



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τίτλος: Μελέτη, σχεδίαση κι υλοποίηση καινοτόμων αρχιτεκτονικών και τεχνολογιών εκμετάλλευσης ψηφιακού μερίσματος φάσματος

Επιμέλεια: Βαλαβάνη Δήμητρα AM2740

Επιβλέποντες Καθηγητές: Δρ. Ευάγγελος Πάλλης

Δρ. Αθηνά Μπουρδένα

Επιτροπή Αξιολόγησης: Ευάγγελος Πάλλης

Αθηνά Μπουρδένα

Γεώργιος Μαστοράκης

Ημερομηνία Παρουσίασης: Ηράκλειο, Παρασκευή 26 Σεπτεμβρίου 2014

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας η οποία υλοποιήθηκε στο εργαστήριο Τηλεπικοινωνιακών συστημάτων(ΠΑΣΙΦΑΗ) κατά τη διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους οι οποίοι με βοήθησαν στην περάτωση αυτής της εργασίας και με στήριξαν ηθικά και ψυχολογικά. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τον αδερφό μου και τους φίλους μου που ήταν δίπλα μου και με στήριξαν, ο καθένας με τον δικό του τρόπο, καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της πτυχιακής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω κατά κύριο λόγο τους επιβλέποντες καθηγητές μου κα Μπουρδένα Αθηνά και κο Ευάγγελο Πάλλη οι οποίοι με καθοδήγησαν και με υποστήριξαν κατά τη διάρκεια συγγραφής της πτυχιακής εργασίας μου.

Abstract

My final thesis aims to develop innovative architectures and technologies and studies potential exploitation of the unused portions of spectrum known as “TVWS” (TV White Spaces). TVWS are the frequencies of VHF/UHF band that are released due to the digital switchover (i.e. the conversion from analogue to digital television). More specifically, this thesis is focus on the detection of the unused frequencies, study of primary and secondary systems, in order to allocate optimum the resources to the end users.

The distribution of free frequencies is based on the constraints and requirements of the systems used by the end user that are aimed to exploit optimum the spectrum.

The performance of these architectures is evaluated experimentally under controlled conditions through simulations.

Σύνοψη

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία στοχεύει στην υλοποίηση των καινοτόμων αρχιτεκτονικών και τεχνολογιών και εξετάζει στο πως θα χρησιμοποιηθούν τα αχρησιμοποίητα τμήματα φάσματος «TVWS» (tv whitespaces). Τα TVWS είναι κανάλια στο φάσμα συχνοτήτων τα οποία με το πέρασμα απ τη αναλογική στη ψηφιακή εποχή απελευθερώθηκαν. Πιο συγκεκριμένα θα γίνει εντοπισμός των ελεύθερων συχνοτήτων, μελέτη των πρωτογενών «primary» και δευτερογενών «secondary» συστημάτων έτσι ώστε να διανεμηθούν στους τελικούς χρήστες.

Η κατανομή των ελεύθερων αυτών συχνοτήτων γίνεται βάσει των περιορισμών και των απαιτήσεων των συστημάτων που χρησιμοποιούνται απ τον τελικό χρήστη και έχουν ως στόχο στην καλύτερη αξιοποίηση του φάσματος.

Η απόδοση αυτών των αρχιτεκτονικών αξιολογείται πειραματικά σε ελεγχόμενες συνθήκες προσομοίωσης.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	2
Abstract	3
Σύνοψη	4
Πίνακας Εικόνων.....	7
Ακρωνύμια	8
1. Εισαγωγή.....	13
1.1 Περίληψη.....	13
1.2 Κίνητρο	13
1.3 Σκοπός-Στόχοι.....	13
1.4 Δομή	14
2. Εισαγωγή στις βασικές έννοιες	15
2.1 Εισαγωγή.....	15
2.2 Τηλεοπτικά λευκά Φάσματα	15
2.3 Αρχές Γνωσιακών Ραδιοδικτύων	15
2.4 Λειτουργίες και κύκλος γνωσιακών ραδιοδικτύων	16
2.5 Αρχιτεκτονικές Γνωσιακών Ραδιοδικτύων	18
2.6 Πολιτικές Φάσματος	21
2.7 Σύνοψη	22
3. Σχεδιασμός προτεινόμενης αρχιτεκτονικής	23
3.1 Εισαγωγή.....	23
3.2 Προτεινόμενη αρχιτεκτονική	24
3.4 Αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης	26
3.4.1 Δομή-Λειτουργία.....	26
3.5 Πιθανότητα αποδοχής	28
3.5.1 Ψεύδο-κώδικας.....	28
3.7 Σύνοψη	29
4. Ανάλυση-Παρουσίαση Προσομοιωτή και αποτελέσματα	30
4.1 Εισαγωγή.....	30
4.2 Παρουσίαση	30
4.3 Εκτέλεση	31
4.4 Σενάρια εκτέλεσης προσομοίωσης.....	33
4.5 Αποτελέσματα	34
4.6 Σύνοψη	46
5. Επίλογος	47
5.1 Συμπεράσματα.....	47

6. Βιβλιογραφία.....48

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1:Γνωσιακός κύκλος	18
Εικόνα 2:Infrastructure Architecture.....	19
Εικόνα 3:Εικόνα 3:Ad-hoc Architecture	20
Εικόνα4:Mesh Architecture.....	21
Εικόνα 5:Αρχιτεκτονική Προτεινόμενου Δικτύου	25
Εικόνα 6:SimulatedannealingAlgorithm	27
Εικόνα 7:Channels	30
Εικόνα 8:Interface	32
Εικόνα 9:Interface and list.....	32
Εικόνα 10: Fragmentation-Scenario 1	35
Εικόνα 11: Utilization-Scenario1	35
Εικόνα 12: Cost-Scenario 1	36
Εικόνα 13: Elapsed Time-Scenario 1	36
Εικόνα 14:Fragmentation-Scenario 2.....	37
Εικόνα 15:Utilization-Scenario 2	37
Εικόνα 16:Cost-Scenario 2.....	38
Εικόνα 17: Elapsed Time-Scenario 2.....	38
Εικόνα 18: fragmentation-Scenario 3.....	39
Εικόνα 19: Utilization-Scenario 3.....	40
Εικόνα 20: Cost-Scenario 3.....	40
Εικόνα 21: Alapsed Time-Scenario3.....	41
Εικόνα 22: Fragmentation-Scenario 4.....	42
Εικόνα 23: Utilization-Scenario4.....	42
Εικόνα 24: Cost-Scenario 4.....	43
Εικόνα 25: Elapsed Time-Scenario 4.....	43
Εικόνα 26: Fragmentation-Scenario 5.....	44
Εικόνα 27: Utilization-Scenario 5.....	45
Εικόνα 28: Cost-Scenario 5.....	45
Εικόνα 29: Elapsed Time-Scenario5.....	46

Ακρωνύμια

TVWS	TV White Spaces
TDMA	Time Division Multiple Access
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FCC	Federal Communications Committee
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CSMA/CA	CSMA Collision Avoidance
CSMA/CD	CSMA Collision Detection
CR	Cognitive Network
CRN	Cognitive Radio Network
WAN	Wide Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network

LAN	Local Area Network
MAC	Medium Access Control
CMAC	Cipher Medium Access Control
PHY	Physical
AP	Access Point
HD	High Definition
DTV	Digital Television
DTT	Digital Terrestrial Television
BSS	Base Station Services
ISM	Industrial Scientific and Medical
IEEE	Institute of Electronics and Electrical Engineers
BS	Base Station

VHF	Very High Frequency
UHF	Ultra High Frequency
DSS	Dynamic Spectrum Sharing
PrCM	Private Commons Model
EUM	Exclusive Usage Model
PCM	Public Commons Model
DSO	Digital Switchover
SS	Spectrum Sensing
TVBD	TV Band Device
IF	Intermediate Frequency
SNR	Signal To Noise Ratio
COTS	Commercial Off-The-Self

KNOWS	Kognitiv Networking Over White Spaces
OFDM	Orthological Frequency Division Multiplexing
BWA	Broadband Wireless Access
UWB	Ultra Wide Band
RTS	Request To Send
CTS	Clear To Send
DTS	Data Transmission reservation
QoS	Quality of Service
Pus	Primary users
Sus	Secondary users
CC	Cognitive Circle
CP	Cognitive Process

SM	Spectrum Monitoring
SS	Secondary Systems
RRM	Radio Resource Management
MS	Mobile Station
BS/AP	Base Station/Access Point
WA	Wireless Access
RTSSM	Real Time Secondary Spectrum Market

1. Εισαγωγή

1.1 Περίληψη

Η συγκεκριμένη πτυχιακή στοχεύει στο σχεδιασμό και στην εφαρμογή καινοτόμων αρχιτεκτονικών και τεχνολογιών που θα έχουν τη δυνατότητα να διαχειρίζονται με τον πιο αποτελεσματικό και βέλτιστο τρόπο τα αχρησιμοποίητα τμήματα του ψηφιακού μερίσματος φάσματος, έτσι ώστε να εξυπηρετεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τους τελικούς χρήστες καθώς και να ελαχιστοποιηθεί ο κατακερματισμός του φάσματος.

Η καλύτερη διαχείριση και κατανομή του ελεύθερου ψηφιακού μερίσματος φάσματος επιτυγχάνεται παίρνοντας υπόψη δύο κύριους παράγοντες :

- Συστήματα(primary/secondary systems)
Τα συστήματα τα οποία εξετάζονται στη παρούσα πτυχιακή εργασία είναι τα εξής: LTE, Wi-Fi και Public_Safety τα οποία έχουν κάποιες απαιτήσεις όσο αφορά το Power, Bandwidth, Priority Ισχύς, εύρος ζώνης, προτεραιότητα
- Διαθέσιμο Φάσμα
Το διαθέσιμο φάσμα θα πρέπει να «προστατευθεί» από τις πολλαπλές διαιρέσεις (κατακερματισμό) έτσι ώστε να είναι πιο αποδοτικό και αποτελεσματικό.

Τέλος, η πτυχιακή εργασία θα αξιολογήσει και θα αποτιμήσει τις επιδόσεις της προτεινόμενης προσέγγισης, αρχικά σε ελεγχόμενες συνθήκες εκπομπής/λήψης μέσα από πειραματικές διατάξεις εξομοίωσης, και στη συνέχεια μέσα σε ελεγχόμενες συνθήκες μετάδοσης, κάνοντας χρήση πρότυπης δικτυακής υποδομής που περιλαμβάνει εξοπλισμό επίγειας ψηφιακής ευρυ-εκπομπής DVB-T, ασύρματων δικτύων Wi-Fi και Wi-MAX, καθώς και συστήματα κινητών υπηρεσιών και δραστηρικής τηλεόρασης DVB-H.

1.2 Κίνητρο

Το κίνητρο για να υλοποιηθεί η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία στάθηκαν οι έρευνες που μας πιστοποιούν ότι με το πέρασμα από την αναλογική στη ψηφιακή εποχή το μεγαλύτερο μέρος του φάσματος μένει ανεκμετάλλευτο ή υπό-χρησιμοποιείται. Έτσι καλούμαστε με τη χρήση των καινοτόμων αρχιτεκτονικών και τεχνολογιών, όπως για παράδειγμα τα συστήματα LTE να δώσουμε μία ικανοποιητική λύση στο πρόβλημα αυτό. [\[1\]](#)

1.3 Σκοπός-Στόχοι

Βασικός στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη, εκπόνηση και υλοποίηση καινοτόμων αρχιτεκτονικών και τεχνολογιών εκμετάλλευσης του Ψηφιακού Μερίσματος Φάσματος. Προς αυτή την κατεύθυνση, η πτυχιακή εργασία θα εστιαστεί στη χρήση του απελευθερωμένου/αχρησιμοποίητου τηλεοπτικού φάσματος α) από τεχνολογίες Ασύρματων Δικτύων (WLAN/WMAN), και β) από συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας και Τηλεόρασης, στοχεύοντας στην:

- εκπόνηση πρότυπων αρχιτεκτονικών και μηχανισμών δυναμικής πρόσβασης (αλγόριθμοι ανάθεσης φάσματος) στο ραδιο-φάσμα των απελευθερωμένων τηλεοπτικών συχνοτήτων (VHF/UHF), με την χρήση τεχνολογιών γνωστικών ασύρματων δικτύων (cognitive radio networks),
- εκπόνηση τεχνικών αποφυγής παρεμβολών σε υπάρχοντα τηλεοπτικά ραδιο-σήματα, και μηχανισμών διασφάλισης της ποιότητας της υπηρεσίας κατά την διάρκεια ταυτόχρονης εκμετάλλευσης των συχνοτήτων από ετερογενείς μη-αδειοδοτημένους χρήστες (κοινή χρήση του ραδιο-φάσματος),

- εκπόνηση τεχνικών βέλτιστης αξιοποίησης του φασματικού μερίσματος, με βάση το μοντέλο “συνεκμετάλλευσης” του φάσματος, μεταξύ μόνιμα και προσωρινά αδειοδοτημένων χρηστών.

Βασισμένη σε υπάρχουσες γνώσεις και σε προσωπική μελέτη, σκοπός της πτυχιακής αυτής είναι η εύρεση μιας όσο το δυνατόν βέλτιστης λύσης που θα ικανοποιεί το υπάρχον ζήτημα και θα μπορέσει με αυτό τον τρόπο να γίνει η βάση για περαιτέρω μελλοντική έρευνα.

1.4 Δομή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία στο πλαίσιο ενός ερευνητικού κομματιού σχετικά με την εκμετάλλευση των τηλεοπτικών λευκών φασματικών κενών (TVWS) θα αναλύσει στα κεφάλαια τα οποία ακολουθούν βασικές έννοιες, τις αρχές των γνωστικών ραδιο-δικτύων, τις αρχιτεκτονικές, τις λειτουργίες καθώς και τον κύκλο των γνωστικών ραδιο-δικτύων. Επίσης θα αναλύσει τις πολιτικές που ακολουθούνται για να εκχωρηθεί το φάσμα.

Έπειτα θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί η αρχιτεκτονική την οποία προτείνουμε για το υπάρχον πρόβλημα, θα αναλύσει επίσης τον αλγόριθμο ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί καθώς και τη δομή και τη λειτουργία του.

Εν συνεχεία θα παρουσιαστεί η μελέτη η οποία έγινε πάνω σε συνθήκες προσομοίωσης, τα δευτερεύοντα συστήματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και οι λειτουργικές απαιτήσεις αυτών. Τέλος θα καταγραφούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πειράματα καθώς και τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν αφού ολοκληρώθηκαν.

2. Εισαγωγή στις βασικές έννοιες

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα τηλεοπτικά λευκά φάσματα “TVWS”, στις αρχές στις λειτουργίες και στις αρχιτεκτονικές των γνωσιακών ράδιο-δικτύων που ενδείκνυται για την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση των ελεύθερων ψηφιακών τμημάτων, καθώς και στις πολιτικές που πρέπει να ακολουθούν και αφορούν τον καλύτερο, αποδοτικότερο διαμοιρασμό του φάσματος.

2.2 Τηλεοπτικά λευκά Φάσματα

Στον τομέα των τηλεπικοινωνιών «λευκά φάσματα» ονομάζονται οι συχνότητες οι οποίες διατίθενται σε υπηρεσίες ραδιοτηλεοπτικών μεταδόσεων αλλά δε χρησιμοποιούνται. Η χώρα μας ακολουθώντας το πρότυπο των Ηνωμένων Πολιτειών, αλλά και υιοθετώντας τις προσπάθειες άλλων Ευρωπαϊκών χωρών περνά στην «Ψηφιακή εποχή».

«Ψηφιακή εποχή» ονομάζουμε την μετατροπή των υπηρεσιών της αναλογικής τηλεοπτικής εκπομπής σημάτων σε ψηφιακά, DTV. Με τη μετατροπή αυτή προκύπτουν φασματικές περιοχές που δύναται να εκμεταλλευθούν από τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες ή συστήματα τα οποία δρουν σε μία ορισμένη γεωγραφική περιοχή. Οι κενές φασματικές αυτές περιοχές είτε απελευθερώνονται για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, είτε παραμένουν ανεκμετάλλευτες. Αυτές οι περιοχές μπορούν να διανεμηθούν σε μη-αδειοδοτημένους χρήστες υπό προϋποθέσεις.

Θα πρέπει να εφαρμόζονται κανόνες για την αποφυγή εξωτερικών παρεμβολών, από γειτονικά κανάλια και ομο-καναλικών παρεμβολών που προκύπτουν από την ταυτόχρονη ραδιοεκπομπή παραπάνω του ενός σήματος που γίνεται. Αυτές οι περιοχές είναι τα «λευκά φασματικά κενά» («TVWS»). [2]

2.3 Αρχές Γνωσιακών Ραδιοδικτύων

Για να επιτευχθεί μία αποδοτική εκμετάλλευση του ράδιο-φάσματος χρησιμοποιείται η τεχνολογία γνωσιακών ράδιο-δικτύων (Cognitive Radio,CR) ή αλλιώς γνωσιακών δικτύων ραδιοπικοινωνίας (Cognitive Radio Networks,CRN). Με αυτό τον τρόπο μπορεί να υποστηρίξει η είσοδος στα μη-κατειλημμένα ή μερικώς κατειλημμένα μέρη του ράδιο-φάσματος συσκευών/συστημάτων που προσαρμόζονται κατάλληλα στις απαιτήσεις παρά τις μεταβολές που προκύπτουν στο ράδιο-φάσμα από της είσοδο/έξοδο τους σε αυτό έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η επιτυχημένη λειτουργία τους.

