for Global Evolution). Οι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης που περιορίζονταν στα 9,6 Kbps αποτέλεσε το μεγαλύτερο πρόβλημα που παρουσιάστηκε στις αρχικές μορφές του GSM.

Η λύση που προτάθηκε για την αντιμετώπιση του προβλήματος ήταν η τεχνολογία HSCSD. Σύμφωνα με αυτή την τεχνολογία ένας χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί περισσότερες από μία χρονοσχισμές(timeslots) για μία σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Η υλοποίηση αυτής της τεχνολογίας είναι σχετικά απλή και φθηνή. Χρειάζεται να υλοποιηθεί επιπρόσθετο λογισμικό στα κέντρα καθώς και καινούριες φορητές συσκευές που θα υποστηρίζουν την τεχνολογία HSCSD. Το βασικότερο μειονέκτημα ήταν η χρήση μεταγωγής κυκλώματος επειδή ο τρόπος αυτός μεταγωγής είχε ως αποτέλεσμα τη κατασπατάληση πόρων του δικτύου αφού οι χρονοσχισμές δεσμεύονταν ακόμα και όταν η χωρητικότητά τους υποχρησιμοποιούνταν.

Η επόμενη λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία GPRS. Αυτήν η τεχνολογία επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης 115 Kbps ή και ακόμα μεγαλύτερους. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό της τεχνολογίας GPRS είναι ότι χρησιμοποιεί τεχνολογία μεταγωγής πακέτων. Δηλαδή, δεσμεύει τους πόρους του δικτύου μόνο όταν υπάρχει ανάγκη για αποστολή και λήψη δεδομένων. Η υλοποίηση του GPRS είναι σημαντικά ακριβότερη από αυτή του HSCSD. Επίσης, το HSCSD συμπεριφέρεται με αξιοσημείωτη συνέπεια σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου σε αντίθεση με το GPRS. Παρόλα αυτά, η τεχνολογία GPRS προσφέρει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες για την αποστολή δεδομένων μέσω των κινητών δικτύων.

Η τρίτη και τελευταία βελτίωση του GSM προκειμένου να εξελιχθεί σε ένα δίκτυο 2,5G είναι η EDGE. Η βασική ιδέα του EDGE είναι μία τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται 8-PSK(Eight-Phase Shift Keying). Αυτή η τεχνική επηρεάζει μόνο το λογισμικό των σταθμών βάσης και προσφέρει έως και τριπλάσιο ρυθμό μετάδοσης από το βασικό ρυθμό μετάδοσης του GSM. Επιπλέον, μπορεί να συνυπάρξει με την τεχνική διαμόρφωσης GMSK(Gaussian Minimum Shift Keying) η οποία χρησιμοποιείται στη βασική μορφή του GSM.

### **1.3.4 Κυψελωτά συστήματα 3ης γενιάς**

Η ανάγκη για παροχή υπηρεσιών σε αυξημένους πληθυσμούς και μεγάλες γεωγραφικές περιοχές υπερκαλύφθηκε από το πέρας των κυψελωτών συστημάτων 1ης γενιάς στα κυψελωτά συστήματα 2ης γενιάς. Η δυνατότητα όμως υποστήριξης υπηρεσιών δεδομένων, είναι περιορισμένη στα συστήματα 2G. Αυτός είναι και ο λόγος που οδήγησε στην σχεδίαση των κυψελωτών δικτύων 3ης γενιάς που παρέχουν υπηρεσίες με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ώστε να μεταδίδεται σε πραγματικό χρόνο βίντεο υψηλής ποιότητας (live streaming) ή να παρέχεται πρόσβαση στο διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των 3G δικτύων είναι τα εξής:

- Υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων και δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες και υπηρεσίες με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 2Mbps
- Μεταβαλλόμενος ρυθμός μετάδοσης
- Πολυπλεξία υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την ποιότητα (φωνή, βίντεο, πακέτα δεδομένων) στην ίδια σύνδεση
- Συνύπαρξη 2ης και 3ης γενιάς συστημάτων για βελτίωση της κάλυψης
- Μεγάλη φασματική απόδοση
- Συνύπαρξη FDD (Frequency Division Duplex) και TDD (Time Division Duplex) συστημάτων

## **1.4 Περιβάλλον πέραν της 3ης γενιάς**

### **1.4.1 Εξέλιξη των 3G - HSPA**

Τελευταία γίνεται εισαγωγή μιας νέας τεχνολογίας, για τα δίκτυα τρίτης γενιάς, που ονομάζεται HSPA (High Speed Packet Access). Με την HSPA, οι πάροχοι των δικτύων είναι πλέον σε θέση να παράσχουν υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων πολύ υψηλής ταχύτητας, όπως πρόσβαση στο διαδίκτυο με πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ανάκτηση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου με συνημμένα αρχεία, πρόσβαση σε ασύρματες υπηρεσίες ήχου και video, ανάκτηση εικόνων πολύ μεγάλης ανάλυσης, κλπ. Το HSPA περιλαμβάνει τόσο την τεχνολογία HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) όσο και την HSUPA (High Speed Uplink Packet Access).

### **1.4.2 Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών 4ης Γενιάς(4G)**

Η σημερινή βιομηχανία τηλεπικοινωνιών αναπτύσσει ραγδαίως νέες εφαρμογές, οι οποίες συνδυάζουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και κινητικότητα. Εκτός από την εξέλιξη των συστημάτων 3G είναι τα συστήματα κινητών επικοινωνιών 4ης γενιάς (4G) που βασίζονται κατά κύριο λόγο στα συστήματα 3G και στις αναπτυγμένες εκδοχές τους. Όλα τα δίκτυα 4G είναι ετερογενή δίκτυα βασισμένα στο πρωτόκολλο IP και επιτρέπουν στους χρήστες να χρησιμοποιούν οποιοδήποτε σύστημα, οποτεδήποτε και οπουδήποτε το επιθυμούν. Χρήστες που διαθέτουν ολοκληρωμένα τερματικά μπορούν να χρησιμοποιούν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που παρέχονται από ετερογενή ασύρματα δίκτυα. Τα δίκτυα 4G παρέχουν υπηρεσίες δεδομένων και πολυμέσων. Για την υποστήριξη των εφαρμογών πολυμέσων, παρέχονται υπηρεσίες υψηλών ρυθμών μετάδοσης και με καλή αξιοπιστία αλλά ταυτόχρονα επιδιώκεται χαμηλό κόστος μετάδοσης.

Επίσης τα συστήματα νέας γενιάς θα παρέχουν προσωποποιημένες υπηρεσίες που θα καλύπτουν τις ανάγκες του εκάστοτε χρήστη. Με την αύξηση της διείσδυσης των συστημάτων 4G, χρήστες από διάφορες διάσπαρτες γεωγραφικές περιοχές, με διαφορετικά αντικείμενα και οικονομικές δυνατότητες θα χρησιμοποιούν τις σχετικές υπηρεσίες. Για την ικανοποίηση των διαφορετικών αυτών χρηστών οι πάροχοι υπηρεσιών πρέπει να σχεδιάσουν προσωπικές υπηρεσίες προσαρμοσμένες στους χρήστες.

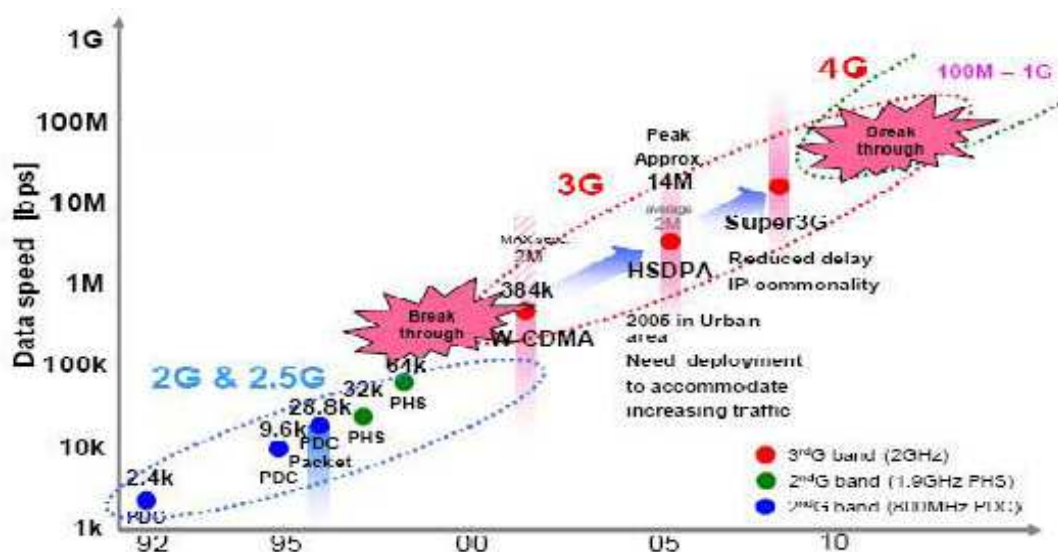
Τέλος, τα συστήματα 4G θα παρέχουν υποδομή για ολοκληρωμένες υπηρεσίες. Οι χρήστες θα μπορούν να χρησιμοποιούν συνδυαστικά πολλαπλές υπηρεσίες από διαφορετικούς παρόχους.

Για την εξέλιξη των συστημάτων 4G πρέπει να αντιμετωπισθούν τα εξής θέματα:

- Χρήση τερματικών πολλαπλών τρόπων λειτουργίας
- Ανακάλυψη διατιθέμενων ασύρματων συστημάτων
- Επιλογή ασύρματου συστήματος
- Κινητικότητα τερματικού
- Υποδομή δικτύου και υποστήριξη QoS
- Ασφάλεια και απόρρητο
- Πολλαπλοί πάροχοι και σύστημα χρέωσης

Σύμφωνα με την ITU ένα πρότυπο επικοινωνίας για να θεωρείται τεχνολογίας 4G θα πρέπει να πληρεί τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ρυθμοί μετάδοσης έως 100Mbit/s(για δίκτυα ευρείας επικοινωνίας) και 1Gbit/s (για τοπικά δίκτυα επικοινωνίας)
- Κλιμακωτό εύρος ζώνης καναλιού 5 – 20 Mhz
- Διασύνδεση ετερογενών δικτύων
- Δυναμική κατανομή των πόρων του δικτύου για την ταυτόχρονη υποστήριξη περισσότερων χρηστών
- Ομαλά handovers μεταξύ ετερογενών δικτύων
- Δυνατότητα να προσφέρουν υψηλής ποιότητας υπηρεσίες για υποστήριξη πολυμέσων επόμενης γενιάς.



Εικόνα 1.1 Εξέλιξη δικτύων κινητών επικοινωνιών[1]

## 1.5 Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων

Στις μέρες μας το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων είναι ένας σημαντικός οικονομικός πόρος. Το εύρος ζώνης του η καταλληλοτητα του για συγκεκριμένες υπηρεσίες και οι παρεμβολές απο την ραγδαία αύξηση της χρήσης των ασύρματων δικτύων τα τελευταία χρόνια, είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά του. Ο ορισμός του ως



Για την επίτευξη των στόχων αυτών το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων έχει χωρισθεί σε τρεις κατηγορίες:

- Αδειοδοτημένες ζώνες για αποκλειστική χρήση από συγκεκριμένες υπηρεσίες
- Αδειοδοτημένες ζώνες για αποκλειστική χρήση
- Μη αδειοδοτημένες ζώνες με κοινή χρήση

Στη πρώτη κατηγορία ζωνών ανήκει ο παραδοσιακός τρόπος διάθεσης φάσματος, όπου οι φασματικές ζώνες χωρίζονται σε κανάλια, και αδειοδοτούνται σε χρήστες για συγκεκριμένες υπηρεσίες όπως η διάθεση φάσματος στην αναλογική τηλεόραση.

Στην δεύτερη κατηγορία ο δικαιούχος του φάσματος μπορεί να εκπέμψει κατόπιν επιλογής ότι επιθυμεί και να προσφέρει όποια υπηρεσία θέλει, με την προϋπόθεση ότι δεν θα παρεμβάλει στα γειτονικά κανάλια και ότι δεν θα παρεμποδίζει τις υπηρεσίες που προσφέρονται από γείτονες δικαιούχους.

Στην τρίτη κατηγορία ανήκει το μη αδειοδοτημένο φάσμα, δηλαδή οι φασματικές ζώνες που είναι ελεύθερες για κάθε χρήση. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το 802.11b ή Wi-Fi που λειτουργεί στα 2,4GHz.

Τα τελευταία χρόνια, η ραγδαία ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών, η όλο και αυξανόμενη ανάγκη για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, αλλά και η υπερχρησιμοποίηση συγκεκριμένων φασματικών ζωνών έχει οδηγήσει στη αύξηση ζήτησης εύρους ζώνης αλλά και στον ανταγωνισμό μεταξύ φορέων για την κατοχή φάσματος. Το πρόβλημα που φαίνεται να ανακύπτει είναι η πιθανή μελλοντική εξάντλησή του.

Παρόλα αυτά μελέτες που έχουν γίνει στο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων από τα 400MHz έως τα 1000MHz δείχνουν ότι αν και η φασματική αυτή περιοχή είναι αδειοδοτημένη, η αξιοποίησή της δεν είναι η βέλτιστη δυνατή. Το φαινόμενο αυτό λοιπόν ονομάζεται white spaces ή λευκά διαστήματα.

## 2. COGNITIVE RADIO NETWORKS

### 2.1 Κίνητρα ανάπτυξης

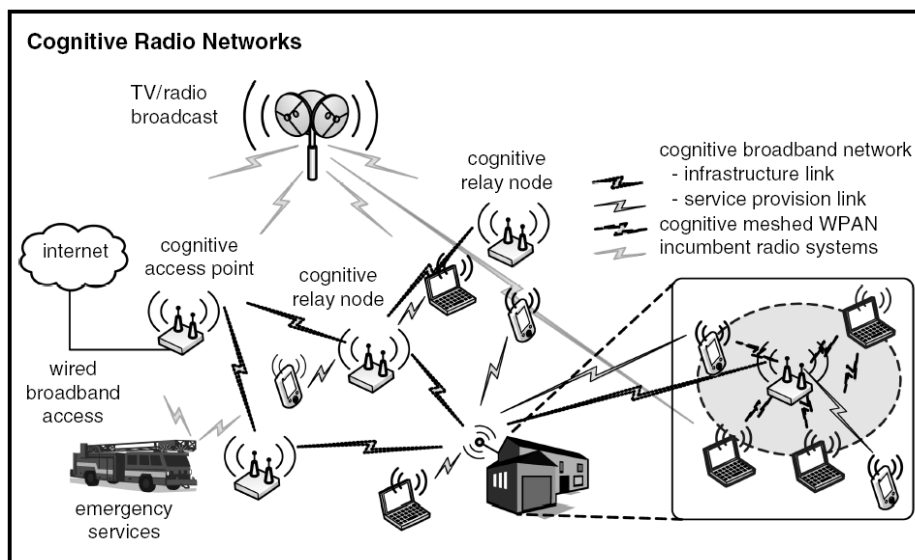
Τα δίκτυα των υπολογιστών βοήθησαν πολύ στην απόκτηση περαιτέρω γνώσεων και κάλυψαν τις ανάγκες του κόσμου. Βέβαια αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την αλλαγή των απαιτήσεων των ανθρώπων για πιο πολλές πληροφορίες, που με τη σειρά του οδηγεί στην προσπάθεια για βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών από τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Σήμερα γίνονται προσπάθειες για τη δημιουργία και χρήση πολλών ετερογενών δικτύων, ώστε να υπάρξει βελτίωση των υπηρεσιών και της παρεχόμενης ποιότητας. Μια μορφή τρόπου δικτύωσης που φαίνεται να καλύπτει τις υπάρχουσες αλλά και μελλοντικές απαιτήσεις, αποτελούν τα «γνωστικά δίκτυα»(cognitive networks).

### 2.2 Ορισμός

Το γνωστικό δίκτυο επικοινωνιών, είναι ένα έξυπνο ασύρματο σύστημα δικτύου το οποίο έχει γνώση για το περιβάλλον γύρω του, αντλεί πληροφορίες από αυτό και με μεθόδους εκμάθησης προσαρμόζει τις εσωτερικές του καταστάσεις στις μεταβολές κάνοντας αλλαγές σε συγκεκριμένες λειτουργικές παραμέτρους (ισχύς μετάδοσης, ραδιοσυχνότητα) σε πραγματικό χρόνο, με δύο κυρίως στόχους:

- υψηλής αξιοπιστίας επικοινωνίες
- αποδοτική χρήση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων

Αυτό που αξίζει να αναφερθεί είναι οι λόγοι για τους οποίους τα γνωστικά δίκτυα θεωρούνται κατάλληλα για τη χρήση τους. Οι καταναλωτές λειτουργούν με πιά απαιτητικές απαιτήσεις όσον αφορά την ασφάλεια και το εύρος του φάσματος της επικοινωνίας, αυξάνοντας συνεχώς την πρόκληση στον τομέα των δικτύων. Τα δίκτυα λοιπόν από απλοί φορείς μετάδοσης δεδομένων εξελίχθηκαν σε οντότητες που προσαρμόζουν την λειτουργία τους και τα χαρακτηριστικά τους ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών φανερώνοντας την τάση προς τα γνωστικά δίκτυα.



