



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών

Τίτλος

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΚΧΩΡΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΣΤΗ ΖΩΝΗ UHF
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ ΜΠΙΝΤΕΡΗ

Επιβλέπων : Χρήστος Καψάλης,

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τίτλος

ΜΕΛΕΤΗ ΕΚΧΩΡΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΣΤΗ ΖΩΝΗ UHF ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ ΜΠΙΝΤΕΡΗ

Επιβλέπων : Χρήστος Καψάλης,

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την [λείπει ημερομηνία].

.....

X. Καψάλη

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Γ. Φικίωρη

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

A. Παναγόπουλου

Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2012

.....
ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΜΠΙΝΤΕΡΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Μπιντέρης Ευάγγελος 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Ευχαριστίες

Με μεγάλη χαρά εκφράζω την ευγνωμοσύνη μου στους ανθρώπους, οι οποίοι συνέβαλαν σημαντικά και με διάφορους τρόπους στην δημιουργία αυτής της διπλωματικής.

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή μου κ. Καψάλη Χρήστο, ο οποίος μου επιστεύθηκε την ανάθεση αυτής της εργασίας και πρόσφερε την πολύτιμη βοήθειά του για την ολοκλήρωσή της.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον υποψήφιο διδάκτορα του ΕΜΠ και καλό μου φίλο κύριο Νικόλαο Καψάλη για τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε και για την άριστη συνεργασία μας.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου για την διαρκή τους υποστήριξη, ενθάρρυνση και υπομονή καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αφιερώνεται στην μητέρα μου

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη του προβλήματος εκχώρησης συχνοτήτων, Frequency Assignment Problem (FAP). Για τη μελέτη του προβλήματος αυτού αναπτύχθηκε ένα εργαλείο προσομοίωσης που πραγματοποιεί κατανομή φασματικών πόρων σε ασύρματα κυψελωτά ευρυζωνικά δίκτυα που προορίζονται να λειτουργήσουν στη ζώνη συχνοτήτων UHF (300 MHz – 3GHz). Το πρόβλημα εκχώρησης συχνοτήτων αντιμετωπίζεται ως πρόβλημα βελτιστοποίησης όπου για την επίλυσή του χρησιμοποιήθηκαν γενετικοί αλγόριθμοι.

Συγκεκριμένα, μελετήσαμε το πρόβλημα ελάχιστου εύρους εκχώρησης συχνοτήτων Minimum Span Frequency Assignment Problem (MSFAP) στο πρόβλημα της Φιλαδέλφεια. Με τη χρήση των γενετικών αλγορίθμων επιδιώξαμε τη βέλτιστη κατανομή συχνοτήτων στο κυψελωτό ασύρματο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με την ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση του χρησιμοποιούμενου εύρους συχνοτήτων.

Στο παρόν σύγγραμμα ασχοληθήκαμε με διάφορες περιπτώσεις του προβλήματος της Φιλαδέλφεια ανάλογα με την απαιτούμενη ζήτηση φασματικών πόρων. Εργαστήκαμε, επίσης, και με περιπτώσεις όπου το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων βρίσκεται εντός του Ψηφιακού Μερίσματος. Στη συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων (790 – 862Mhz) συνυπάρχουν συστήματα κινητής τηλεφωνίας καθώς και η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (DVB-T). Η παρεμβολή της ψηφιακής τηλεόρασης στο σύστημα κινητής τηλεφωνίας δυσχέρηνε ακόμα περισσότερο την εύρεση βέλτιστης κατανομής ελάχιστου εύρους συχνοτήτων.

Λέξεις Κλειδιά: γενετικοί αλγόριθμοι, κυψελωτά δίκτυα, Matlab, COST 259, GSM, επαναχρησιμοποίηση συχνότητας, ψηφιακή τηλεόραση, πρόβλημα εκχώρησης συχνοτήτων, παρεμβολή, πρόβλημα Φιλαδέλφεια.

Abstract

The purpose of this thesis is to study the Frequency Assignment Problem FAP. To study this problem, developed a simulation tool that performs spectral resource allocation in wireless cellular broadband networks destined to operate in the frequency band UHF (300 MHz - 3GHz). The frequency assignment problem is treated as optimization problem to solve which were used genetic algorithms.

Specifically, we study the Minimum Span Frequency Assignment Problem (MSFAP) in Philadelphia. Using genetic algorithms to the most optimal frequency allocation in cellular mobile wireless network by simultaneously minimizing the bandwidth used.

In this study we dealt with several instances of the Philadelphia's problem according to the required demand of spectral resources. We worked also with instances in which the available spectrum is within the Digital Dividend. In this frequency band (790 - 862Mhz) coexist mobile systems and terrestrial digital TV (DVB-T). The interference of digital television in the mobile system makes more difficult finding optimal minimum bandwidth allocation.

Keywords: genetic algorithms, cellular networks, Matlab, COST 259, GSM, frequency reuse, DVB, frequency assignment problem, interference, Philadelphia problem.

Περιέχομενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	19
2	ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ.....	22
2.1	ΘΕΩΡΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ	22
2.2	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	23
2.3	ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ	24
2.4	ΔΟΜΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ	26
2.5	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ	28
2.6	Ο Γενετικός Αλγόριθμος του MATLAB.....	30
2.6.1	Γενικά για το MATLAB.....	30
3	COST 259	38
3.1	Εισαγωγή.....	38
3.2	Σενάρια του COST 259	39
3.3	Αποτελέσματα Σεναρίων.....	41
3.4	Συμπεράσματα.....	43
4	GSM.....	44
4.1	ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ GSM.....	44

4.2	ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	44
4.3	ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	46
4.4	Τεχνικά Χαρακτηριστικά του GSM 900	50
5	Ψηφιακή τηλεόραση.....	53
5.1	Εισαγωγή.....	53
5.2	Πλεονεκτήματα μετάβασης στη ψηφιακή τηλεόραση	53
5.3	DVB.....	55
5.4	Το πρότυπο DVB-T	56
5.4.1	Επίγεια ψηφιακή τηλεόρασης DTT	56
5.5	Ζώνη Συχνοτήτων Τηλεόρασης	57
5.6	Ψηφιακό Μέρισμα.....	58
5.7	Διεθνής δραστηριότητες ως προς το Ψηφιακό Μέρισμα	59
5.8	Προτεινόμενο Σχέδιο για την Ελλάδα.....	60
6	Το πρόβλημα εκχώρησης συχνοτήτων FAP	62
6.1	Εισαγωγή.....	62
6.2	MSFAP.....	66
6.3	Παρεμβολή και Περιορισμοί.....	67
6.4	Το πρόβλημα της Φιλαδέλφεια	68
7	Πειραματική Διαδικασία και Αποτελέσματα	71
7.1	Συνάρτησης Καταλληλότητας.....	71
7.2	Χρήση Γενετικού Αλγορίθμου	72
7.3	MSFAP της Φιλαδέλφειας	73

7.4	Αποτελέσματα MSFAP της Φιλαδέλφειας.....	74
7.4.1	Περίπτωση P4.....	74
7.4.2	Περίπτωση P6.....	82
7.5	MSFAP της Φιλαδέλφειας με παρεμβολές.....	88
7.6	Συνάρτησης Καταλληλότητας.....	89
7.7	Αποτελέσματα MSFAP της Φιλαδέλφειας με παρεμβολές.....	89
7.7.1	Περίπτωση P4 με παρεμβολές (11-20).....	89
7.7.2	Περίπτωση P6 με παρεμβολές (11-20).....	92
7.7.3	Περίπτωση P6 με παρεμβολές (11-20).....	94
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	98
9	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	100
9.1	ΟΙ ΚΛΑΣΕΙΣ P ΚΑΙ NP	100
10	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106

1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την πάροδο των χρόνων αναπτύσσεται όλο ένα και με γρηγορότερους ρυθμούς η τεχνολογία. Ένα από τα βασικά εργαλεία της είναι η χρήση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος το οποίο ορίζουμε ως το εύρος όλων των πιθανών συχνοτήτων που μπορεί να λάβει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων αποτελεί σπάνιο πόρο, η διαχείριση του οποίου συνιστά κυριαρχικό δικαίωμα του κράτους, καθώς και δημόσιο αγαθό με σημαντική κοινωνική, πολιτιστική και οικονομική αξία. Ο σύγχρονος άνθρωπος χρησιμοποιεί καθημερινά πολλές υπηρεσίες και τεχνολογικά μέσα, όπως το κινητό τηλέφωνο και η τηλεόραση, που απαιτούν φάσμα για να πραγματοποιηθούν.

Η επικοινωνία των ανθρώπων στις μέρες μας θεωρείται αυτονόητη. Η κινητή τηλεφωνία έχει μπει για τα καλά στη ζωή μας τις τελευταίες δεκαετίες. Κάθε άνθρωπος στις περισσότερες χώρες έχει τουλάχιστον ένα κινητό τηλέφωνο. Η κινητή τηλεφωνία καθώς και πλήθος υπηρεσιών που την ακολουθούν απαιτούν αρκετά μεγάλο φάσμα.

Από την άλλη πλευρά έρχεται μια οικιακή συσκευή που συναντάμε σε κάθε σπίτι. Η τηλεόραση καθ' όλη τη διάρκεια της ύπαρξής της έχει περάσει από διάφορα στάδια. Ξεκίνησε ασπρόμαυρη, στη συνέχεια έγινε έγχρωμη και τώρα βρίσκεται στο στάδιο της μετάβασης στην ψηφιακή εποχή. Η ψηφιακή τηλεόραση προσφέρει καλύτερη ποιότητα εικόνας και πλήθος νέων υπηρεσιών. Με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών συμπίεσης και κωδικοποίησης έγινε εφικτή η πολυπλεξία τηλεοπτικών προγραμμάτων σε ένα μόνο δίαυλο, όσο δηλαδή καταλάμβανε ένα τηλεοπτικό πρόγραμμα στην αναλογική τηλεόραση. Το εύρος φάσματος που απελευθερώνεται από την ψηφιακή μετάβαση ονομάζεται ψηφιακό μέρισμα και για την αξιοποίηση του έχουν γίνει πολλές συζητήσεις και μελέτες.

Στην παρούσα εργασία μελετάται η βέλτιστη χρήση του φάσματος στην κινητή τηλεφωνία. Στην συνέχεια εξετάζουμε το ίδιο πρόβλημα σε περιπτώσεις συνύπαρξης της κινητής τηλεφωνίας με την ψηφιακή τηλεόραση.

Η διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας σε κεφάλαια είναι η εξής:

Κεφάλαιο 1:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους γενετικούς αλγορίθμους. Ύστερα από μια μικρή ιστορική αναδρομή εξηγούνται αναλυτικά η ορολογία, η δομή και τα πλεονεκτήματα των γενετικών αλγορίθμων. Αναφέρεται και στους γενετικούς αλγορίθμους της Matlab που χρησιμοποιήσαμε.

Κεφάλαιο 2:

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στο ερευνητικό πρόγραμμα COST 259. Παρουσιάζονται τα διαθέσιμα σενάρια και τα αποτελέσματα τους

Κεφάλαιο 3:

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στο GSM και στα κυψελωτά δίκτυα. Παρουσιάζονται και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του GSM 900.

Κεφάλαιο 4:

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση και στο ψηφιακό μέρισμα. Παρουσιάζεται επίσης και ένα προτεινόμενο σχέδιο για τη χρήση του ψηφιακού μερίσματος.

Κεφάλαιο 5:

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στο πρόβλημα εκχώρησης συχνοτήτων σε θεωρητικό και μαθηματικό επίπεδο. Παρουσιάζεται και το πρόβλημα της Φιλαδέλφεια με όλες τις περιπτώσεις του.

Κεφάλαιο 6:

Το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται στη πειραματική διαδικασία που ακολουθήσαμε. Παρουσιάζει τα αποτελέσματα από τις λύσεις διάφορων περιπτώσεων του προβλήματος εκχώρησης συχνοτήτων.

2

ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

2.1 ΘΕΩΡΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ

Η θεωρία της Εξέλιξης των Ειδών (Evolution of Species) αναπτύχθηκε από τον Δαρβίνο στα μέσα του 19ου αιώνα. Η θεωρία πυροδότησε δημόσια διαμάχη καθώς και πλήθος αντιδράσεων αφού ερχόταν σε σύγκρουση με τις θρησκευτικές αντιλήψεις της εποχής περί προέλευση ζωής. Στις δεκαετίες που ακολούθησαν έδωσε απαντήσεις σε πολλά θεμελιώδη ζητήματα όπως το φαινόμενο της ζωής, την προέλευση και τη λειτουργία της. Παρόλα αυτά ακόμα και σήμερα υπάρχουν άνθρωποι που δεν την αποδέχονται.