Τα CRN λειτουργούν υπό καθεστώς «ευκαιριακής» χρήσης των TVWS.Με τον όρο αυτό εννοούμε ότι οι μη-αδειοδοτημένοι χρήστες που δρουν μέσα στα ίδια γεωγραφικά όρια με τους αδειοδοτημένους χρήστες , μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση μέσα σε ένα φασματικό κενό που υφίσταται για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα.

Αδειοδοτημένοι χρήστες ορίζονται εκείνοι που κατέχουν άδεια για αποκλειστική εκμετάλλευση ενός συγκεκριμένου μερίσματος του ραδιο-φάσματος για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Αυτοί ονομάζονται «πρωτεύοντες Χρήστες» (primary Users - PUs). Αντιθέτως ως μη-αδειοδοτημένους χρήστες ονομάζουμε εκείνους οι οποίοι δεν κατέχουν άδεια για αποκλειστική εκμετάλλευση ενός συγκεκριμένου τμήματος του ραδιοφάσματος για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, αντιθέτως καταλαμβάνουν κενά φασματικά τμήματα τα οποία ανήκουν σε «πρωτεύοντες χρήστες». Αυτοί καλούνται ως «δευτερεύοντες χρήστες» (Secondary users-SUs). Η κάλυψη από «δευτερεύοντες χρήστες» φασματικών τμημάτων τα οποία ανήκουν σε «πρωτεύοντες χρήστες» γίνεται υπό τις εξής προϋποθέσεις:

- Εφόσον τη δεδομένη χρονική στιγμή που επιθυμεί ένας «δευτερεύον χρήστης» να εισέλθει στο κανάλι δεν πραγματοποιείται εκπομπή από έναν «πρωτεύον χρήστη»
- Εφόσον οι εκπομπές του «δευτερεύον χρήστη» δεν επηρεάζουν τις εκπομπές άλλων χρηστών γειτονικών φασματικών περιοχών
- Εφόσον δεν παρεμποδίζουν την επιστροφή του «πρωτεύον χρήστη» στα φασματικά τμήματα , για τα οποία κατέχουν άδεια αποκλειστικής χρήσης. [3]

2.4 Λειτουργίες και κύκλος γνωσιακών ραδιοδικτύων

Γνωσιακό δίκτυο ονομάζεται το δίκτυο το οποίο μπορεί να γνωρίζει το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται και να προσαρμόζεται κατάλληλα. Ένα γνωσιακό δίκτυο αποτελείται από τρία βασικά χαρακτηριστικά:

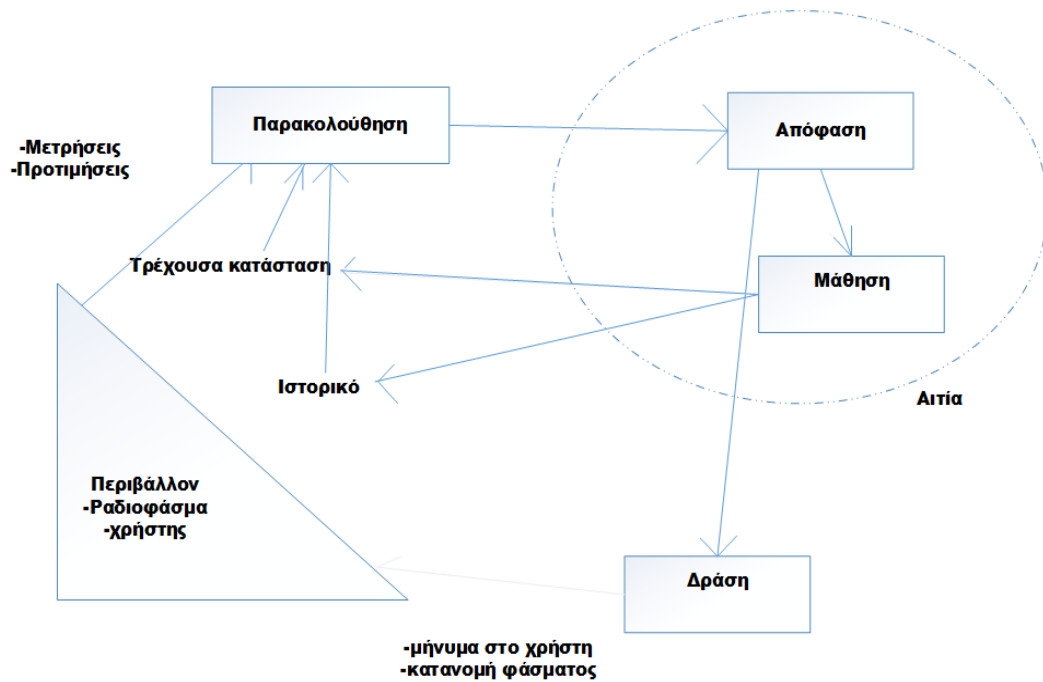
- **Συνείδηση:** για να μπορέσουν τα γνωσιακά δίκτυα να συλλέξουν πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται και λειτουργούν διαθέτουν κάποιους αισθητήρες. Μ αυτό τον τρόπο τα γνωσιακά δίκτυα λαμβάνουν τις πληροφορίες τις οποίες συλλέγουν απ τους αισθητήρες έτσι ώστε να μπορέσουν να καλύψουν τον εκάστοτε χρήστη. Επιπλέον τα γνωσιακά δίκτυα έχουν αυτοεπίγνωση κι έτσι μας δίνεται η δυνατότητα να μπορούμε να επέμβουμε και να τροποποιήσουμε τα λειτουργικά τμήματά του έτσι ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες του εκάστοτε χρήστη.
- **Προσαρμοστικότητα:** ένα σύστημα τηλεπικοινωνιών μπορεί να περιέχει πολλές πτυχές της λειτουργίας του οι οποίες είναι προσαρμοστικές όπως η συχνότητα φορέα, η ισχύ μετάδοσης, ο κώδικας διόρθωσης σφαλμάτων, ο ρυθμός δεδομένων, το σχήμα διαμόρφωσης και το εύρος ζώνης. Επίσης ένα σύστημα frequency hopping μπορεί να θεωρηθεί για να μειώσει το ποσοστό σύγκρουσης κατά τη διαδικασία της μεταπήδησης, μπορεί να θεωρηθεί προσαρμοστικό. Επομένως ένα σύστημα μπορεί να προσαρμόζεται κατάλληλα στις εκάστοτε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του χωρίς να έχει προγραμματιστεί εκ των προτέρων αυτό.
- **Μάθηση:** όπως αναφέραμε και πιο πάνω το γνωσιακό δίκτυο περιέχει αισθητήρες έτσι ώστε να συλλέγει πληροφορίες για το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται. Έχοντας λοιπόν συλλέξει αυτές τις πληροφορίες, μέσω της μάθησης αναλύει τα δεδομένα και μέσω των συμπερασμάτων που θα βγάλει να προσαρμόσει ανάλογα τη συμπεριφορά του. Η μάθηση χωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες στη μάθηση με επίβλεψη και στη μάθηση χωρίς επίβλεψη. Στη μάθηση με επίβλεψη το σύστημα ανοίγει διάλογο με το χρήστη, το σύστημα βγάζει τη απόφαση κι έπειτα ζητάει την επιβεβαίωση από το χρήστη ότι η επιλογή της απόφασής του είναι σωστή. Αντιθέτως στη μάθηση χωρίς επίβλεψη, το σύστημα για να πάρει την κατάλληλη απόφαση χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο μάθησης και προσθέτει σ αυτόν νέες γνώσεις. Το πρόβλημα επιλογής αυτού του είδους μάθησης είναι ότι μπορεί να οδηγήσει σε λάθος επιλογές.

Γνωσιακός κύκλος (Cognitive Circle, CC) ονομάζεται η διαγραμματική απεικόνιση των σταδίων λειτουργίας της γνωσιακής διαδικασίας (Cognitive Process, CP). Ο όρος «γνωσιακός κύκλος» εισήχθηκε από τον J.Mitola κι έκτοτε χρησιμοποιείται ευρέως στα ασύρματα δίκτυα. Ο γνωσιακός κύκλος αποτελείται από έξι βασικά στάδια:

- **Παρατήρηση:** το γνωσιακό ραδιοδίκτυο δέχεται μέσω των αισθητήρων διάφορες πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται και τις συγκρίνει με παρελθοντικές εμπειρίες έτσι ώστε να αποκτήσει χρήσιμα συμπεράσματα.

- Προσανατολισμός: σ αυτή τη φάση συνδέονται η παρατήρηση με τα ερεθίσματα. Όταν υπάρχει το απόλυτο ταίριασμα της τρέχουσας παρατήρησης με παρελθοντικές εμπειρίες τότε αναγνωρίζεται το ερέθισμα. Κάθε ερέθισμα που δέχεται συμπεριλαμβάνει επιπλέον ερεθίσματα. Στη φάση προσανατολισμού προκαλείται μια άμεση εκκίνηση ενέργειας ως μία αντανakλαστική συμπεριφορά. Στην περίπτωση όμως που έχουμε κάποια απώλεια ενέργειας ισχύος θα μπορούσε να προκληθεί η αποθήκευση των δεδομένων. Όταν η απώλεια ενέργειας του σήματος είναι μη αντιμετωπίσιμη θα δημιουργηθεί επανεκχώριση πόρων προκειμένου να βρεθούν εναλλακτικά κανάλια. Το γνωσιακό δίκτυο προχωράει στη σύνδεση εάν και μόνο όλα τα χαρακτηριστικά μεταξύ των παρόντων ερεθισμάτων και παρελθοντικών ταιριάζουν πλήρως. Αν όμως έστω κι ένα δεν ταιριάζει τότε δημιουργείται μία νέα συμπεριφορά παρόμοια με την πιο πρόσφατη.
- Σχεδιασμός: Τα ερεθίσματα το οποία δέχεται ένα γνωσιακό ραδιοδίκτυο αντιμετωπίζονται προμελετημένα κι όχι αντανakλαστικά. Τα διάφορα σχεδιαστικά εργαλεία όπως το OPRS(Open Source Procedural System)δίνουν τη δυνατότητα να υπάρχει σύνδεση μεταξύ των συμπεριφορών του φάσματος, των πληροφοριών σύμφωνα με την αντίληψη του περιβάλλοντος, τις προτιμήσεις του εκάστοτε χρήστη και τους κανόνες.
- Απόφαση: Στη φάση αυτή έχουμε την επιλογή μεταξύ των υποψηφίων σχεδίων τα οποία είναι διαθέσιμα. Το γνωσιακό ραδιοδίκτυο έχει τη δυνατότητα να ειδοποιήσει τον χρήστη για ένα εισερχόμενο μήνυμα. Η επιλογή της τρέχουσας απόφασης μπορούμε να πούμε ότι βασίζεται σε QoI(Quality of Information) για τη τρέχουσα κατάσταση.
- Δράση: Σε αυτή τη φάση αρχικά υπάρχουν κάποιες επιλεγμένες διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούν ενεργοποιητές έτσι ώστε να μπορέσουν να εισχωρήσουν στο εξωτερικό περιβάλλον ή στο εσωτερικό των γνωσιακών ραδιοδικτύων. Με τον όρο εισχώρηση στο εξωτερικό περιβάλλον εννοούμε τη σύνταξη είτε γραπτών είτε προφορικών μηνυμάτων σε RXML(Radio XML). Με τον όρο εισχώρηση σε εσωτερικό περιβάλλον εννοούμε τον έλεγχο διαθέσιμων πόρων.
- Μάθηση: Στη φάση της μάθησης συμπεριλαμβάνεται η φάση της παρατήρησης όπου συλλέγονται οι διαθέσιμες πληροφορίες μέσω των αισθητήρων καθώς και παρελθοντικές εμπειρίες. Εν τέλει το γνωσιακό δίκτυο μαθαίνει απ όλη την διάρκεια του γνωσιακού κύκλου που περιγράφηκε. Επομένως το γνωσιακό δίκτυο μπορεί να εκπαιδεύεται και να μαθαίνει.

Ο γνωσιακός κύκλος αποτελείται από τρία στάδια διαδικασίας τα οποία είναι η παρακολούθηση του φάσματος, ο μερισμός του φάσματος και η κινητικότητα του φάσματος τα οποία παρέχουν στοιχεία που αναφέρονται στις μεταβολές που παρουσιάζει η διαθεσιμότητα του ραδιο-φάσματος καθώς κι άλλων στοιχείων τα οποία επηρεάζουν την προσαρμοστικότητα των εκάστοτε συσκευών που επιθυμούν να εισχωρήσουν σε αυτό . Στο παρακάτω σχήμα θα περιγραφούν σχηματικά οι βασικές διεργασίες ενός γνωσιακού δικτύου σύμφωνα με τον Κύκλο Διαδικασίας του Mitola. [\[3\]](#)



Εικόνα 1:Γνωσιακός κύκλος

2.5 Αρχιτεκτονικές Γνωσιακών Ραδιοδικτύων

Για την βέλτιστη αξιοποίηση του φάσματος μια συσκευή τεχνολογίας CR που λειτουργεί σε ένα δίκτυο CRN θα πρέπει να είναι σε θέση να ανιχνεύει την διαθεσιμότητα του φάσματος καθώς και αριθμό των συστημάτων που επιθυμούν είσοδο σε αυτό. Η μορφή των CRNs είναι ετερογενής καθώς αποτελούνται από διαφορετικά είδη συστημάτων και δικτύων επικοινωνίας. Ετερογένεια υπάρχει επίσης και σε συσκευές ασύρματης πρόσβασης(Wireless Access),σε δίκτυα (networks), σε τερματικά χρηστών (terminals users), σε εφαρμογές (applications)και σε παρόχους υπηρεσιών (service providers). Ο σχεδιασμός λοιπόν, της αρχιτεκτονικής των CR έχει ως πρωταρχικό στόχο την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση/διαχείριση του συνόλου που αποτελούν ένα CRN και δεν εστιάζει μόνο στην φασματική απόδοση. Έτσι θα πρέπει να εξυπηρετεί επαρκώς:

- τους χρήστες του δικτύου, οι οποίοι θα πρέπει ανά πάσα στιγμή να μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες τους,
- αλλά και προστατεύει τον φάσμα από τον μη- αποδοτικό διαμοιρασμό των τμημάτων του, για να είναι σε θέση το δίκτυο να παρέχει καλύτερες υπηρεσίες στους χρήστες του.

Τα CRNs μπορούν να αναπτύσσονται με network-centric, ad-hoc και mesh αρχιτεκτονικές και να μπορούν έτσι να εξυπηρετούν Primary users(δευτερεύοντες χρήστες) και Secondary Users(SUs). Τα κύρια συστατικά για την δημιουργία των αρχιτεκτονικών είναι οι παρακάτω σταθμοί και δίκτυα:

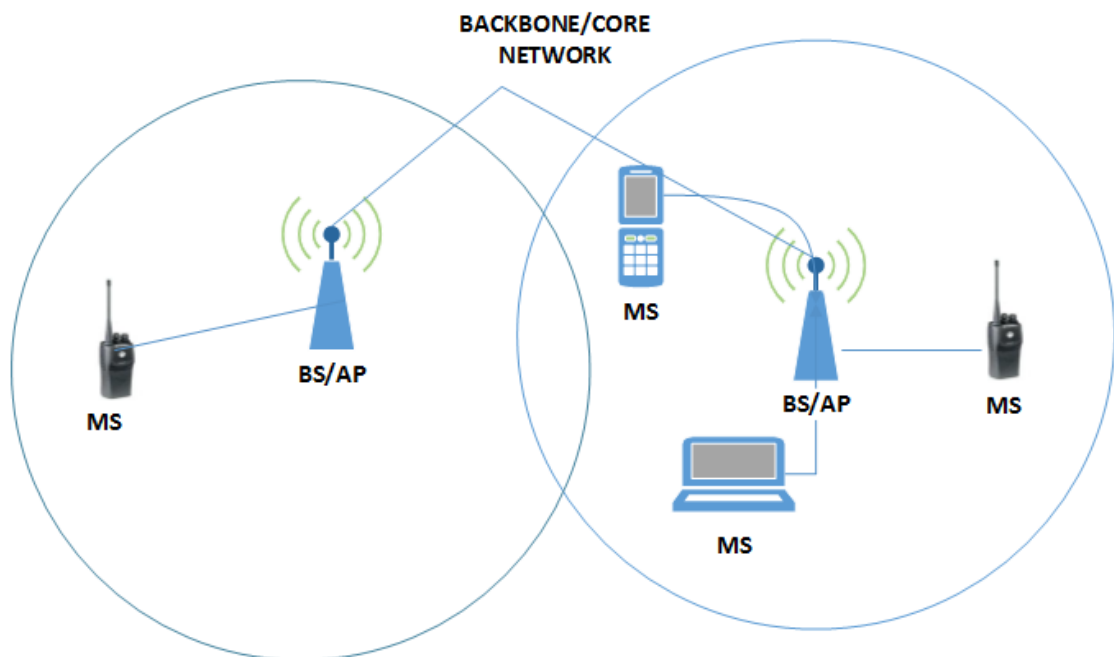
- mobile station (MS)
- base station/access point (BS/AP)
- backbone/core networks.