Εικόνα 2.1 CR Δίκτυα

### 2.3 Προγράμματα βασισμένα στις αρχές του Cognitive Radio

Υπάρχουν προγράμματα τα οποία είναι βασισμένα στις αρχές της τεχνολογίας cognitive radio. Ένα τέτοιο πρόγραμμα είναι το Next Generation(xG), πρόγραμμα της DARPA, του Υπουργείου Αμυνας των ΗΠΑ. Το

xG, μέσω τεχνικών DSA, παρέχει ευρυζωνικές υπηρεσίες σε κινητούς χρήστες.

Άλλο πρόγραμμα είναι το DRiVE(Dynamic Radio for IP Services in Vehicular Environments). Αποτελεί ευρωπαϊκή προσπάθεια και στόχος του είναι η συνύπαρξη διαφόρων ασύρματων υπηρεσιών όπως GSM, GPRS, UMTS, DAB και DVB-T με κοινό φάσμα λειτουργίας. Στο πρόγραμμα αυτό συμμετέχουν εταιρείες τηλεπικοινωνιών από όλη την Ευρώπη.

Το πρόγραμμα CORVUS ανιχνεύει τις φασματικές οπές στις αδειοδοτημένες φασματικές ζώνες. Στο πρόγραμμα αυτό υπάρχουν οι δικαιούχοι χρήστες και οι ομάδες χρηστών που αποτελούν τους δευτερεύοντες χρήστες(SUs). Κάθε SU εκτελεί ανίχνευση φάσματος και τη φασματική ζώνη που ανιχνεύει ως ανενεργή την χωρίζει σε κανάλια. Ο συντονισμός των SUs γίνεται μέσω του UCC(Universal Control Channel) και των GCCs(Group Control Channels). Ο ρόλος του UCC είναι η ανακοίνωση των υπαρχόντων SUs και μέσω αυτού γίνεται η ενημέρωση για την άφιξη των νέων SUs. Το GCC είναι μοναδικό σε κάθε ομάδα και είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία μεταξύ των SUs της ίδιας ομάδας.

Τέλος η ανάπτυξη του προτύπου IEEE 802.22 είναι βασισμένη στην ιδέα του cognitive radio. Το πρότυπο IEEE 802.22 δημιουργήθηκε για την ανίχνευση και χρήση των φασματικών οπών, από ασύρματα τοπικά δίκτυα(WRANs) στη μπάνα της τηλεόρασης. Τα IEEE 802.22 WRANs είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν χωρίς παρεμβολές στις συχνότητες της αναλογικής ή ψηφιακής τηλεόρασης.

## 2.4 Χαρακτηριστικά του Cognitive Radio

Ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα χαρακτηρίζεται ως γνωστικό(cognitive) όταν γνωρίζει το περιβάλλον του, μπορεί να προσαρμόζεται σε αυτό με βάση τις ανάγκες του χρήστη και είναι ικανό να μαθαίνει καινούργιες συμπεριφορές μέσω αυτόνομων μηχανισμών μάθησης. Πρακτικά, εξηγούμε αναλυτικά τα τρία βασικά χαρακτηριστικά του Cognitive Radio τα οποία είναι η Συνείδηση, η Προσαρμοστικότητα και η Εκπαίδευση.

### Συνείδηση

Το Cognitive Radio διαθέτει αισθητήρες ήχου, εικόνας, θέσης και συχνότητας. Αυτοί οι αισθητήρες συλλέγουν πληροφορίες για το περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί. Για να θεωρηθεί ένα σύστημα cognitive θα πρέπει να χρησιμοποιεί την πληροφορία που λαμβάνει μέσω των αισθητήρων του για να ικανοποιεί τις ανάγκες του χρήστη. Επιπλέον, το Cognitive Radio έχει αυτοεπίγνωση, διαθέτει δηλαδή ένα υπολογιστικό μοντέλο του εαυτού του, που του επιτρέπει να τροποποιεί με ευελιξία λειτουργικά του τμήματα ανταποκρινόμενο στις ανάγκες του χρήστη. Προσαρμόζεται δηλαδή στο εκάστοτε περιβάλλον.

### Προσαρμοστικότητα

Σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα υπάρχουν πολλοί παράμετροι της λειτουργίας του που μπορούν να είναι προσαρμοστικές. Μερικές από αυτές είναι η φέρουσα συχνότητα, το εύρος ζώνης, το σχήμα διαμόρφωσης, ο κώδικας διόρθωσης σφαλμάτων, ο ρυθμός δεδομένων και η ισχύς εκπομπής. Ένα frequencyhopping σύστημα που αλλάζει ακολουθίες μεταπήδησης για να μειώσει το ρυθμό συγκρούσεων μπορεί επίσης να θεωρηθεί προσαρμοστικό, όπως και ένα σύστημα που μεταβάλλει το στιγμιαίο εύρος ζώνης του σαν συνάρτηση του φορτίου του δικτύου. Με άλλα λόγια, ένα σύστημα που ανταποκρίνεται στις εκάστοτε συνθήκες μεταβάλλοντας τις παραμέτρους λειτουργίας του χωρίς να έχει προγραμματιστεί εκ των προτέρων για αυτό, έχει την ιδιότητα της προσαρμοστικότητας, όπως την εννοούμε στην τεχνολογία Cognitive Radio.

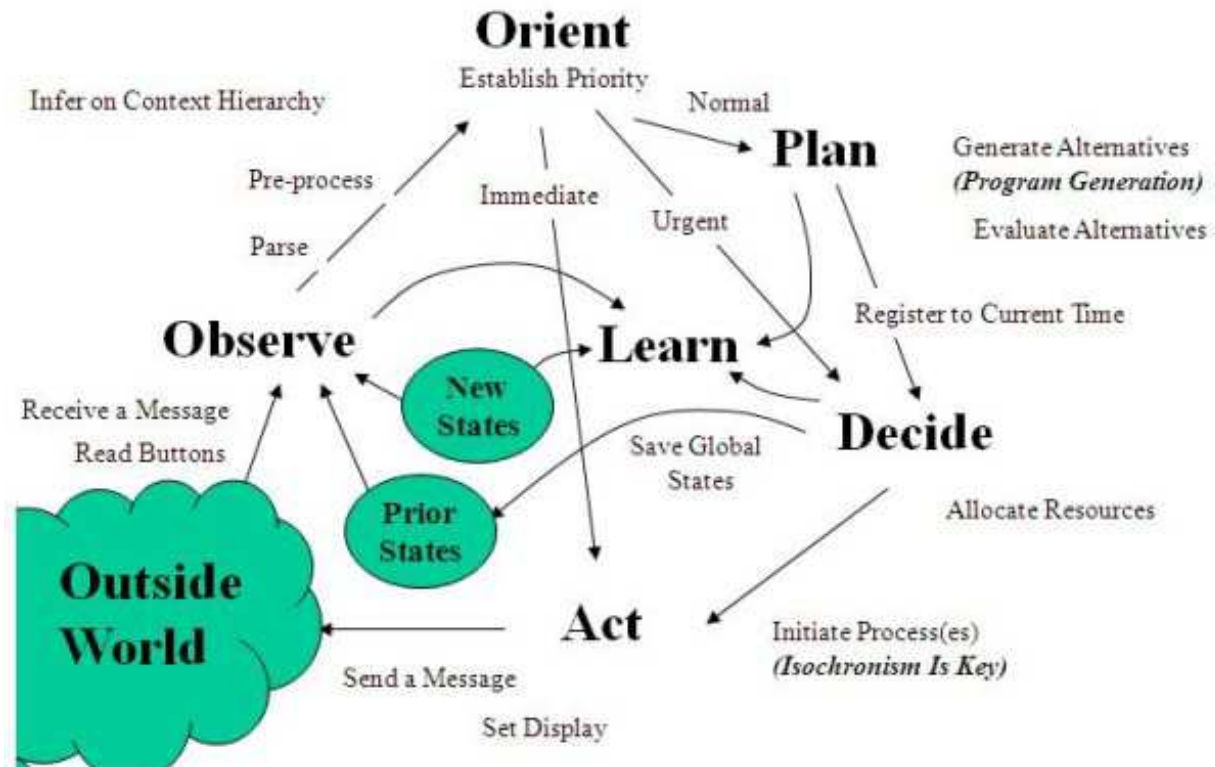
### Μάθηση

Η μάθηση περιλαμβάνει την ικανότητα του Cognitive Radio συστήματος να αναλύει τα δεδομένα που εισέρχονται στους αισθητήρες και βάση των συμπερασμάτων αυτής της ανάλυσης, να τροποποιεί την συμπεριφορά του. Η μάθηση μπορεί να επιτευχθεί με ή χωρίς επίβλεψη. Η μάθηση με επίβλεψη πραγματοποιείται με διάλογο μεταξύ του χρήστη και του συστήματος, όπου το σύστημα αναπτύσσει ένα νέο ισχυρισμό και στη συνέχεια ζητά επιβεβαίωση από το χρήστη ότι το συμπέρασμα που εξήγαγε είναι σωστό. Από την άλλη, στην μάθηση χωρίς επίβλεψη, το σύστημα μπορεί να επεκτείνει τη γνώση του μέσω του αλγορίθμου μάθησης και απλώς να προσθέσει τη νέα γνώση. Το πρόβλημα με την αυτόνομη μάθηση μηχανής(autonomous machine learning-AML) είναι ότι η διαδικασία μάθησης μπορεί να οδηγήσει σε πολλές λανθασμένες επιλογές.



## 2.5 Ο Κύκλος της Γνώσης

Η λειτουργία του CR χαρακτηρίζεται από τον Κύκλο της Γνώσης που εισήγαγε ο Mitola:



Εικόνα 2.2 Κύκλος της γνώσης(Mitola)[4]

Στον κύκλο αυτό διακρίνονται έξι βασικά στάδια[4]: Παρατήρηση (Observe), Προσανατολισμός (Orient) Σχεδιασμός (Plan), Απόφαση (Decide), Δράση (Act) και Μάθηση (Learn).

1. *Παρατήρηση:* Το cognitive radio αναλύει τα εισερχόμενα ερεθίσματα, έτσι ώστε να αποκτήσει γνώση για το περιβάλλον του. Αυτή η φάση συνδέει αυτά τα ερεθίσματα με προηγούμενες εμπειρίες με σκοπό να αποκομίσει χρήσιμα συμπεράσματα. Ολόκληρη η πληροφορία σχετικά με τις τηλεπικοινωνιακές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί ο χρήστης σε διάστημα ενός χρόνου καταλαμβάνουν μερικές εκατοντάδες gigabytes, ανάλογα με το επίπεδο λεπτομέρειας. Επομένως, η αρχιτεκτονική μνήμης και συσχέτισης της τρέχουσας εμπειρίας με όλες τις προηγούμενες είναι μία κεντρική ικανότητα του cognitive radio.

2. *Προσανατολισμός:* Η φάση προσανατολισμού καθορίζει την σπουδαιότητα μιας παρατήρησης συνδέοντας την παρατήρηση με ένα σύνολο ερεθισμάτων. Όταν υπάρχει απόλυτο ταίριασμα ανάμεσα στην τρέχουσα παρατήρηση και την προηγούμενη εμπειρία, έχουμε αναγνώριση ερεθίσματος. Κάθε ερέθισμα ανήκει σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, το οποίο περιλαμβάνει πρόσθετα ερεθίσματα και σχετικές εσωτερικές καταστάσεις συμπεριλαμβανομένου του χρόνου. Μερικές φορές, η φάση προσανατολισμού προκαλεί την άμεση εκκίνηση μιας ενέργειας ως ένα είδος αντανακλαστικής συμπεριφοράς. Μια ξαφνική απώλεια ηλεκτρικής ισχύος, για παράδειγμα, θα μπορούσε να προκαλέσει την άμεση

αποθήκευση των δεδομένων του χρήστη (το “Immediate” μονοπάτι προς την φάση “Act” στην εικόνα). Μία μη αντιμετωπίσιμη απώλεια σήματος σε ένα δίκτυο θα προκαλούσε επανεκχώρηση πόρων, για παράδειγμα, από την ανάλυση φωνής ως την αναζήτηση εναλλακτικών καναλιών. Αυτό αντιστοιχεί στο μονοπάτι “Urgent” στην εικόνα.

Η σύνδεση συμβαίνει όταν υπάρχει ένα σχεδόν πλήρες ταίριασμα μεταξύ του παρόντος συνόλου ερεθισμάτων και μιας προηγούμενης εμπειρίας, ενώ ταυτόχρονα ισχύουν κάποια πολύ γενικά κριτήρια για την εφαρμογή της προηγούμενης εμπειρίας στην τρέχουσα κατάσταση. Ένα τέτοιο κριτήριο είναι το πλήθος των μη αντιστοιχισμένων χαρακτηριστικών στην παρούσα σκηνή. Αν ένα μόνο χαρακτηριστικό δεν ταιριάζει, τότε η σύνδεση μπορεί να είναι το πρώτο βήμα στο σχεδιασμό μιας συμπεριφοράς παρόμοιας με τη συμπεριφορά στην πιο πρόσφατη συγκρίσιμη σκηνή.

3. *Σχεδιασμός*: Τα περισσότερα ερεθίσματα αντιμετωπίζονται με προμελετημένο τρόπο παρά αντανακλαστικά. Ένα εισερχόμενο μήνυμα από το δίκτυο θα αντιμετωπιζόταν με τη δημιουργία ενός σχεδίου. Τυπικά, οι ανακλαστικές αντιδράσεις είναι προγραμματισμένες εκ των προτέρων ή μαθαίνονται μέσω ρητών εντολών του χρήστη, ενώ οι υπόλοιπες προμελετημένες αντιδράσεις εκτελούνται μέσω σχεδίου. Σχεδιαστικά εργαλεία όπως το OPRS (Open Procedural Reasoning System) επιτρέπουν τη σύνθεση συμπεριφορών πρόσβασης στο φάσμα και στην πληροφορία με βάση την αντίληψη του περιβάλλοντος, τους κανόνες της μηχανής μάθησης και τις προτιμήσεις του χρήστη που έχουν γίνει γνωστές από προηγούμενη χρήση.

4. *Απόφαση*: Η φάση απόφασης διαλέγει ανάμεσα στα υπονήφια σχέδια. Το cognitive radio θα μπορούσε να ειδοποιήσει το χρήστη για ένα εισερχόμενο μήνυμα ή να αναβάλει τη διακοπή για αργότερα. Η απόφαση θα βασιζόταν σε μετρικές του QoI (quality of information) για την τρέχουσα σκηνή.

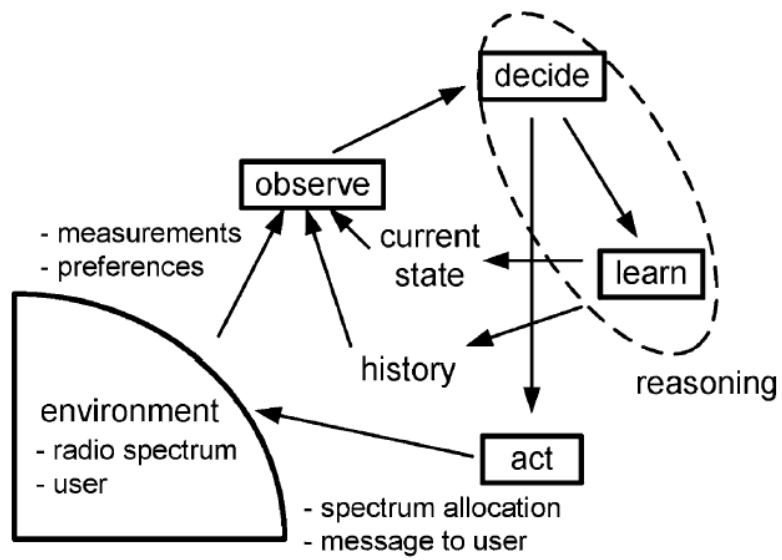
5. *Δράση*: Αυτή η φάση ξεκινά τις επιλεγμένες διαδικασίες χρησιμοποιώντας ενεργοποιητές που προσπελαίνουν τον έξω κόσμο ή τις εσωτερικές καταστάσεις του cognitive radio. Πρόσβαση στον έξω κόσμο σημαίνει κυρίως τη σύνθεση μηνυμάτων, είτε προφορικών που απευθύνονται στο τοπικό περιβάλλον είτε γραπτών που απευθύνονται σε ένα άλλο cognitive radio, γραμμένων σε RXML (Radio XML) ή σε κάποιο άλλο πρότυπο ανταλλαγής γνώσης. Η δράση πάνω σε εσωτερικές καταστάσεις περιλαμβάνει τον έλεγχο πόρων όπως τα ασύρματα κανάλια.

6. *Μάθηση*: Αρχικά η μάθηση εξυπηρετείται από τη φάση παρατήρησης όπου η πληροφορία από τους αισθητήρες συσχετίζεται με όλη την προηγούμενη εμπειρία. Κατόπιν το cognitive radio μαθαίνει καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου, δηλαδή από το σχεδιασμό, από τις αποφάσεις και από τη δημιουργία νέων καταστάσεων που ενσωματώνονται στην ήδη αποθηκευμένη γνώση.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι το cognitive radio επιδεικνύει την ικανότητα επαναδιάρθρωσης της δομής και της λειτουργίας του. Η εικόνα δείχνει τις βασικές διεργασίες ενός cognitive radio [5], όπως αυτές προκύπτουν από έναν πιο γενικό Κύκλο Γνωστικής Διαδικασίας του Mitola. Το CR παρατηρεί το περιβάλλον του και λαμβάνει αποφάσεις στηριζόμενο:

- στις μετρήσεις μίας σειράς μεγεθών
- στο ιστορικό των προηγούμενων παρατηρήσεών του
- στις προτιμήσεις του χρήστη

Μια απόφαση μετουσιώνεται σε δράση η οποία μπορεί να οδηγήσει σε δέσμευση μιας ζώνης συχνοτήτων για χρήση ή σε αποστολή κατάλληλων μηνυμάτων προς το χρήστη. Επιπλέον, το CR μπορεί να εκπαιδεύεται και να μαθαίνει.