Τα κύρια σημεία της εξέλιξης των ειδών είναι:

1. Σε κάθε βιολογικό είδος δεν υπάρχει διαχωρισμός σε ανώτερο και κατώτερο οργανισμό. Το πλήθος των απογόνων και τα κληροδοτούμενα χαρακτηριστικά τους είναι οι παράγοντες που καθορίζουν την επιβίωση και τον πολλαπλασιασμό τους στις εκάστοτε συνθήκες διαβίωσης.
2. Με τον όρο χρωμοσώματα εννοούμε πολύπλοκα οργανικά μόρια που κωδικοποιούν τα χαρακτηριστικά και τη δομή των οργανισμών. Το σύνολο της γενετικής πληροφορίας (γονότυπος) είναι κωδικοποιημένο στα γονίδια που είναι μέρη των χρωμοσωμάτων. Η δημιουργία ενός νέου ατόμου είναι η αποκωδικοποίηση των χρωμοσωμάτων.
3. Οι κύριες λειτουργίες της εξέλιξης είναι η αναπαραγωγή (reproduction) και η μετάλλαξη (mutation). Με τον όρο μετάλλαξη εννοούμε την τυχαία αλλαγή

της δομής των χρωμοσωμάτων που έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή κάποιου χαρακτηριστικού. Η μετάλλαξη μπορεί να προκαλέσει βελτίωση κάποιου χαρακτηριστικού, το οποίο αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την εξέλιξη της ζωής.

4. Τα χρωμοσώματα κάθε νέου οργανισμού προέρχονται τα μισά από τον πατέρα και τα άλλα μισά από την μητέρα. Για κάθε χαρακτηριστικό το άτομο έχει πάρει ένα γονίδιο από κάθε γονέα. Στην περίπτωση που οι “τιμές” των γονιδίων συμφωνούν τότε το χαρακτηριστικό παίρνει τη συγκεκριμένη “τιμή”. Στην δεύτερη περίπτωση όπου οι “τιμές” των γονιδίων διαφέρουν τότε το ένα γονίδιο ονομάζεται κυρίαρχο ή επικρατές (dominant) και το άλλο υπολειπόμενο (recessive). Το χαρακτηριστικό παίρνει την τιμή του κυρίαρχου γονιδίου.

2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η θεωρία της εξέλιξης και ο μηχανισμός της φυσικής επιλογής φάνηκε ιδιαίτερα ελκυστικός από την δεκαετία του 50 όπου διάφοροι βιολόγοι χρησιμοποίησαν υπολογιστές στη λύση πολύπλοκων βιολογικών συστημάτων. Στις αρχές του 70 ο John Holland και οι συνεργάτες του στο πανεπιστήμιο του Michigan σκέφτηκαν ότι με τη χρήση ορισμένων λειτουργιών της φύσης θα μπορούσαν να επιλύσουν αποδοτικά δύσκολα προβλήματα. Έτσι ασχολήθηκαν συστηματικά με την ανάπτυξη Γενετικών Αλγορίθμων.

Ο Bagley (1967) με την διδακτορική του διατριβή ουσιαστικά «βαφτίζει» τους γενετικούς αλγόριθμους.

Ο Rosenberg (1967) δημοσιεύει εργασία, στην οποία γίνεται λόγος για προσομοίωση πληθυσμών μονοκύτταρων οργανισμών σε υπολογιστικό περιβάλλον.

Ο Holland (1975) εκδίδει το βιβλίο "Προσαρμογή στα Φυσικά και Τεχνητά συστήματα", στο οποίο αναπτύσσει τις ιδέες και την θεωρία των ΓΑ. Το βιβλίο θεωρείται πλέον κλασικό για τον χώρο. Θίγονται θέματα όπως η θεωρία των σχημάτων, η βέλτιστη κατανομή των ευκαιριών, σχέδια αναπαραγωγής, γενετικές λειτουργίες, η ευρωστία των ΓΑ και πλήθος άλλα.

Ο De Jong (1975) με την εργασία που εκδίδει βοηθά την πειραματική αξιολόγηση των ΓΑ. Σύμφωνα με αυτήν, προτείνονται λειτουργίες που ελέγχουν έναν ΓΑ και την ικανότητά του να αντιμετωπίζει δύσκολα προβλήματα.

Ο Grefenstette (1980) δημιουργεί το GENESIS, ένα σύστημα ανάπτυξης ΓΑ υλοποιημένο στη γλώσσα προγραμματισμού C, που έχει βοηθήσει σημαντικά στη διάδοση του γενετικού προγραμματισμού καθώς έγινε διαθέσιμο στο ευρύ κοινό.

Το 1985 πραγματοποιείται το 1ο Διεθνές Συνέδριο των ΓΑ και των εφαρμογών τους. Μετά από αυτό ο χώρος των ΓΑ αποκτά ένα μεγάλο συνέδριο που πλέον λαμβάνει χώρα κάθε δύο χρόνια και αντικατοπτρίζει το μεγάλο οργανισμό που παρατηρείται σε επίπεδο τόσο θεωρίας όσο και εφαρμογών.

Πολυάριθμες εκδόσεις βιβλίων για ΓΑ, 1989-1999 όπως «Genetic Algorithms in Search, Optimization", and Machine Learning», «An introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers», «Adaptive Learning by Genetic Algorithms», «An Introduction to Genetic Algorithms» κ.α. . Άλλη μια ένδειξη της τεράστιας ανάπτυξης του χώρου και της αποδοχής της νέας τεχνολογίας.

Ανάπτυξη πακέτων λογισμικού για ΓΑ, 1990-1999. Πολλές εταιρίες δημιουργούν εμπορικά πακέτα που επιτρέπουν σε χρήστες να ενσωματώσουν στις εφαρμογές τους στοιχεία Γενετικού Προγραμματισμού (Genetic Programming). Ένα τέτοιο πακέτο είναι το EOS (Evolutionary Object System), το οποίο βασίζεται στη δημοφιλή γλώσσα αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού C++ και παρέχει μεγάλες δυνατότητες προσαρμογών και επεκτάσεων.

Από το 2000 έως και σήμερα έχουν δημιουργηθεί πλήθος εφαρμογών βασισμένες στους ΓΑ. Πολλές επιστημονικές δημοσιεύσεις τείνουν να επιλύσουν καθημερινά προβλήματα με την βοήθεια των ΓΑ. Η ενσωμάτωσή τους στην επίλυση καθημερινών προβλημάτων αποτελεί πλέον γεγονός.

2.3 ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

Γονίδια (Genes) και Χρωμοσώματα ή Άτομα (Individuals): Γονίδιο είναι μια πιθανή τιμή που μπορεί να λάβει μια μεταβλητή. Ένα χρωμόσωμα αποτελείται από γονίδια, δηλαδή από ένα σύνολο πιθανών τιμών που μπορεί να λάβουν οι μεταβλητές ενός προβλήματος. Ένα συγκεκριμένο χρωμόσωμα το οποίο είναι και μοναδικό μπορεί να

αποκωδικοποιηθεί σε ένα σύνολο παραμέτρων που αναπαριστούν μία πιθανή λύση του προβλήματος. Το χρωμόσωμα μπορεί να είναι μια σειρά πραγματικών ή δυαδικών αριθμών ή ακόμα και συνδυασμοί αυτών των δυο.

Αρχικός Πληθυσμός (Initial Population): Είναι ο αριθμός των αρχικών χρωμοσωμάτων από τα οποία θα ξεκινήσει η διαδικασία αναζήτησης του ΓΑ. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος του αρχικού πληθυσμού τόσο πολυπλοκότερη γίνεται η επίλυση του προβλήματος αλλά με περισσότερες πιθανότητες εύρεσης της βέλτιστης λύσης και με λιγότερες πιθανότητες ο αλγόριθμος να θεωρήσει ένα τοπικό ελάχιστο ως το ολικό ελάχιστο δηλαδή να οδηγηθεί σε λανθασμένη λύση.

Πληθυσμοί (Population) και Γενεές (Generations) ΓΑ: Σε κάθε βήμα του αλγορίθμου, και με βάση τον αρχικό πληθυσμό δημιουργείται ένας νέος πληθυσμός, ο οποίος αποτελεί και την επόμενη γενιά του αλγορίθμου. Στην εκάστοτε νέα γενιά γίνεται αναζήτηση για εντοπισμό του χρωμοσώματος που μπορεί να δώσει το βέλτιστο αποτέλεσμα. Η διαδικασία τερματίζεται είτε με κατώφλι ένα αριθμό γενεών είτε στο καλύτερο χρωμόσωμα είτε με διάφορα άλλα κριτήρια τα οποία θα αναφερθούν παρακάτω.

Γονείς (Parents) και Τέκνα (Children): Τα ζεύγη χρωμοσωμάτων που επιλέγονται σε κάθε γενιά ώστε να διασταυρωθούν μεταξύ τους και να παραγάγουν απογόνους ονομάζονται γονείς ενώ οι απόγονοι τέκνα. Τα τέκνα μπορούν να δημιουργηθούν είτε μέσω της διαδικασίας της διασταύρωσης είτε μέσω της μετάλλαξης.

Διασταύρωση (Crossover): Συνδυασμός δυο γονέων ώστε να προκύψει ένα νέο τέκνο. Η διασταύρωση παρουσιάζεται με μια πιθανότητα να συμβεί και είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί σε ένα ή περισσότερα σημεία των χρωμοσωμάτων – γονέων.

Μετάλλαξη (Mutation): Οι μεταλλάξεις είναι χαμηλής πιθανότητας τυχαίες αλλαγές στα άτομα κάθε γενιάς ώστε να δημιουργηθούν τέκνα χωρίς διασταύρωση. Η μετάλλαξη παρέχει τη γενετική ποικιλομορφία και επιτρέπει στο γενετικό αλγόριθμο να ψάξει βέλτιστη λύση σε ένα ευρύτερο διάστημα.

Συνάρτηση Καταλληλότητα (Fitness Function): Το βασικότερο στοιχείο για την λειτουργία ενός ΓΑ. Η αποτελεσματικότητα του ΓΑ εξαρτάται από την σωστή και εύστοχη επιλογή της συνάρτησης καταλληλότητας ή αξιολόγησης. Συνήθως το πεδίο τιμών της παραπάνω συνάρτησης είναι από 0 έως 1, αναλόγως βέβαια και του προβλήματος, με την τιμή 1 να θεωρείται ότι έχει ευρεθεί το τέλειο χρωμόσωμα άρα

και η βέλτιστη λύση ενώ η τιμή 0 ότι η λύση δεν έχει καμιά ευστοχία. Γενικότερα πάντως στα πακέτα που χρησιμοποιούν ΓΑ ελαχιστοποίηση της συνάρτησης αξιολόγησης συνεπάγεται βέλτιστη λύση του προβλήματος.

2.4 ΔΟΜΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Όπως είδαμε και παραπάνω οι Γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν ορολογία δανεισμένη από την Γενετική. Αναφέρονται σε άτομα (individuals) ή γονότυπους (genotypes) μέσα σε ένα πληθυσμό που συχνά καλούνται χρωμοσώματα (chromosomes). Στους γενετικούς αλγορίθμους αναφερόμαστε πάντα σε άτομα με ένα μόνο χρωμόσωμα.

Τα χρωμοσώματα αποτελούνται από διαφορετικά στοιχεία που καλούνται γονίδια (genes) και είναι διατεταγμένα σε γραμμική ακολουθία. Κάθε γονίδιο επηρεάζει την κληρονομικότητα ενός η και περισσότερων χαρακτηριστικών. Τα γονίδια βρίσκονται σε συγκεκριμένες θέσεις που ονομάζονται τόποι (loci). Οι διαφορετικές “τιμές” ή “καταστάσεις” που μπορεί να πάρει ένα γονίδιο ονομάζονται αλληλόμορφα (alleles).

Ο γονότυπος (που στην περίπτωση των Γ.Α. είναι ένα χρωμόσωμα) αποτελεί μία πιθανή λύση σε κάποιο πρόβλημα. Η αποκωδικοποίηση (μετάφραση) του καλείται φαινότυπος (phenotype). Μια διαδικασία εξέλιξης που εφαρμόζεται σε έναν πληθυσμό χρωμοσωμάτων αντιστοιχεί σε ένα ψάξιμο στο πεδίο των πιθανών λύσεων. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχημένη έκβαση ενός τέτοιου ψαξίματος αποτελεί η εξισορρόπηση δύο διαδικασιών που είναι προφανώς αντικρουόμενες, της εκμετάλλευσης και διατήρησης των καλύτερων λύσεων και της όσο το δυνατόν καλύτερης εξερεύνησης όλου του διαστήματος.

Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους αναζήτησης που επεξεργάζονται ένα μόνο σημείο του διαστήματος αναζήτησης οι Γ.Α. διατηρούν ένα πληθυσμό πιθανών λύσεων που πειραματίζονται. Ένας ΓΑ πραγματοποιεί αναζήτηση σε πολλές κατευθύνσεις με το να διατηρεί έναν πληθυσμό από πιθανές λύσεις και να υποστηρίζει καταγραφή και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ αυτών των κατευθύνσεων. Ο πληθυσμός υφίσταται μια προσομοιωμένη γενετική εξέλιξη. Σε κάθε γενιά, οι σχετικά “καλές” λύσεις αναπαράγονται, ενώ οι σχετικά “κακές” αφαιρούνται. Ο διαχωρισμός και η αξιολόγηση των διαφόρων λύσεων γίνεται με την βοήθεια μιας αντικειμενικής

συνάρτησης ή συνάρτησης ικανότητας (objective ή fitness function), η οποία παίζει το ρόλο του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο εξελίσσεται ο πληθυσμός.

Η δομή ενός Γ.Α περιέχει τα παρακάτω βήματα:

1. Έστω το σύνολο $P(t)$ των υποψηφίων λύσεων τη χρονική στιγμή t
2. Έστω $t=0$
3. Αρχικοποίησε τον πληθυσμό $P(0)$ με τυχαίες υποψήφιες λύσεις.
4. Όσο δεν πληρείται κάποιο κριτήριο τερματισμού:
5. Αξιολόγησε όλα τα μέλη του πληθυσμού $P(t)$ με μία συνάρτηση καταλληλότητας (fitness function)
6. Επέλεξε μερικά ζεύγη από τα μέλη του $P(t)$ για αναπαραγωγή, λαμβάνοντας υπόψη και την καταλληλότητα των μελών του $P(t)$.
7. Παρήγαγε τους απογόνους των παραπάνω ζευγών χρησιμοποιώντας διάφορους γενετικούς τελεστές.
8. Εισήγαγε τους απογόνους στον πληθυσμό, διαγράφοντας αντίστοιχο αριθμό υπαρχόντων μελών
9. Θέσε $t=t+1$

Begin:

$t \leftarrow 0;$

initialise population $P(t)$;

evaluate $P(t)$;

While (not termination condition) **do**

Begin

$t \leftarrow t + 1$

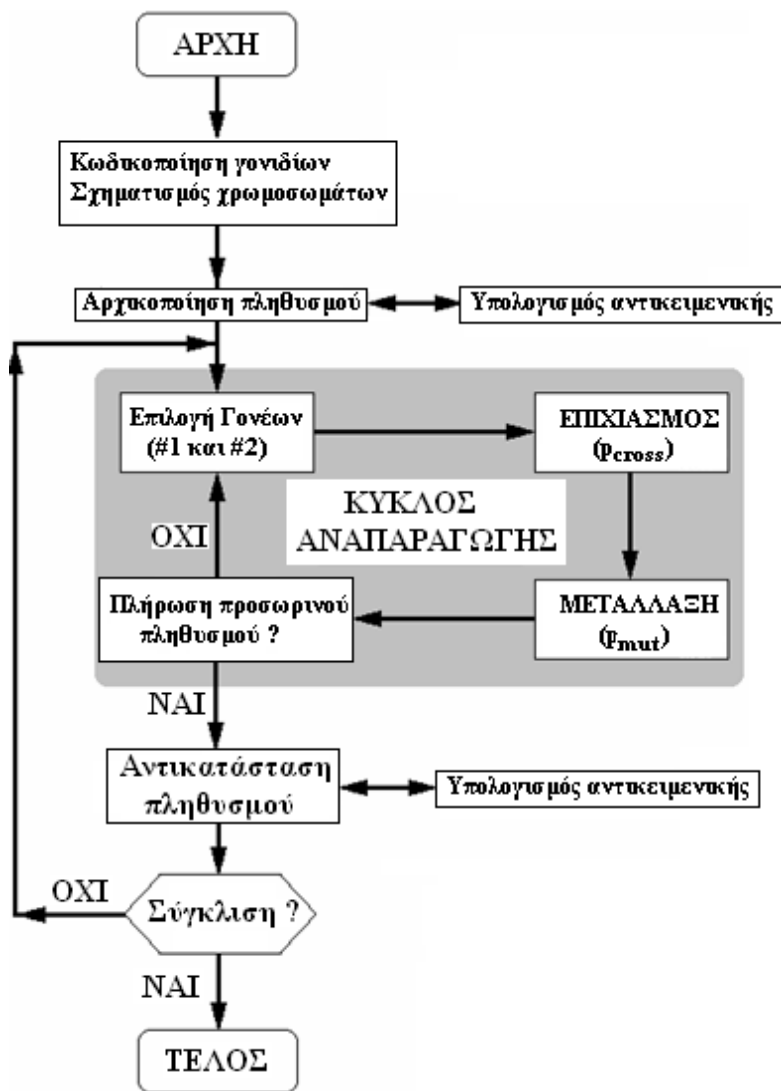
select $P(t)$ from $P(t - 1)$

recombine $P(t)$ by crossover and mutation;

evaluate $P(t)$;

End;

End.



Σχήμα 2.1: Λογικό διάγραμμα ροής γενετικού αλγορίθμου

2.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

Οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι που έχουν κάνει τους Γ.Α. ιδιαίτερα ελκυστικούς. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι οι εξής:

1. Οι γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν να λύσουν πολύπλοκα και δύσκολα προβλήματα γρήγορα και αποδοτικά. Ένα από τα σημαντικότερα

πλεονεκτήματα τους είναι η αποδοτικότητα. Όπως έχει προκύψει από τη θεωρία αλλά και από την πράξη οι γενετικοί αλγόριθμοι αντιμετωπίζουν καλύτερα προβλήματα με πολλές και δύσκολα προσδιορισμένες λύσεις. Σε συναρτήσεις με μεγάλες διακυμάνσεις πολλές μέθοδοι καθιστούνται ανεπαρκής στην εύρεση ακρότατων σε σύγκριση με τους γενετικούς αλγόριθμους που οι διακυμάνσεις δεν αποτελούν σημεία δυσχέρειας.

2. *Οι γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν να συνεργαστούν εύκολα με τα υπάρχοντα μοντέλα και συστήματα.* Προσφέρουν σημαντικό πλεονέκτημα αφού λειτουργούν με προσθετικό τρόπο στα μοντέλα που ήδη χρησιμοποιούνται σήμερα. Μπορούν λοιπόν να συνεργαστούν με τα υπάρχοντα προγράμματα και κώδικα εύκολα και χωρίς την επανασχεδίαση τους. Αυτό επιτυγχάνεται διότι οι γενετικοί αλγόριθμοι δεν ενδιαφέρονται για τη δομή και το ρόλο του συστήματος παρά μόνο για ορισμένες πληροφορίες της συνάρτησης ή της διαδικασίας που βελτιστοποιεί.
3. *Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι εύκολα επεκτάσιμοι και εξελίξιμοι.* Οι γενετικοί τελεστές της επιλογής, της διασταυρώσεως και της μεταλλάξεως δεν υλοποιούνται πάντα με τον ίδιο τρόπο. Διάφοροι προγραμματιστές επιλέγουν διαφορετική υλοποίηση που να ταιριάζει στα δικά τους προβλήματα. Σε πολλές εφαρμογές έχουν αναφερθεί λειτουργίες οι οποίες δεν είναι δανεισμένες από τη φύση με σκοπό την περαιτέρω αύξησης της αποδοτικότητας.
4. *Οι γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν να συμμετέχουν σε υβριδικές μορφές με άλλες μεθόδους.* Σε μερικές περιπτώσεις προβλημάτων συμβαίνει κάποιες άλλες μέθοδοι να παρέχουν υψηλότερη αποδοτικότητα και ταχύτητα λόγω εξειδίκευσης των συγκεκριμένων μεθόδων. Η ευελιξία των γενετικών αλγορίθμων δίνει την δυνατότητα δημιουργίας υβριδικών συστημάτων με τις άλλες μεθόδους.
5. *Οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται σε περισσότερα πεδία από άλλες μεθόδους.* Η ευελιξία τους οι μικρές απαιτήσεις και η ελευθερία επιλογής των κριτηρίων τους καθιστούν ικανούς να εφαρμοστούν σε μία ευρεία γκάμα υπολογιστικών συστημάτων από τα οικονομικά, τα μαθηματικά, τα νευρωνικά δίκτυα μέχρι και τη μουσική.

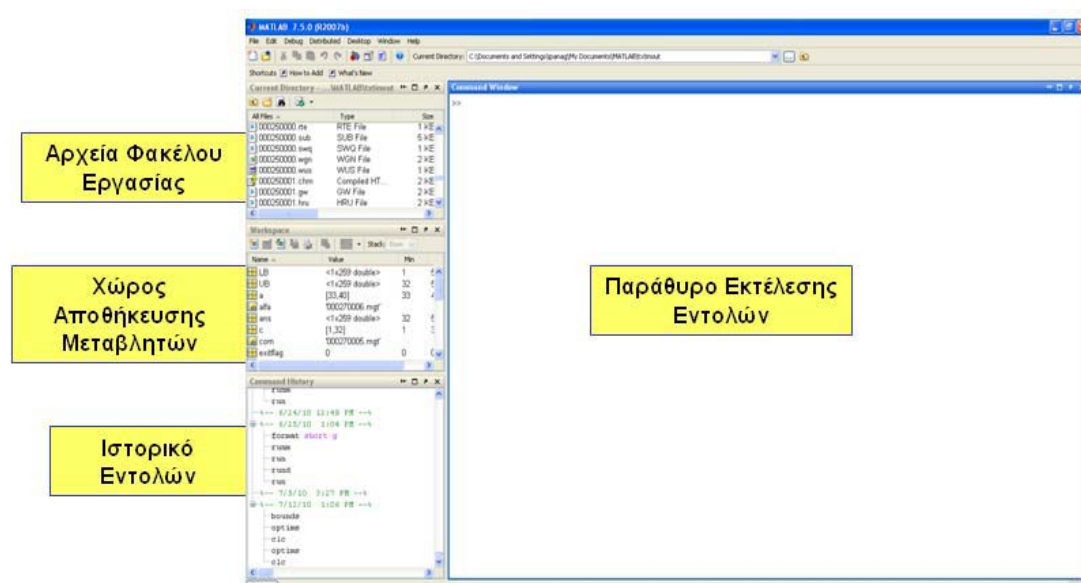
6. *Οι γενετικοί αλγόριθμοι δεν απαιτούν περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται. Σε πολλές περιπτώσεις η αντικειμενική συνάρτηση θα περιέχει θόρυβο ο οποίος οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως η χρήση μη αξιόπιστων μηχανισμών στον υπολογισμό της (π.χ των παραγώγων της). Αυτός ο θόρυβος θα μπορούσε να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα σε άλλα συστήματα αλλά μπορούν να τα ξεπεράσουν οδηγώντας το σύστημα σε μία αξιόπιστη λύση.*
7. *Οι γενετικοί αλγόριθμοι δεν ενδιαφέρονται για τη σημασία της υπό εξέταση πληροφορίας. Η μόνη “επικοινωνία” τους με το περιβάλλον είναι η αντικειμενική συνάρτηση. Αυτό εγγυάται την επιτυχία ανεξάρτητα από τη σημασία του προβλήματος.*
8. *Οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν από τη φύση τους το στοιχείο του παραλληλισμού. Σε κάθε τους βήμα επεξεργάζονται μεγάλες ποσότητες πληροφορίας, αφού κάθε άτομο θεωρείται αντιπρόσωπος πολλών άλλων. Οι γενετικοί μπορούν να καλύψουν με αποδοτικό ψάξιμο μεγάλους χώρους σε μικρούς χρόνους.*
9. *Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι η μόνη μέθοδος που κάνει ταυτόχρονα εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και εκμετάλλευση της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας. Συνήθως τα δύο αυτά χαρακτηριστικά είναι ανταγωνιστικά γίνεται επιθυμητό να συνυπάρχουν και τα δύο προς όφελος της διαδικασίας. Οι γενετικοί αλγόριθμοι επιτυγχάνουν το βέλτιστο συνδυασμό εξερεύνησης και εκμετάλλευσης, πράγμα που τους κάνει ιδιαίτερα αποδοτικούς και ελκυστικούς.*
10. *Οι γενετικοί αλγόριθμοι επιδέχονται παράλληλη υλοποίηση. Μπορούν να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα των παράλληλων μηχανών, χαρακτηριστικό που τους δίνει περαιτέρω αποδοτικότητα.*