Με την σύνθεση αυτών των συστατικών εξάγονται τρία είδη αρχιτεκτονικών:

I. Infrastructure Architecture

Σύμφωνα με αυτήν την αρχιτεκτονική ένα MS(Mobile Station) μπορεί να έχει πρόσβαση μόνο σε ένα BS/AP(Base Station/Access Point). Οι MSs,στους οποίους η εμβέλεια τους υποστηρίζεται από την ίδια BS/AP, μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω αυτής. Για την επικοινωνία ανάμεσα σε διαφορετικές περιοχές μετάδοσης χρησιμοποιείται ένα δίκτυο backbone/core.

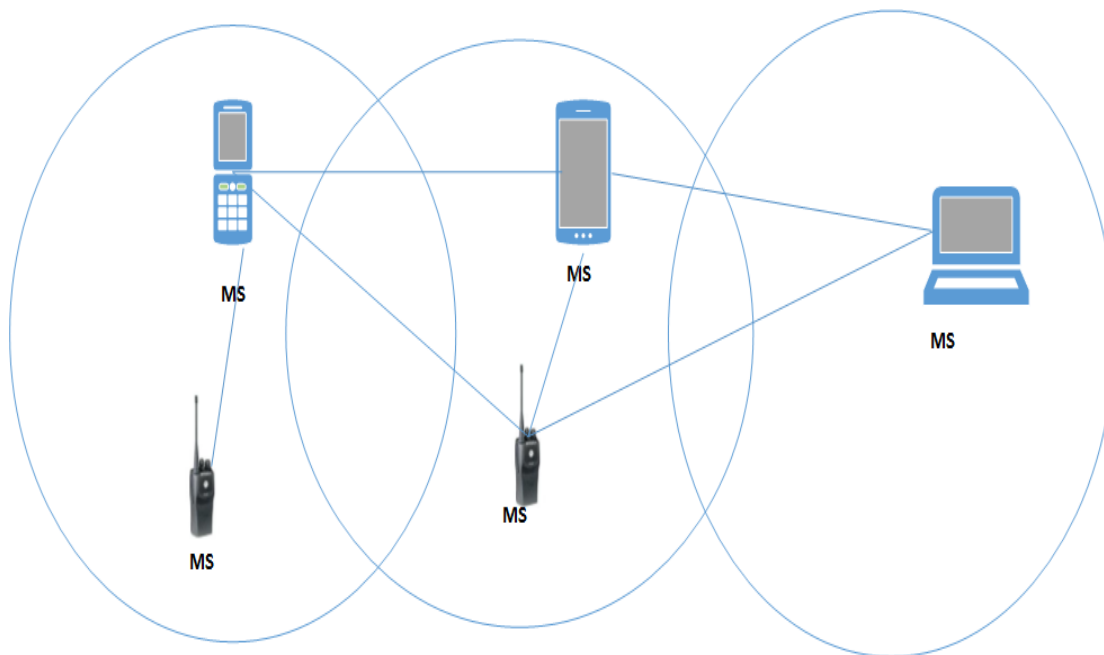
Οι σταθμοί μετάδοσης BS/AP είναι σε θέση να εφαρμόζουν διάφορα πρωτόκολλα/ πρότυπα επικοινωνίας, για να καλύπτουν τις διαφορετικές απαιτήσεις των συστημάτων MS. [4]



Εικόνα 2:Infrastructure Architecture

II. Ad-hoc Architecture

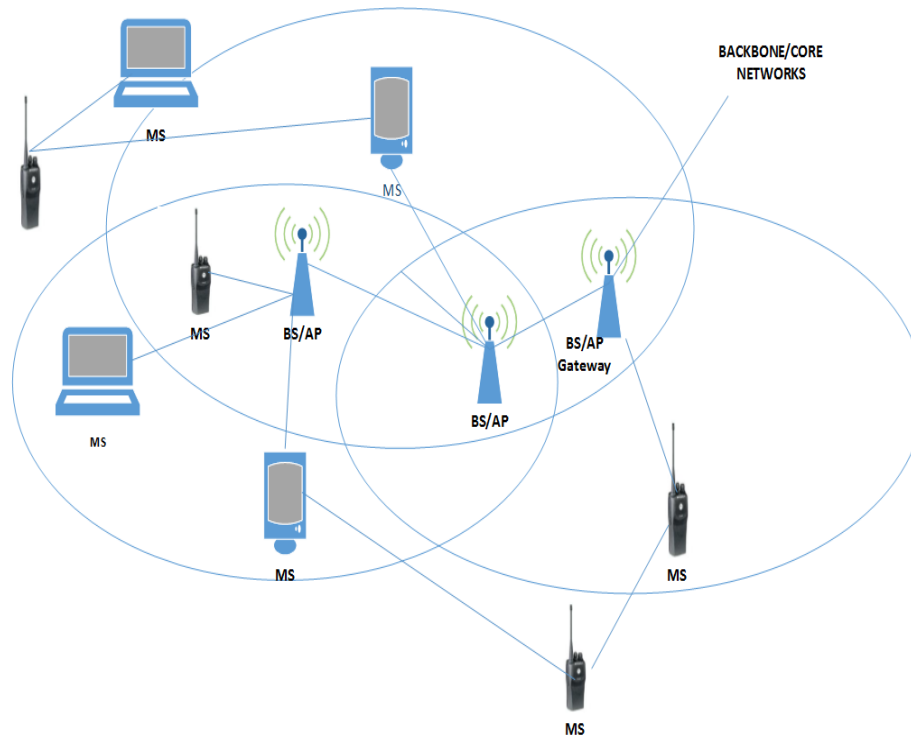
Σε αυτή την αρχιτεκτονική εάν ένα MSκινητό σταθμό (Mobile Station) ανιχνεύσει ότι υπάρχουν κάποια άλλα MSκινητό σταθμό(Mobile Station) κοντά και μπορούν να συνδεθούν μέσω ορισμένων προτύπων/πρωτοκόλλων επικοινωνίας, τα οποία μπορούν να δημιουργήσουν μία σύνδεση κι επομένως να έχουμε ένα Ad-hoc δίκτυο. Αυτή η αρχιτεκτονική μπορεί να δημιουργηθεί και μέσω δικτύων διαφορετικής τεχνολογίας. Δύο τερματικά cognitive radio μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας υπάρχοντα πρωτόκολλα επικοινωνίας (π.χ. Wi-Fi, Bluetooth) ή χρησιμοποιώντας δυναμικά φασματικά κενά.



Εικόνα 3:Εικόνα 3:Ad-hoc Architecture

III. Mesh Architecture

Αυτή η αρχιτεκτονική είναι ένας συνδυασμός της Infrastructure αρχιτεκτονικής και Ad-hoc αρχιτεκτονικής κι επιτρέπει τις ασύρματες συνδέσεις μεταξύ BSs/APs. BSs/APs λειτουργούν ως ασύρματοι δρομολογητές κι έχουν την μορφή των ασύρματων backbones. Ο Mobile Station μπορεί είτε να μεταβεί άμεσα στο BSs/APs, είτε να χρησιμοποιήσει άλλους MSs ως κόμβους αναμετάδοσης. Μερικοί BSs/APs μπορούν να συνδεθούν με τα ενσύρματα backbone/core δικτύων και να λειτουργούν ως πύλες. Δεδομένου ότι οι BSs / APs μπορούν να αναπτυχθούν χωρίς να τα συνδέει απαραίτητα backbone/core επικοινωνία, αυτό τα κάνει πιο ευέλικτα και λιγότερα δαπανηρά στο σχεδιασμό των τοποθεσιών τους. Τα BSs / APs έχουν τις δυνατότητες των cognitive radio και μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα φασματικά κενά για να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. [4]



Εικόνα4:Mesh Architecture

2.6 Πολιτικές Φάσματος

Σε όλες τις περιπτώσεις και χωρίς να παίζει ρόλο ποια αρχιτεκτονική χρησιμοποιείται, η εισαγωγή των γνωσιακών δικτύων σε Λευκά κανάλια (TVWS) εμποδίζεται από το τρέχον πρότυπο διαχείρισης «εντολών και ελέγχου» του ραδιο-φάσματος της τηλεόρασης/UHF, το οποίο επιτρέπει να λάβουν άδεια μόνο συστήματα/χρήστες, όπως DVB-T, DVB-H, iTV και άλλα ώστε να εκμεταλλευτούν το ραδιο-φάσμα ενώ παράλληλα απαγορεύει κάθε άλλη μη-αδειοδοτημένη μετάδοση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το φάσμα να υπό-χρησιμοποιείται σε πολλές γεωγραφικές περιοχές. Όμως η εκμετάλλευση του ραδιο-φάσματος μπορεί να βελτιωθεί εάν στους δευτερεύοντες χρήστες(χρήστες χωρίς άδεια) τους δίνεται η δυνατότητα να έχουν πρόσβαση στα τμήματα του φάσματος (TVWS) εφόσον η μετάδοσή τους δεν παρεμποδίζει ή δεν διακόπτει τη μετάδοση των πρωτογενών χρηστών. Έτσι υπάρχει μία καθολική αναγνώριση ότι το τρέχον ρυθμιστικό μοντέλο δεν παρέχει τη βέλτιστη λύση εκμετάλλευσης του φάσματος και τα νέα μοντέλα διαχείρισης φάσματος θα πρέπει να υιοθετηθούν προκειμένου να καταστεί δυνατή η αξιοποίηση του ραδιο-φάσματος από συστήματα αδειοθετημένα και μη-αδειοθετημένα. Τέτοια μοντέλα είναι:

- **Μοντέλο κοινής χρήσης** το οποίο αντιπροσωπεύει μία άποψη κατά την οποία η σχέση μεταξύ DVD-T εξασφαλίζεται από τον έλεγχο των επιπέδων παρεμβολών. Το μοντέλο αυτό εξασφαλίζει την αποτελεσματικότητα του φάσματος χωρίς εγγυήσεις (QoS). Το φάσμα κοινής χρήσης είναι κατάλληλο για τη βέλτιστη αξιοποίηση του ραδιο-φάσματος στην περίπτωση που έχουμε αρχιτεκτονικές δικτύου ad-hoc.
- **Μοντέλο συνεκμετάλλευσης** το οποίο περιλαμβάνει την πώληση του φάσματος για εφαρμογές που απαιτούν σποραδική πρόσβαση, θέσπιση δευτερογενούς αγοράς για τη μίσθωση και δημοπρασία του ραδιο-φάσματος. Το μοντέλο συνεκμετάλλευσης είναι κατάλληλο για συγκεντρωτικές αρχιτεκτονικές δικτύου όπου ένας μεσίτης φάσματος διαχειρίζεται την κατανομή του ραδιο-φάσματος. [1]

2.7 Σύνοψη

Οι τεχνολογίες, οι κανόνες και οι αρχιτεκτονικές που αναλύθηκαν παραπάνω έχουν σκοπό να μας βοηθήσουν στον να κατανοήσουμε την λειτουργία το ραδιο-φάσματος ώστε να μας επιτραπεί να προτείνουμε τεχνικές που αφορούν την καλύτερη χρήση του.

3. Σχεδιασμός προτεινόμενης αρχιτεκτονικής

3.1 Εισαγωγή

Τα διάφορα είδη των ασύρματων δικτύων και τεχνολογιών πιέζουν όλο και περισσότερο στο διαθέσιμο ραδιο-φάσμα, αυξάνοντας έτσι τις ανάγκες για τη διαθεσιμότητα των συχνοτήτων και δημιουργώντας νέες προκλήσεις στη διαχείριση του ραδιο-φάσματος. Μελέτες της χρήσης του ραδιο-φάσματος έχουν δείξει ότι το μεγαλύτερο μέρος του ραδιο-φάσματος υπό-χρησιμοποιείται. Η έλευση ωστόσο κάποιων τεχνολογιών όπως τα LTE τα καθιστά ικανά να προσαρμόσουν τη τεχνολογία τους για την αξιοποίηση κάθε μη χρησιμοποιούμενου φάσματος σύμφωνα με το περιβάλλον μετάδοσης και τις ανάγκες των χρηστών/υπηρεσιών. Ένα τέτοιο παράδειγμα μη χρησιμοποιούμενου μέρους φάσματος είναι τα TVWS το οποίο περιλαμβάνει κανάλια UHF/VHF τα οποία είτε απελευθερώνονται απ τη ψηφιακή διαδικασία μετάβασης ή είναι τελείως ανεκμετάλλευτα.

Τα LTE μπορούν να επωφεληθούν από τα χαρακτηριστικά διάδοσης τηλεοπτικά λευκά φάσματα (TVWS) καθώς καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές χρησιμοποιώντας μικρότερο αριθμό σταθμών βάσης, ως εκ τούτου χαμηλότερο κόστος, ενώ επιπλέον οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών μπορούν να προσφέρουν φθηνότερες ευρυζωνικές υπηρεσίες σε περισσότερους καταναλωτές, κυρίως σε αγροτικές περιοχές. Σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές τα τηλεοπτικά λευκά φάσματα (TVWS) θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν υποστηρικτικά για να εξυπηρετήσουν σε περιόδους αυξημένης ζήτησης (π.χ. παραμονή Πρωτοχρονιάς), ώστε να «ανακουφίσουν» τα συνωστισμένα δίκτυα σε περιόδους αιχμής.

Το Wi-Fi είναι μία τεχνολογία ασύρματης τεχνολογίας το οποίο επιτρέπει σε μία ασύρματη συσκευή να κάνει ανταλλαγή δεδομένων ή να συνδεθεί στο διαδίκτυο χρησιμοποιώντας 2.4 GHz UHF και 5 GHz SHF ραδιοκύματα. Το όνομα είναι ένα όνομα εμπορικού σήματος. Η Wi-Fi Alliance ορίζει ως Wi-Fi όπως και κάθε ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN) τα προϊόντα τα οποία έχουν βάση το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE 802.11). Μία συσκευή Wi-Fi μπορεί να συνδεθεί στο internet όταν είναι εντός εμβέλειας ενός ασύρματου δικτύου. Επίσης μία τέτοια συσκευή παρέχει υπηρεσίες Wi-Fi σε ιδιωτικές κατοικίες, επιχειρήσεις καθώς και σε δημόσιους χώρους είτε δωρεάν είτε με χρέωση. Οργανισμοί και επιχειρήσεις όπως τα αεροδρόμια, ξενοδοχεία και άλλα συνήθως παρέχουν στους πελάτες τέτοιες υπηρεσίες δωρεάν (hotspots) ώστε να τους προσελκύσουν. Επίσης τα κινητά τηλέφωνα παρέχουν τεχνολογίες Wi-Fi όπως είναι 3G,4G,5G που παρέχουν στο χρήστη τη δυνατότητα να συνδεθεί ασύρματα στο διαδίκτυο.

Τα Public Safety είναι δημόσιες υπηρεσίες ασφαλείας οι οποίες έχουν ενωθεί μεταξύ τους έτσι ώστε να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να επικοινωνούν μεταξύ τους όταν έρχονται αντιμέτωπες με τη δημόσια ασφάλεια. Αυτή η ανάγκη δημιούργησε την υλοποίηση των δημοσίων δικτύων ασφαλείας. Τα δημόσια δίκτυα ασφαλείας μπορεί να προέρχονται από κάθε επίπεδο της κυβέρνησης και να εκτείνονται σε πολλές γεωγραφικές περιοχές. Αυτού του είδους τα δίκτυα βρίσκουν κυρίως εφαρμογή στις Ηνωμένες Πολιτείες. Τα δημόσια δίκτυα ασφαλείας λαμβάνουν περισσότερη προσοχή και προτεραιότητα στις ΗΠΑ διότι βρίσκεται αντιμέτωπη με τρομοκρατικές επιθέσεις και φυσικές καταστροφές. Τα δημόσια δίκτυα ασφαλείας ορίζονται ως μία τεχνολογία ενεργοποιημένης συνεργασίας μεταξύ του οργανωτικού συστήματος. Από τη σκοπιά του δικτύου επικοινωνιών είναι ένα ασύρματο δίκτυο που χρησιμοποιείται από τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης.