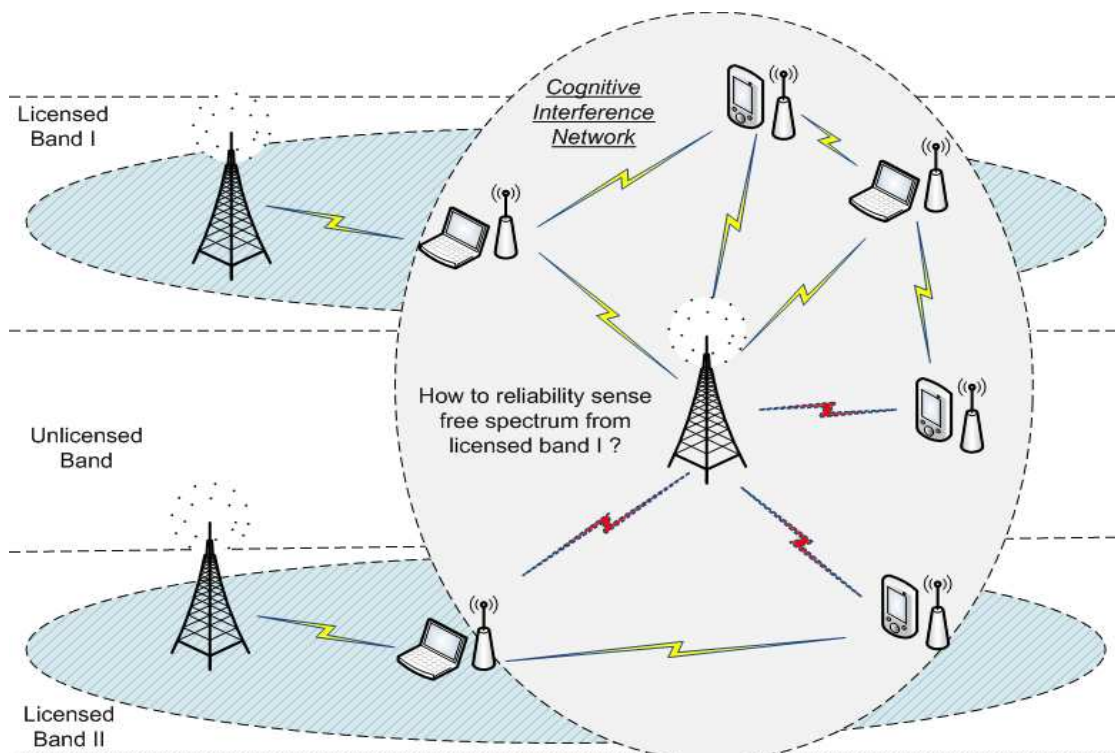
*Εικόνα 2.3* Νοητικές διεργασίες, όπως προκύπτουν από το Γνωστικό Κύκλο[5]

### 3. SPECTRUM SENSING

#### 3.1 Εισαγωγή

Οι μελλοντικές ασύρματες υπηρεσίες αναμένεται να παράσχουν δεδομένα της τάξεως του 1 Gbps στην τοπική περιοχή και 100 Mbps στην ευρύτερη περιοχή. Ένα πολύ μεγάλο εύρος ζώνης(100 MHz) απαιτείται για την υποστήριξη τόσο μεγάλου όγκου δεδομένων. Αυτό δεν είναι διαθέσιμο για κάθε χρήστη, έτσι η μεριζόμενη πρόσβαση στο ραδιοφάσμα μεταξύ των φορέων κρίνεται απαραίτητη.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, η ανίχνευση φάσματος αποτελεί ένα ιδιαίτερος κρίσιμο θέμα για τα cognitive συστήματα. Για να επιτευχθεί η προσαρμοστική μετάδοση σε αχρησιμοποίητα τμήματα φάσματος χωρίς να προκαλούνται παρεμβολές στους βασικούς χρήστες αυτών των τμημάτων, το spectrum sensing αποτελεί το πρώτο και ένα από τα κυριότερα βήματα καθώς απαιτείται υψηλή αξιοπιστία στην ανίχνευση του σήματος των PUs(Primary Users). Οι δευτερεύοντες χρήστες, δηλαδή, θα πρέπει να γνωρίζουν αν το φάσμα χρησιμοποιείται ώστε να αξιοποιήσουν το διαθέσιμο φάσμα με τον πιο αποδοτικό τρόπο .



*Εικόνα 3.1 Spectrum sensing in Cognitive Network[6]*

Ουσιαστικά, το spectrum sensing εφαρμόζεται για να δώσει στον cognitive χρήστη μια εικόνα του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται. Αν θέλαμε να δώσουμε ένα ορισμό για το spectrum sensing θα λέγαμε ότι είναι μια ποιοτική και ποσοτική ανάλυση του εύρους ζώνης που μας ενδιαφέρει μέσω της συλλογής πληροφοριών σχετικά με τη χρήση των συχνοτήτων και την κατηγοριοποίησή τους.

#### 3.2 Χαρακτηριστικά Ανίχνευσης Φάσματος

Η ανίχνευση του φάσματος[7][8] αποτελεί το πρώτο βήμα για την μετάδοση σε μεγάλα φάσματα χωρίς να προκαλούνται παρεμβολές μεταξύ των PUs. Γι'αυτό το λόγο αποτελεί το σημαντικότερο χαρακτηριστικό της τεχνολογίας cognitive radio όσον αφορά την κατανομή των συχνοτήτων, καθώς διασφαλίζει επικοινωνία

χωρίς παρεμβολές και αναγνωρίζει τις δυνατότητες που υπάρχουν για αύξηση της χωρητικότητας των cognitive δικτύων. Για να μπορέσει να ανταπεξέλθει με αξιοπιστία σε αυτούς τους ρόλους θα πρέπει να αντιμετωπίσει τα εξής ζητήματα:

*Περιορισμένη ικανότητα ανίχνευσης:* Οι SUs δεν μπορούν να αντιληφθούν την παρουσία άλλων χρηστών αποτελεσματικά. Η ικανότητα ανίχνευσης σε μεγάλες φασματικές περιοχές, η ανίχνευση του φάσματος σε περιβάλλοντα πολλαπλών χρηστών και η μέτρηση της θερμοκρασίας παρεμβολών, αποτελούν ζητήματα σχετιζόμενα με αυτό που αποκαλούμε περιορισμένη ικανότητα ανίχνευσης.

*Ανίχνευση ευρείας ζώνης:* Η ανίχνευση του φάσματος καθίσταται δύσκολη υπόθεση, σε ένα πολύ ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Γι'αυτό το λόγο προτάθηκε η λύση της χρήσης ενός περιορισμένου εύρους ζώνης όπου η δειγματοληψία στο ρυθμό Nyquist, είναι εφικτή με την παρούσα τεχνολογία. Το υπολογιστικό κόστος μπορεί να περιοριστεί σε λογικά επίπεδα και αποφεύγεται το μονοπώλιο των ευκαιριών του φάσματος, από ένα μόνο τύπο CR.

*Μέτρηση παρεμβολών:* Η χρήση της θερμοκρασίας παρεμβολών αποτελεί μία σημαντική προσέγγιση για τη δυναμική διαχείριση του διαθέσιμου φάσματος. Οι cognitive χρήστες μπορούν ελεύθερα να μεταδίδουν με την προϋπόθεση ότι δεν αυξάνουν τη θερμοκρασία παρεμβολών πάνω ένα όριο.

Οι προκλήσεις του spectrum sensing από τη μέτρηση της θερμοκρασίας παρεμβολών, είναι ο καθορισμός των παρεμβολών σε συνάρτηση του χώρου και της συχνότητας και η μέτρηση στη σωστή θέση της θερμοκρασίας παρεμβολών. Η δεύτερη αναφέρεται στο πρόβλημα κατά το οποίο οι SUs δεν έχουν τη δυνατότητα να γνωρίζουν τις ακριβείς θέσεις των PUs και δε μπορούν να μετρήσουν τις επιδράσεις των μεταδόσεων τους στους πιθανούς δέκτες.

*Ανίχνευση φάσματος σε περιβάλλον πολλαπλών χρηστών:* Το περιβάλλον της cognitive radio τεχνολογίας αποτελείται από ένα σύνολο PUs και SUs. Τα cognitive δίκτυα μπορεί να συνυπάρχουν στον ίδιο χώρο μαζί με άλλα δευτερεύοντα δίκτυα ανταγωνιζόμενα για τους ίδιους φασματικούς πόρους. Επίσης οι SUs είναι πιθανό να παρεμβάλλονται μεταξύ τους επηρεάζοντας δραστικά την απόδοση του spectrum sensing.

Σε ένα τέτοιο περιβάλλον πολλαπλών χρηστών, η συνεργασία μεταξύ των SUs κρίνεται απαραίτητη, από την άλλη όμως προκύπτουν διάφορα ζητήματα όπως οι καθυστερήσεις που πρέπει να είναι μικρές καθώς σε αντίθετη περίπτωση, θα υπάρχουν πολύ λίγοι πόροι διαθέσιμοι.

### **3.3 Τεχνικές Ανίχνευσης Φάσματος**

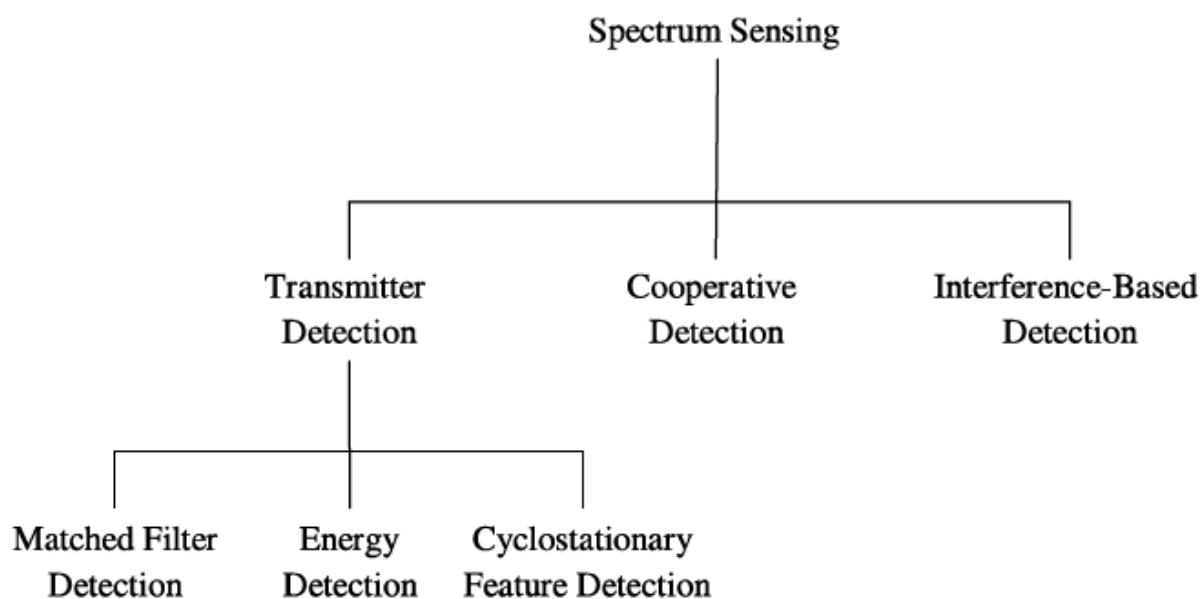
Η λύση του cooperative spectrum sensing δηλαδή της συνεργασίας μεταξύ των cognitive χρηστών είναι αυτή που προτείνεται από τους ερευνητές στην απαίτηση για καλύτερη απόδοση του spectrum sensing. Ένας PU ίσως να μην είναι ορατός από ένα SU εξαιτίας των συνθηκών του καναλιού, αλλά μία ομάδα από SUs δεν θα αντιμετωπίσει τέτοιο πρόβλημα. Σε ένα κεντροποιημένο σύστημα συνεργασίας, οι πληροφορίες που προκύπτουν από το sensing του κάθε κόμβου στέλνονται σε ένα κοινό κανάλι ελέγχου και αφού συνδυαστούν στο σταθμό βάσης επανεκπέμπονται στους SUs του δικτύου. Ωστόσο, η αποδοτικότητα της χρήσης του φάσματος μπορεί να είναι χαμηλότερη και να μην υπάρχει δικαιοσύνη μεταξύ των SUs. Η συνεργασία καθίσταται περισσότερο αναγκαία σε δίκτυα με πολλούς χρήστες σε αντίθεση με τα δίκτυα στα οποία η κίνηση δεν είναι μεγάλη και στα οποία οι SUs μπορούν να δρουν αυτόνομα.

Γενικά, οι τεχνικές ανίχνευσης φάσματος[9] μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

1. ανίχνευση από τον κάθε SU ξεχωριστά
2. ανίχνευση με συνεργασία μεταξύ των SUs
3. και η ανίχνευση που βασίζεται στις παρεμβολές

Η ακόλουθη εικόνα παρουσιάζει αυτή την κατηγοριοποίηση εμφανίζοντας από την πρώτη περίπτωση τις τρεις βασικότερες τεχνικές οι οποίες είναι η ανίχνευση ενέργειας (energy detection), η ανίχνευση με τη

χρήση προσαρμοσμένου φίλτρου (matched filter detection), και η ανίχνευση που βασίζεται στην κυκλοστατικότητα (cyclostationary featured detection).



*Εικόνα 3.2 Τεχνικές ανίχνευσης φάσματος*

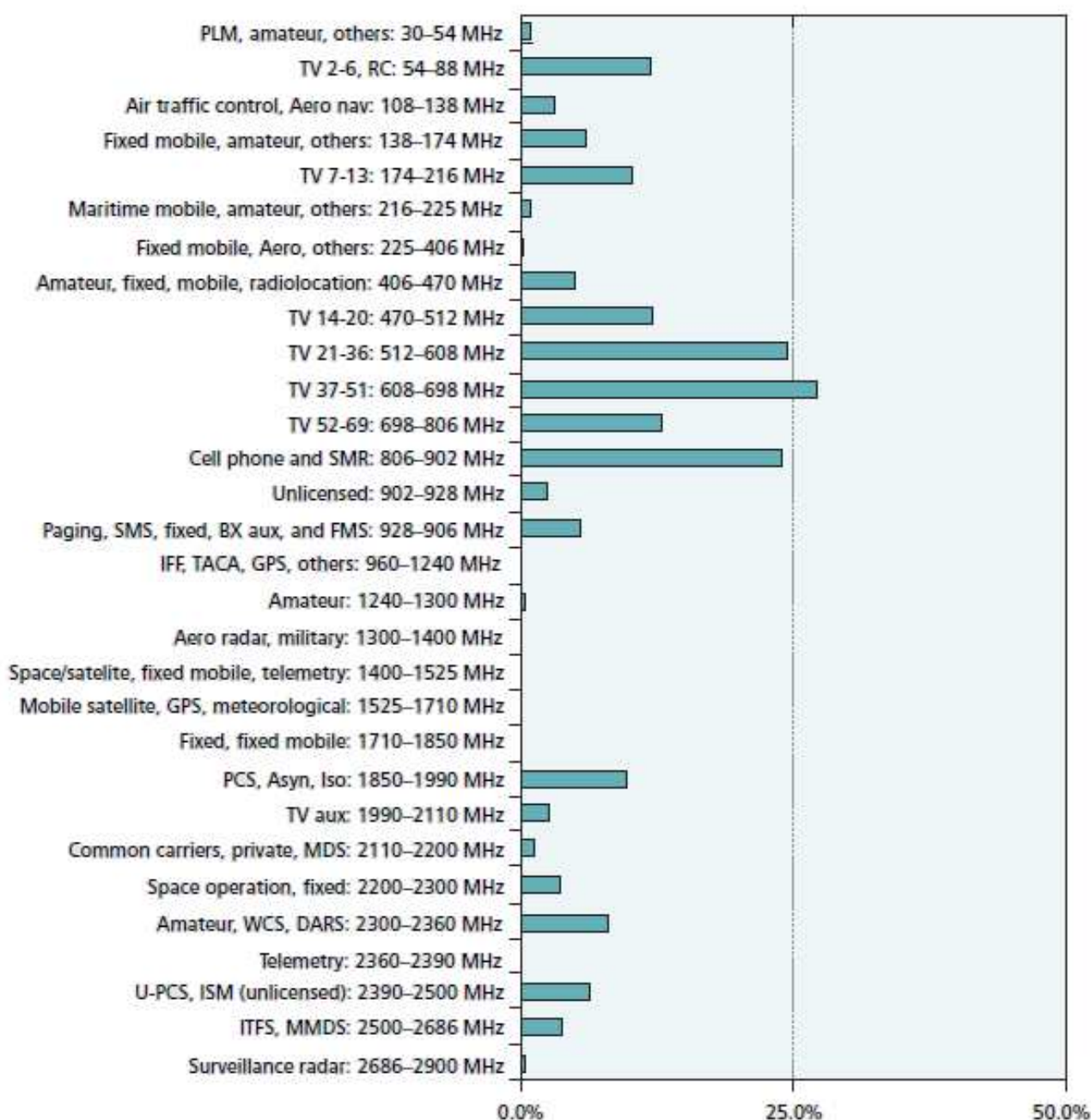
### 3.4 Διαμοιρασμός φάσματος

#### Ισχύων καθεστώς ανάθεσης συχνοτήτων

Στο ισχύον καθεστώς ανάθεσης συχνοτήτων, οι πάροχοι που επιθυμούν να εκπέμπουν σε μια περιοχή συχνοτήτων, ζητούν τη χορήγηση της σχετικής άδειας από τις αρμόδιες κρατικές ρυθμιστικές αρχές οι οποίες είναι υπεύθυνες σε θέματα επικοινωνιών. Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα με υψηλό κόστος και έχει σαν αποτέλεσμα την στατική και αποκλειστική χρήση μιας ζώνης συχνοτήτων. Ο κύριος στόχος της διαδικασίας ανάθεσης συχνοτήτων, είναι η αποφυγή παρεμβολών. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του ισχύοντος σχήματος είναι τα εξής:

- Ο πάροχος αιτείται ένα φασματικό τμήμα σύμφωνα με το φορτίο του δικτύου του σε ώρα αιχμής, με αποτέλεσμα ένα μεγάλο τμήμα του φάσματος να μένει ανεκμετάλλευτο κατά την διάρκεια της ημέρας.
- Ένας πάροχος είναι δυνατόν να αναπτύξει το δικτυό του σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων να παραμένει, σε μεγάλο βαθμό, χωρικά ανεκμετάλλευτη.
- Ο πάροχος για να καλύψει πιθανές μελλοντικές αυξημένες ανάγκες σε φάσμα, για την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών και για να παρακάμψει την επανάληψη της διαδικασίας ανάθεσης, ενδέχεται να αγοράζει φάσμα μεγαλύτερο από αυτό που απαιτείται για την κάλυψη των τρεχουσών αναγκών του.