2.6 Ο Γενετικός Αλγόριθμος του MATLAB

2.6.1 Γενικά για το MATLAB

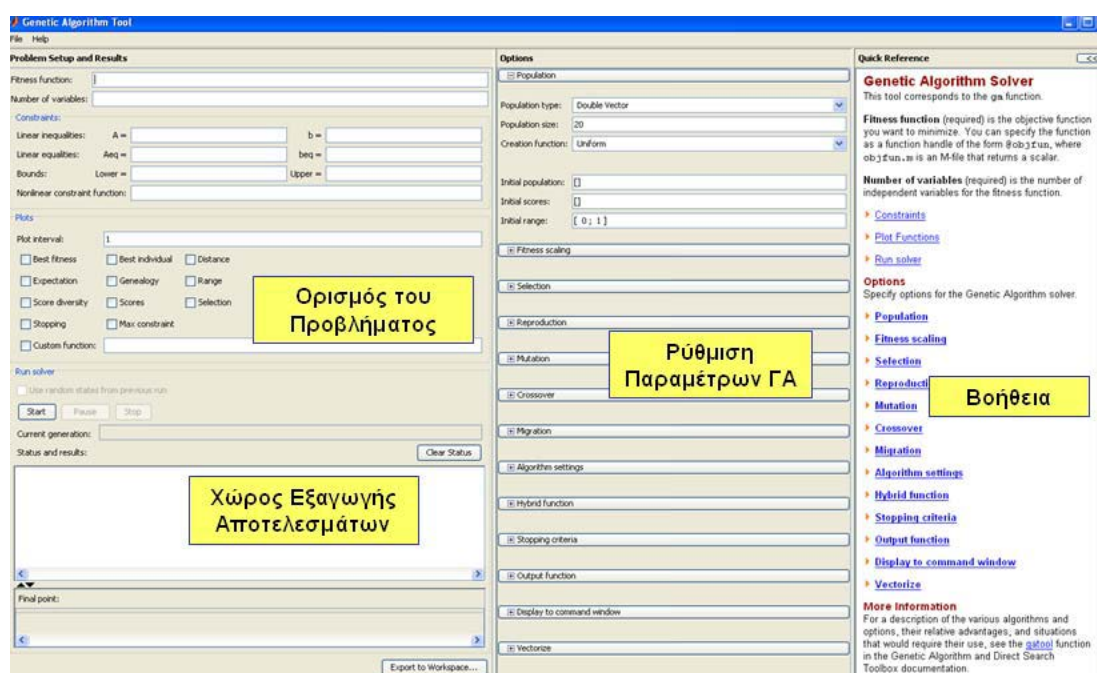
Το MATLAB είναι λογισμικό υλοποίησης αλγόριθμων και διεξαγωγής υπολογισμών,

που χαρακτηρίζεται από ένα πολύ φιλικό και εύχρηστο περιβάλλον εργασίας για αλληλεπίδραση με το χρήστη. Διαθέτει δική του γλώσσα προγραμματισμού με δυνατότητες εξέλιξης στις απαιτήσεις κάθε χρήστη και περιλαμβάνει πλήθος βιβλιοθηκών συναρτήσεων και ειδικών εργαλείων (toolboxes). Οι εργαλειοθήκες αυτές είναι συναθροίσεις συναρτήσεων του MATLAB (M-files) που επεκτείνουν το περιβάλλον του προγράμματος σε λύσεις ειδικών προβλημάτων, μεταξύ αυτών και θεμάτων βελτιστοποίησης συναρτήσεων (μονό ή πολυκριτηριακής). Στο Σχήμα 1.2 παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας του MATLAB που χωρίζεται σε τέσσερα βασικά μέρη: στο βασικό παράθυρο εργασίας προγραμματισμού ή εκτέλεσης εντολών (command window), στο χώρο όπου εκτίθενται όλα τα αρχεία του φακέλου στον οποίο ο χρήστης είναι συνδεδεμένος και απ' όπου πιθανά αντλεί αρχεία ή αποθηκεύει νέα (current directory), στο χώρο στον οποίο αποθηκεύονται όλες οι μεταβλητές που ο χρήστης ορίζει (workspace) και τέλος, στο χώρο όπου αποθηκεύεται όλο το ιστορικό εντολών της εφαρμογής (command history). Βασικό χαρακτηριστικό του MATLAB είναι ότι όλες οι μεταβλητές, είτε μοιάζουν, είτε όχι με αλγεβρικούς πίνακες, αποθηκεύονται, επεξεργάζονται και γενικότερα συμμετέχουν στις υπολογιστικές διαδικασίες ως τέτοιοι, εξ ου και η ονομασία του προγράμματος: 'Εργαστήριο Πινάκων', (MATrix LABoratory – MATLAB).



Σχήμα 2.2: Το περιβάλλον εργασίας του MATLAB.

Το MATLAB διαθέτει μία σπουδαία εργαλειοθήκη για βελτιστοποίηση προβλημάτων. Εκεί ενσωματώνεται ένας ΓΑ, που πραγματοποιεί μονοκριτηριακή βελτιστοποίηση μιας συνάρτησης, που ορίζεται από το χρήστη μαζί με τους πιθανούς περιορισμούς και τις επιλογές για τις παραμέτρους του ΓΑ. Στο Σχήμα 1.3 παρουσιάζεται η εργαλειοθήκη αυτή, που ανοίγει με την εντολή ‘gatool’ στο παράθυρο εντολών, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά.



Σχήμα 2.3: Η εργαλειοθήκη του Γενετικού Αλγόριθμου στο MATLAB.

Στο Σχήμα 1.3 απεικονίζονται οι τέσσερις χώροι, που αποτελούν το περιβάλλον εργασίας για την αντιμετώπιση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης. Αριστερά ο χρήστης πρέπει να ορίσει τη συνάρτηση, η οποία θα πρέπει να έχει συνταχτεί και αποθηκευτεί ως M- file, τους γραμμικούς και μη γραμμικούς περιορισμούς καθώς και τα όρια των μεταβλητών. Στην κάτω αριστερά θέση ο αλγόριθμος εξάγει τα αποτελέσματα, δηλαδή τη βέλτιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης και τις βέλτιστες τιμές των μεταβλητών. Στο κέντρο του παραθύρου επιτρέπεται να ρυθμιστούν οι παράμετροι του ΓΑ, όπως οι μέθοδοι διασταύρωσης, μετάλλαξης, επιλογής, που διατίθενται από το πρόγραμμα. Ο αρχικός πληθυσμός, ο αριθμός

γενιών, τα κριτήρια τερματισμού, καθώς και άλλες ρυθμίσεις ορίζονται επίσης εδώ. Επεξηγήσεις και βοήθεια για τη λειτουργία του εργαλείου δίνονται δεξιά.

Ο πολυκριτηριακός εκλεκτικός ΓΑ του MATLAB χρησιμοποιεί τους γνωστούς γενετικούς τελεστές για την αναπαραγωγή του. Ο πληθυσμός ορίζεται ως ένα σύνολο σημείων στο συναρτησιακό χώρο, ενώ ο αρχικός πληθυσμός ορίζεται είτε από το χρήστη, είτε τυχαία. Στη δεύτερη περίπτωση ο αλγόριθμος γεννά με μία ομοιόμορφη κατανομή τον τυχαίο αρχικό πληθυσμό. Η επόμενη γενιά παράγεται με αξιολόγηση των σχέσεων μη κυριαρχίας και της διασποράς των λύσεων πάνω στο μέτωπο, που υπολογίζεται με την απόσταση συνωστισμού. Το δεύτερο αυτό κριτήριο επιτρέπει την επιλογή ατόμων από τον πληθυσμό, που ενδέχεται να έχουν ακόμα και ελαφρώς μικρότερη επίδοση. Στον ΓΑ του MATLAB έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στη σημασία διατήρησης των λύσεων πάνω στο μέτωπο με ικανοποιητική διασπορά με ταυτόχρονο έλεγχο των καλύτερων ατόμων (elite) του πληθυσμού καθώς ο αλγόριθμος εξελίσσει τη διαδικασία. Το γεγονός ότι γίνεται κατάταξη των ατόμων με βάση τη σχέση μη κυριαρχίας καθιστά αυτόματη την εισαγωγή ελιτισμού χωρίς να είναι απαραίτητος ο ορισμός του αριθμού των καλύτερων ατόμων προς διατήρηση στο νέο πληθυσμό, όπως συμβαίνει στην περίπτωση μονοκριτηριακής βελτιστοποίησης. Ο χρήστης ορίζει δύο βασικές επιπλέον παραμέτρους που διαχωρίζουν την πολυκριτηριακή από την μονοκριτηριακή βελτιστοποίηση. Πρόκειται για το χώρο στον οποίο ελέγχεται αυτή η διασπορά των λύσεων (χώρος αναζήτησης ή χώρος αποτίμησης – genotype ή phenotype space) και για το ποσοστό των ατόμων του πληθυσμού που κατά μέγιστο μπορούν σε κάθε γενιά να βρίσκονται στο πρώτο μη κυριαρχούμενο μέτωπο (Pareto Fraction). Με τις δύο αυτές παραμέτρους καθορίζεται εν μέρει η μορφή του μετώπου Pareto που εξάγεται από τον αλγόριθμο σε συνεχή χρόνο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Γραμμικοί περιορισμοί καθώς και όρια διακύμανσης για τις μεταβλητές απόφασης είναι ακόμα δυνατόν να ορίζονται, ενώ μη γραμμικοί περιορισμοί υφίστανται μόνο στη μονοκριτηριακή βελτιστοποίηση. Ο ΓΑ του MATLAB είναι ικανός να δώσει λύσεις σε ομαλά και μη ομαλά προβλήματα βελτιστοποίησης με μη κυρτές συνεχείς ή μη συναρτήσεις

Όπως κάθε ΓΑ, έτσι και ο ΓΑ του MATLAB ακολουθεί τα γνωστά βήματα για την ολοκλήρωση της διαδικασίας βελτιστοποίησης, δηλαδή: αξιολόγηση ατόμων πληθυσμού με βάση το μέτρο επίδοσης, διαβάθμιση καταλληλότητας ατόμων,

επιλογή ατόμων (γονέων), αναπαραγωγή πληθυσμού μέσω ελιτισμού, διασταύρωσης και μετάλλαξης, τερματισμός διαδικασίας όταν κάποιο κριτήριο ικανοποιηθεί. Στο σημείο αυτό περιγράφονται οι δυνατότητες του ΓΑ του MATLAB ως προς την πραγματοποίηση των παραπάνω βημάτων.

Ύστερα από την αξιολόγηση των ατόμων (individuals) με βάση το μέτρο επίδοσης, ο ΓΑ κάνει μία διαβάθμιση καταλληλότητας αυτών. Η συνάρτηση 'Fitness Scaling' μετατρέπει τις βαθμολογίες επίδοσης των ατόμων σε μία σειρά κατάλληλη για τη συνάρτηση επιλογής. Στην εργαλειοθήκη διατίθενται, μεταξύ άλλων, οι συναρτήσεις 'Rank' και 'Proportional'. Η συνάρτηση 'Rank' διαβαθμίζει τις βαθμολογίες επίδοσης με βάση τον ιεραρχικό βαθμό κάθε ατόμου και όχι με τη βαθμολογία αυτή καθαυτή. Ως ιεραρχικός βαθμός ορίζεται η θέση του ατόμου στην κατάταξη των βαθμολογιών και για το πιο κατάλληλο άτομο είναι 1, για το δεύτερο 2 κ.ο.κ. Στην περίπτωση της αναλογικής (Proportional) κατάταξης, το κάθε άτομο διαβαθμίζεται αναλογικά με την επίδοσή του.

Η επιλογή των ατόμων που ακολουθεί, βασίζεται επίσης σε διάφορες συναρτήσεις. Οι πιο δόκιμες με βάση πειραματισμό σε απλά και πιο σύνθετα προβλήματα είναι η 'στοχαστικά ομοιόμορφη' (stochastic uniform), η επιλογή του 'τροχού της ρουλέτας' (roulette wheel) και η 'επιλογή τουρνουά' (tournament selection). Στην πρώτη περίπτωση το κάθε άτομο-γονέας αντιστοιχεί σε τμήμα μιας γραμμής ανάλογο της διαβαθμισμένης τιμής του. Ο αλγόριθμος προχωράει σε ίσα τμήματα πάνω στη γραμμή και σε κάθε στάση επιλέγει έναν γονέα. Κατά συνέπεια οι γονείς που αντιστοιχούν σε μεγάλο μήκος θα επιλεγθούν και περισσότερες φορές. Η δεύτερη περίπτωση, της ρουλέτας, επιλέγει το άτομο-γονέα με βάση τυχαίες δειγματοληψίες που φυσικά ευνοούν την επιλογή ατόμων με μεγάλο μερίδιο κατάληψης της επιφάνειάς της. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί έναν τυχαίο αριθμό για να επιλέξει κάποιο τμήμα της ρουλέτας με πιθανότητα που είναι ανάλογη της έκτασής. Τέλος, στην τρίτη περίπτωση παίζονται τουρνουά, δηλαδή γίνεται σύγκριση μεταξύ δύο κατ' ελάχιστον τυχαία επιλεγμένων μελών και η καλύτερη λύση εισάγεται αυτομάτως στον πληθυσμό. Αν δύο άτομα επιλεγθούν για σύγκριση δύο φορές τότε η καλύτερη λύση θα κερδίσει και τις δυο φορές οπότε θα έχει δυο αντίγραφα στο νέο πληθυσμό, ενώ η χειρότερη θα χάσει και τις δύο και δε θα έχει κανένα αντίγραφο. Ο αλγόριθμος του MATLAB έχει ως αρχική ρύθμιση τη σύγκριση τεσσάρων ατόμων για την επιλογή του καλύτερου.