Η εκμετάλλευση των TVWS θα επιτρέψει σε περισσότερους φορείς να είναι διαθέσιμοι σε χαμηλότερες συχνότητες. Το RTSSM (Real Time Secondary Spectrum Markets) καθεστώς συνιστά την πλέον ενδεδειγμένη λύση για την ανάπτυξη συστημάτων LTE, που αιτούν σποραδική πρόσβαση στο ραδιο-φάσμα και η ποιότητα υπηρεσίας (QoS) τους είναι πολύ σημαντικές. Υιοθετεί δηλαδή την

διαδικασία εμπορίας του ραδιο-φάσματος, η οποία επιτρέπει στους πρωτεύοντες χρήστες την πώληση ή μίσθωση των δικαιωμάτων χρήσης που κατέχουν, σε δευτερεύοντες χρήστες δημιουργώντας έτσι μια δευτερογενή αγορά για τη μίσθωση και δημοπρασία φάσματος μέσω ενός μεσίτη φάσματος.

Παρακάτω θα αναλυθεί ο σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής του προτεινόμενου δικτύου CR, τα στάδια τα οποία περιλαμβάνει καθώς και αλγόριθμους που βελτιώνουν την απόδοση του ραδιο-φάσματος.

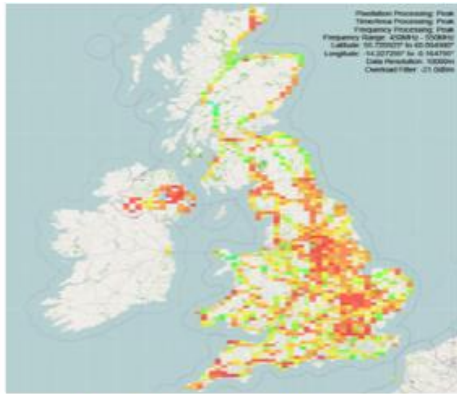
[5]

3.2 Προτεινόμενη αρχιτεκτονική

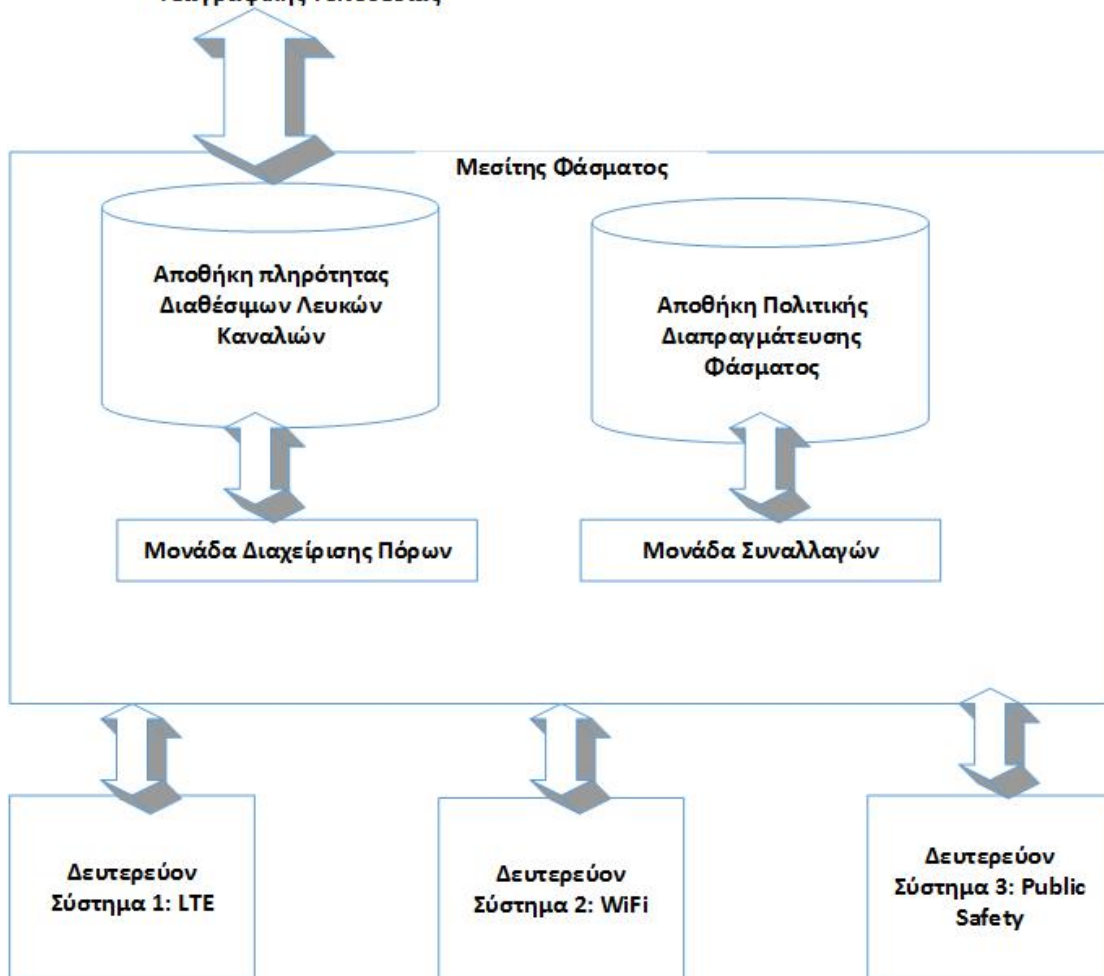
Σε αυτή την ενότητα θα αναλύσουμε την προτεινόμενη αρχιτεκτονική ενός κεντρικού δικτύου βασισμένο στο RTSSM (Real Time Secondary Spectrum Markets), όπου η χορήγηση πόρων ραδιοσυχνοτήτων και το φάσμα μίσθωσης θα διεξαχθεί πάνω στο πρότυπο RTSSM (Real Time Secondary Spectrum Markets). Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η συνολική αρχιτεκτονική η οποία αποτελείται από δύο βασικά υποσυστήματα τα οποία είναι:

- Μεσίτης φάσματος ο οποίος είναι υπεύθυνος για το συντονισμό της πρόσβασης στα τηλεοπτικά λευκά φάσματα (TVWS) και τη διαχείριση των οικονομικών της εκμετάλλευσης του ραδιο-φάσματος
- Μία σειρά δευτερεύοντων συστημάτων (Secondary Systems) τα οποία ζητούν τη χρήση τηλεοπτικών λευκών φασμάτων (TVWS).

Σύμφωνα με την προτεινόμενη αυτή αρχιτεκτονική οι αιτήσεις των δευτερεύοντων συστημάτων (Secondary Systems) για τηλεοπτικά λευκά φάσματα (TVWS) κοινοποιούνται προς το μεσίτη φάσματος, όπου μία μονάδα διαχείρισης πόρων τα αναλύει και τα επεξεργάζεται ως προς τις τεχνικές απαιτήσεις των δευτερεύοντων συστημάτων (Secondary Systems) καθώς και τα τοπικά διαθέσιμα χαρακτηριστικά του κάθε καναλιού TVWS. Πριν από κάθε κατανομή φάσματος τα οικονομικά στοιχεία των συναλλαγών επίσης αναλύονται, λαμβάνοντας υπόψη είτε τη τιμή του φάσματος ανά μονάδα (δηλαδή ανά MHz), είτε με βάση τις πολιτικές σταθερής τιμής είτε με βάση τις πολιτικές του φάσματος. Τέλος μια βελτιστοποιημένη λύση η οποία συνδυάζει τα αποτελέσματα της διαχείρισης πόρων, το αποτέλεσμα επιτυγχάνεται επιτρέποντας στο μεσίτη να πουλήσει Λευκών καναλιών (TVWS) συχνότητες στα αντίστοιχα δευτερεύοντων συστημάτων (Secondary Systems) υπό καθεστώς RTSSM. Επομένως όλες οι δραστηριότητες ενός RTSSM (Real Time Secondary Spectrum Markets) συντονίζονται από τον μεσίτη, ο οποίος είναι ο υπεύθυνος για την ανάληψη της βέλτιστης λύσης λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους με ακέραιες τιμές ή συνδυασμό των παραμέτρων όπως ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών TVWS, το διαθέσιμο εύρος ζώνης, τα δευτερεύοντα συστήματα, τη τιμή μονάδας του φάσματος. Επομένως η βέλτιστη λύση είναι η προσέγγιση μιας λήψης αποφάσεων βασισμένη στο συνδυαστικό προγραμματισμό όλων των στοιχείων, σύμφωνα με την οποία μπορούν να λυθούν κάνοντας χρήση ενός ευριστικού αλγόριθμου βέλτιστης λύσης. [5]



**Βάση δεδομένων Φάσματος
Γεωγραφικής Τοποθεσίας**



Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική Προτεινόμενου Δικτύου

3.4 Αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης

Σ αυτό το σημείο θα αναλυθεί διεξοδικά ο αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την περάτωση της πτυχιακής. Ο αλγόριθμος ανεύρεσης βέλτιστης λύσης που χρησιμοποιήσαμε είναι ο «simulated annealing» και ανήκει στην κατηγορία των ευρεστικών αλγορίθμων.

Οι ευρεστικοί βρίσκουν εφαρμογή στην επιστήμη υπολογιστών και όχι μόνο. Πρόκειται για μία επαναληπτική διαδικασία παραγωγής βελτιστοποιημένων λύσεων σε προβλήματα που θα πρέπει να ικανοποιούνται πολλοί παράμετροι. Αποτελεί μία μορφή μίμησης της φυσικής διαδικασίας επιλογής.

Θεωρείται από τους πιο αποτελεσματικούς αλγόριθμους παραγωγής βέλτιστης λύσης σε σταθερό χρονικό διάστημα. Αρχικά, δημιουργήθηκε και εφαρμόστηκε στη μεταλλουργία, για να μειώσει τα ελαττώματα των υλικών τα οποία παρουσίαζαν μεταβολές στο μέγεθός τους κατά τη διαδικασία ψύξης και θέρμανσης. Σχεδιάστηκε δηλαδή για να ικανοποιεί ορισμένες συνθήκες φυσικών συστημάτων. Βασίζεται στο ότι η λειτουργία είναι ανάλογη της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος. Σκοπός του αλγόριθμου είναι να φέρει το σύστημα από μία αυθαίρετη αρχική κατάσταση σε μία ελεγχόμενη με περιορισμένες απαιτήσεις ενέργειας. Πάνω σε αυτή τη φυσική διαδικασία στηρίχθηκε και ο Kickpatrich ο οποίος πρότεινε τον αλγόριθμο αυτό το 1983. [7]

3.4.1 Δομή-Λειτουργία

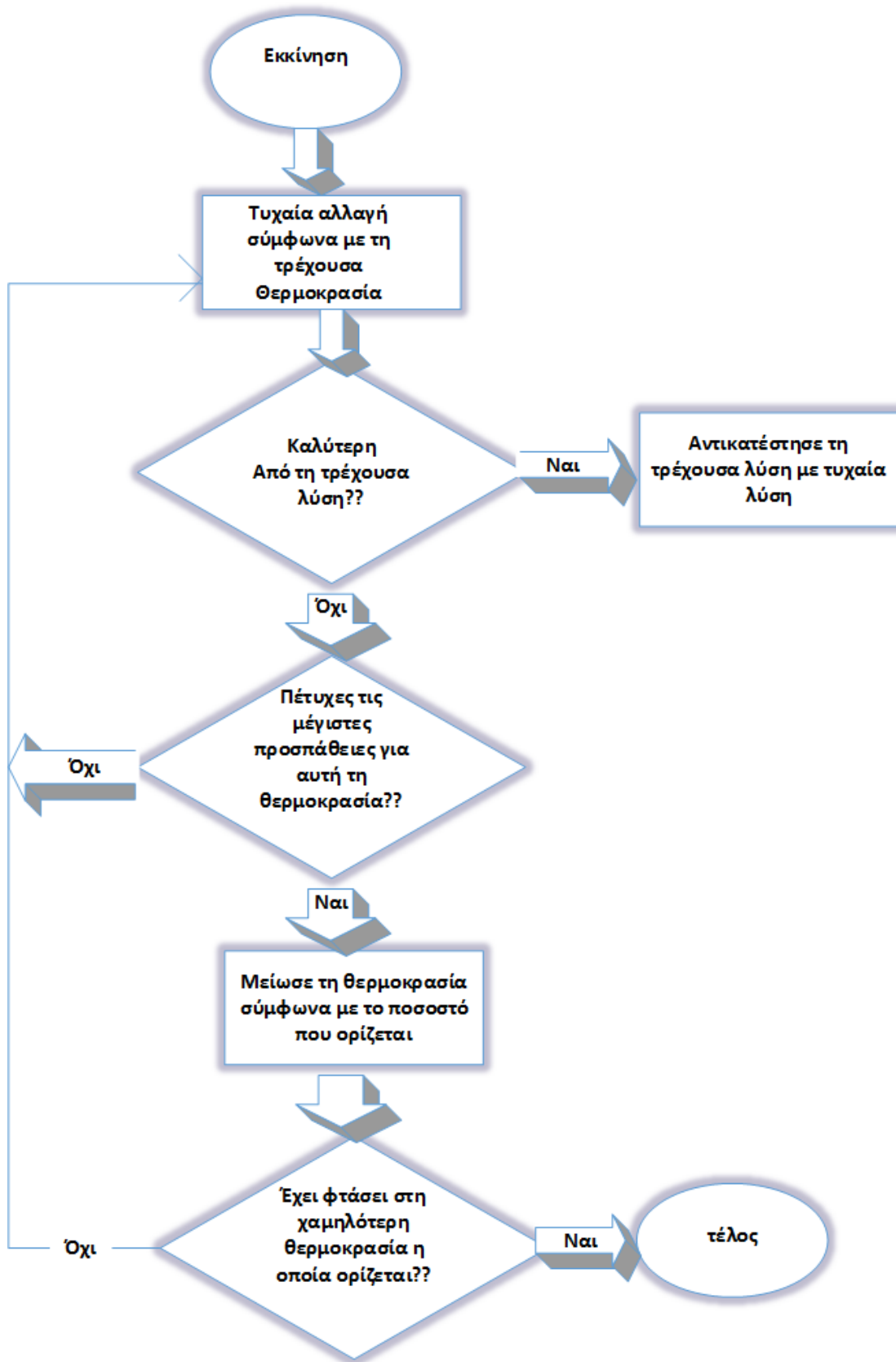
Η βασική δομή για την εξεύρεση αποτελεσμάτων του SA Simulated Annealing (Αλγόριθμος προσομοιωμένης απόπτωσης) στηρίζεται σε μαθηματικά πρότυπα και πιθανότητες που αφορούν γειτονικές καταστάσεις S' της ήδη υπάρχουσας κατάστασης S . Η αλγοριθμική δομή του δίνει τη δυνατότητα να κινείται μέσα στο φάσμα καταστάσεων επαναληπτικά ώστε να φτάσει σε μία κατάσταση ικανοποιητική για εφαρμογή.

Γειτονικές καταστάσεις S' θεωρούμε τις νέες καταστάσεις που προέκυψαν από κάποια αλλαγή της αρχικής κατάστασης, έπειτα από την εφαρμογή καθορισμένων μεταβολών. Η εξαγωγή αποτελεσμάτων γίνεται ανιχνεύοντας τις καλύτερες πιθανές λύσεις ανάμεσα στις γειτονικές καταστάσεις. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται τοπικό βέλτιστο(local optimum).

Γενικά για να μπορέσει ένας αλγόριθμος να υλοποιηθεί θα πρέπει αρχικά να έχουν οριστεί και κάποιες παράμετροι οι οποίες είναι η σχεδίαση της κρυσταλλικής δομής, ο προσδιορισμός των γενετικών μηχανισμών για τα γειτονικά στοιχεία, ο προσδιορισμός της συνάρτησης κόστους και τέλος η αναπαράσταση των λύσεων. [8]

Ειδικά για να μπορέσει ο αλγόριθμος προσομοιωμένης απόπτωσης (SA-Simulated Annealing) να υλοποιηθεί θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τις εξής παραμέτρους:

- Μέγιστη θερμοκρασία (T Maximum), σημείο εκκίνησης του αλγορίθμου
- Ενημέρωση θερμοκρασίας (T Update)
- Αριθμός επαναλήψεων που θα κάνει ο SA έως ότου βρει τη βέλτιστη λύση
- Ελάχιστη θερμοκρασία (T minimum), όπου ο αλγόριθμος θα σταματήσει τη διαδικασία ανεύρεσης βέλτιστης λύσης [9]



Εικόνα 6: Simulated annealing Algorithm

3.5 Πιθανότητα αποδοχής

Η πιθανότητα να κάνει τη μετάβαση από τη τρέχουσα κατάσταση S σε μία υποψήφια νέα κατάσταση S' προσδιορίζεται από μία συνάρτηση πιθανότητας αποδοχής $P(e,e',T)$ η οποία εξαρτάται από τις ενέργειες $e=E(s)$ και $e'=E(s')$ των δύο καταστάσεων όσο σε χρονικά μεταβαλλόμενη παράμετρο T η οποία καλείται θερμοκρασία. Γειτονικές καταστάσεις με μικρότερη ενέργεια είναι καλύτερα από εκείνα με μεγαλύτερη ενέργεια. Η συνάρτηση πιθανότητας P πρέπει να είναι θετική ακόμα κι όταν το E' είναι μεγαλύτερο από το E . Αυτή η λειτουργία αποτρέπει τη μέθοδο να κολλήσει σε ένα τοπικό ελάχιστο. [7]

Όταν το T α τείνει στο μηδέν, η πιθανότητα $P(e,e',T)$ πρέπει να τείνει στο μηδέν εάν $e' > e$. Για αρκετές μικρές τιμές του T α, το σύστημα μπορεί να ευνοεί ολοένα και περισσότερες κινήσεις οι οποίες κινούνται καθοδικά, δηλαδή να μειώσει τις τιμές της ενέργειας, και να αποφεύγει αυτές που κινούνται ανοδικά.