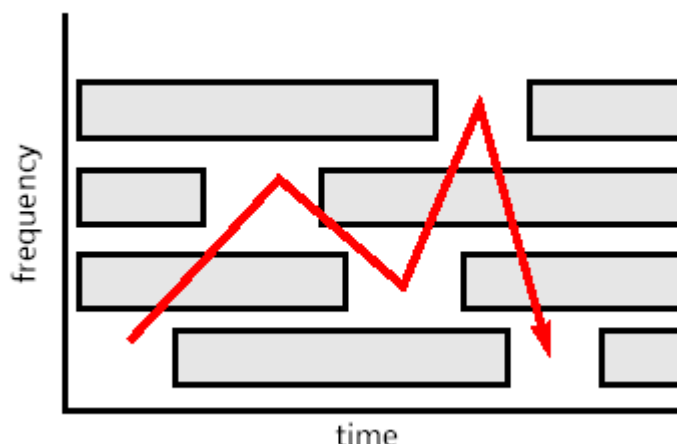
Το τρέχων σχήμα ανάθεσης συχνοτήτων κρίνεται πλέον ως αναποτελεσματικό, καθώς παρουσιάζεται υπερβολική συμφόρηση σε ορισμένες ζώνες, ενώ άλλες υποχρησιμοποιούνται. Η εικόνα 2.3 που ακολουθεί παρουσιάζει τα αποτελέσματα έρευνας που διεξάχθηκε σε 6 περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών και αποδεικνύει την υποχρησιμοποίηση των φασματικών συχνοτήτων .



Εικόνα 3.3 Υποχρησιμοποίηση φασματικών συχνοτήτων[10]

### 3.5 Ευκαιριακή χρήση συχνοτήτων

Τα γνωστικά δίκτυα προσφέρουν μια λύση στο προαναφερθέν πρόβλημα προτείνοντας την ευκαιριακή χρήση των συχνοτήτων που δεν χρησιμοποιούνται καθόλου ή χρησιμοποιούνται σε μικρό βαθμό από δευτερεύοντες χρήστες, με την προϋπόθεση να μην προκαλούν παρεμβολές στους πρωτεύοντες χρήστες. Οι ζώνες συχνοτήτων με μικρό ή μηδενικό βαθμό χρησιμοποίησης χαρακτηρίζονται συχνά ως οπές φάσματος (spectrum holes).



Εικόνα 3.4 Φασματικές οπές σε 2 διαστάσεις[8]

Ο S. Haykin[4] διακρίνει το φάσμα συχνοτήτων στις εξής κατηγορίες:

- Λευκοί χώροι : Ζώνες συχνοτήτων που είναι απαλλαγμένες από παρεμβολές και χαρακτηρίζονται μόνο από την παρουσία θορύβου.
- Γκρί χώροι : Ζώνες συχνοτήτων που χαρακτηρίζονται από την παρουσία παρεμβολών χαμηλής ισχύος.
- Μαύροι χώροι: Ζώνες συχνοτήτων που χαρακτηρίζονται από την παρουσία παρεμβολών υψηλής ισχύος.

Οι λευκοί και οι γκρί χώροι είναι υποψήφιοι για ευκαιριακή χρήση, όπως προβλέπεται από την αρχή λειτουργίας των γνωστικών δικτύων. Οι χρήστες που θα κάνουν ευκαιριακή χρήση των χώρων αυτών, δεν θα πρέπει να προκαλούν παρεμβολές στους πρωτεύοντες χρήστες. Ως αποτέλεσμα αυτού, είναι απαραίτητη η χρήση κατάλληλων μέτρων για το χαρακτηρισμό μιας ζώνης συχνοτήτων ως ελεύθερης ή μη παρεμβολών.

### 3.6 Μέτρα εκτίμησης παρεμβολών

Δύο μέτρα αποτελούν τα πλέον διαδεδομένα στη διαδικασία εκτίμησης των παρεμβολών:

- ο λόγος σήματος προς παρεμβολή και θόρυβο (Signal to Noise plus Interference Ratio - SNR)
- και η θερμοκρασία παρεμβολών (Interference Temperature - IT).

#### 3.6.1 Λόγος σήματος προς παρεμβολή και θόρυβο

Η ισχύς των παρεμβολών δεν μπορεί να περιγράψει από μόνη της την επίδραση των παρεμβολών καθώς πρέπει να εξεταστεί σε σύνδεση με την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος. Ένα κατάλληλο μέτρο της ποιότητας του λαμβανόμενου σήματος είναι ο λόγος της ισχύος του επιθυμητού λαμβανόμενου σήματος προς το ολικό άθροισμα των ισχύων παρεμβολής, όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση :

$$S / I = S / \sum_n I_n + N$$

όπου το S δηλώνει την ισχύ του επιθυμητού σήματος, το  $I_n$  την ισχύ παρεμβολής που προέρχεται από τον



παρεμβολέα  $n$ , και το  $N$  το θερμικό θόρυβο. Η εκτίμηση του SNR είναι καίριας σημασίας για την λειτουργία των ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών.

### 3.6.2 Θερμοκρασία παρεμβολών

Ένα μέτρο που εισήχθη, σχετικά πρόσφατα, από την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (Federal Communications Commission – FCC) των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής για την ποσοτικοποίηση της παρουσίας παρεμβολών είναι η θερμοκρασία παρεμβολών. Η θερμοκρασία παρεμβολών ορίζεται, κατ' αναλογία με τη θερμοκρασία θορύβου μιας κεραίας, ως:

$$T_I = I / kB$$

όπου το  $I$  δηλώνει την ισχύ παρεμβολών σε Watt,  $B$  το εύρος ζώνης σε Hertz και  $k$  η σταθερά Boltzmann ίση με  $1.38 \times 10^{-23}$  Joule ανά βαθμό Kelvin. Μέσω του μεγέθους της θερμοκρασίας παρεμβολών, λοιπόν, γίνεται προσπάθεια ρύθμισης της λαμβανόμενης ισχύος αντί της εκπεμπόμενης, σε αντίθεση με το ισχύον μοντέλο το οποίο προβλέπει ρύθμιση της εκπεμπόμενης ισχύος, ώστε να προσεγγίσει ένα δεδομένο επίπεδο θορύβου σε συγκεκριμένη απόσταση από τον πομπό. Η εκτίμηση της θερμοκρασίας παρεμβολών μπορεί να αποδειχθεί ένα εξαιρετικά δύσκολο έργο.

### 3.7 Μηχανισμοί δημοπρασίας

Η αποδοτική λειτουργία των γνωστικών δικτύων βασίζεται στην ανάθεση φάσματος σε δευτερεύοντες χρήστες όταν ο αδειοδοτημένος χρήστης δεν το χρησιμοποιεί. Τα γνωστικά δίκτυα λειτουργούν βάσει ισχύος συχνότητας και χρόνου. Υπάρχουν διαφορετικοί μηχανισμοί ανάθεσης ανάλογα με το είδος του πόρου (φάσμα, ισχύς ή χρόνος). Το βασικό θέμα που προκύπτει είναι ο τρόπος ανάθεσης των πόρων αυτών. Η ιδέα που υιοθετείται από όλα τα πρωτόκολλα, είναι ότι τα προς ανάθεση τμήματα του πόρου εισέρχονται σε μια διαδικασία δημοπρασίας [11]. Μια δημοπρασία εκτελείται περιοδικά οπότε οι υποψήφιοι πάροχοι ασύρματων υπηρεσιών ή WSPs (Wireless Service Providers) μπορούν να καταθέτουν τις προσφορές τους στον κάτοχο του πόρου.

Για την περίπτωση που ο πόρος είναι φάσμα, το φάσμα κατοχυρώνεται από το νικητή WSP της δημοπρασίας για αποκλειστική χρήση για μία περίοδο μίσθωσης. Μετά την ολοκλήρωση της περιόδου μίσθωσης οι φασματικές περιοχές ελευθερώνονται, η δημοπρασία επαναλαμβάνεται έχοντας νέους νικητές WSPs. Η διαδικασία της δημοπρασίας επαναλαμβάνεται συνεχώς δίνοντας σε κάθε δευτερεύοντα χρήστη τη δυνατότητα, να κερδίσει το φασματικό τμήμα, υπό την προϋπόθεση ότι θα καταθέσει την καλύτερη προσφορά.

Ενδεικτικοί μηχανισμοί δημοπρασιών:

1. *Δημοπρασία ανάθεσης ενός φασματικού τμήματος:* Κατά τη δημοπρασία αυτή υποθέτουμε ότι τα φασματικά τμήματα έχουν για όλους τους WSPs (wireless service providers) την ίδια αξία. Δηλαδή δεν υπάρχει προτίμηση απόκτησης συγκεκριμένων φασματικών τμημάτων. Οπότε ο κάθε WSP θα προσφέρει το ίδιο ποσό για όλα τα φασματικά τμήματα.

2. *Δημοπρασία με πρόσβαση TDMA και χρήση χρονικού τμήματος πληρωμής:* Ο συγκεκριμένος μηχανισμός δημοπρασίας των φασματικών πόρων στηρίζεται στην ιδέα της δευτερεύουσας αγοράς πραγματικού χρόνου αλλά η πληρωμή στον κυρίαρχο χρήστη δεν γίνεται με χρηματικό ποσό αλλά με χρονικά τμήματα. Πιο συγκεκριμένα ένας σταθμός βάσης συλλέγει τις προσφορές από όλους τους δευτερεύοντες χρήστες και στη συνέχεια αναθέτει το φασματικό τμήμα στο χρήστη με τη μεγαλύτερη προσφορά, ο οποίος πληρώνει τιμή ίση με την δεύτερη μεγαλύτερη προσφορά.

3. *Δημοπρασίες φασματικών τμημάτων με χρήση μηχανισμού VCG*: Το συστηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των δημοπρασιών περιλαμβάνει μια φασματική αγορά πραγματικού χρόνου με κυρίαρχους και δευτερεύοντες χρήστες. Οι κυρίαρχοι χρήστες παραχωρούν μέρη των φασματικών ζωνών που τους έχουν διατεθεί στους δευτερεύοντες και η ανάθεση των φασματικών τμημάτων γίνεται με δημοπρασίες και χρήση του μηχανισμού VCG. Ίδια φασματικά τμήματα δεν μπορούν να παραχωρηθούν για το ίδιο χρονικό διάστημα σε παραπάνω από δύο χρήστες.

4. *Αλγόριθμος VERITAS*: Ο αλγόριθμος VERITAS είναι ένας αλγόριθμος κατανομής φασματικών πόρων και υπολογισμού του κόστους απόκτησής τους. Βασίζεται σε κλειστή δημοπρασία όπου όλοι οι ενδιαφερόμενοι χρήστες αποστέλλουν τις προσφορές τους και τον αριθμό των καναλιών τον οποίο επιθυμούν. Ο αλγόριθμος αυτός επιτυγχάνει την αποστολή αληθών προσφορών από τους χρήστες καθώς και την υπολογιστικά αποδοτική διάθεση φάσματος σε αυτούς και χρέωση τους.

### 3.8 Συνάρτηση ωφέλειας

Κάθε αντικείμενο  $x$  το οποίο δημοπρατείται έχει μία ωφέλεια για τον πλειοδότη η οποία ορίζεται από την συνάρτηση ωφέλειας  $u(x)$ [11]. Ο πλειοδότης καθορίζει την αξία του αντικειμένου της δημοπρασίας και συνυπολογίζει το ποσό που είναι διατεθειμένος να προσφέρει για να το αποκτήσει. Αν το κόστος αυτό ονομαστεί  $c(x)$ , τότε ορίζεται η διαφορά ωφέλειας και κόστους και ονομάζεται καθαρή ωφέλεια (net benefit),  $NB = u(x) - c(x)$ . Προφανώς για τον πλειοδότη θα πρέπει  $NB \geq 0$ , έτσι ώστε να είναι ωφέλιμη η απόκτηση του αντικειμένου. Το κόστος εξαρτάται από δύο παράγοντες:

- Το μηχανισμό δημοπρασίας
- Από τις προσφορές των πλειοδοτών  $b_i$

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει:

$$NB = u(x) - c(b_1, b_2, \dots, b_n)$$

Κατά τη διαδικασία της δημοπρασίας ο πλειοδότης καταθέτει τη προσφορά του  $b(x)$  στο πωλητή με σκοπό την απόκτηση του αντικειμένου  $x$ . Πρέπει να γίνει σαφές ότι η ωφέλεια του κάθε πλειοδότη είναι η αξιολόγηση του αντικειμένου που θέλει να αποκτήσει ενώ η προσφορά είναι το ποσό που προσφέρει για να το αποκτήσει. Η ωφέλεια είναι μεγαλύτερη ή ίση με την προσφορά και ποτέ μικρότερη από αυτήν. Αν η προσφορά γίνει ίση με το κόστος  $c$  που καταβάλει ο πλειοδότης για την απόκτηση του αντικειμένου και η ωφέλεια είναι ίση με την προσφορά  $b$ , δηλαδή προσφέρει την εκτίμησή του, τότε το καθαρό όφελος του πλειοδότη  $NB$  γίνεται μηδέν και τα έσοδα του πωλητή μεγιστοποιούνται.

## 4. ΑΝΑΛΥΣΗ-ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ COGNITIVE RADIO

### 4.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχει παρουσιαστεί η ανάγκη για αρχιτεκτονικές οι οποίες θα υποστηρίζουν τεχνολογίες πολλαπλής πρόσβασης με σκοπό να είναι σε θέση να καλύψουν τις υφιστάμενες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας. Βασικό χαρακτηριστικό της ανάγκης αυτής είναι ότι ο χρήστης να μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης(RAT) για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Κάθε RAT δεν είναι ικανή να αντιμετωπίσει όλες τις πιθανές καταστάσεις αλλά μόνο ορισμένες από αυτές που πιθανόν να συναντήσει ένας χρήστης όσον αφορά την περιοχή κάλυψης, την ικανότητα εκπομπής και την υποστήριξη κινητικότητας. Γι'αυτό τον λόγο ο χρήστης ενός δικτύου θα πρέπει να είναι σε θέση να επωφεληθεί από τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών, διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης.

Τελευταία παρουσιάζεται πρόοδος στην χρήση ετερογενών RAT, το σημαντικό όμως πρόβλημα του περιορισμού του διαθέσιμου ραδιοφάσματος παραμένει. Αυτό ακριβώς έρχεται να αντιμετωπίσει η γνωσιακή ραδιοεπικοινωνία, η οποία φαίνεται να διαθέτει τα χαρακτηριστικά που της επιτρέπουν να αντιμετωπίζει αποτελεσματικά την ασυμβατότητα μεταξύ των τεχνολογιών, καθώς και την υποχρησιμοποίηση του φάσματος με την ικανότητα της να επαναπροσδιορίζει τον τρόπο λειτουργίας της.