Ο ΓΑ περιλαμβάνει αρκετούς τρόπους διασταύρωσης. Πρόκειται για την ‘τυχαία’ (scattered), την ‘μονού’ και ‘διπλού σημείου’ (one και two-point crossover), την ‘ενδιάμεση’ (intermediate), την ‘ευρετική’ (heuristic) και την ‘αριθμητική’ (arithmetic) διασταύρωση. Μεγάλη αποτελεσματικότητα έχει βρεθεί από προσωπική ανάλυση ευαισθησίας του συγγραφέα με πειραματισμό σε διάφορα προβλήματα ότι έχει η πρώτη. Σύμφωνα με αυτή, δημιουργείται ένα δυαδικό διάνυσμα με μήκος ίσο με το μήκος των ατόμων του πληθυσμού. Για τις θέσεις του δυαδικού διανύσματος που υπάρχει η τιμή 1 επιλέγονται τα γονίδια του πρώτου γονέα, ενώ για εκείνες που είναι 0 τα γονίδια του δεύτερου, ώστε με ανάμιξη να προκύπτει ένα νέο άτομο (απογόνος). Πρόκειται δηλαδή για μία τυχαία εντελώς μίξη των γονιδίων δύο ατόμων. Οι διασταυρώσεις μονού και διπλού σημείου αφορούν σε μονή ή διπλή μίξη γονοτύπων μεταξύ δύο ατόμων, ενώ η ενδιάμεση χρησιμοποιεί τα αντίστοιχα γονίδια δύο ατόμων αφού τους αποδοθούν βάρη για να δημιουργήσει ένα νέο γονότυπο. Στην αριθμητική διασταύρωση τα γονίδια του απογόνου προκύπτουν ως βαρυκεντρικοί μέσοι όροι των τιμών των γονιδίων δύο επιλεγμένων γονέων, με σεβασμό στους περιορισμούς, ενώ στην ευρετική διασταύρωση τα γονίδια του απογόνου προκύπτουν με βάση τα γονίδια των δύο γονέων αλλά βρίσκονται πιο κοντά στα γονίδια του γονέα με τη μεγαλύτερη επίδοση, σε βαθμό που έμμεσα καθορίζεται από το χρήστη. Ο ΓΑ απαιτεί τέλος, ανεξαρτήτως της μεθόδου διασταύρωσης, τον ορισμό του ποσοστού διασταύρωσης ως τιμή μεταξύ του 0 και του 1.

Η διαδικασία της μετάλλαξης αποτελεί το τελευταίο στάδιο δημιουργίας του νέου πληθυσμού. Οι δύο βασικοί τρόποι μετάλλαξης στον ΓΑ του MATLAB είναι η ‘Γκαουσιανή’ (Gaussian) ή κανονικά κατανεμημένη μετάλλαξη και η ‘Ομοιόμορφη’ (Uniform). Στην πρώτη, η ποσότητα μετάλλαξης καθορίζεται με βάση δύο παραμέτρους, της συρρίκνωσης (shrink) και της κλίμακας (scale). Ο βαθμός μετάλλαξης του πληθυσμού είναι ανάλογος της διασποράς μιας κανονικής κατανομής αριθμών με μέση τιμή μηδέν, η οποία μειώνεται γραμμικά με το πέρας των γενιών και στο τέλος της διαδικασίας ισούται με $(1 - \text{shrink})$ φορές την τιμή της κατά την έναρξη της διαδικασίας. Οι τυχαίοι αριθμοί που παράγονται προστίθενται στα γονίδια των ατόμων προς μετάλλαξη. Η παράμετρος κλίμακας (scale) καθορίζει τη διασπορά (var) κατά τη δημιουργία της πρώτης γενιάς με βάση τη σχέση: $\text{scale} \times (v(2) - v(1))$, όπου $v(2)$ και $v(1)$ το ανώτατο και κατώτατο όριο τιμών που λαμβάνει μία μεταβλητή (γονίδιο), όπως έχει οριστεί στο αρχικό εύρος διακύμανσης. Η παράμετρος

συρρίκνωσης (shrink) καθορίζει το πόσο αυτή η διασπορά μειώνεται με το πέρασμα k γενιών:

$$var_k = var_{k-1}$$

Στην ανωτέρω εξίσωση, αν η παράμετρος shrink λάβει τιμή πολύ κοντά στο 1, τότε με το πέρας της διαδικασίας δηλαδή μετά από τη δημιουργία του μέγιστου αριθμού γενιών (generations), η διασπορά θα είναι μηδενική. Αντίθετα, τιμή 0 δημιουργεί τελική διασπορά ίση με την αρχική. Τα παραπάνω έχουν το εξής νόημα: μικρή τιμή της παραμέτρου shrink σημαίνει μεγάλη διασπορά, άρα σημαντική μετάλλαξη στον πληθυσμό με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη ποικιλία ατόμων στην τελευταία γενιά.

Αντίθετα, μεγάλη τιμή της παραμέτρου σημαίνει μικρή διασπορά κατά την τελευταία γενιά δηλαδή μικρή ποικιλότητα στον τελικό πληθυσμό, ο οποίος τείνει να περιλαμβάνει άτομα με παραπλήσιο γονότυπο. Θεμιτό είναι η τιμή της παραμέτρου shrink να είναι κάπως ενδιάμεση, δηλαδή να επιτρέπει την εξερεύνηση σημαντικού μέρους του χώρου αναζήτησης, ακόμα και στην τελευταία γενιά, αλλά από την άλλη αυτό να μη γίνεται ανεξέλεγκτα ώστε να μην υπεισέρχεται απόλυτη τυχαιότητα στη διαδικασία (σημαντική μετάλλαξη). Το πώς επηρεάζει τη σύγκλιση του μετώπου με το ολικά βέλτιστο στο εκάστοτε πρόβλημα αυτός ο τρόπος μετάλλαξης είναι κάτι που πάντα διαπιστώνεται μέσω δοκιμών για τις παραμέτρους του. Η δεύτερη μέθοδος, της ομοιόμορφης μετάλλαξης, είναι μία διαδικασία δύο βημάτων. Αρχικά, ο αλγόριθμος διαλέγει ένα ποσοστό του διανύσματος εισόδου ενός ατόμου για μετάλλαξη, όπου κάθε στοιχείο του διανύσματος έχει μία συγκεκριμένη πιθανότητα να μεταλλαχθεί. Η πιθανότητα μετάλλαξης (mutation rate), pm , με βάση την αρχική ρύθμιση, έχει τιμή 0,01. Στο δεύτερο βήμα, ο αλγόριθμος αντικαθιστά κάθε επιλεγμένο γονίδιο με έναν τυχαίο αριθμό που επιλέγεται ομοιόμορφα από τα όρια διακύμανσης της συγκεκριμένης μεταβλητής.

Ο τερματισμός του ΓΑ του MATLAB γίνεται με βάση κάποιο κριτήριο που ορίζει ο χρήστης. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι η συμπλήρωση κάποιου μέγιστου χρόνου τρεξίματος του αλγόριθμου, η συμπλήρωση του μέγιστου παραγόμενου αριθμού γενιών, η προσέγγιση τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης ίση με μία ελάχιστη τιμή που έχει οριστεί, η μικρότερη μεταβολή στη μέση τιμή ή στην αθροιστική τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης σε σχέση με το όριο που έχει τεθεί για συγκεκριμένο αριθμό γενιών, και ακόμα, η έλλειψη βελτίωσης της αντικειμενικής συνάρτησης μετά

από παρέλευση συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα ο ΓΑ να συνδυαστεί με μία υβριδική συνάρτηση δηλαδή μετά το πέρας της βελτιστοποίησης από τον ΓΑ, να τρέξει μια συνάρτηση με σκοπό την τοπική αναζήτηση και ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής ή αντικειμενικών συναρτήσεων.

Σε γενικές γραμμές κρίνεται ότι ο ΓΑ του MATLAB είναι ένα ολοκληρωμένο εργαλείο βελτιστοποίησης είτε ενός, είτε παραπάνω κριτηρίων, ενώ προσφέρεται πλήθος επιλογών για τη βελτίωση της αποδοτικότητάς του στο εκάστοτε πρόβλημα. Ο καλύτερος συνδυασμός τελεστών και παραμέτρων βρίσκεται συνήθως μέσω πολυάριθμων εκτελέσεων. Περισσότερες λεπτομέρειες για τη δομή του ΓΑ του MATLAB και των συναρτήσεων που χρησιμεύουν στις διάφορες διαδικασίες μπορούν να βρεθούν στο εγχειρίδιο χρήσης.

3

COST 259

3.1 Εισαγωγή

Το COST είναι ένα διακυβερνητικό οργανισμός υπεύθυνος για την ευρωπαϊκή συνεργασία στο πεδίο της επιστήμης και της τεχνολογίας ο οποίος επιτρέπει τον συντονισμό ερευνών (χρηματοδοτούμενων από το κράτος) σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Σκοπός του COST είναι η μείωση του κατακερματισμού των ευρωπαϊκών επενδύσεων στην έρευνα, στην ενίσχυση της ευρωπαϊκής έρευνας και καινοτομίας καθώς και στην οικοδόμηση ενός ευρωπαϊκού χώρου έρευνας European Research Area (ERA).

Το COST δεν χρηματοδοτεί την έρευνα κάθε αυτήν αλλά παρέχει μια πλατφόρμα για την συνεργασία ευρωπαίων επιστημόνων για συγκεκριμένα ερευνητικά προγράμματα καθώς και την ανταλλαγή εμπειρίας και γνώσης.

Το COST αποτελεί ένα ευέλικτο, γρήγορο, αποτελεσματικό και αποδοτικό εργαλείο για να δικτυωθούν και να συντονιστούν εν γένει οι εθνικά χρηματοδοτούμενες ερευνητικές δραστηριότητες Πανεπιστημιακών Ιδρυμάτων και, ενδεχομένως, Ερευνητικών Κέντρων διαφορετικών χωρών.

Το COST είναι βασισμένο σε δίκτυα που ονομάζονται Δράσεις (Actions). Σήμερα ασχολείται με πάνω από 200 Actions σε διάφορους επιστημονικούς τομείς όπως Επικοινωνίες, Γεωργία, Χημεία και άλλους.

Το COST 259 είναι ένα ερευνητικό πρόγραμμα πάνω στις ασύρματες ευέλικτες και εξατομικευμένες Επικοινωνίες Wireless Flexible Personalized Communications). Ξεκίνησε το 1996 και τελείωσε το 2000. Κύριος στόχος του είναι η μελέτη θεμάτων ραδιοσυστημάτων, δικτύων, κεραιών και διάδοσης.

Η υποομάδα εργασιών SWG 3.1 συνέταξε μια συλλογή σεναρίων κατανομής συχνοτήτων για το GSM. Αυτά τα σενάρια χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση, τη

σύγκριση και τη βελτίωση των διαθέσιμων αλγορίθμων κατανομής συχνотήτων και την ανάπτυξη νέων.