Η συνάρτηση P συνήθως επιλέγεται έτσι ώστε η πιθανότητα αποδοχής μιας κίνησης να μειώνεται όταν η διαφορά $E'-e$ αυξάνεται. Ωστόσο η απαίτηση αυτή δεν είναι απαραίτητη υπό την προϋπόθεση ότι όλες οι υπόλοιπες προϋποθέσεις ικανοποιούνται. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις ιδιότητες, η θερμοκρασία T παίζει ένα κρίσιμο ρόλο στον έλεγχο της εξέλιξης της κατάστασης των γειτονικών συστημάτων όσον αφορά της ευαισθησία του στις μεταβολές των ενεργειών του συστήματος.

Η πιθανότητα αποδοχής $P(E,E',T)$ ορίστηκε ως 1 εάν $e' < e$. Αυτός ο τύπος αντιστοιχεί στον αλγόριθμο Metropolis-Hastings στην περίπτωση όπου το $T=1$. Ωστόσο αυτή η πιθανότητα αποδοχής συχνά χρησιμοποιείται για προσομοιωμένη απόκτηση ακόμα κι όταν η λειτουργία γειτονικών καταστάσεων δεν είναι συμμετρική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι πιθανότητες του αλγορίθμου προσομοιωμένης απόκτησης να μην αντιστοιχούν στις μεταπτώσεις του ανάλογου φυσικού συστήματος και η μακροχρόνια κατανομή των διαφόρων τμημάτων σε μία σταθερή θερμοκρασία δεν χρειάζεται να φέρει κάποια ομοιότητα ως προς τη θερμοδυναμική ισορροπία διανομής πάνω σε καταστάσεις αυτού του φυσικού συστήματος, σε οποιαδήποτε θερμοκρασία.

Κατά την επιλογή της υποψήφιας γειτονική κατάσταση πρέπει κανείς να θεωρήσει ότι μετά από μερικές επαναλήψεις του αλγορίθμου, η τρέχουσα κατάσταση αναμένεται να έχει πολύ χαμηλότερη ενέργεια από μία τυχαία κατάσταση. Έτσι κατά γενικό κανόνα, θα πρέπει να παραποιηθεί η γειτονική κατάσταση ως προς τις πιθανές κινήσεις, όπου η ενέργεια της κατάστασης προορισμού S' είναι πιθανό να είναι παρόμοια με εκείνη της τρέχουσας κατάστασης. [7]

3.5.1 Ψεύδο-κώδικας

Ο ακόλουθος ψεύδο-κώδικας παρουσιάζει τον Αλγόριθμο Ανόπτωσης (Simulated Annealing). Η λειτουργία του αλγορίθμου αυτού είναι η εξής, ξεκινάει από μία αρχική κατάσταση S_0 και συνεχίζει είτε κατά K_{max} βήματα ή έως ότου φτάσει σε μία κατάσταση ενέργειας e_{max} . Κατά τη διαδικασία αυτή θα πρέπει να επιλεγεί ένα τυχαίο τμήμα και να επιστραφεί μία τυχαία τιμή. [7],[8]

```
s ← s0; e ← E(s)           // Initial state, energy.
sbest ← s; ebest ← e       // Initial "best" solution.
k ← 0                      // καταμέτρηση ενέργειας
while k < kmax and e > emax // όσο το k < kmax & e > emax
  T ← temperature(k/kmax) // υπολογισμός θερμοκρασίας
  snew ← neighbour(s)     // Διάλεξε κάποιο γείτονα
  enew ← E(snew)          //Υπολόγισε θερμοκρασία
```

```

if P(e, enew, T) > random() then    // Πρέπει να προχωρήσουμε σε αυτό
    s ← snew; e ← enew                // Ναι, άλλαξε κατάσταση
if enew < ebest then                // Είναι αυτή η νέα λύση καλύτερη?
    sbest ← snew; ebest ← enew        // αποθήκευση «νέου γείτονα»
k ← k + 1                             // μία ακόμα αξιολόγηση
return sbest                         // επέστρεψε την καλύτερη λύση

```

Η προσέγγιση του αλγορίθμου στη φάση της υλοποίησης της πτυχιακής έγινε ως εξής, χρησιμοποιήθηκαν οι μεταβλητές αρχική θερμοκρασία(start temperature),τελική θερμοκρασία(stop temperature) και οι κύκλοι τους οποίους έκανε ο αλγόριθμος για να βρει τη βέλτιστη λύση (cycles). Όσο η αρχική θερμοκρασία ήταν μεγαλύτερη από την τελική θερμοκρασία ο αλγόριθμος ψάχνει για πιθανές λύσεις οι οποίες «βαθμολογούνται» με βάση το μικρότερο fragmentation. Η συνάρτηση η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη μείωση της θερμοκρασίας είναι η εξής: $\text{math.exp}(\text{math.log}(\text{stopTemperature}/\text{startTemperature})/(\text{cycles}-1))$.

3.7 Σύνοψη

Σ αυτό το κεφάλαιο αναλύθηκαν η προτεινόμενη αρχιτεκτονική για την επίλυση του προβλήματος που υπάρχει καθώς και ο αλγόριθμος ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί. Έχοντας γίνει αναφορά στα παραπάνω στο επόμενο κεφάλαιο θα τεθεί σε εφαρμογή η προτεινόμενη αρχιτεκτονική αυτού του συστήματος και θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

4. Ανάλυση-Παρουσίαση Προσομοιωτή και αποτελέσματα

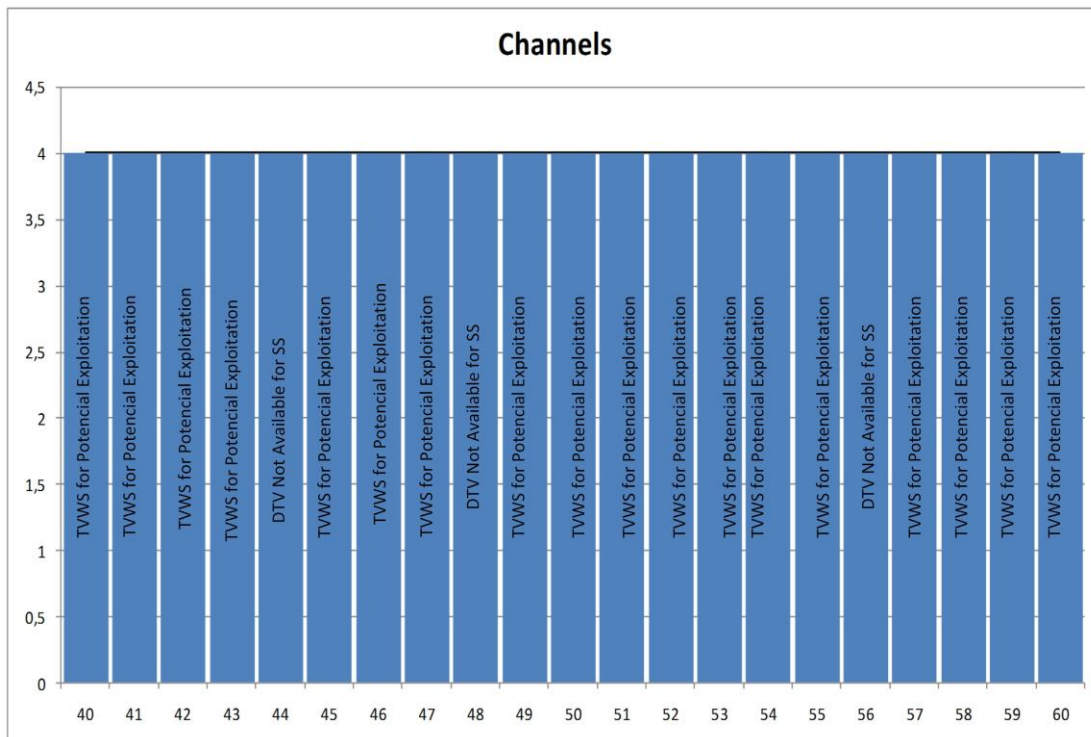
4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφέρουμε τις τεχνικές τις οποίες προτείνουμε έτσι ώστε να επιλυθεί το πρόβλημα που αναλύθηκε παραπάνω. Θα παρουσιαστούν τα κανάλια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του κώδικα.

4.2 Παρουσίαση

Η πτυχιακή αυτή υλοποιήθηκε έχοντας ως στόχο να λύσει το πρόβλημα της εκμετάλλευσης των ελεύθερων ψηφιακών καναλιών έτσι ώστε να μπορούν να εξυπηρετηθούν όσο περισσότεροι δευτερεύοντες χρήστες μπορούν και να έχουμε μικρό κατακερματισμό του φάσματος (Fragmentation).

Έτσι χρησιμοποιήθηκε ένα φάσμα 21 συχνοτήτων με ισχύ (Power) και εύρος ζώνης (Bandwidth). Μέσα στο φάσμα αυτό τα κανάλια έχουν μέγιστη ισχύ 4Watt. Τα κανάλια 40,41,42,43,45,46,47,49,50,51,52,53,55,57,58,59,60 [10] είναι ελεύθερα για εκπομπή συστημάτων με 4Watt ισχύ. Ενώ τα κανάλια 44,48,54,56 είναι κατειλημμένα από τη ψηφιακή τηλεόραση(DTV) οπότε δεν είναι διαθέσιμα για χρήση των δευτερευόντων συστημάτων. Στο σχήμα που εμφανίζεται παρακάτω φαίνονται τα κατειλημμένα και μη κατειλημμένα κανάλια καθώς και η ισχύς των καναλιών:



Εικόνα 7:Channels

Τα συστήματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι λειτουργικές απαιτήσεις του κάθε συστήματος παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Όνομα (Name)	Ισχύς(power)	Εύρος ζώνης(Bandwidth)	Προτεραιότητα(Priority)
LTE 1	4	5	Υψηλή (High)
LTE 2	4	5	Μέτρια(Medium)
LTE 3	4	10	Υψηλή (High)
LTE 4	4	10	Μέτρια(Medium)
LTE 5	4	20	Υψηλή (High)
LTE 6	4	20	Μέτρια(Medium)
Wi-Fi	4	22	Μεγάλη(Large)
Public_safety 1	4	1	Υψηλή (High)
Public_safety 2	4	1	Μεγάλη(Large)

Με βάση τα παραπάνω προσπαθήσαμε να δημιουργήσουμε έναν interface όπου ο χρήστης αφού κάνει τις επιλογές του θα του παρέχονται κανάλια στο φάσμα συχνοτήτων τα οποία ικανοποιούν τις λειτουργικές απαιτήσεις των συστημάτων που επέλεξε ο χρήστης και έχουμε το μικρότερο κατακερματισμό του φάσματος. Στο τρέξιμο της προσομοίωσης τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι ο κατακερματισμός του φάσματος(fragmentation), η χρησιμοποίηση του δικτύου (utilization), ο χρόνος μέσα στον οποίο ο αλγόριθμος βρήκε την λύση (time elapsed) καθώς και ο αριθμός των επαναλήψεων που έκανε ο αλγόριθμος έτσι ώστε να βρεθεί η βέλτιστη λύση για το κάθε σύστημα (cost).

Η χρησιμοποίηση του δικτύου (Utilization) υπολογίζεται ως το ποσοστό του πόσο απ το συνολικό εύρος ζώνης, δηλαδή απ το κανάλι 40 έως το κανάλι 60 (168MHz), αξιοποιείται τόσο από πρωτοβάθμια όσο και από δευτεροβάθμια συστήματα. Ο μαθηματικός τύπος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε έτσι ώστε να βρεθεί η χρησιμοποίηση του δικτύου είναι ο εξής:

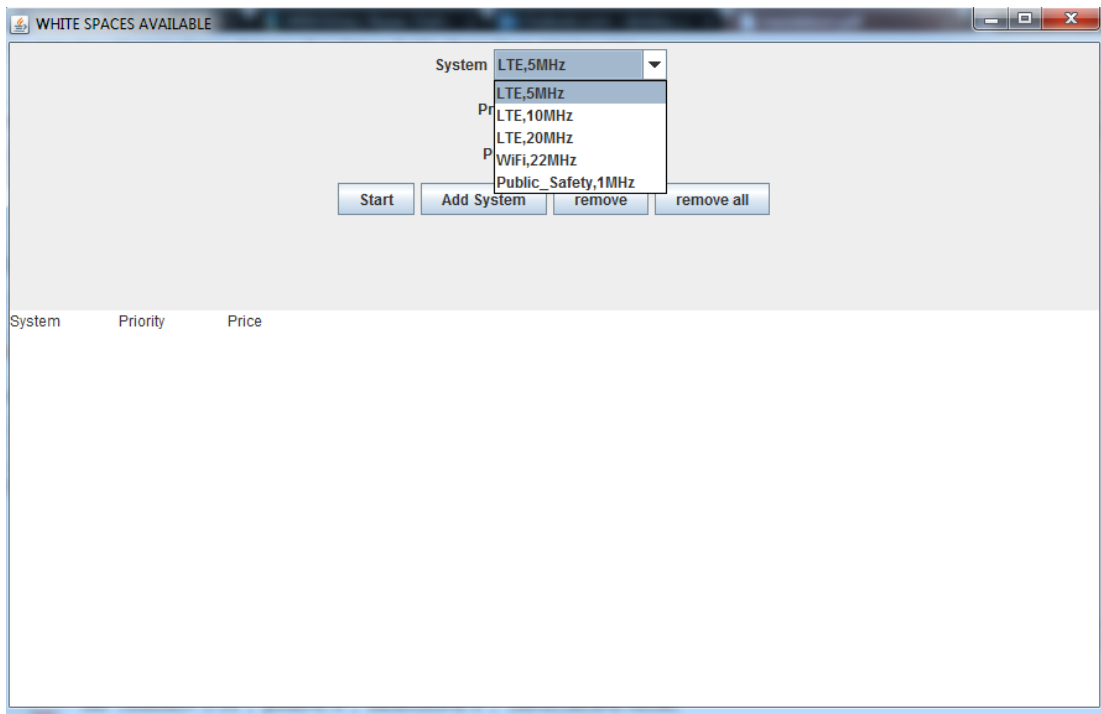
Αξιοποίηση φάσματος=BW αξιοποιημένη απ όλα τα συστήματα(σε MHz)/168 [1]

Επιπλέον ο κατακερματισμός του φάσματος (ή αποτέλεσμα κατακερματισμού) εκτιμήθηκε λαμβάνοντας υπόψη των αχρησιμοποίητων τμημάτων φάσματος καθώς και το μέγεθος του κάθε επιμέρους θραύσματος. Ο μαθηματικός τύπος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε έτσι ώστε να βρεθεί ο κατακερματισμός του φάσματος είναι ο εξής:

$$Z=1-[\Sigma fi^2-(\Sigma fi)^2][1]$$

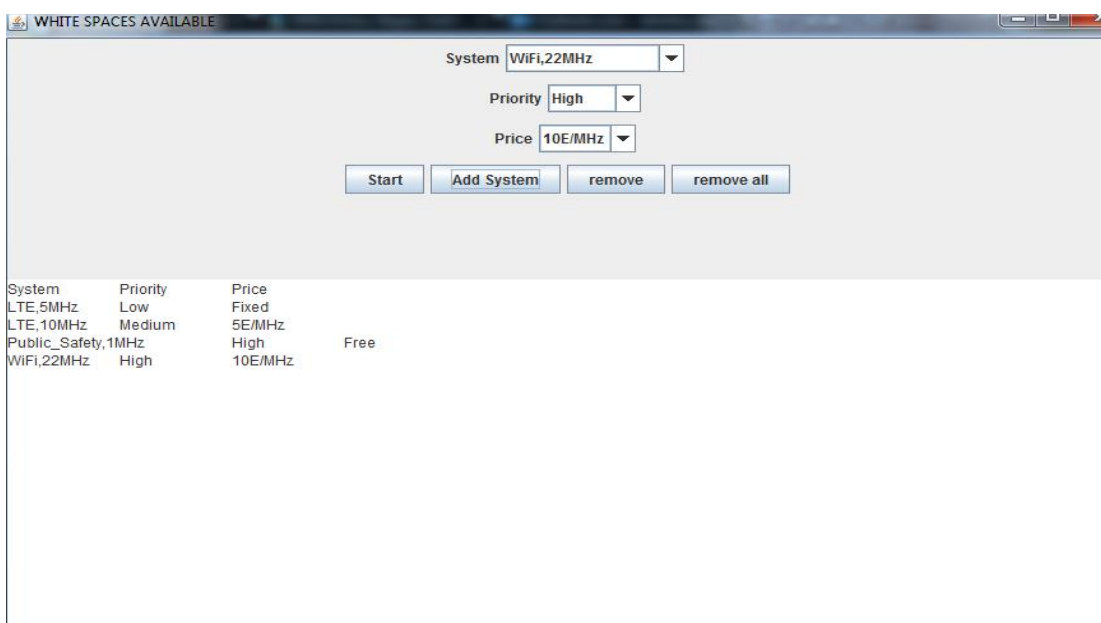
4.3 Εκτέλεση

Σ αυτό το σημείο θα παρουσιαστεί το πώς λειτουργεί ο κώδικας ο οποίος δημιουργήσαμε. Διαθέτουμε ένα αρχείο csv το οποίο μας παρέχει το φάσμα συχνοτήτων έχοντας κανάλια τα οποία είναι διαθέσιμα και μη διαθέσιμα. Το αρχείο αυτό διαβάζεται από τον κώδικά και αποθηκεύεται. Τρέχοντας τον κώδικα παρουσιάζεται το παρακάτω interface στο οποίο ο χρήστης δίνει τις επιλογές του, δηλαδή προσθέτει τα δευτερεύοντα συστήματα στα οποία θέλει να εκχωρηθεί το κατάλληλο φάσμα σύμφωνα με τις λειτουργικές απαιτήσεις του κάθε συστήματος.