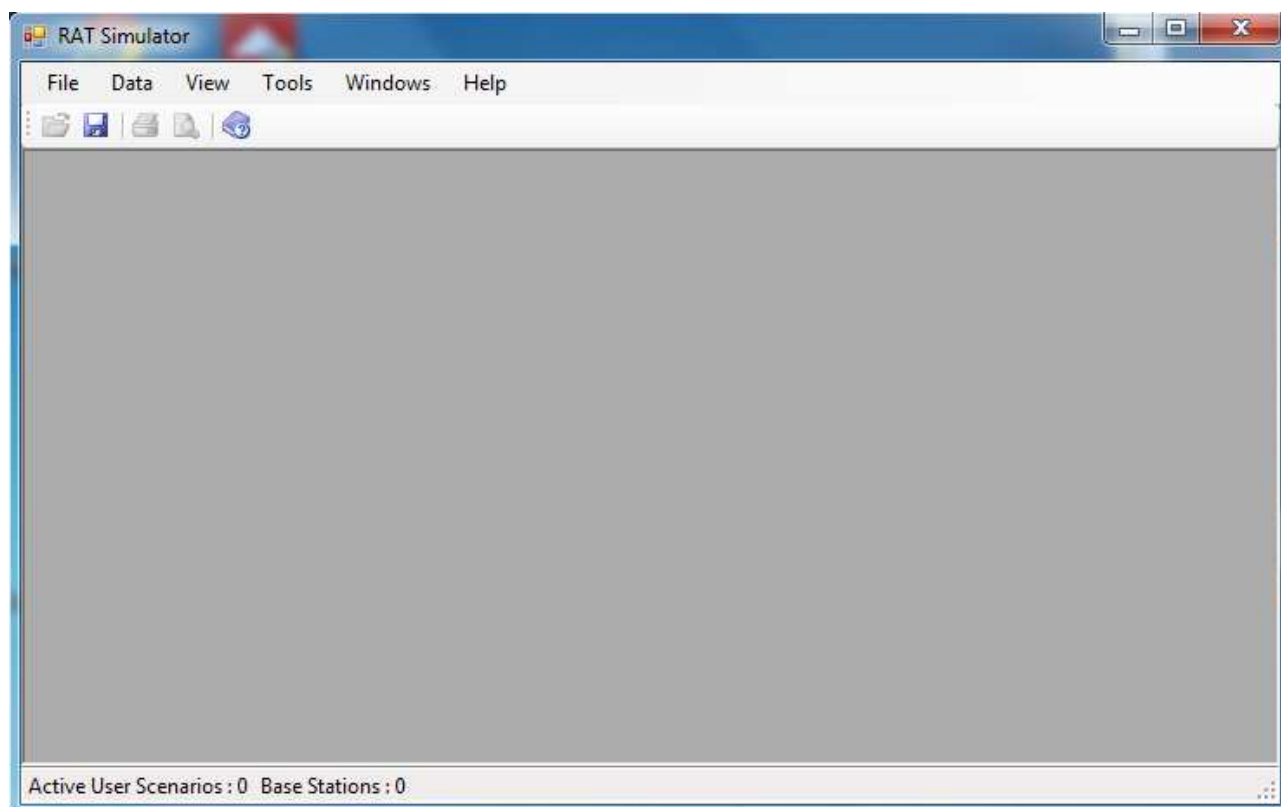
### 4.2 Παρουσίαση

Η συγκεκριμένη εφαρμογή έχει κατασκευαστεί σε Microsoft Visual Studio. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε είναι η C-sharp, η οποία είναι αντικειμενοστραφής και παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με την java. Αποτελεί εξέλιξη μίας ιδέας που έχει παρουσιαστεί στην διπλωματική εργασία με τίτλο "Ανάπτυξη πλατφόρμας προσομοιώσεων για γνωστικά δίκτυα σε περιβάλλοντα πέραν της τρίτης γενιάς" του Βασιλείου Χ.Μαντζούκα[12].

Σκοπός του προσομοιωτή cognitive radio της παρούσας πτυχιακής εργασίας, είναι να εκτελεί διαφορετικά σενάρια όπως αυτό που θα αναπτυχθεί παρακάτω, για την διεξαγωγή κρίσιμων συμπερασμάτων για την απόδοση και τα πλεονεκτήματα των γνωστικών δικτύων. Εισάγεται η τεχνική της δημοπρασίας και της εκτέλεσης πολλαπλών σεναρίων στοιχεία που χαρακτηρίζουν την λειτουργία των γνωστικών δικτύων επικοινωνιών. Ο προσομοιωτής εκτελεί αλγόριθμους οι οποίοι υπολογίζουν την μέγιστη περιοχή κάλυψης το uplink load factor καθώς και το κέρδος των basestations πριν και μετά την διενέργεια δημοπρασίας. Επίσης ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει όσα διαφορετικά σενάρια επιθυμεί μεταβάλλοντας τα δεδομένα που εισάγει και παρατηρώντας την διαφοροποίηση στα αποτελέσματα. Τέλος παρέχεται η δυνατότητα γραφικής αναπαράστασης του υλοποιημένου δικτύου, αλλά και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τους υπολογισμούς των αλγορίθμων για ευκολότερη παρατήρηση και κατανόηση από τον χρήστη της πλατφόρμας.

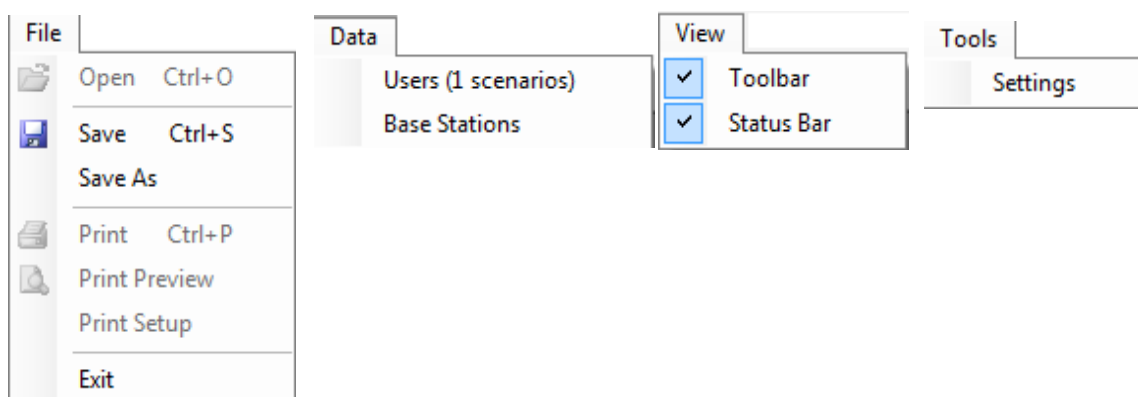
Παρακάτω γίνεται αναλυτική παρουσίαση της εφαρμογής με την προσομοίωση ενός τυχαίου σεναρίου, στο οποίο ο χρήστης προσδιορίζει το πλήθος των σταθμών και των χρηστών καθώς και την τεχνολογία πρόσβασης(RAT) και το πρόγραμμα κατόπιν επιλογής του χρήστη, δίνει τυχαίες τιμές στα υπόλοιπα πεδία. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα αν το επιθυμεί να εισάγει χειροκίνητα όλα τα δεδομένα υλοποιώντας ένα συγκεκριμένο σενάριο.

### 4.3 Εκτέλεση και αποτελέσματα



*Εικόνα 4.1 RAT Simulator*

Στην εικόνα 4.1 βλέπουμε το περιβάλλον της υλοποιημένης πλατφόρμας, που πραγματοποιεί προσομοίωση Cognitive Radio δικτύου. Παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα Toolbar με το μενού που υλοποιεί τις διαθέσιμες λειτουργίες καθώς επίσης και ένα StatusBar που μας ενημερώνει για τα σενάρια που έχουμε μέχρι στιγμής τρέξει. Παρακάτω γίνεται παρουσίαση του διαθέσιμου μενού αναλυτικά .

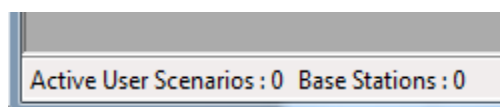


Base Stations : Εισάγουμε τα δεδομένα που επιθυμούμε για τους basestations, όπως συντεταγμένες θέσης και RAT.

Users : Εισάγουμε τα δεδομένα που επιθυμούμε για τους users, όπως συντεταγμένες θέσης και τιμή προσφοράς.

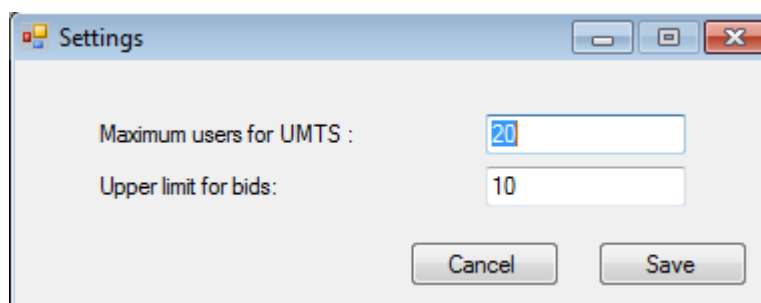
Toolbar : Εμφανίζει ένα toolbar κάτω από το μενού.

Status Bar : Εμφανίζει ένα status με το πλήθος των σεναρίων που έχουν υλοποιηθεί.



**Εικόνα 4.2** Status Bar

Settings: Καθορίζουμε το ακριβές όριο των Users που μπορούν να συνδεθούν στα Basestations, καθώς επίσης και τη μέγιστη τιμή για την προσφορά στις δημοπρασιες.

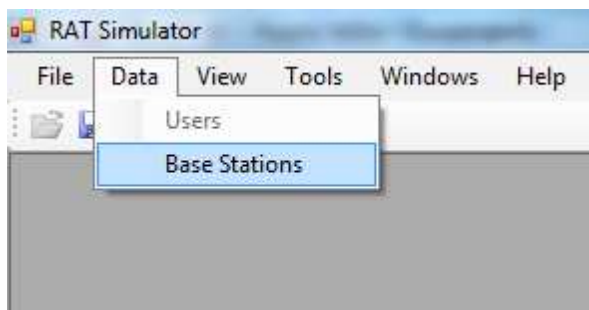


**Εικόνα 4.3** Settings

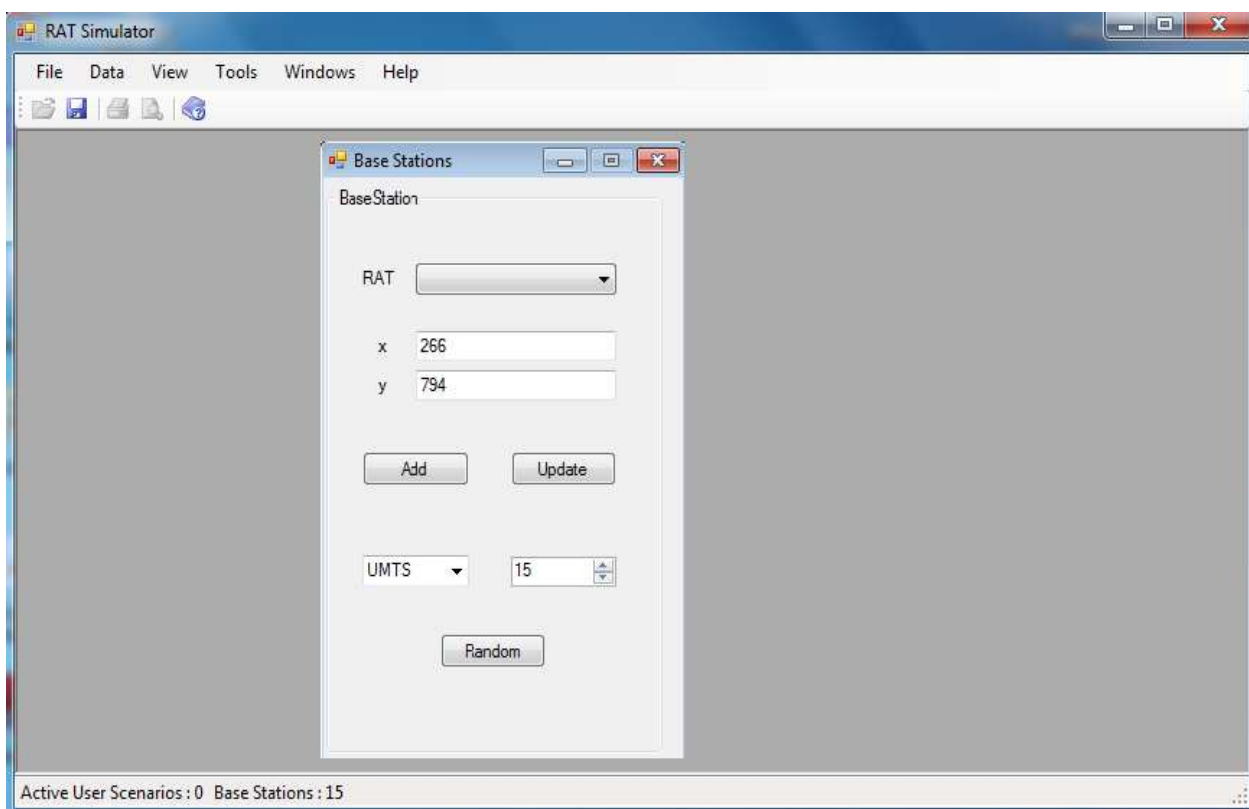
Save : Σώζει τα αποτελέσματα από τις δύο εφαρμογές του προγράμματος σε excel αρχεία για πιά εύκολη παρατήρηση και αναλυσή τους, καθώς επίσης και τα γραφήματα .

Exit : Έξοδος από το πρόγραμμα .

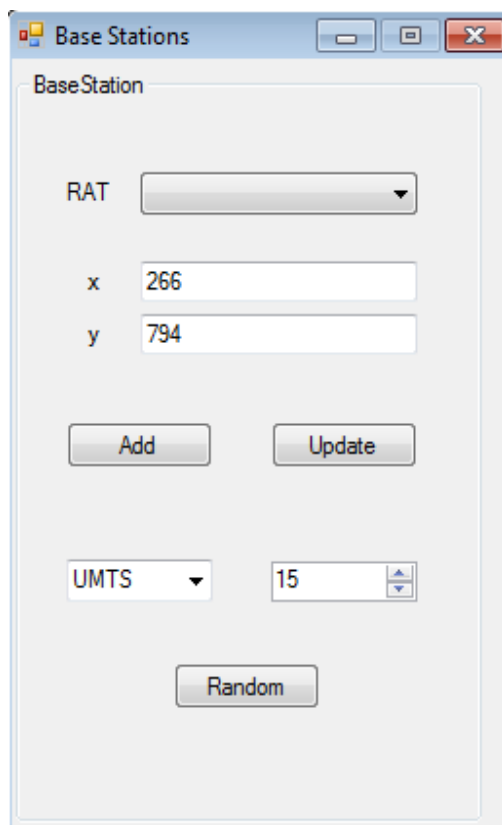
Ξεκινώντας την προσομοίωση του δικτύου απαιτείται η εισαγωγή των αντικειμένων που θα το απαρτίζουν. Εισάγουμε τους BaseStations(Data->BaseStations), όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



*Εικόνα 4.4 Data->BaseStations*



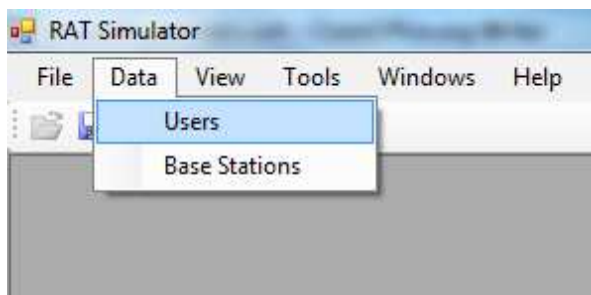
*Εικόνα 4.5 Base Stations Window*



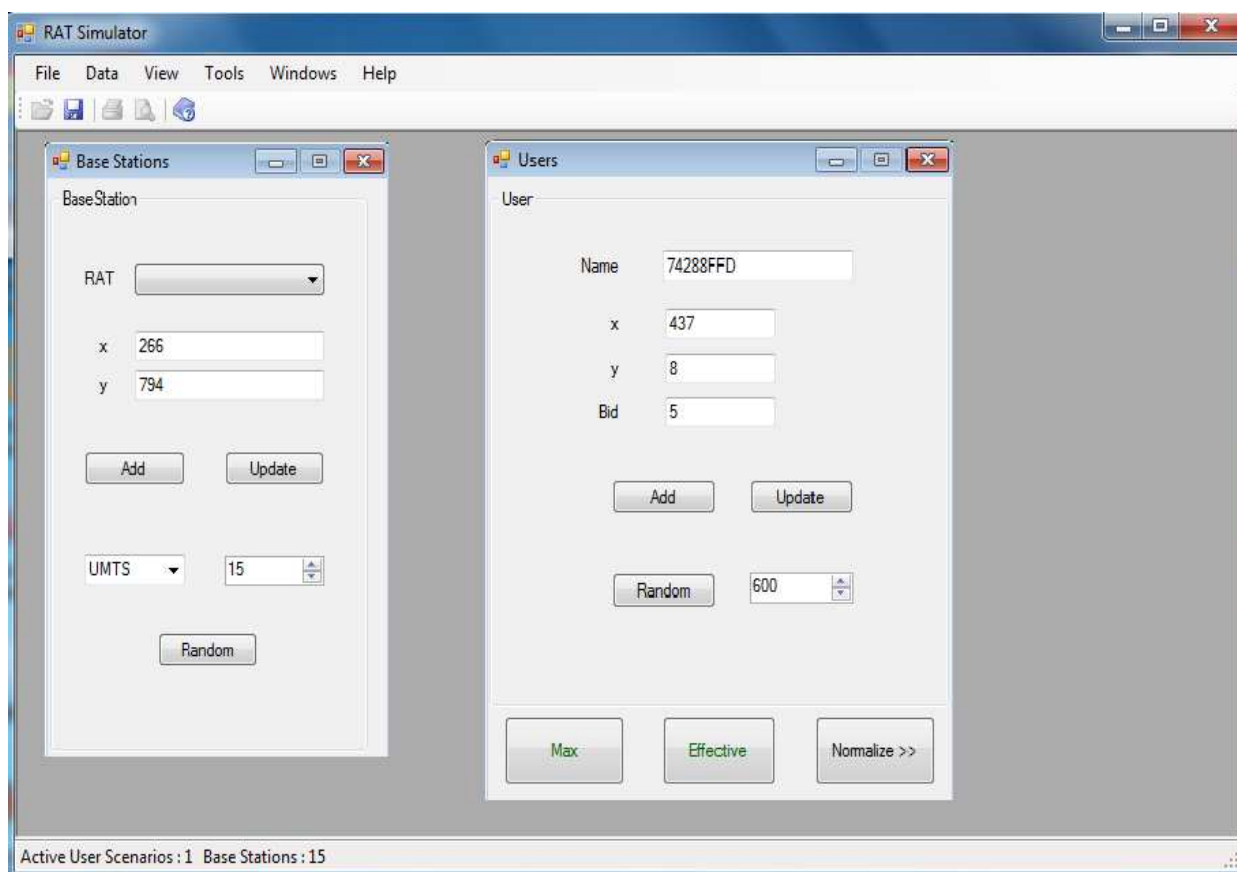
**Εικόνα 4.6** Base Stations Window(zoom)