3.2 Σενάρια του COST 259

Υπάρχουν 32 διαθέσιμα ρεαλιστικά σενάρια σε κοινή μορφή προερχόμενα από τρεις πηγές E-Plus Mobilfunk GmbH, Siemens AG και Swisscom Ltd.

bradford_nt-t-p

(παρέχεται από την E-Plus Mobilfunk GmbH)

Στοιχεία για το δίκτυο: GSM 1800 με 649 ενεργές θέσεις και 1886 κυψέλες. Το βασικό φορτίο κίνησης προέρχεται από τυχαία κατανομή. Ο παράγοντας t αφορά 5 διαφορετικά φορτία κίνησης. Η κίνηση κλιμακώνεται με τον t ίσο με 0,1,2,4 και 10 πριν την εφαρμογή του τύπου Erlang B προκειμένου να επιτύχει το απαιτούμενο αριθμό TRXs ανά κυψέλη. Οι μέσοι όροι που προκύπτουν είναι 1.00, 1.17, 1.47 και 2.20 αντίστοιχα. Ο παράγοντας p αφορά 3 προβλέψεις παρεμβολής. Οι προβλέψεις γίνονται υποθέτοντας ελεύθερη διάδοση στο χώρο με ένα παράγοντα διάσπασης 1.5 χρησιμοποιώντας ένα τροποποιημένο μοντέλο των Okumura-Hata που αναπτύχθηκε από την E-Plus. Το διαθέσιμο φάσμα αποτελείται από 75 συνεχόμενες συχνότητες. Υπάρχουν και οι παραλλαγές bradford-t-p. Λόγω της ανακρίβειας στην προσομοίωση Monte-Carlo που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τυχαίας κατανομής της εναέριας κίνησης η ζήτηση σε TRX ανά κυψέλη υπερεκτιμάται. Οι μέσοι όροι που προκύπτουν είναι 1.00, 1.57, 1.82, 2.12 και 2.60 αντίστοιχα. Ως εκ τούτου το bradford_nt-t-p είναι ένα πιο ρεαλιστικό σενάριο ενώ το bradford-t-p μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα πιο απαισιόδοξο σενάριο.

siemens1

(παρέχεται από την Siemens AG)

Στοιχεία για το δίκτυο: GSM 900 με 179 ενεργές θέσεις, 506 κυψέλες και κατά μέσο όρο 1.84 TRXs ανά κυψέλη. Το διαθέσιμο φάσμα αποτελείται από 20 και 23 συνεχόμενες συχνότητες αντίστοιχα.

siemens2

(παρέχεται από την Siemens AG)

Στοιχεία για το δίκτυο: GSM 900 με 86 ενεργές θέσεις, 254 κυψέλες και κατά μέσο όρο 3.84 TRXs ανά κυψέλη. Το διαθέσιμο φάσμα αποτελείται από 4 και 72 συνεχόμενες συχνότητες αντίστοιχα.

siemens3

(παρέχεται από την Siemens AG)

Στοιχεία για το δίκτυο: GSM 900 με 366 ενεργές θέσεις, 894 κυψέλες και κατά μέσο όρο 1.82 TRXs ανά κυψέλη. Το διαθέσιμο φάσμα αποτελείται 55 συνεχόμενες συχνότητες.

siemens4

(παρέχεται από την Siemens AG)

Στοιχεία για το δίκτυο: GSM 900 με 276 ενεργές θέσεις, 760 κυψέλες και κατά μέσο όρο 3.66 TRXs ανά κυψέλη. Το διαθέσιμο φάσμα αποτελείται 39 συνεχόμενες συχνότητες.

Swisscom

(παρέχεται από την Swisscom Ltd)

Στοιχεία για το δίκτυο: GSM 900 σε μια πόλη με πολλά τοπικά κανάλια που μπλοκάρουν την εκχώρηση συχνοτήτων. Ο μέσος αριθμός TRXs ανά κυψέλη είναι 2.09. Υπάρχουν 148 κυψέλες με 1 έως 4 TRXs και 707 σχέσεις μεταξύ γειτόνων (παρεμβολές). Σε γενικές γραμμές 47 συχνότητες είναι διαθέσιμες αλλά 136 κυψέλες υφίστανται περιορισμούς. Υπάρχουν μόνο 10 διαθέσιμες συχνότητες στη χειρότερη περίπτωση. Η μέση τιμή των διαθέσιμων συχνοτήτων ανά κυψέλη είναι 19.

K

(παρέχεται από την E-Plus Mobilfunk GmbH)

Στοιχεία για το δίκτυο: GSM 1800 σε πυκνό αστικό περιβάλλον με μόνο 264 κυψέλες και 267 TRXs συνολικά. Ο μέσος αριθμός παρεμβολών ανά TRX είναι 151.

(τα στοιχεία αυτά είναι καινούρια και είναι μεταξύ των στοιχείων του αρχικού COST 259).

3.3 Αποτελέσματα Σεναρίων

Μέχρι το 2005 ήταν διαθέσιμες περισσότερες από 115 εκχωρήσεις με τουλάχιστον 2 διαθέσιμες σε κάθε σενάριο. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα να συγκριθούν οι διάφορες μέθοδοι σχεδιασμού με βάση τα αποτελέσματα τους. Ορίζονται μια σειρά από χαρακτηριστικά για κάθε εκχώρηση τα οποία θα πρέπει να δίνουν την δυνατότητα της σύγκρισης εκχωρήσεων για το ίδιο σενάριο. Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας που όμως δεν μας γίνεται γνωστός είναι ο χρόνος εκτέλεσης αυτών των εκχωρήσεων σε έναν σύγχρονο υπολογιστή, ο οποίος μπορεί να κυμαίνεται από μερικά λεπτά έως και αρκετές ώρες.

Τα χαρακτηριστικά των εκχωρήσεων που παρουσιάζονται για να γίνει η σύγκριση είναι τα εξής:

- *Η ομοδιαυλική παρεμβολή (co-channel Interference)*. Δίνεται η μέγιστη τιμή, ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση της παρεμβολής του συνόλου των κυψελών.
- *Η παρεμβολή γειτονικών διαύλων (adjacent channel interference)*. Δίνεται η μέγιστη τιμή, ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση της παρεμβολής του συνόλου των κυψελών.
- *Η συνολική παρεμβολή (total interference)* που είναι το άθροισμα της ομοδιαυλικής παρεμβολής και της παρεμβολής από γειτονικούς διαύλους.
- *Η παρεμβολή των TRXs*. Δίνεται η μέγιστη τιμή, ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση της παρεμβολής που προκαλεί κάθε TRX στις άλλες κυψέλες και της παρεμβολής που προκαλείται σε κάθε TRX από τις άλλες κυψέλες.
- *Το ιστόγραμμα των παρεμβολών* που σημαίνει πόσες φορές η παρεμβολή σε μία κυψέλη μεταξύ 2 καναλιών ξεπέρασε τις τιμές 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 20% και 50%.

Παρακάτω φαίνεται ένας πίνακας (Πίνακας 3.1) που περιέχει τα τέσσερα σενάρια της siemens και το ένα Swisscom με τέσσερις εκχωρήσεις για το καθένα.

scenario	total inf.		co-ch inf.		adjacent ch. inf.		inf. Betw. TRXs		number of vertices above threshold%										method		
	max	avg	std	max	avg	std	max	avg	std	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.1	0.15	0.2	0.5			
										0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.1	0.15	0.2	0.5			
siemens1	2,78	0,04	0,00	0,01	0,04	0,00	0,01	0,08	0,01	0,01	60	14	6	0	0	0	0	0	0	0	SA(TUHH)
siemens1	2,53	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,06	0,01	0,01	48	11	3	0	0	0	0	0	0	0	TA(RWTH)
siemens1	2,30	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05	0,01	0,01	43	7	2	0	0	0	0	0	0	0	TA(Siemens)
siemens1	3,36	0,05	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,12	0,01	0,01	78	25	10	3	0	0	0	0	0	0	U(Siemens)
siemens2	15,46	0,07	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,18	0,03	0,03	404	109	42	20	11	0	0	0	0	0	SA(TUHH)
siemens2	14,75	0,06	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,17	0,03	0,03	368	91	34	13	8	0	0	0	0	0	TA(Siemens)
siemens2	15,05	0,11	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,20	0,03	0,03	381	92	37	15	9	1	0	0	0	0	TA(RWTH)
siemens2	17,33	0,08	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,20	0,04	0,03	462	148	47	18	6	0	0	0	0	0	U(Siemens)
siemens3	6,75	0,05	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,11	0,01	0,01	137	31	9	2	0	0	0	0	0	0	SA(TUHH)
siemens3	5,63	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,07	0,01	0,01	103	15	3	0	0	0	0	0	0	0	TA(RWTH)
siemens3	5,26	0,04	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,07	0,01	0,01	87	10	3	0	0	0	0	0	0	0	TA(Siemens)
siemens3	8,42	0,21	0,01	0,01	0,05	0,00	0,00	0,21	0,02	0,02	188	47	18	6	4	1	1	1	1	0	U(Siemens)
siemens4	89,15	0,24	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00	0,53	0,07	0,06	2350	1056	591	368	244	40	10	4	0	0	SA(TUHH)
siemens4	83,57	0,18	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,35	0,06	0,05	2251	1006	540	343	207	19	3	0	0	0	TA(RWTH)
siemens4	80,97	0,17	0,01	0,01	0,05	0,00	0,00	0,36	0,06	0,05	2143	933	502	328	197	13	1	0	0	0	TA(Siemens)
siemens4	105,82	0,27	0,01	0,02	0,05	0,00	0,00	0,53	0,08	0,07	2644	1286	798	562	371	56	17	9	0	0	U(Siemens)
Swisscom	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Original
Swisscom	27,36	0,00	0,00	0,00	0,96	0,32	0,19	3,48	0,75	0,63	85	85	85	85	85	85	85	57	14	14	SA(TUHH)
Swisscom	29,52	0,00	0,00	0,00	0,96	0,33	0,18	2,96	0,77	0,65	89	89	89	89	89	89	89	60	15	15	TA(RWTH)
Swisscom	17,71	0,00	0,00	0,00	0,97	0,30	0,18	2,26	0,66	0,51	59	59	59	59	59	59	59	44	5	5	TA(Siemens)

Πίνακας 3.1 : Τα τέσσερα σενάρια της siemens και το ένα Swisscom με τέσσερις εκχωρήσεις για το καθένα.

3.4 Συμπεράσματα

Όπως διαφαίνεται και από τα παραπάνω η ομάδα εργασιών SWG 3.1 εκπλήρωσε τις προσδοκίες και τους στόχους. Η διαθεσιμότητα μιας σειράς σεναρίων σχεδιασμού έχει επηρεάσει σημαντικά την ανάπτυξη νέων αλγορίθμων σχεδιασμού και συνέβαλε στην ανταλλαγή των ιδεών μεταξύ σε αυτούς που συμμετείχαν. Οι πίνακες σύγκρισης των εκχωρήσεων των διαφόρων σεναρίων πραγματοποιήθηκε ύστερα από αρκετές υλοποιήσεις των αλγορίθμων σχεδιασμού. Κοινός στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής παρεμβολής σε ένα κυψελωτό δίκτυο. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ των εκχωρήσεων σε κάθε σενάριο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε εκχώρηση προέρχεται από διαφορετική μέθοδο η διαφορετική προσέγγιση κάποιας μεθόδου.

4

GSM

4.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ GSM

Η ιδέα κυψελωτών κινητών τηλεπικοινωνιών δεν είναι πρόσφατη. Ήδη από τη δεκαετία του 70 τα εργαστήρια Bell δημιούργησαν τα πρώτα πειραματικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών, χωρίς όμως εμπορικές εφαρμογές. Η εμπορική εκμετάλλευση ξεκίνησε τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 80, όταν άρχισαν να λειτουργούν τα πρώτα αναλογικά κινητά τηλέφωνα. Η κινητή τηλεφωνία αναπτύχθηκε ταχύτατα, αρχικά στη Σκανδιναβία και στη Μεγάλη Βρετανία και στη συνέχεια στην υπόλοιπη Ευρώπη. Κατά τα πρώτα στάδια της κινητής τηλεφωνίας κάθε χώρα δημιούργησε τα δικά της πρότυπα και συστήματα επικοινωνίας. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου του κατακερματισμού των προτύπων και των αγορών, ιδρύθηκε το 1982 το Group Special Mobile (GSM) που ανέλαβε να θεσπίσει πανευρωπαϊκά πρότυπα στη κινητή τηλεφωνία. Το 1989 η ευθύνη του GSM ανατέθηκε στο Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Ινστιτούτο Προτύπων (ETSI) και το 1990 ανακοινώθηκε επίσημα για πρώτη φορά το πρότυπο και τα χαρακτηριστικά του GSM. Το 1991 άρχισε η του διάθεση στην Ευρώπη και η σημασία του ακρωνυμίου του GSM άλλαξε σε Παγκόσμιο Σύστημα των Κινητών τηλεπικοινωνιών (Global System for Mobile communications).