Εικόνα 8:Interface

Ο χρήστης επιλέγει τα δευτερεύοντα συστήματα που επιθυμεί, την προτεραιότητα του κάθε συστήματος καθώς και τη τιμή. Στην προτεραιότητα υπάρχουν τρεις επιλογές Χαμηλή(low), μέτρια(media), υψηλή (high). Στην τιμή υπάρχουν οι επιλογές Free,Fixed Price, 5E/MHz,10E/MHz. Έχοντας κάνει την επιλογή για το πρώτο σύστημα πατώντας το κουμπί “add system” προσθέτει το επόμενο σύστημα , πατώντας το κουμπί “remove” μπορεί να αλλάξει την τελευταία του επιλογή, πατώντας το κουμπί “Remove all” διαγράφονται όλες οι επιλογές του χρήστη, ενώ πατώντας το κουμπί “start” ξεκινάει ο αλγόριθμος. Έχοντας κάνει τις επιλογές του ο χρήστης για κάθε «add system» που πατάει αποθηκεύονται οι επιλογές του στον πίνακα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 9:Interface and list

4.4 Σενάρια εκτέλεσης προσομοίωσης

Σε αυτό το σημείο θα παρουσιαστούν τα δευτερεύοντα συστήματα τα οποία επιλέχθηκαν στη φάση τις προσομοίωσης καθώς και οι λειτουργικές απαιτήσεις των συστημάτων αυτών.

Σενάριο1:

ΣΥΣΤΗΜΑ (SYSTEM)	ΙΣΧΥΣ(POWER)	ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ(BANDWIDTH)	ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ (PRIORITY)	ΤΙΜΗ (PRICE)
Wi-Fi	4Watt	22MHz	Medium	10E/MHz

Σενάριο2:

ΣΥΣΤΗΜΑ (SYSTEM)	ΙΣΧΥΣ(POWER)	ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ(BANDWIDTH)	ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ (PRIORITY)	ΤΙΜΗ (PRICE)
LTE 1	4Watt	5MHz	Medium	5E/MHz
LTE 2	4Watt	5MHz	High	10E/MHz
LTE 3	4Watt	10MHz	Medium	5E/MHz
Public Safety 1	4Watt	1MHz	High	Free

Σενάριο3:

ΣΥΣΤΗΜΑ (SYSTEM)	ΙΣΧΥΣ(POWER)	ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ(BANDWIDTH)	ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ (PRIORITY)	ΤΙΜΗ (PRICE)
LTE 1	4Watt	20MHz	Medium	5E/MHz
Wi-Fi 1	4Watt	22MHz	High	10E/MHz
LTE 2	4Watt	5MHz	High	10E/MHz
LTE 3	4Watt	5MHz	Medium	Fixed Price

Σενάριο4:

ΣΥΣΤΗΜΑ (SYSTEM)	ΙΣΧΥΣ(POWER)	ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ(BANDWIDTH)	ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ (PRIORITY)	ΤΙΜΗ (PRICE)
Public Safety 1	4Watt	1MHz	High	Free
Public Safety 2	4Watt	1MHz	High	Free
LTE 1	4Watt	5MHz	Medium	5E/MHz
LTE 2	4Watt	20MHz	High	10E/MHz
LTE 3	4Watt	20MHz	High	10E/MHz
LTE 4	4Watt	10MHz	Medium	Fixed Price
Wi-Fi 1	4Watt	22MHz	High	10E/MHz

Σενάριο 5:

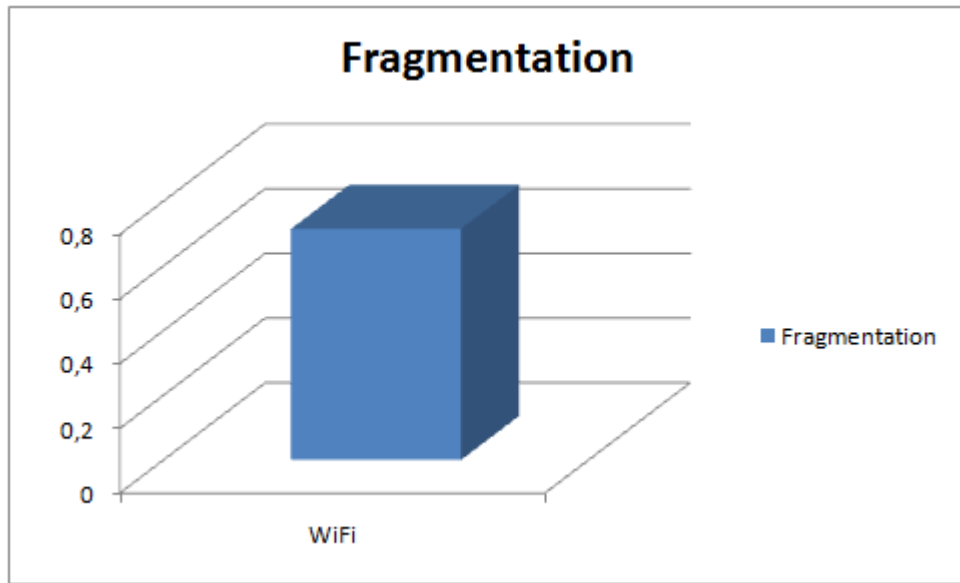
ΣΥΣΤΗΜΑ (SYSTEM)	ΙΣΧΥΣ(POWER)	ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ(BANDWIDTH)	ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ (PRIORITY)	ΤΙΜΗ (PRICE)
LTE 1	4Watt	20MHz	High	10E/MHz
LTE 2	4Watt	20MHz	Medium	Fixed Price
Wi-Fi 1	4Watt	22MHz	High	10E/MHz
Wi-Fi 2	4Watt	22MHz	High	10E/MHz
LTE 3	4Watt	20MHz	Medium	Free
Wi-Fi 3	4Watt	22MHz	High	Free
LTE 4	4Watt	20MHz	Medium	Free
Wi-Fi 4	4Watt	22MHz	High	Free
Wi-Fi 5	4Watt	22MHz	High	Free
LTE 5	4Watt	20MHz	Medium	Free
LTE 6	4Watt	20MHz	Medium	Free

4.5 Αποτελέσματα

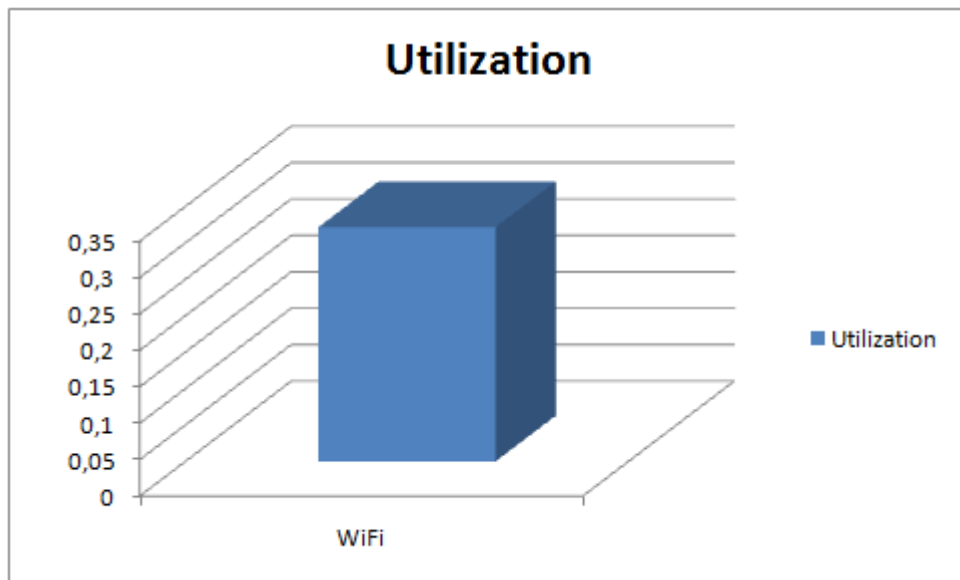
Σε αυτό το σημείο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα προσομοίωσης καθώς και οι γραφικές παραστάσεις των αποτελεσμάτων για κάθε ένα σενάριο.

Αποτελέσματα-Σενάριο1:

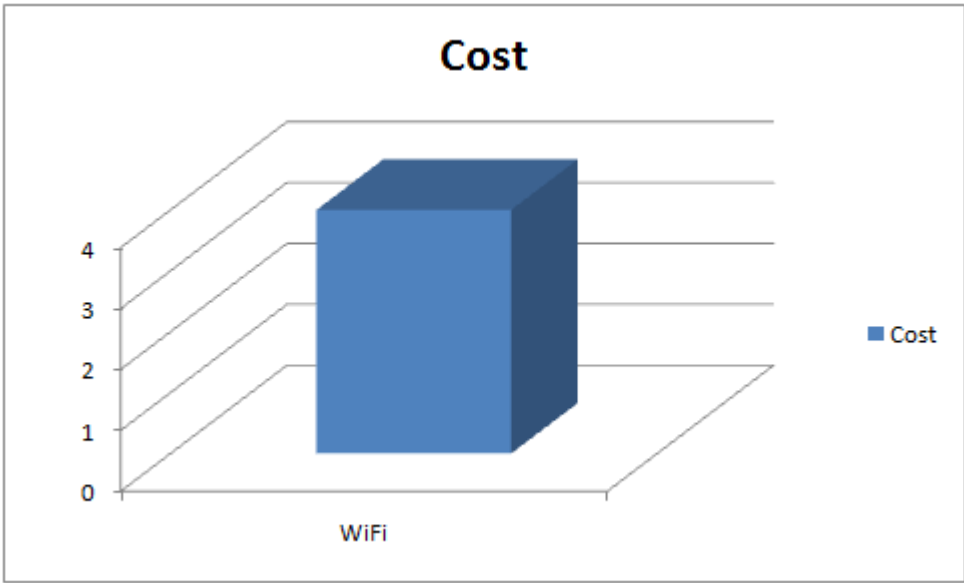
ΣΥΣΤΗΜΑ (System)	Χρησιμοποίηση δικτύου(utilization)	Κατακερματισμός φάσματος(fragmentation)	Επαναλήψεις(cost)	Χρόνος(elapsed time)
WiFi	0,3214	0,7141	4	7.20071055E8(nanosecond)



Εικόνα 10: Fragmenation-Scenario 1



Εικόνα 11: Utilization-Scenario1



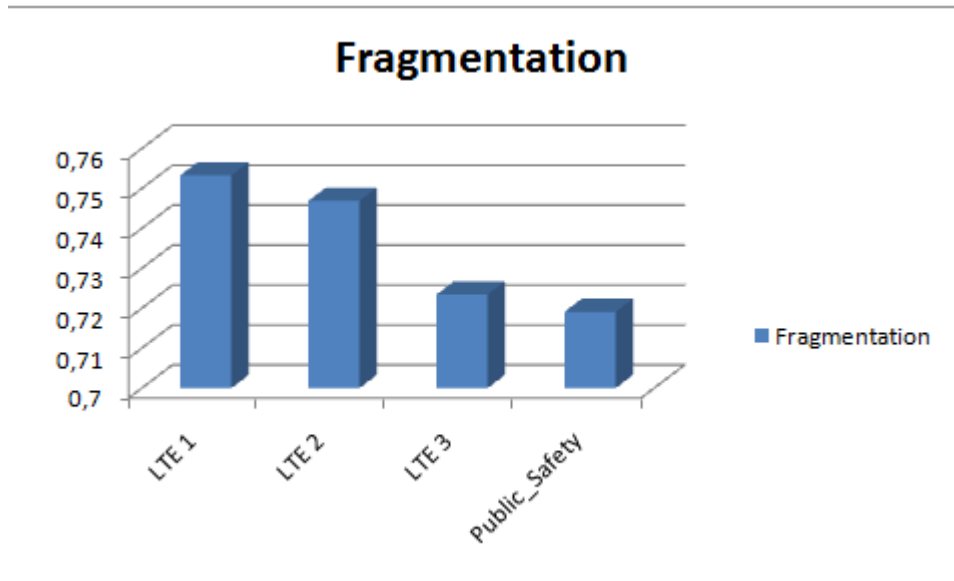
Εικόνα 12: Cost-Scenario 1



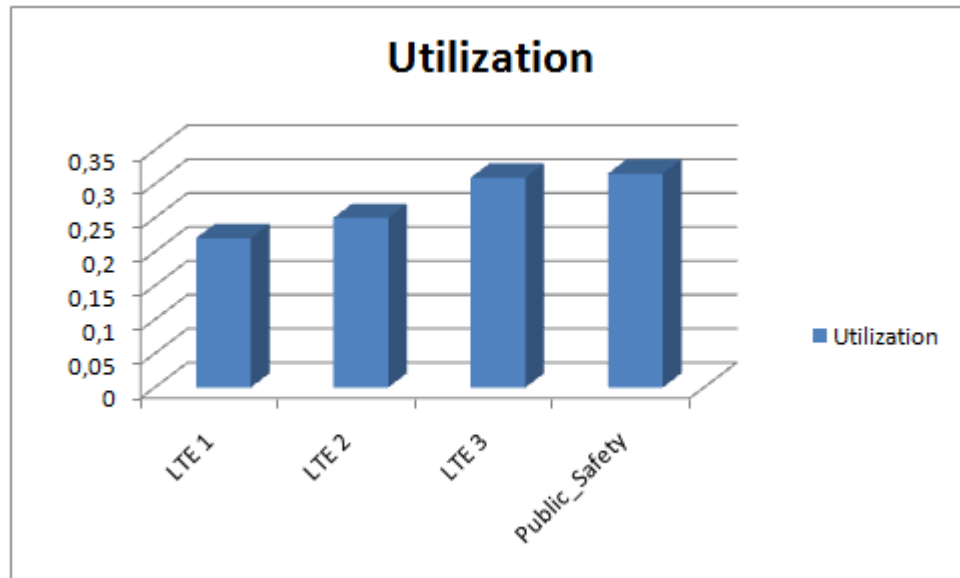
Εικόνα 13: Elapsed Time-Scenario 1

Αποτελέσματα-Σενάριο2:

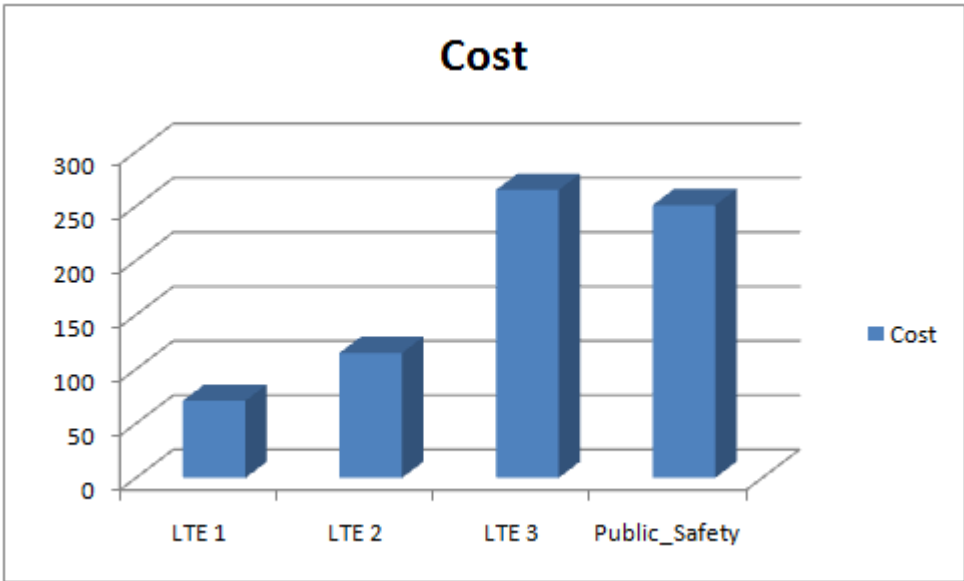
ΣΥΣΤΗΜΑ (System)	Χρησιμοποίηση δικτύου(utilization)	Κατακερματισμός φάσματος(fragmentation)	Επαναλήψεις(cost)	Χρόνος(elapsed time)
LTE 1	0,2202	0,7533	71	4.86907893E8ns
LTE 2	0,25	0,7469	115	2.09457213E8ns
LTE 3	0,3095	0,7234	265	2.86214745E8ns
Public Safety	0,3155	0,7191	251	1.38934167E8ns