Στην εικόνα 4.6 παρουσιάζεται το εικονίδιο που εμφανίζεται για την εισαγωγή των δεδομένων για τα Basestations, ο συνολικός αριθμός τους(15) καθώς και οι τιμές για ένα από αυτά, όσον αφορά τις συντεταγμένες θέσης(266,794) και την RAT(UMTS). Με το πλήκτρο Add προσθέτουμε χειροκίνητα νέους Basestations ενώ με το Update ενημερώνουμε το πρόγραμμα για τις νέες εισαγωγές. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα να επιλέξουμε το πλήθος των Basestations που θέλουμε να εισαχθούν και πατώντας το πλήκτρο Random αυτό να γίνει αυτόματα, χρήση της οποίας γίνεται στο συγκεκριμένο σενάριο. Επιλέγουμε το RAT(RADIO ACCESS TECHNOLOGY) που θέλουμε να χρησιμοποιεί ο κάθε Basestation μεταξύ των τεχνολογιών GSM,UMTS και WLAN. Το πρόγραμμα παρέχει επίσης την δυνατότητα στον χρήστη, αν αυτός το επιθυμεί, να δημιουργήσει ομοιογενή δίκτυα εύκολα και γρήγορα εισάγοντας BaseStations ίδιας τεχνολογίας απλά επιλέγοντας το πλήθος και το RAT.

Εν συνεχεία, εισάγουμε τα δεδομένα για τους Users που υλοποιούν το πρώτο σενάριο CR δικτύου (Data->Users), όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα .

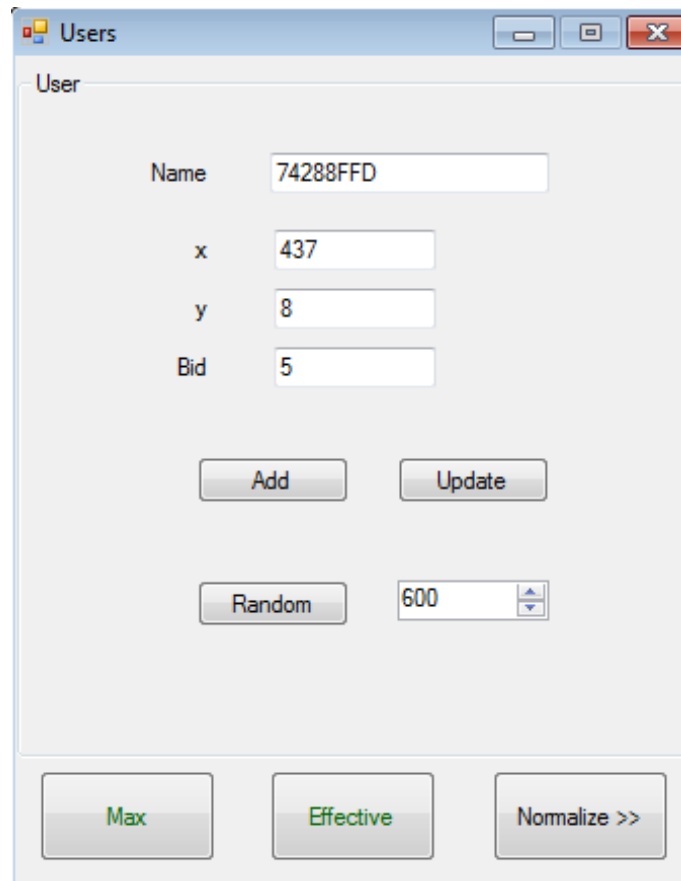


*Εικόνα 4.7 Data->Users*



*Εικόνα 4.8 User's Scenario 1 Window*





**Εικόνα 4.9** *User's Scenario 1 Window(zoom)*

Στην εικόνα 4.9 παρουσιάζεται το εικονίδιο που εμφανίζεται για την εισαγωγή των δεδομένων για τους Users που υλοποιούν το πρώτο σενάριο CR δικτύου που θα εκτελέσουμε, ο συνολικός αριθμός τους(600), οι συντεταγμένες θέσης (437,8), το ονομά τους, καθώς και η προσφορά(σε ευρώ) που καταθέτει ο χρήστης για την δημοπρασία του φάσματος. Και εδώ υπάρχουν πλήκτρα εισαγωγής Users είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα. Σε αυτό το εικονίδιο υπάρχουν επίσης τρεις επιλογές που πραγματοποιούν τρεις διαφορετικές εφαρμογές του προγράμματος(Max,Effective,Normalize). Πατώντας το κουμπί Normalize εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο(Εικόνα 4.10).

Normalized User's Scenario 1

Normalized Users (26/600)

Filter by station: BaseStation 1

	User	X	Y	BaseStation	Bid	Distance
▶ 1	666F5026	238	786	1	7	29,12043955...
2	E9887C4D	238	772	1	10	35,60898762...
3	89900641	248	755	1	6	42,95346318...
4	64AAC449	242	746	1	6	53,66563145...
5	4BC6B784	325	791	1	2	59,07622195...
6	02A91E41	290	740	1	7	59,09314681...
7	2456D52D	273	731	1	3	63,38769596...
8	D7F53E09	298	734	1	6	68

Exclusions : 6

BaseStation 1 Value (111)

BaseStation Code :

Position X:

Position Y:

Bid:

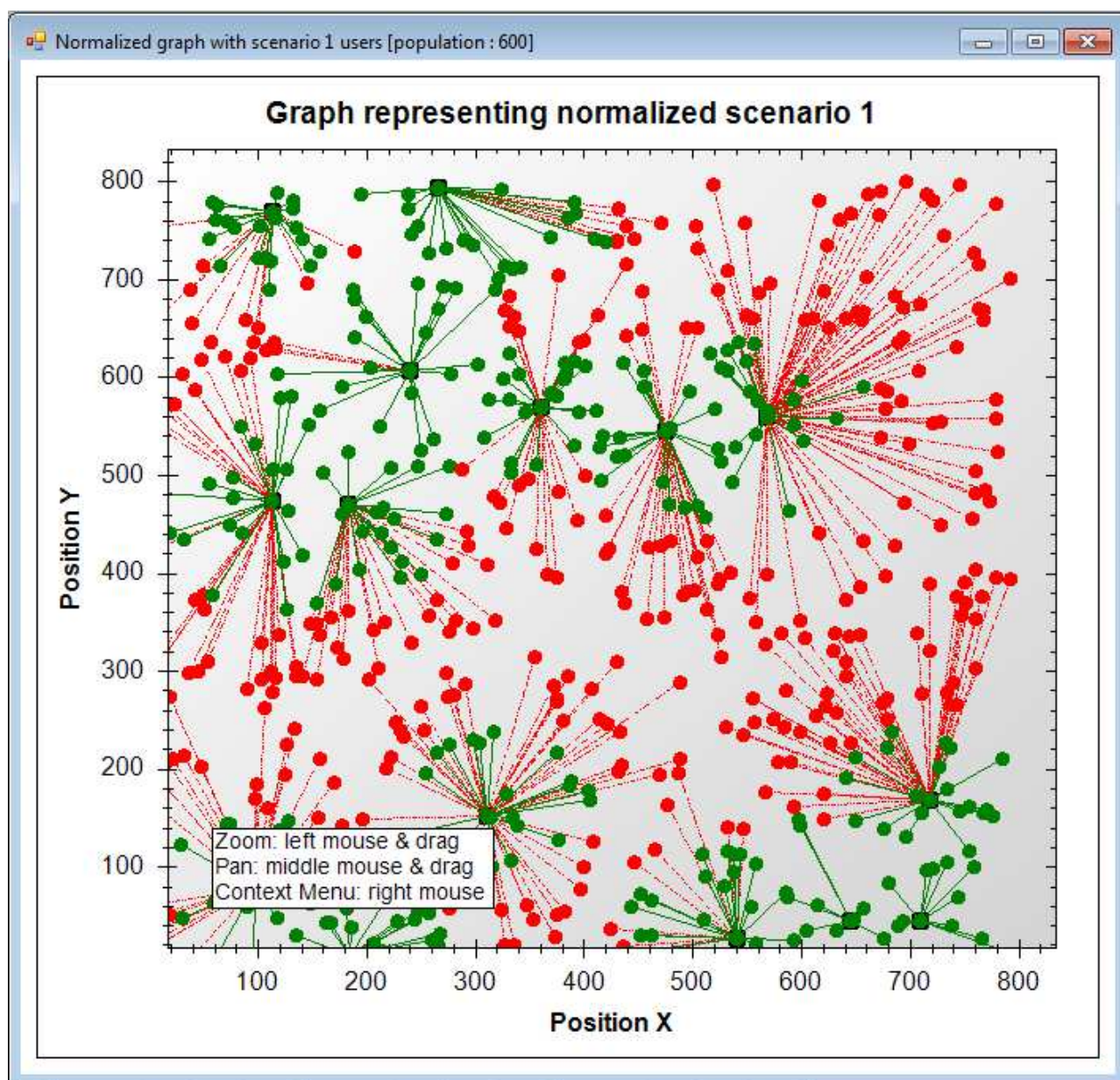
Distance:

Name:

Graph Bid >>

**Εικόνα 4.10** Normalized User's Scenario1

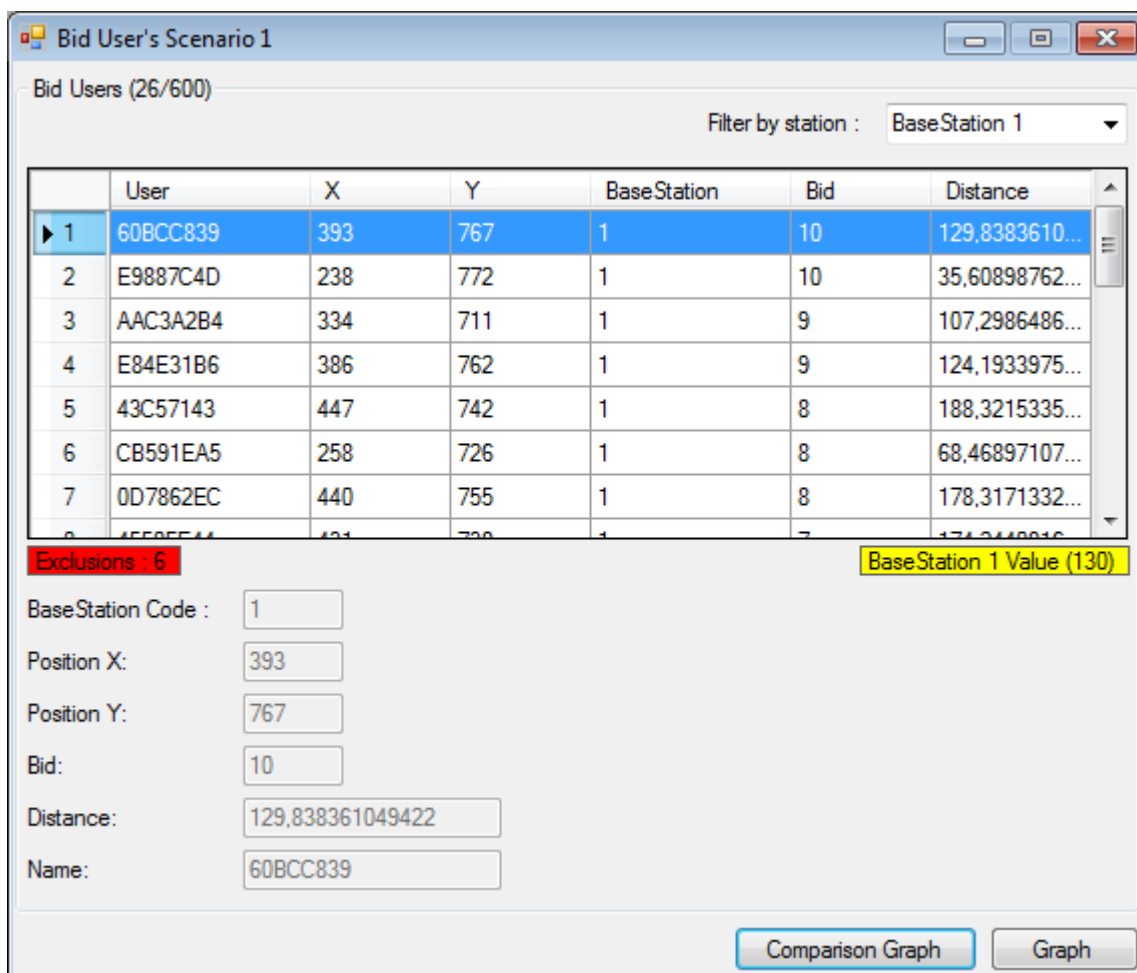
Εδώ παρατηρούμε ότι υπάρχει μια λίστα με τους Users(26) του δικτύου που συνδέονται σε ένα συγκεκριμένο Basestation(BaseStation1). Εμφανίζονται κάποιες πληροφορίες σχετικά με τους χρήστες, όπως το όνομα, οι συντεταγμένες, το Basestation στο οποίο έχουν συνδεθεί με κριτήριο την απόσταση καθώς και η προσφορά που έχει καταθέσει ο κάθε χρήστης. Επίσης παρουσιάζεται το πλήθος των χρηστών που αποκλείστηκαν(Exclusions:6) επειδή ο σταθμός βάσης ξεπέρασε το μέγιστο αριθμό χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει και το κέρδος για τον κάθε σταθμό ξεχωριστά(BaseStation 1 Value(111)). Αντιστοίχως επιλέγοντας κάποιο άλλο baseStation στο filter by station, εμφανίζονται τα ανάλογα αποτελέσματα και για τους υπόλοιπους σταθμούς. Τέλος το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα να αναπαραστήσουμε το δίκτυο με γραφικό(Graph).(Εικόνα 4.11)



*Εικόνα 4.11 Normalized graph with Scenario 1*

Στο γραφικό αυτό γίνεται παρουσίαση των Basestations(με μαύρες κουκίδες) των Users που συνδέονται σε αυτούς(με πράσινες κουκίδες) με κριτήριο ποιός Basestation είναι πιο κοντά και μπορεί να εξυπηρετήσει καλύτερα τον User. Με τις κόκκινες κουκίδες αναπαριστούνται οι χρήστες που αποκλείστηκαν λόγω μεγάλου πλήθους χρηστών και μη ικανότητας των σταθμών να τους εξυπηρετήσουν.