4.2 ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

Η φιλοσοφία σχεδίασης των πρώτων συστημάτων κινητής τηλεφωνίας ήταν η επίτευξη ραδιοκάλυψης σε μεγάλη έκταση χρησιμοποιώντας έναν πομπό υψηλής ισχύος και με την κεραία του εγκατεστημένη σε ένα μεγάλου ύψους ιστό. Παρά το γεγονός ότι αυτή η προσέγγιση εξασφάλιζε πολύ καλή ραδιοκάλυψη, ταυτόχρονα σήμαινε ότι ήταν αδύνατη η επαναχρησιμοποίηση των ιδίων συχνοτήτων εντός των ευρύτερων αυτών ορίων κάλυψης. Για παράδειγμα τα πρώτα αναλογικά συστήματα

κινητής τηλεφωνίας μπορούσαν να εξυπηρετήσουν μόλις μερικές δεκάδες ταυτόχρονες συνδιαλέξεις σε εκτάσεις χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων. Επιπροσθέτως η αδυναμία των εθνικών ρυθμιστικών αρχών να καταναείμουν επαρκές φάσμα για την κάλυψη των ολοένα αυξανόμενων απαιτήσεων για υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, οδήγησε στην αναθεώρηση των αρχών σχεδίασης των συστημάτων κινητών επικοινωνιών. Έτσι, για την ανάπτυξη νέων δικτύων κινητών επικοινωνιών υιοθετήθηκε η σχεδιαστική αρχή της κυψελωτής τηλεφωνίας που παρά την περιορισμένη ποσότητα φάσματος, είναι σε θέση να ικανοποιήσει την απαίτηση για μεγάλη χωρητικότητα ενώ ταυτόχρονα να προσφέρει κάλυψη σε περιοχές μεγάλης έκτασης.

Η σύλληψη της αρχής της κυψελωτής τηλεφωνίας ήταν μια σημαντική ανακάλυψη η οποία έλυσε το πρόβλημα της αυξημένης ζήτησης χωρητικότητας από περιορισμένη ποσότητα φάσματος. Το αξιοσημείωτο επίσης είναι ότι η λύση αυτή έλυσε το πρόβλημα με υπάρχουσα τεχνολογία. Η αρχή της κυψελωτής τηλεφωνίας είναι κατ' ουσία η αντικατάσταση ενός πομπού υψηλής ισχύος και ευρείας κάλυψης (μεγάλη κυψέλη) με πολλούς πομπούς πολύ μικρότερης ισχύος και κάλυψης μικρού μέρους (μικρή κυψέλη) της περιοχής εξυπηρέτησης. Σε κάθε σταθμό βάσης εκχωρείται κλάσμα του συνολικού αριθμού των διαθέσιμων καναλιών του συστήματος, ενώ σε όμορους σταθμούς βάσης εκχωρούνται διαφορετικές ομάδες καναλιών έτσι ώστε η διάθεση όλων των καναλιών του συστήματος να εξαντληθεί εντός των ορίων μιας μικρής σχετικά γεωγραφικής περιοχής, η οποία εξυπηρετείται από ένα σχετικά μικρό αριθμό σταθμών βάσης. Σε σταθμούς βάσης που ευρίσκονται ο ένας δίπλα στον άλλο εκχωρούνται διαφορετικές ομάδες συχνοτήτων, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές μεταξύ των σταθμών βάσης αλλά και των κινητών τηλεφώνων. Με την συστηματική επιλογή θέσεων για τους σταθμούς βάσης και την ανάθεση σε αυτούς κατάλληλων καναλιών καθίσταται δυνατή η εξυπηρέτηση μιας συγκεκριμένης περιοχής και ταυτόχρονα η επαναχρησιμοποίηση των διαθέσιμων καναλιών στην ευρύτερη περιοχή κάλυψης από νέους σταθμούς βάσης τόσες φορές όσες απαιτείται με την προϋπόθεση ότι η παρεμβολή μεταξύ συγκαταλιών σταθμών βάσης (δηλαδή σταθμών που χρησιμοποιούν τα ίδια κανάλια) παραμένει κάτω από τα αποδεκτά όρια.

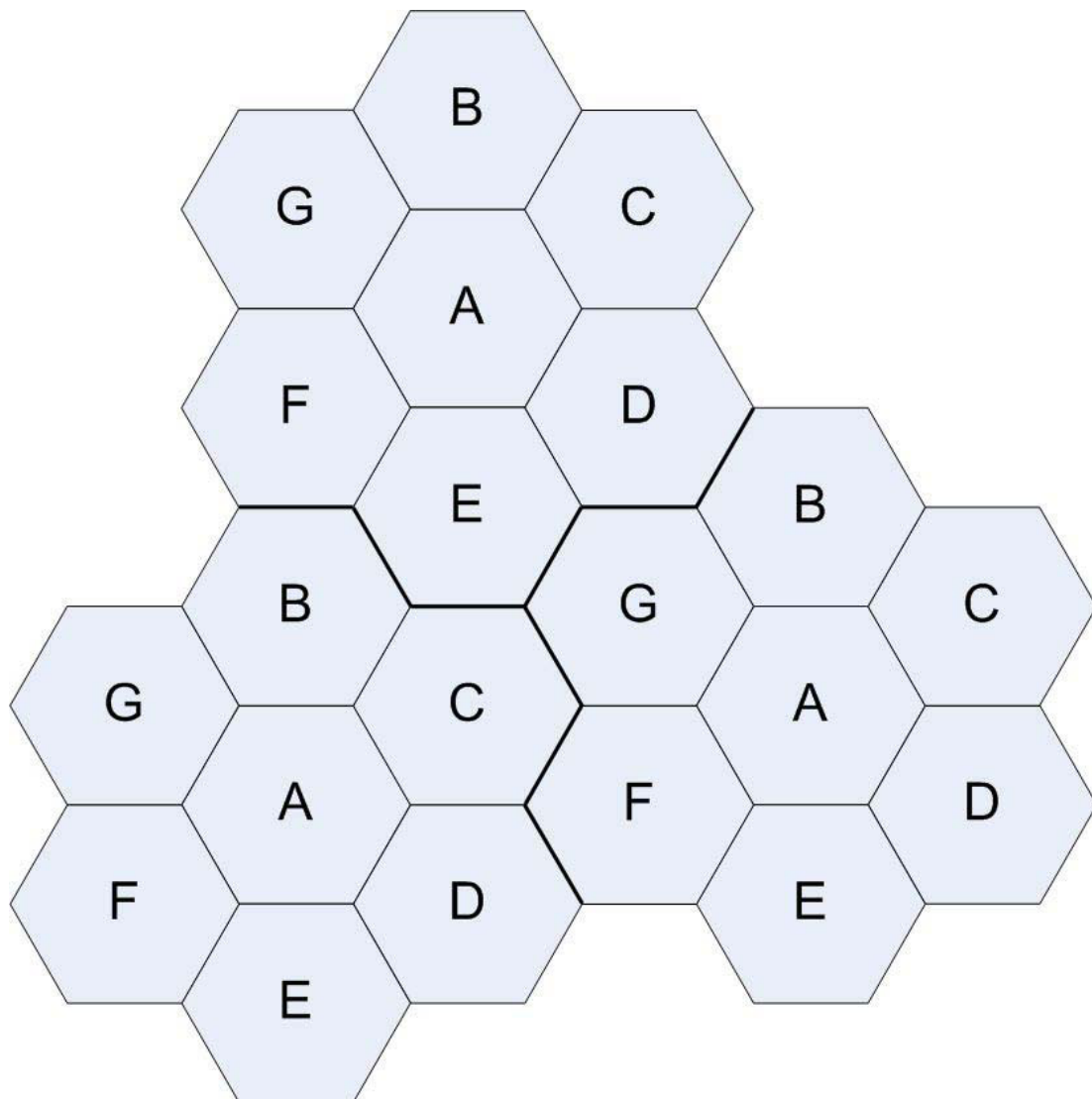
Καθώς η απαίτηση για χωρητικότητα αυξάνεται (δηλαδή περισσότεροι χρήστες ζητούν υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας), ο αριθμός των σταθμών βάσης μπορεί να αυξηθεί και ταυτόχρονα η ισχύς εκπομπής τους να μειωθεί έτσι ώστε και ο αριθμός

των διαθέσιμων καναλιών να αυξηθεί για μια δεδομένη γεωγραφική περιοχή εξυπηρέτησης αλλά και η συνκαναλική παρεμβολή να διατηρηθεί σε αποδεκτά επίπεδα. Με την τακτική αυτή η χωρητικότητα του συστήματος κινητής τηλεφωνίας αυξάνεται χωρίς να απαιτείται περαιτέρω αύξηση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων, δηλαδή ο αριθμός των καναλιών του συστήματος παραμένει σταθερός. Η θεμελιώδης αυτή αρχή αποτελεί την βάση για όλα τα σύγχρονα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών, διότι επιτρέπει σε ένα συγκεκριμένο (περιορισμένο) αριθμό διαύλων να εξυπηρετήσει οποιονδήποτε αριθμό χρηστών επαναχρησιμοποιώντας τους διαύλους εντός των γεωγραφικών ορίων της περιοχής κάλυψης. Επιπλέον, η αρχή της κυψελωτής τηλεφωνίας επιτρέπει σε κάθε κινητό τηλέφωνο που χρησιμοποιείται εντός των γεωγραφικών ορίων μιας χώρας ή ηπείρου να λειτουργεί στην ίδια περιοχή συχνοτήτων, και έτσι ο χρήστης να μπορεί να το χρησιμοποιήσει οπουδήποτε εντός της αυτής της περιοχής

4.3 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας βασίζονται στην ευφυή ανάθεση και επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (καναλιών) εντός των γεωγραφικών ορίων της περιοχής κάλυψης. Το παρακάτω σχήμα στο οποίο οι κυψέλες που αναφέρονται με το ίδιο γράμμα χρησιμοποιούν τις ίδιες ομάδες συχνοτήτων, παρουσιάζει την αρχή της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Το διάγραμμα ραδιοκάλυψης κάθε σταθμού βάσης έχει συμβολικά εξαγωνικό σχήμα (στην πραγματικότητα η περιοχή κάλυψης ενός σταθμού βάσης μπορεί να έχει οποιαδήποτε μορφή) και έχει καθολικά υιοθετηθεί διότι παρέχει έναν εύκολο κι εποπτικό τρόπο για την ανάλυση και σχεδίαση ενός συστήματος κυψελωτής τηλεφωνίας. Το πραγματικό διάγραμμα κάλυψης μιας κυψέλης ονομάζεται αποτύπωμα (footprint) και καθορίζεται είτε από μετρήσεις πεδίου είτε από μοντέλα διάδοσης ραδιοκυμάτων. Επίσης θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει ότι το καταλληλότερο γεωμετρικό σχήμα για την αναπαράσταση του διαγράμματος κάλυψης ενός σταθμού βάσης θα ήταν ο κύκλος. Εν' τούτοις γειτονικοί κύκλοι δεν μπορούν να υπερτεθούν σε χάρτη που περιγράφει την περιοχή κάλυψης χωρίς να αφήσουν κενά ή να δημιουργήσουν επικαλυπτόμενες επιφάνειες. Έτσι, όταν κανείς εξετάσει ποια γεωμετρικά σχήματα ίδιας μορφής μπορούν να καλύψουν μια ολόκληρη περιοχή χωρίς επικάλυψη υπάρχουν τρεις ρεαλιστικές

επιλογές: το τετράγωνο, το ισόπλευρο τρίγωνο και το εξάγωνο. Από αυτά τα τρία σχήματα το εξάγωνο αποτελεί μια πολύ καλή προσέγγιση του διαγράμματος ακτινοβολίας της πανκατευθυντικής (omni-directional) κεραίας ενός σταθμού βάσης τοποθετημένου στο κέντρο της κυψέλης. Επιπλέον, για δεδομένη απόσταση μεταξύ του κέντρου ενός πολυγώνου και του πιο απομακρυσμένου σημείου επί της περιμέτρου του, το εξάγωνο έχει το μεγαλύτερο εμβαδόν από τα τρία σχήματα, με αποτέλεσμα να απαιτείται μικρότερος αριθμός εξαγώνων (και κατά συνέπεια σταθμών βάσης) για την κάλυψη της περιοχής εξυπηρέτησης του δικτύου.



Σχήμα 4.1: Σχήμα εξαγωγικού κυψελωτού δικτύου

Όταν χρησιμοποιούμε εξάγωνα για να μοντελοποιήσουμε περιοχές κάλυψης, οι πομποί των σταθμών βάσης θεωρούνται ότι ευρίσκονται είτε στο κέντρο της κυψέλης (κυψέλη κεντρικά διαγειρόμενη) είτε σε τρεις από τις έξη γωνίες της κυψέλης (κυψέλη περιφερειακά διαγειρόμενη). Συνήθως πανκατευθυντικές κεραιές τοποθετούνται σε κυψέλες κεντρικά διαγειρόμενες και κατά τομείς κατευθυντικές κεραιές σε κυψέλες περιφερειακά διαγειρόμενες. Πρακτικές δυσκολίες δεν επιτρέπουν συνήθως την τοποθέτηση των κεραιών ακριβώς όπως απεικονίζονται στο εξιδανικευμένο εξαγωνικό σχέδιο, αλλά οι περισσότερες υλοποιήσεις συστημάτων επιτρέπουν την τοποθέτηση του σταθμού βάσης μακριά από την ιδανική θέση σε απόσταση μέχρι και το ένα τέταρτο της ακτίνας της κυψέλης.