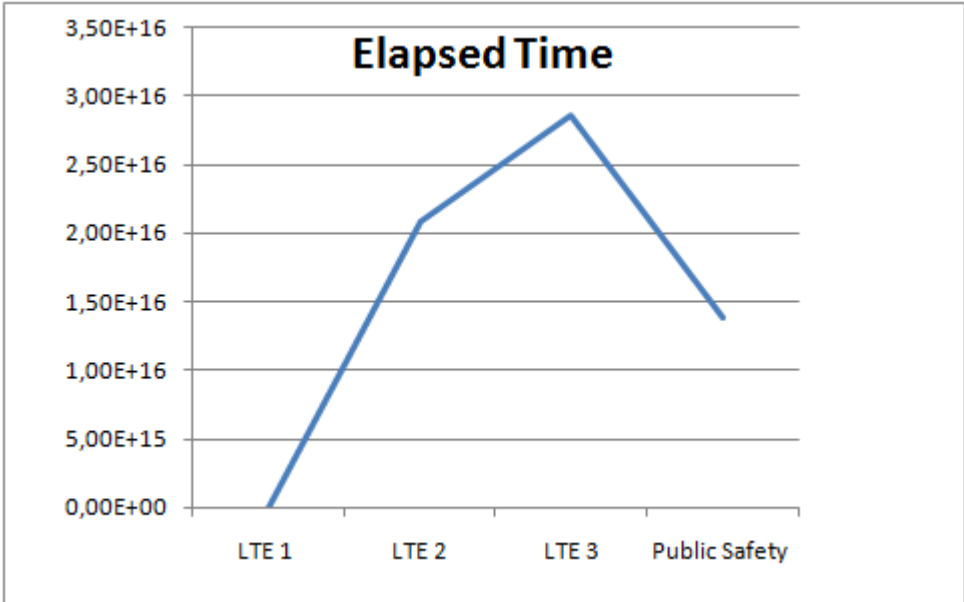
Εικόνα 14:Fragmentation-Scenario 2



Εικόνα 15:Utilization-Scenario 2



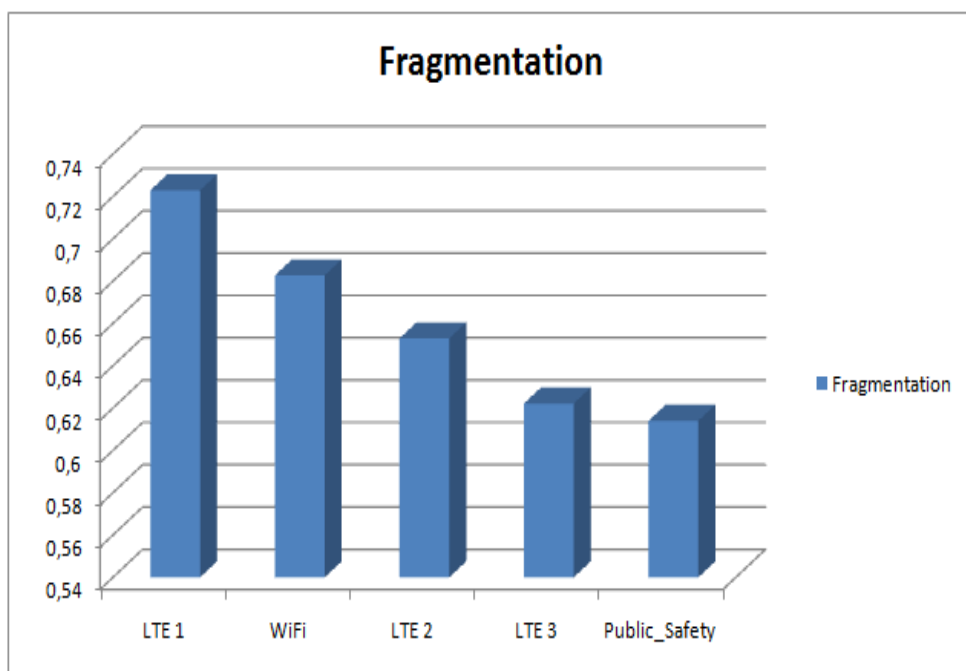
Εικόνα 16: Cost-Scenario 2



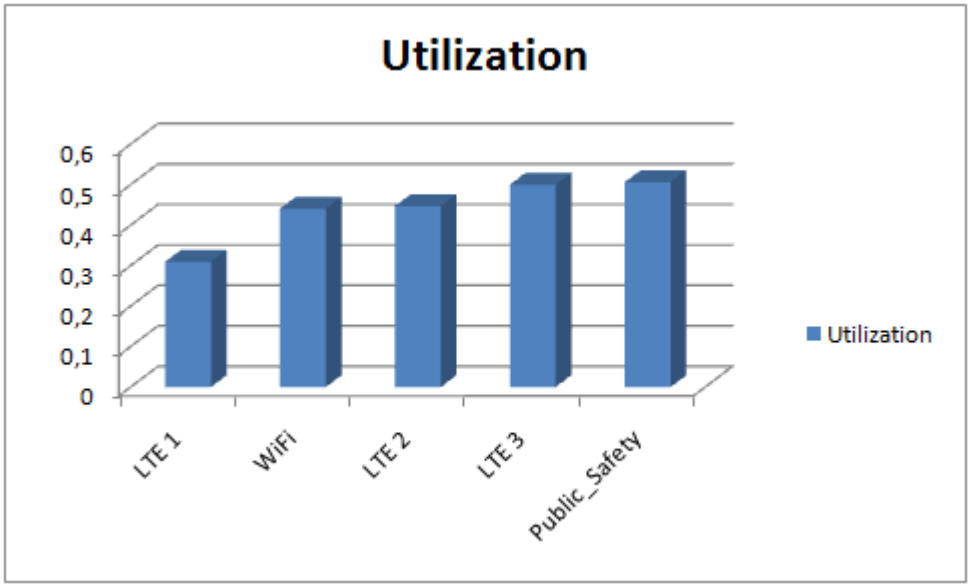
Εικόνα 17: Elapsed Time-Scenario 2

Αποτελέσματα-Σενάριο3:

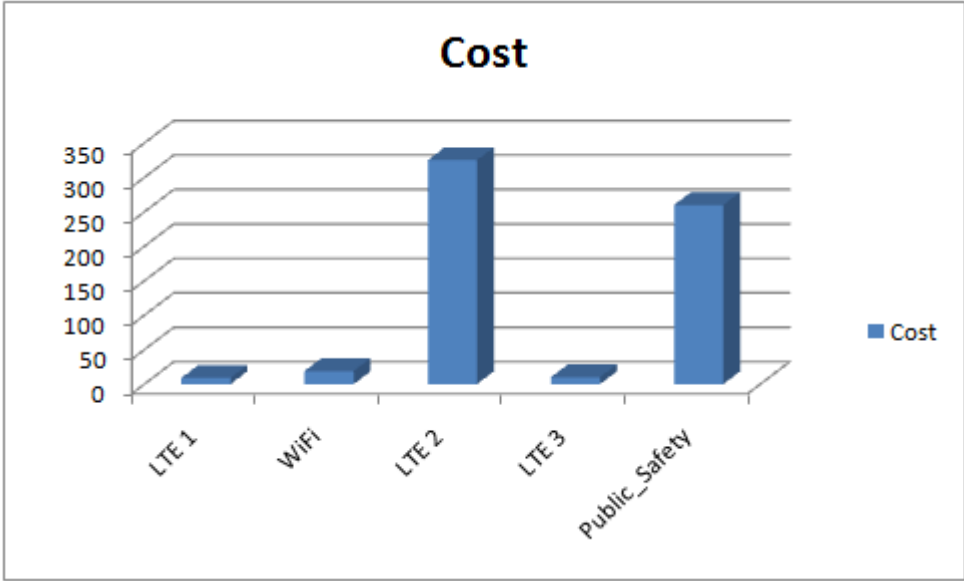
ΣΥΣΤΗΜΑ (System)	Χρησιμοποίηση δικτύου(utilization)	Κατακερματισμός φάσματος(fragmentation)	Επαναλήψεις(cost)	Χρόνος(elapsed time)
LTE 1	0,3095	0,7229	9	6.94750707E8ns
Wi-Fi	0,4405	0,6827	19	4.33905393E8ns
LTE 2	0,4702	0,6529	325	1.26933273E8ns
LTE 3	0,5	0,6222	10	1.49956516E8ns
Public Safety	0,506	0,614	260	9.6419454E7ns



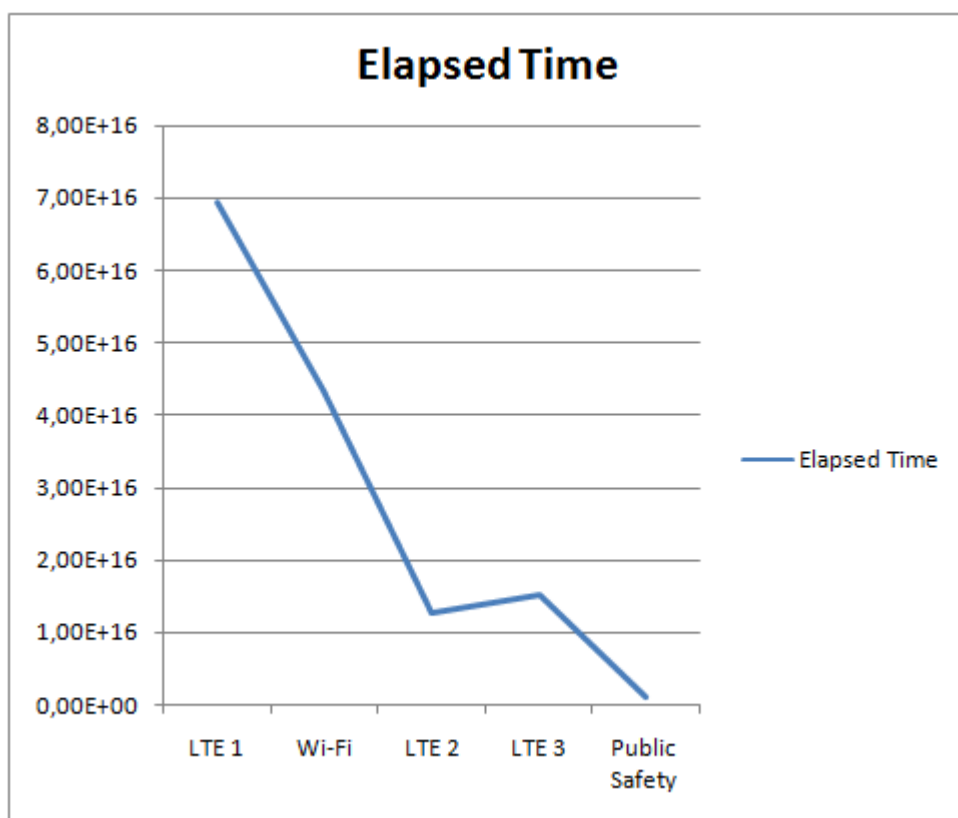
Εικόνα 18: fragmentation-Scenario 3



Εικόνα 19: Utilization-Scenario 3



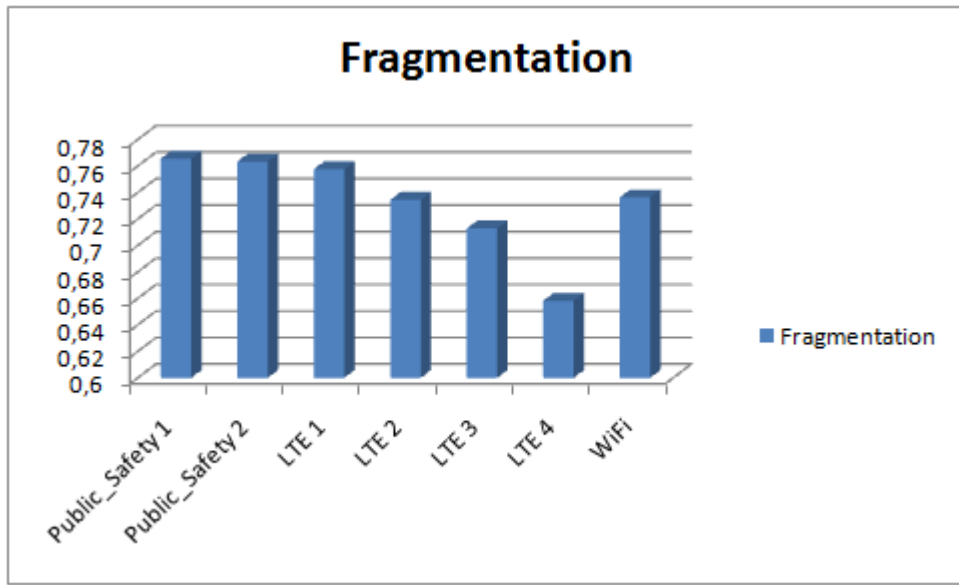
Εικόνα 20: Cost-Scenario 3



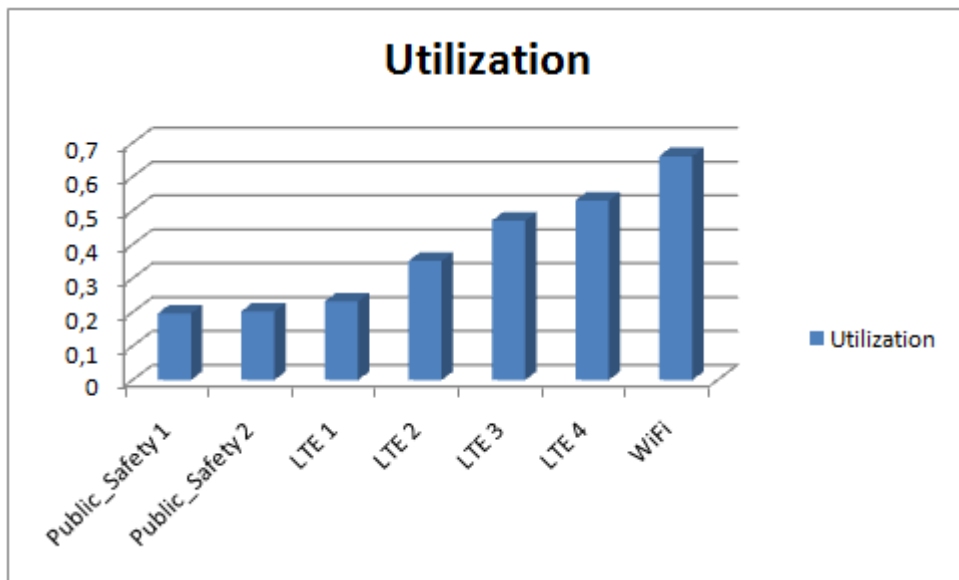
Εικόνα 21: Alapsed Time-Scenario3

Αποτελέσματα-Σενάριο4:

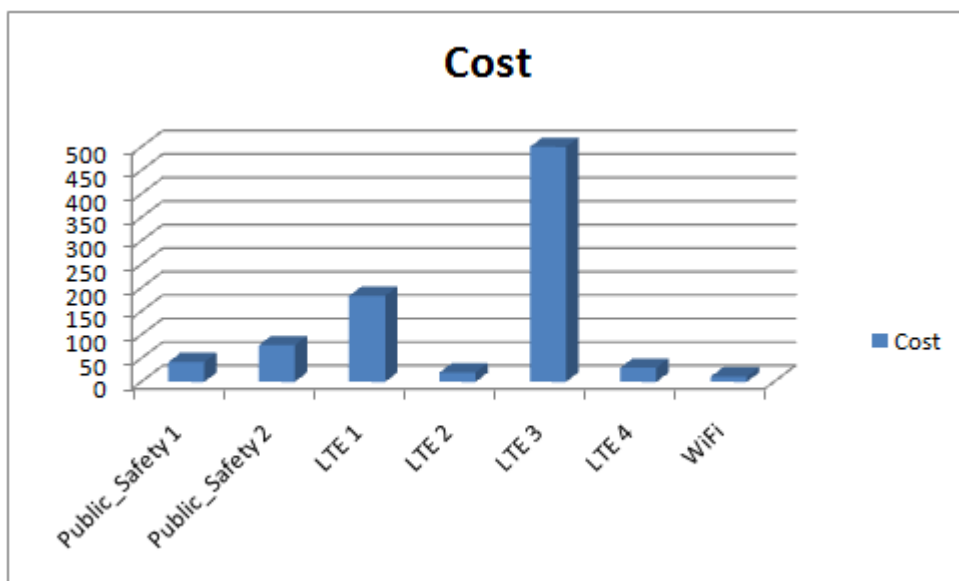
ΣΥΣΤΗΜΑ (System)	Χρησιμοποίηση δικτύου(utilization)	Κατακερματισμός φάσματος(fragmentation)	Επαναλήψεις(cost)	Χρόνος(elapsed time)
Public Safety 1	0,1964	0,7655	42	4.19616765E8 ns
Public Safety 2	0,2024	0,7633	78	1.67658226E8 ns
LTE 1	0,2321	0,7575	183	2.01481158E8 ns
LTE 2	0,3512	0,7344	20	3.73252575E8 ns
LTE 3	0,4702	0,7128	500	2.18843747E8 ns
LTE 4	0,5298	0,6582	30	1.09256998E8 ns
Wi-Fi	0,6607	0,7362	11	2.01786369E8 ns