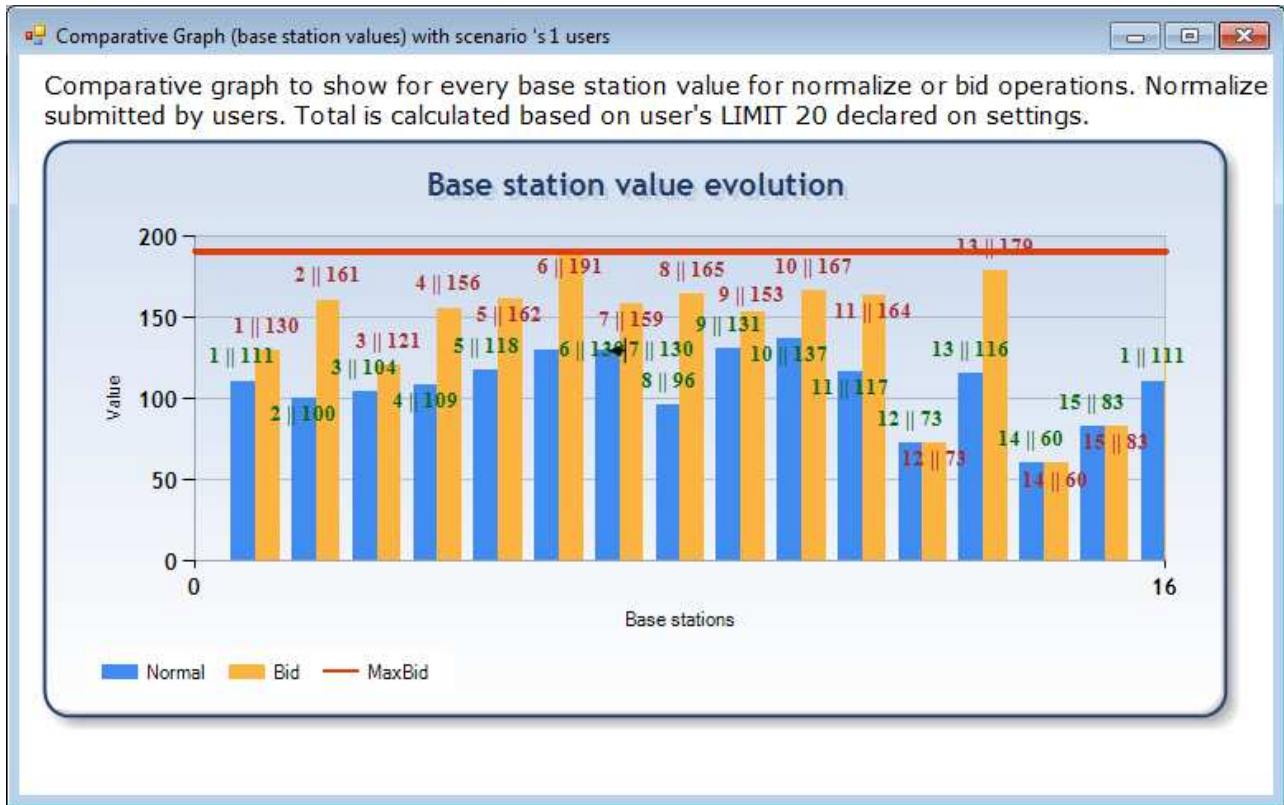
Από την Εικόνα 4.10 παρατηρούμε ότι υπάρχει μια ακόμα επιλογή, το Bid. Επιλεγοντάς το εμφανίζεται το εξής παράθυρο.(Εικόνα 4.12)



**Εικόνα 4.12** Bid User's Scenario 1

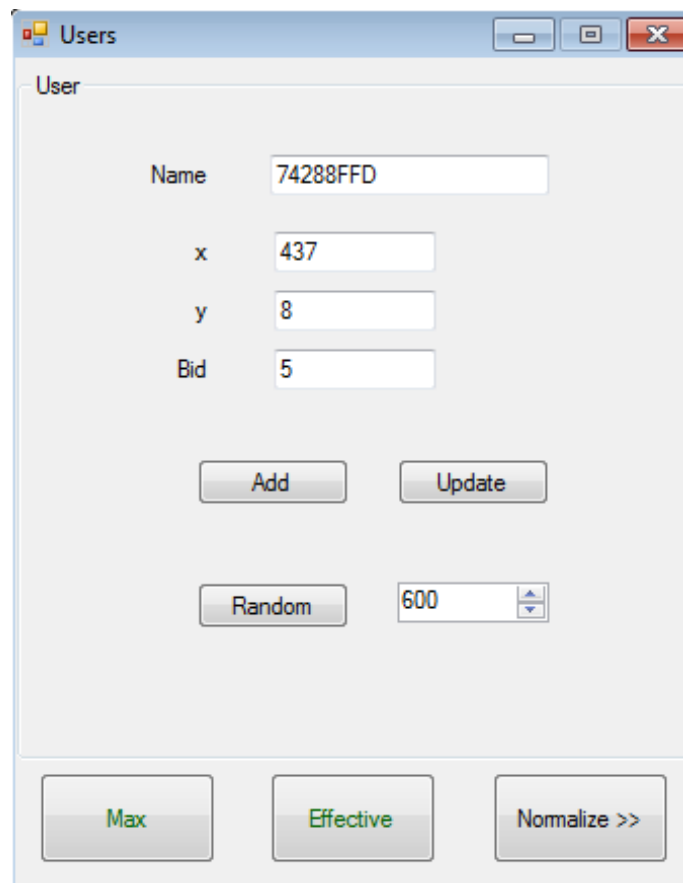
Σε αυτό το παράθυρο παρουσιάζονται οι Users που έχουν συνδεθεί στα Basestations κατόπιν της διαδικασίας της δημοπρασίας, ανάλογα με τις προσφορές που έχουν καταθέσει. Οι πίο συμφέρουσες προσφορές έχουν προτεραιότητα στην παροχή του διαθέσιμου ραδιοφάσματος, ενώ οι υπόλοιποι χρήστες που δεν κατάφεραν να συνδεθούν θα τους δωθεί η ευκαιρία να το κάνουν σε μεταγενέστερο χρόνο.

Και εδώ παρουσιάζονται διάφορες πληροφορίες σχετικά με τους χρήστες όπως το όνομα, οι συντεταγμένες το Basestation στο οποίο έχουν συνδεθεί με κριτήριο την τιμή προσφοράς, καθώς και η ακριβής προσφορά που έχει καταθέσει ο κάθε χρήστης. Το πρόγραμμα υπολογίζει το κέρδος του κάθε σταθμού σε ευρώ(basestation1 value:130) και δίνει την δυνατότητα στον χρήστη, με την επιλογή του Comparison Graph να συγκρίνει το κέρδος των σταθμών προ και μετά δημοπρασίας παρουσιάζοντας το παρακάτω γραφικό(Εικόνα 4.13).



*Εικόνα 4.13 Comparative Graph with Scenario's 1*

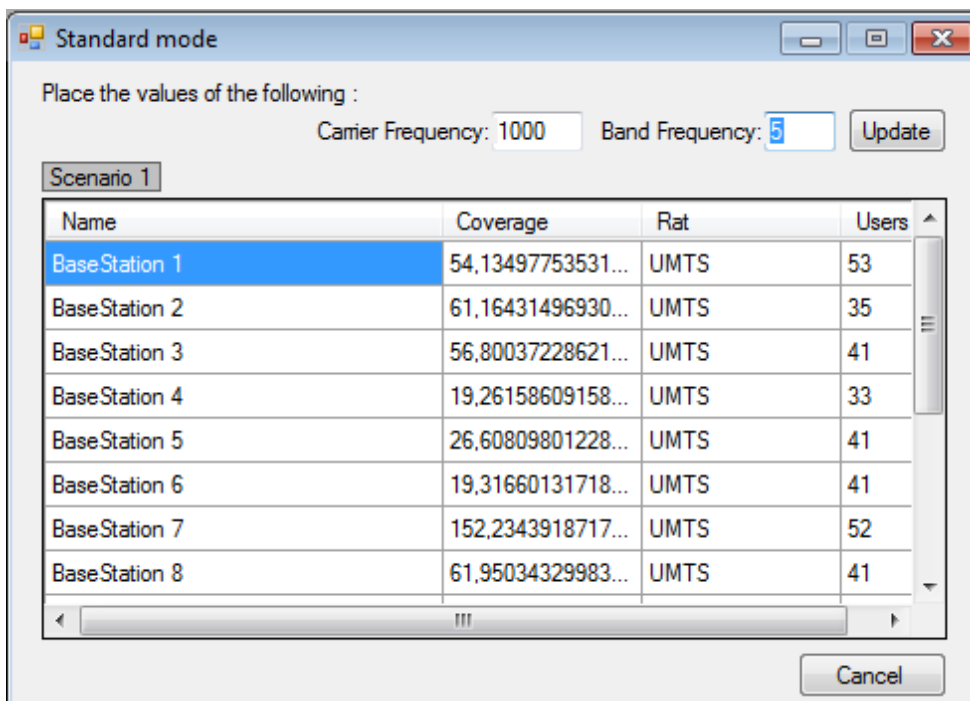
Στην εικόνα 4.13 παρατηρούμε ότι το κέρδος είναι μεγαλύτερο για τους BaseStations μετά την διαδικασία της δημοπρασίας και αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι η σχέση κέρδους υπολογίζεται από τις καλύτερες προσφορές που έχουν καταθέσει οι χρήστες, στους οποίους τελικά και επιτράπηκε η χρήση του διαθέσιμου ραδιοφάσματος. Επίσης, το γραφικό αυτό, μας βοηθάει να παρατηρήσουμε με ευκολία ποιός BaseStation είναι πίο κερδοφόρος(BaseStation 6 / value 191).



**Εικόνα 4.9** *User's Scenario 1 Window*

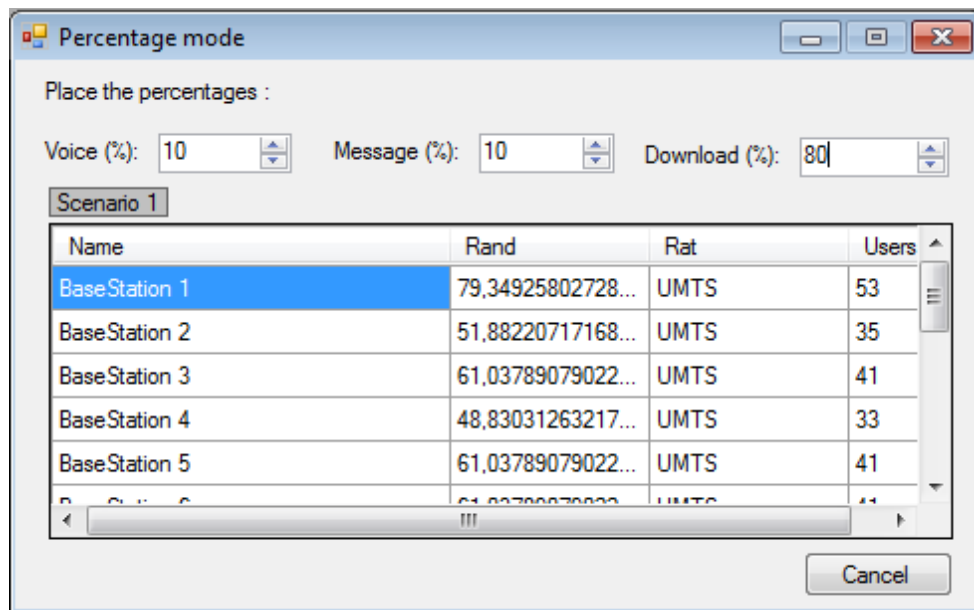
Επιστρέφοντας στο παράθυρο της εικόνας 4.9 παρατηρούμε ότι υπάρχουν δύο ακόμα εφαρμογές. Η πρώτη είναι το Max που υπολογίζει την μέγιστη περιοχή κάλυψης των Basestations(Εικόνα 4.14). Και η δεύτερη το Effective που υπολογίζει το uplink load factor(Εικόνα 4.15).

Επιλέγοντας φέρουσα συχνότητα(Carrier Frequency:1000) και μάντα συχνοτήτων(Band Frequency:5) το πρόγραμμα υπολογίζει την περιοχή κάλυψης του κάθε σταθμού ξεχωριστά σε χιλιόμετρα. Εμφανίζεται μία λίστα με όλα τα BaseStations και αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη, την τεχνολογία πρόσβασης, καθώς και το πλήθος των χρηστών που εξυπηρετούνται από αυτά. Για παράδειγμα, το Basestation1 με τεχνολογία UMTS που εξυπηρετεί 53 Users, έχει μέγιστη περιοχή κάλυψης 54,134 χιλιόμετρα.



*Εικόνα 4.14 Standard mode*

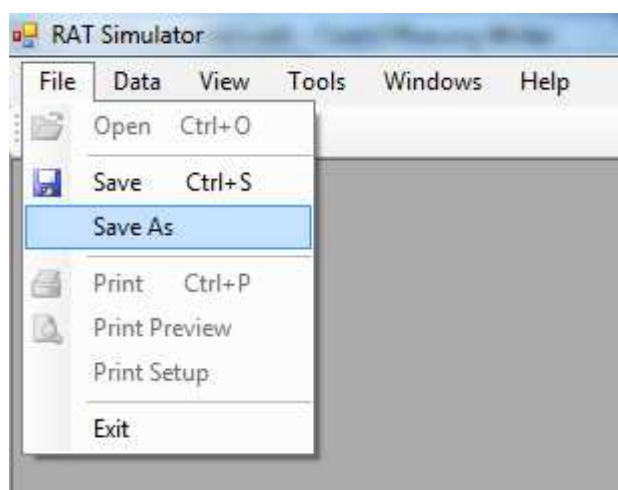
Η τελευταία εφαρμογή του προγράμματος(effective) υπολογίζει το uplink για τα UMTS Basestations. Επιλέγοντας το effective εμφανίζεται το textbox της εικόνας 4.15. Εισάγουμε το ακριβές ποσοστό των υπηρεσιών που χρησιμοποιούν οι χρήστες και στην συνέχεια εμφανίζεται μία λίστα με τα Basestations, την τεχνολογία πρόσβασης που χρησιμοποιεί το κάθε ένα από αυτά, τον αριθμό των Users που εξυπηρετούνται από αυτά, την επιστρεφόμενη τιμή uplink load factor για τεχνολογία UMTS για κάθε ένα από αυτά και τέλος τα kbps που χρησιμοποιούν οι Users για τις άλλες τεχνολογίες(GSM,WLAN). Για παράδειγμα, το Basestation1 με 53 Users και με τεχνολογία UMTS, έχει uplink load factor 79,34%. Συνεπώς το Basestation 1 αγγίζει το 100% των δυνατοτήτων του περισσότερο απο το Basestation 2, που χρησιμοποιεί την ίδια τεχνολογία (UMTS), και έχοντας λιγότερους Users στο σύνολό τους 35, έχει uplink load factor μικρότερο αγγίζοντας το 51,88%.



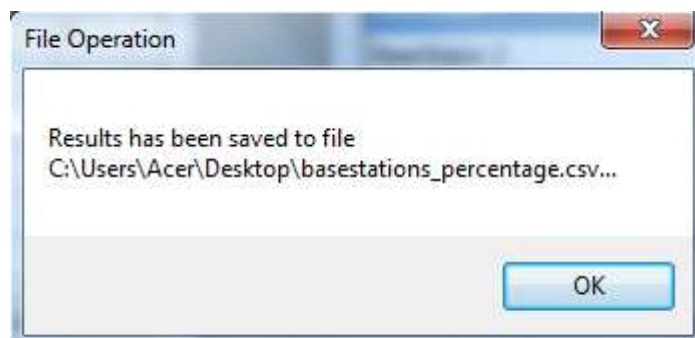
*Εικόνα 4.15 Percentage mode*



Στις εικόνες 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 παρουσιάζεται η διαδικασία κατά την οποία αποθηκεύουμε(File->Save As) τα αποτελέσματα από τις εφαρμογές της πλατφόρμας(max,Effective,Normalize) σε excel αρχεία για καλύτερη παρουσίαση και παρατηρησή τους βοηθώντας μας να αποκομίσουμε ασφαλέστερα συμπεράσματα.



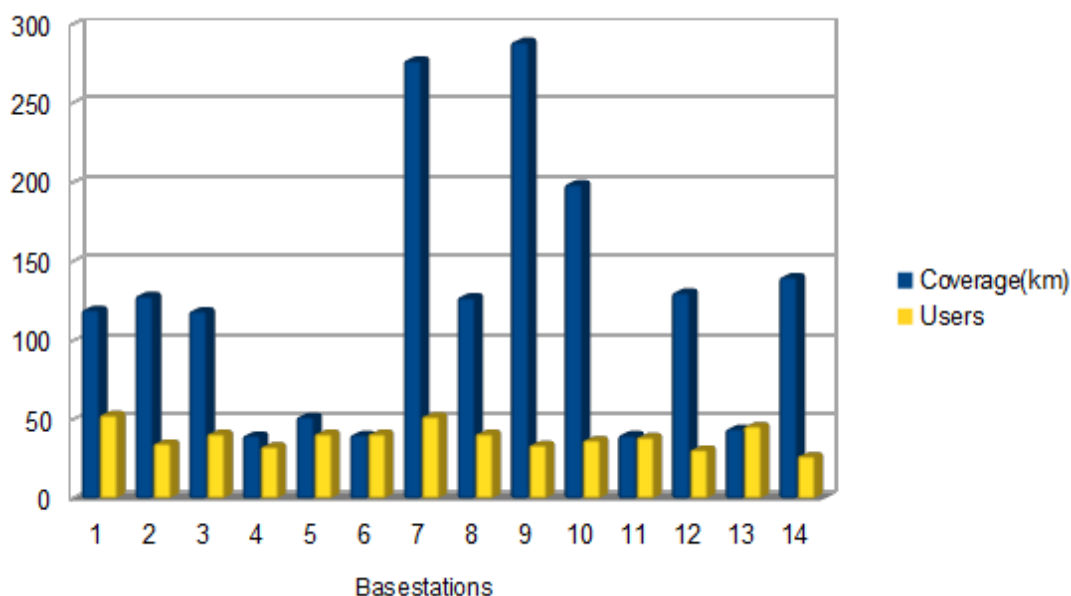
**Εικόνα 4.16** File->Save As



**Εικόνα 4.17** File Operation

	A	B	C	D	E	F
1	Name		Coverage	Rat	Users	
2	BaseStation	1	119,5796015429	UMTS	53	
3	BaseStation	2	128,3374301408	UMTS	35	
4	BaseStation	3	118,777929787	UMTS	41	
5	BaseStation	4	40,0149640752	UMTS	33	
6	BaseStation	5	51,9405175879	UMTS	41	
7	BaseStation	6	40,450186821	UMTS	41	
8	BaseStation	7	277,1751150628	UMTS	52	
9	BaseStation	8	127,4807844413	UMTS	41	
10	BaseStation	9	288,9413104454	UMTS	34	
11	BaseStation	10	199,0526072575	UMTS	37	
12	BaseStation	11	40,2950946698	UMTS	39	
13	BaseStation	12	130,4885760313	UMTS	31	
14	BaseStation	13	44,2431718726	UMTS	46	
15	BaseStation	14	140,3053766098	UMTS	27	
16						
17						
18						
19						
20						

Εικόνα 4.18 Base Stations(coverage) Office file



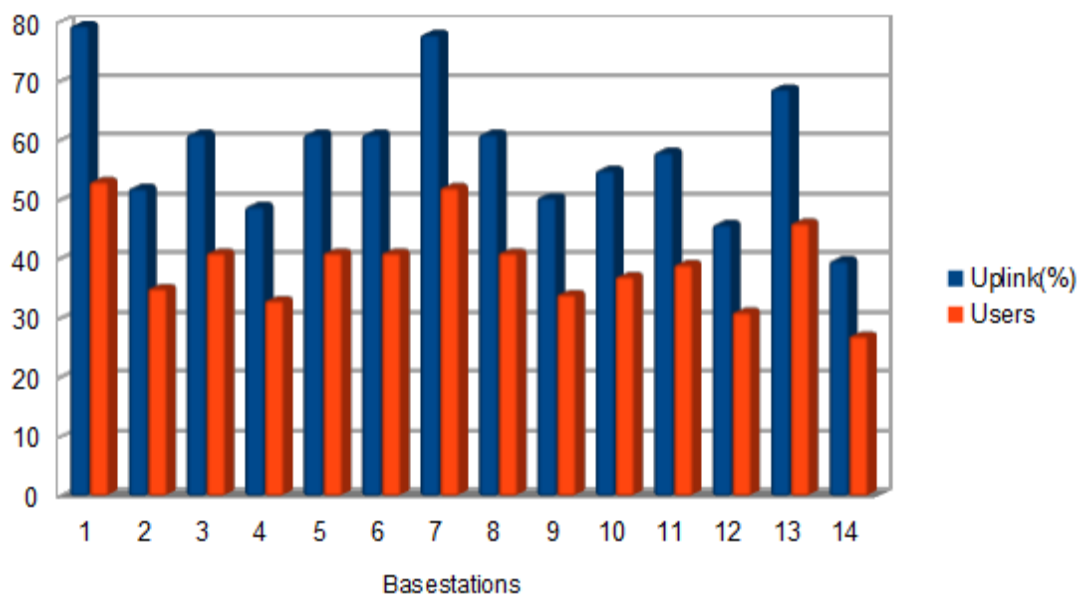
*Σχήμα 4.1 Basestations Coverage diagram*

Στο Σχήμα 4.1 βλέπουμε με γραφικό τα αποτελέσματα της εφαρμογής Max του προγράμματος, που παρουσιάστηκαν παραπάνω στο excel αρχείο, δηλαδή την περιοχή κάλυψης σε χιλιόμετρα για κάθε ένα από τους 15 BaseStations του υλοποιημένου μας δικτύου, καθώς και το πλήθος των χρηστών που έχουν συνδεθεί σε αυτούς, επιτρέποντάς μας να παρατηρήσουμε εύκολα, ποιός είναι ο BaseStation με την μεγαλύτερη κάλυψη. Το γραφικό αυτό αποδεικνύει με τον πιο εύγλωττο τρόπο, ότι για την μέγιστη περιοχή κάλυψης του σταθμού δεν παίζει ρόλο το πλήθος των χρηστών που εξυπηρετεί, αλλά οι θέσεις τους.

The screenshot shows a spreadsheet window titled 'basestations\_percentage.csv - OpenOffice.org Calc'. The spreadsheet has the following data:

	A	B	C	D	E
1	Name		Rand	Rat	Users
2	BaseStation	1	79,3492580273	UMTS	53
3	BaseStation	2	51,8822071717	UMTS	35
4	BaseStation	3	61,0378907902	UMTS	41
5	BaseStation	4	48,8303126322	UMTS	33
6	BaseStation	5	61,0378907902	UMTS	41
7	BaseStation	6	61,0378907902	UMTS	41
8	BaseStation	7	77,8233107575	UMTS	52
9	BaseStation	8	61,0378907902	UMTS	41
10	BaseStation	9	50,3562599019	UMTS	34
11	BaseStation	10	54,9341017112	UMTS	37
12	BaseStation	11	57,9859962507	UMTS	39
13	BaseStation	12	45,7784180927	UMTS	31
14	BaseStation	13	68,667627139	UMTS	46
15	BaseStation	14	39,6746290136	UMTS	27
16					
17					
18					
19					
20					

Εικόνα 4.19 Base Stations(uplink) Office file

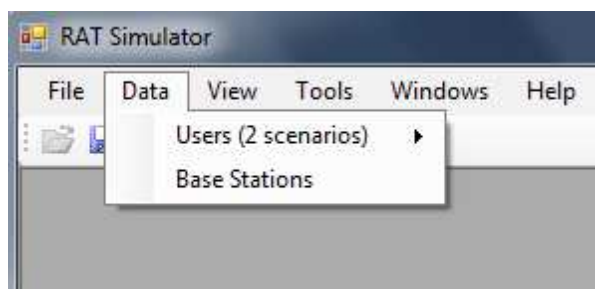


*Σχήμα 4.2 Basestations Uplink diagram*

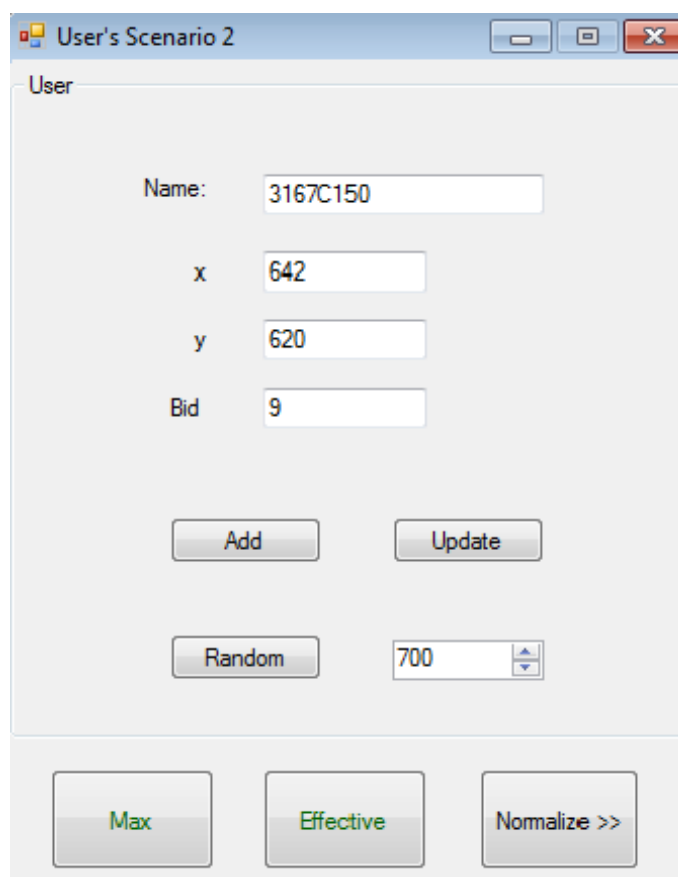
Στο Σχήμα 4.2 βλέπουμε με γραφικό τα αποτελέσματα της εφαρμογής Effective του προγράμματος, που παρουσιάστηκαν παραπάνω στο excel αρχείο, δηλαδή το uplink load factor σε % ποσοστό για κάθε ένα από τους 15 BaseStations του υλοποιημένου μας δικτύου, καθώς και το πλήθος των χρηστών που εξυπηρετούνται από αυτούς επιτρεποντάς μας να παρατηρήσουμε εύκολα ποιός είναι ο BaseStation που πλησιάζει περισσότερο από τους άλλους το 100% της χρησιμοποίησης του. Παρατηρούμε ότι το αποτέλεσμα αυτό είναι άμεσα εξαρτώμενο από το πλήθος των χρηστών.

Τέλος ο χρήστης του προγράμματος έχει την δυνατότητα να εκτελέσει δεύτερο(Εικόνα 4.21) και τρίτο σενάριο(Εικόνα 4.23) αν το επιθυμεί, με διαφορετικό πλήθος χρηστών και συντεταγμένες, παραμένοντας όμως οι σταθμοί σταθεροί στις αρχικές τους θέσεις. Αυτή η δυνατότητα αποδεικνύει μεταξύ άλλων, ότι πρόκειται για Cognitive Radio προσομοιωτή δικτύου, καθώς με την αλλαγή των συνθηκών που επικρατούν μια δεδομένη στιγμή και την διαφοροποίηση των τιμών, αναγκάζει τους σταθμούς να μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά τους για να ανταπεξέλθουν στις νέες συνθήκες. Αυτό αποτελεί και το κυριότερο χαρακτηριστικό της γνωστικής τεχνολογίας.

Στις εικόνες παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία εκτέλεσης του δεύτερου σεναρίου με συνολικό πλήθος επτακοσίων χρηστών.

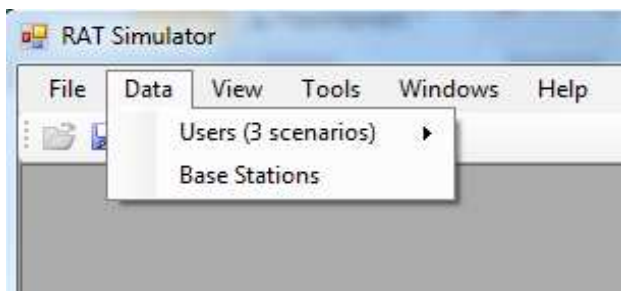


*Εικόνα 4.20 Data->User's scenario's 2*

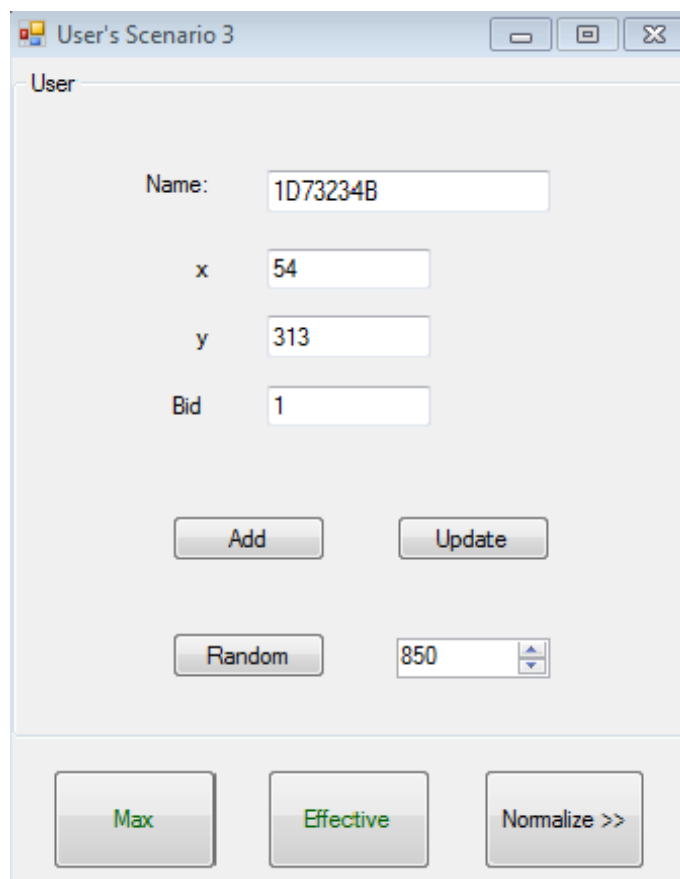


*Εικόνα 4.21 User's Scenario's 2*

Στις εικόνες παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία εκτέλεσης του τρίτου σεναρίου με συνολικό πλήθος οκτακοσίων πενήντα χρηστών.



*Εικόνα 4.22 Data->User's Scenario's 3*



*Εικόνα 4.23 User's Scenario's 3*

#### **4.4 Συμπεράσματα**

Το Cognitive Radio μπορεί να μην είναι διαδεδομένο αυτή τη στιγμή, όμως είναι μια νέα τάση η οποία πολύ πιθανόν στο μέλλον να αποτελέσει την κυρίαρχη τεχνολογία στα ασύρματα δίκτυα. Είναι ακόμα μια νέα τεχνολογία και θα πρέπει να ξεπεραστούν αρκετά εμπόδια μέχρι να μπορέσει να εξαπλωθεί εμπορικά.

Θα πρέπει κατ'αρχάς να ξεπεραστεί η δυσπιστία του εμπορικού κόσμου, που είναι λογικό να μην υιοθετεί εύκολα μία νέα τεχνολογία την οποία δεν γνωρίζει. Για αυτό τον λόγο, θα πρέπει οι ερευνητές, που είναι εξειδικευμένοι στην cognitive radio τεχνολογία, να σχεδιάσουν υλικό(hardware) και λογισμικό(software) για CR πλατφόρμες καθώς επίσης και να αναπτύξουν αλγόριθμους και πρωτόκολλα για γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών.

Εν συνεχεία, προβάλλοντας τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας και έχοντας φτάσει η συμφόρηση του φάσματος σε τόσο υψηλά επίπεδα που πολλοί χρήστες δεν θα είναι σε θέση να καλύψουν τις ανάγκες τους είναι βέβαιο ότι θα πεισθούν και οι πλέον δύσπιστοι και θα στραφούν στην cognitive radio τεχνολογία.

#### **4.5 Μελλοντική ανάπτυξη**

Μελλοντικά, θα ήταν χρήσιμη η ανάπτυξη μίας εφαρμογής της πλατφόρμας CR η οποία θα επέτρεπε στον χρήστη, να δέχεται την ακριβή θέση των users μέσω ενσωματωμένων GPS στις τερματικές τους συσκευές. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης της πλατφόρμας θα μπορεί να εισάγει τα δεδομένα που θα του στέλνουν οι users(συντεταγμένες θέσης, τιμή προσφοράς, κ.τ.λ.) πιο εύκολα και γρήγορα αναπαραστήνοντας αληθοφανή δίκτυα, πάνω σε πραγματικούς χάρτες(π.χ. Google Earth) η προσομοίωση των οποίων θα είναι απολύτως χρήσιμη σε παρόχους δικτύων τηλεπικοινωνιών.



## 5.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Evolution of mobile networks (Helin & MediaLab 2003)
- [2] B. H. Walke, S. Mangold and L. Berlemann, IEEE 802 Wireless Systems, John Wiley & Sons Ltd (2006).
- [3] School of computer engineering Georgia.
- [4] S. Haykin, Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications, IEEE Journal on Selected Areas in Communications.
- [5] Γκερπινής Γ. Κωνσταντίνος, Κατανεμημένο Πρωτόκολλο Ελέγχου Πρόσβασης στο Μέσο σε Περιβάλλον Δυναμικής Εκχώρησης Φάσματος για συστήματα Cognitive Radio
- [6] B. H. Walke, S. Mangold and L. Berlemann, IEEE 802 Wireless Systems, John Wiley & Sons Ltd., 2006.[http://wireless.fcc.gov/services/index.htm?job=service\\_home&id=industrial\\_business](http://wireless.fcc.gov/services/index.htm?job=service_home&id=industrial_business)
- [7] Sanjay Kumar, Gustavo Costa, Shashi Kant, Flemming Bjerger Frederiksen, Nicola Marchetti and Preben Mogensen, Spectrum Sharing for Next Generation Wireless Communication Networks
- [8] Μελέτη και υλοποίηση τεχνικών ανίχνευσης φάσματος για Cognitive Radio σε SIMO συστήματα” του Κατσιαβριά Κωνσταντίνου
- [9] Rajni Dubey, Sanjeev Sharma, School of Information Technology, Rajiv Gandhi Technological University, Bhopal, INDIA, Distributed Shared Spectrum Techniques for Cognitive Wireless Radio Networks
- [10] A. Ghasemi, E. S. Sousa, Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks: Requirements, Challenges and Design Trade-offs, Cognitive Radio Communications and Networks, IEEE Communications Magazine April 2008
- [11] ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Χ. ΜΠΑΜΠΑΛΗΣ, ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΔΥΝΑΜΙΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΕ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥΣ ΔΗΜΟΠΡΑΣΙΩΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΣΕ ΓΝΩΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
- [12] Ανάπτυξη πλατφόρμας προσομοιώσεων για γνωστικά δίκτυα σε περιβάλλοντα πέραν της τρίτης γενιάς, Βασίλειος Χ. Μαντζούκας
- [13] Stimac T. Definition of frequency bands. Retrieved December 10, 2009: <http://www.vlf.it/frequency/bands.html>
- [14] Kimtho Po, Jun-ichi Takada, Study of Applicability of IEEE 802.22 in Japan. Technical Report of IEICE, July 2006.
- [15] washington university in st. Louis
- [16] Γαλανόπουλος Κωνσταντίνος, Εντοπισμός και αντιμετώπιση θεμάτων ασφαλείας στο CR.
- [17] Andrews, J. G., Ghosh, A., and Muhamed, R. 2007 Fundamentals of Wimax: Understanding Broadband Wireless Networking (Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series). Prentice Hall PTR.
- [18] Bian, K. and Park, J. ". 2008. Security vulnerabilities in IEEE 802.22. In Proceedings of the 4th Annual international Conference on Wireless internet (Maui, Hawaii, November 17 - 19, 2008). ACM International Conference Proceeding Series. ICST (Institute for Computer Sciences Social-Informatics and Telecommunications Engineering), ICST, Brussels, Belgium, 1-9.