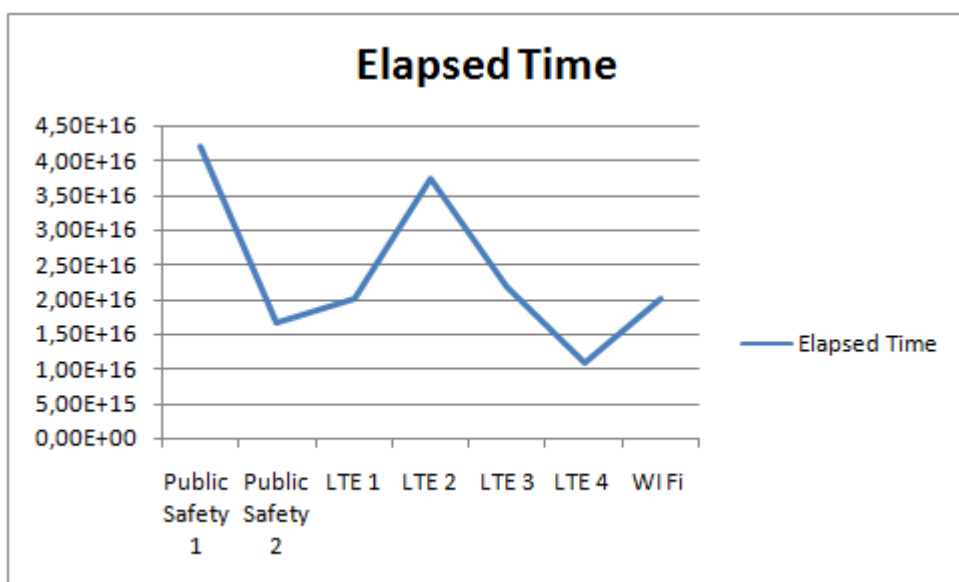
Εικόνα 22: Fragmentation-Scenario 4



Εικόνα 23: Utilization-Scenario4



Εικόνα 24: Cost-Scenario 4

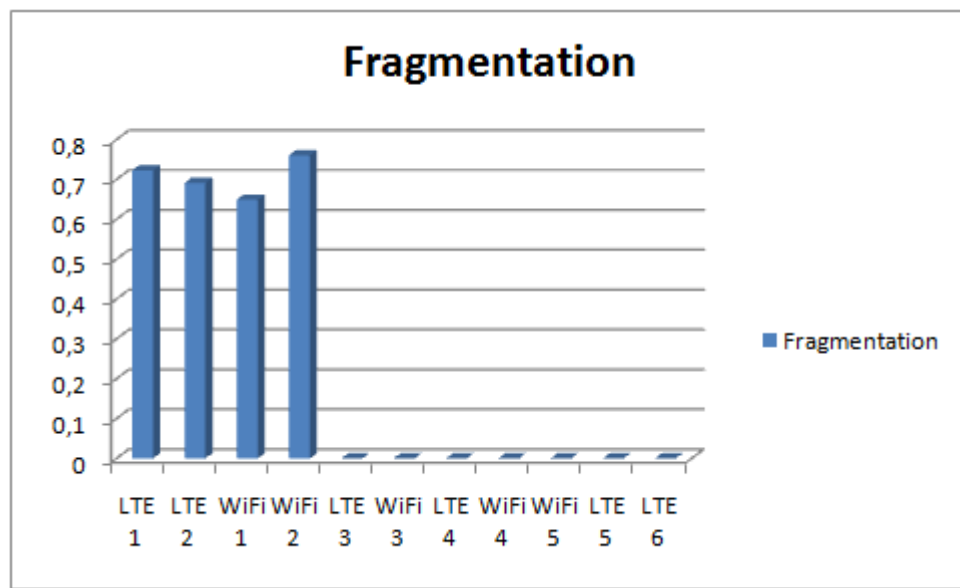


Εικόνα 25: Elapsed Time-Scenario 4

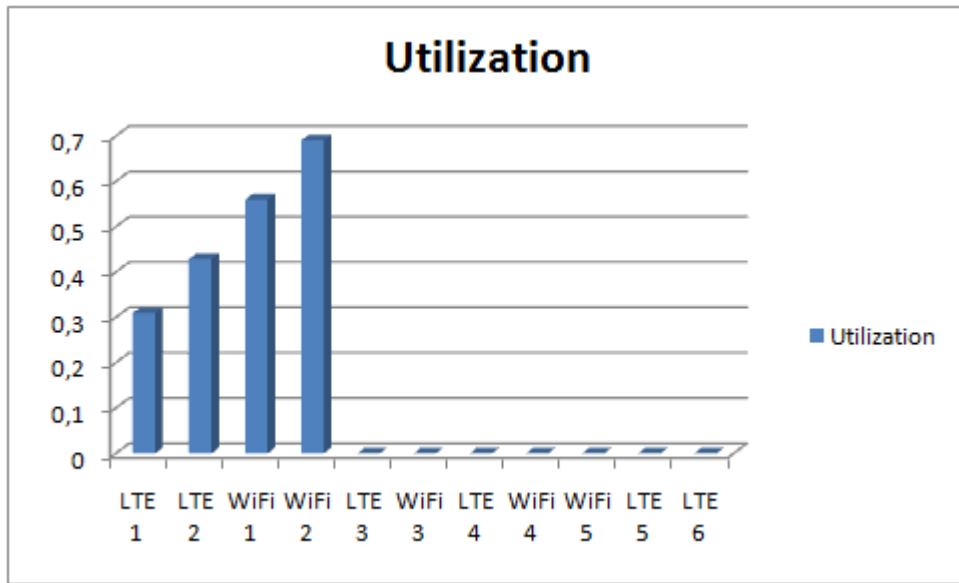
Αποτελέσματα-Σενάριο5:

ΣΥΣΤΗΜΑ (System)	Χρησιμοποίηση δικτύου(utilization)	Κατακερματισμός φάσματος(fragmentation)	Επαναλήψεις(cost)	Χρόνος(elapsed time)
LTE 1	0,3095	0,7229	88	7.65475442E8 ns
LTE 2	0,4286	0,691	53	4.16916285E8 ns
Wi-Fi 1	0,5595	0,6486	89	3.18566515E8 ns
Wi-Fi 2	0,6905	0,7604	12	2.26825601E8 ns
LTE 3	No Solution	No Solution	No Solution	No Solution
Wi-Fi 3	No Solution	No Solution	No Solution	No Solution

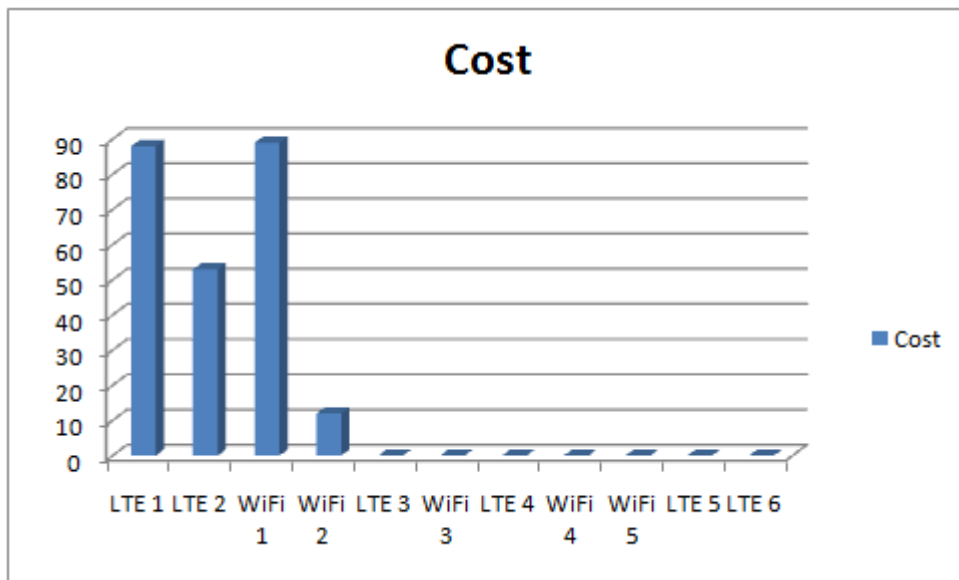
LTE 4	No Solution	No Solution	No Solution	No Solution
Wi-Fi 4	No Solution	No Solution	No Solution	No Solution
Wi-Fi 5	No Solution	No Solution	No Solution	No Solution
LTE 5	No Solution	No Solution	No Solution	No Solution
LTE 6	No Solution	No Solution	No Solution	No Solution



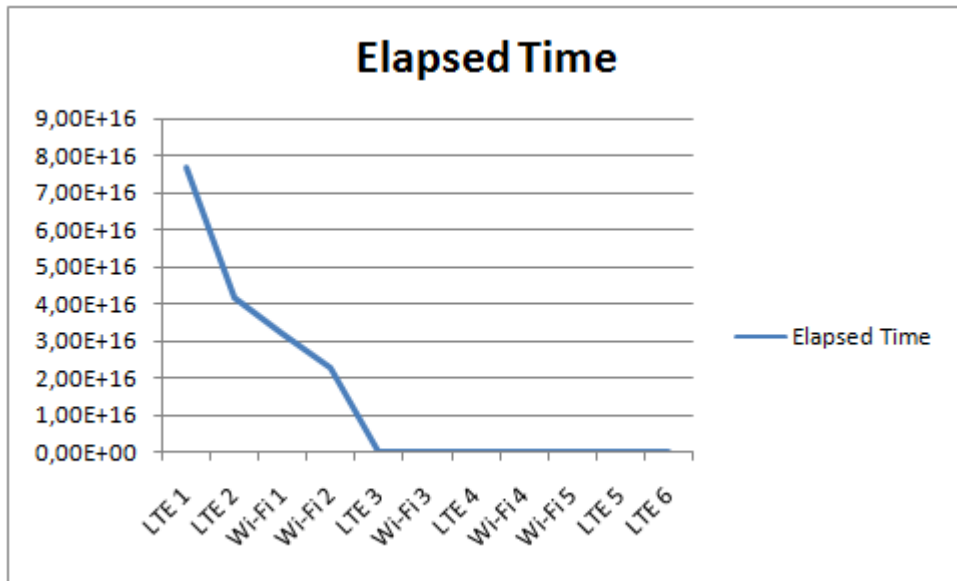
Εικόνα 26: Fragmentation-Scenario 5



Εικόνα 27: Utilization-Scenario 5



Εικόνα 28: Cost-Scenario 5



Εικόνα 29: Elapsed Time-Scenario5

4.6 Σύνοψη

Με βάση τα παραπάνω σενάρια και τα τελικά αποτελέσματα μετρήσεων μπορέσαμε να εξυπηρετήσουμε όλους του δευτερεύοντες χρήστες (Secondary Users) έχοντας το ελάχιστο δυνατό κατακερματισμό του φάσματος(Fragmentation) έτσι ώστε να μην μείνει κανένα «κομμάτι» του φάσματος ανεκμετάλλευτο και χωρίς να επηρεάζονται οι Πρωτεύοντες χρήστες(Primary Users) που στην περίπτωσή μας είναι η Ψηφιακή Τηλεόραση (DTV).

5. Επίλογος

5.1 Συμπεράσματα

Με βάση τη περιγραφείσα δοκιμή, διεξήχθησαν τα παραπάνω σενάρια προς εκτίμηση του μέγιστου αριθμού δευτερευόντων συστημάτων (SS-Secondary Systems) τα οποία μπορούν να φιλοξενηθούν αποτελεσματικά στο πλαίσιο της πολιτικής του μοντέλου συνεκμετάλλευσης (RTSSM), καθώς και για την αξιολόγηση της συνολικής αποδοχής σε σχέση με τον αριθμό των πιθανών λύσεων αποδοχής που διερευνούνται προτού φτάσουν στην καλύτερη αντιστοίχιση, την αξιοποίηση του φάσματος και το μικρότερο κατακερματισμό του φάσματος όταν εφαρμόζεται η καλύτερη λύση.

Κατά τη διάρκεια αυτών των πειραμάτων αξιολόγησης της απόδοσης τα δευτερεύοντα συστήματα (SS-Secondary Users) έχουν πρόσβαση στα διαθέσιμα τηλεοπτικά λευκά κανάλια φάσματος (TVWS) με ένα διαδοχικό τρόπο και όχι ταυτόχρονα, δηλαδή για κάθε μία προσομοίωση ένα επιπλέον δευτερεύον σύστημα έχει πρόσβαση στο φάσμα, αφού έχει ζητήσει πρόσβαση σε ένα διαθέσιμο στη δεδομένη χρονική στιγμή τηλεοπτικό λευκό κανάλι φάσματος. Αυτό σημαίνει ότι κάθε φορά που σε ένα δευτερεύον σύστημα (SS-Secondary System) έχει εκχωρηθεί το ζητούμενο φάσμα η «Αποθήκη Πληρότητας» ενημερώνει τα στοιχεία της με το νέο σύστημα κατανομής φάσματος, το οποίο με τη σειρά του θα πρέπει να χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της επόμενης δοκιμής προσομοίωσης.

Στη πτυχιακή αυτή διαπραγματευτήκαμε το σχεδιασμό και την υλοποίηση της αρχιτεκτονικής ενός πρωτότυπου συστήματος που επιτρέπει την εκμετάλλευση των τηλεοπτικών λευκών καναλιών φάσματος (TVWS) από δευτερεύοντα συστήματα (SS-Secondary Systems) σε πραγματικό χρόνο. Περιέγραψε ένα δίκτυο όπου η δυναμική κατανομή των τηλεοπτικών λευκών καναλιών φάσματος (TVWS) των δευτερευόντων συστημάτων (SS-Secondary Systems) συντονίζεται από ένα μεσίτη φάσματος, ο οποίος επίσης διαχειρίζεται τα οικονομικά στοιχεία αυτών των συναλλαγών χρησιμοποιώντας διάφορες τιμές και πολιτικές που βασίζονται σε δημοπρασίες.

Για την αποτελεσματική απόδοση του συστήματος ως θέμα μέγιστης δυνατής εκμετάλλευσης εσόδων συναλλαγών, η πτυχιακή διευκρινίζει τη μελέτη και την ανάπτυξη ενός πρότυπου μηχανισμού στο πλευρό του μεσίτη του φάσματος ο οποίος βασίζεται στον αλγόριθμο προσομοιωμένης απόψησης (Simulated Annealing) για την απόκτηση της καλύτερης λύσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την εγκυρότητα της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής τα οποία αφορούσαν τη μέγιστη αξιοποίηση του φάσματος και τον ελάχιστο κατακερματισμό του.

6. Βιβλιογραφία

- [1] http://www.icsd.aegean.gr/website_files/diplomatikes/phd/323395341.pdf
- [2] <http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/epp/2010/KatsidakiMarina/attached-document-1283846457-720059-17737/Katsirdaki2010.pdf>
- [3] <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/6940/1/PD2014-0023.pdf>
- [4] http://santos.ee.ntu.edu.tw/papers/Cognitive_radio_network_architecture_part_I_general_structure.pdf
- [5] http://www.researchgate.net/publication/232807655_A_radio_resource_management_framework_for_TVWS_exploitation_under_the_RTSSM_policy
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Simulated_annealing
- [8] http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2004-0168/DT2004-0168.pdf
- [9] <http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/epp/2012/KarditsisIlias/attached-document-1331909567-259109-17272/Karditsis2012.pdf>
- [10] file:///C:/Users/user/Downloads/Elsevier_Camera%20Ready_vFinal.pdf
- [11] <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=788210>
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Cognitive_radio
- [13] http://www.researchgate.net/publication/232807667_A_radio_resource_management_framework_for_opportunistic_TVWS_access
- [14] http://artint.info/html/ArtInt_89.html
- [15] <http://www.theprojectspot.com/tutorial-post/simulated-annealing-algorithm-for-beginners/6>
- [16] http://www.researchgate.net/publication/232807661_A_spectrum_aware_routing_protocol_for_public_safety_applications_over_cognitive_radio_networks
- [17] [http://en.wikipedia.org/wiki/White_spaces_\(radio\)](http://en.wikipedia.org/wiki/White_spaces_(radio))
- [18] http://download.springer.com/static/pdf/770/chp%253A10.1007%252F1-4020-4711-8_9.pdf?auth66=1411720415_683155ce9f481a171d004a00efcb6832&ext=.pdf