Σε ένα σύστημα κινητής τηλεφωνίας με N κυψέλες και k κανάλια η κάθε μία, τότε ο συνολικός αριθμός καναλιών δίνεται από τη σχέση:

$$S = k \times N$$

Οι N κυψέλες που χρησιμοποιούν το συνολικό αριθμό των διαθέσιμων στο σύστημα συχνοτήτων λέγεται ότι αποτελούν μια ομάδα (cluster). Εάν υπάρχουν M αντίγραφα της ομάδας εντός του συστήματος, ο συνολικός αριθμός των αμφίδρομων καναλιών C αποτελεί ένα μέτρο εκτίμησης της χωρητικότητας του συστήματος και δίδεται από την σχέση:

$$C = M \times k \times N$$

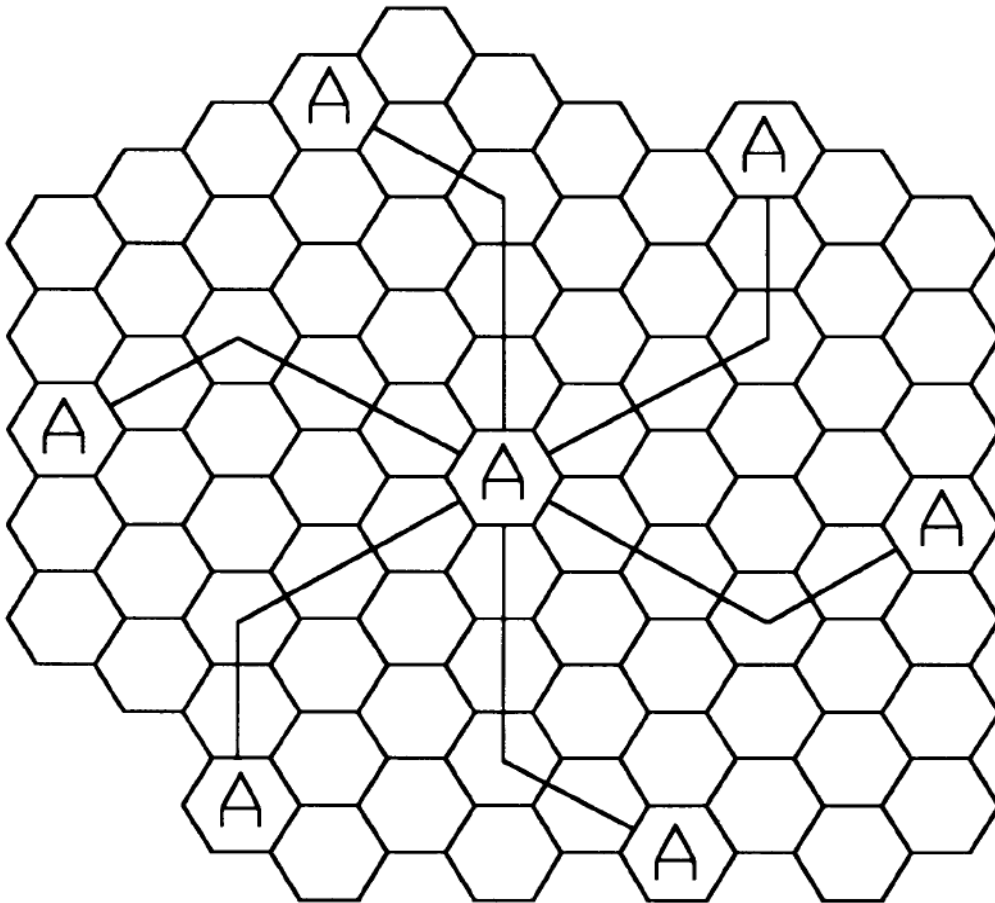
Όπως εύκολα διαπιστώνεται, η χωρητικότητα ενός συστήματος κυψελωτής τηλεφωνίας είναι ανάλογη του αριθμού των αντιγράφων της ομάδας εντός της περιοχής κάλυψης. Η παράμετρος N ονομάζεται μέγεθος ομάδας (cluster size) και στα περισσότερα συστήματα λαμβάνει τυπικές τιμές 4, 7 ή 12. Εάν το μέγεθος ομάδας ελαττωθεί και ταυτόχρονα το μέγεθος της κυψέλης διατηρηθεί σταθερό, τότε περισσότερες ομάδες απαιτούνται για την κάλυψη δεδομένης περιοχής με άμεσο αποτέλεσμα την επίτευξη περισσότερης χωρητικότητας. Το μέγεθος της ομάδας είναι άμεσα συνδεδεμένο με την απόσταση επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων. Έτσι, για ένα μεγάλο μέγεθος ομάδας ο λόγος της απόστασης D μεταξύ συγκαναλικών κυψελών και της ακτίνας R της κυψέλης είναι μεγάλος. Συνεπώς, μικρό μέγεθος ομάδας συνεπάγεται ότι οι συγκαναλικές κυψέλες είναι κοντά τοποθετημένες η μία

στην άλλη. Η τιμή του μεγέθους ομάδας N είναι συνάρτηση της στάθμης των παρεμβολών που μπορεί να ανεχθεί ο σταθμός βάσης ή το κινητό τηλέφωνο χωρίς η ποιότητα της επικοινωνίας να πέσει σε ανεπίτρεπτα επίπεδα. Από την οπτική γωνία της σχεδίασης συστημάτων είναι επιθυμητό να επιτύχουμε την μεγαλύτερη δυνατή χωρητικότητα μειώνοντας το μέγεθος ομάδας, αλλά ταυτόχρονα παρατηρούμε ότι το τίμημα είναι η αύξηση της στάθμης της συγκαταλικής παρεμβολής. Ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης συχνότητας (frequency reuse factor) ενός συστήματος κυψελωτής τηλεφωνίας ισούται με $1/N$, καθόσον εντός κάθε κυψέλης που ανήκει σε μια ομάδα μεγέθους N ο αριθμός των εκχωρηθέντων καναλιών είναι ίσος προς $1/N$.

Λόγω της εξαγωνικής γεωμετρίας του συστήματος κυψελών κάθε κυψέλη έχει γύρω της ακριβώς έξη γειτονικές κυψέλες. Το κέντρο της κάθε κυψέλης απέχει την ίδια απόσταση από τα κέντρα των έξη παρακειμένων της (τα κέντρα δηλαδή ευρίσκονται στην περιφέρεια κύκλου), τα οποία και αντιστοιχούν σε τόξα των εξήντα (60) μοιρών. Λόγω του χαρακτηριστικού αυτού γνωρίσματος της εξαγωνικής γεωμετρίας η υλοποίηση ενός συστήματος κυψελωτής τηλεφωνίας είναι εφικτή μόνο για συγκεκριμένα μεγέθη ομάδων και διατάξεις κυψελών. Έτσι ο αριθμός των κυψελών, N , σε κάθε ομάδα πρέπει να δίδεται από την σχέση:

$$N = i^2 + j^2 + i \times j$$

όπου i και j είναι μη αρνητικοί ακέραιοι. Για να προσδιορίσουμε την πλησιέστερη συγκαταλική κυψέλη μιας συγκεκριμένης κυψέλης θα πρέπει να μετακινηθούμε i κυψέλες κατά μήκος οποιασδήποτε αλυσίδας εξαγώνων, κατόπιν να στρίψουμε εξήντα (60) μοίρες με φορά αντίθετη των δεικτών του ρολογιού και τέλος να μετακινηθούμε j κυψέλες κατά μήκος της νέας διεύθυνσης



Σχήμα 4.2: Προσδιορισμός συγκαναλικής κυψέλης

4.4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του GSM 900

Το GSM 900 βασίζεται σε συνδυασμό Πολλαπλής Πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας (FDMA: Frequency Division Multiple Access) και χρόνου (TDMA: Time Division Multiple Access). Το φάσμα που έχει αποδοθεί είναι από 890 έως 915MHz και 935 έως 960MHz. Το πρώτο τμήμα του φάσματος 890-915MHz χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του κινητού τηλεφώνου με τον σταθμό βάσης (Up link), ενώ το δεύτερο τμήμα για την επικοινωνία του σταθμού βάσης με το κινητό τηλέφωνο (Down link).

FDMA

Με την τεχνική FDMA τα δύο τμήματα συχνοτήτων διαιρούνται σε ζευγάρια (Up link και Down link) εύρους ζώνης 200KHz το καθένα. Έτσι το συνολικό εύρος ζώνης 25MHz παρέχει 125 φέρουσες ξεκινώντας από την 890.2 για το Up link και 935,2 για

το Down link. Βέβαια από τα 125 ζευγάρια η πρώτη ζώνη συχνότητας χρησιμεύει σαν ζώνη ασφάλειας από παρεμβολές μεταξύ του GSM και άλλων συστημάτων. Για την αποφυγή περαιτέρω παρεμβολών από τις 124 φέρουσες (στη ζώνη των 25MHz) χρησιμοποιούνται μόνο οι 122. Το n-ιοστό κανάλι Up link είναι στη συχνότητα $(890+0.2n)$ MHz (οπού $n=1,2..124$), ενώ το αντίστοιχο Down link είναι κατά 45MHz μπροστά.

TDMA

Με την τεχνική TDMA ο άξονας του χρόνου χωρίζεται σε πλαίσια (frames) διάρκειας 4.615 ms το καθένα. Κάθε πλαίσιο αποτελείται από 8 χρονοθυρίδες διάρκειας 0.577 ms η κάθε μία. Κάθε ζεύγος συχνοτήτων (Up link-Down link) διαμοιράζεται σε 8 χρονοθυρίδες. Μια από τις 8 χρονοθυρίδες χρησιμοποιεί ο κάθε χρήστης σε κάποια φέρουσα για την μετάδοση των δεδομένων. Για τη λήψη χρησιμοποιείται η αντίστοιχη χρονοθυρίδα στη φέρουσα από το σταθμό βάσης προς το κινητό. Άρα ο συνολικός αριθμός καναλιών είναι 992 κανάλια.

Η διαμόρφωση που χρησιμοποιεί το GSM είναι Γκαουσσισιανή διαμόρφωση ελάχιστης μετατόπισης GMSK η οποία έχει υψηλή φασματική απόδοση και μεγάλη ανθεκτικότητα σε παρεμβολές συγγενούς καναλιού. Ο ρυθμός εκπομπής για κάθε ζεύγος συχνοτήτων είναι 270 Kbps που μοιράζεται (λόγω TDMA) σε 8 χρονοθυρίδες με ρυθμό 33.85Kbps η κάθε μία. Από αυτά τα 13 Kbps χρησιμοποιούνται για τη φωνή και τα υπόλοιπα για κωδικοποίηση, διόρθωση λαθών και συγχρονισμό.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του GSM 900 παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.2).

Multiple Access Method	TDMA / FDMA
Uplink frequencies (MHz)	933-960 (basic GSM)
Downlink frequencies (MHz)	890-915 (basic GSM)
Duplexing	FDD
Channel spacing, kHz	200
Modulation	GMSK
Portable TX power, maximum / average (mW)	1000 / 125

Power control, handset and BSS	Yes
Speech coding and rate (kbps)	RPE-LTP / 13
Speech Channels per RF channel:	8
Channel rate (kbps)	270.833
Channel coding	Rate 1/2 convolutional
Frame duration (ms)	4.615

Πίνακας 4.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του GSM 900

5

Ψηφιακή τηλεόραση

5.1 Εισαγωγή

Με τον όρο ψηφιακή τηλεόραση εννοούμε την μετάδοση ψηφιακού σήματος τηλεόρασης. Τα τελευταία χρόνια η ψηφιακή τηλεόραση έχει εισέλθει δυναμικά στην καθημερινότητα μας. Αξιοσημείωτο είναι ότι ενώ η ψηφιακή τεχνολογία έχει αναπτυχθεί πολύ και χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς τομείς, η ψηφιακή τηλεόραση έγινε διαθέσιμη μόλις τα τελευταία χρόνια. Ένας λόγος αυτής της “καθυστέρησης” είναι για να επιτευχθεί η ψηφιακή ευρυεκπομπή τηλεοπτικού σήματος υπήρχε η απαίτηση της συμβατότητας της νέας τεχνολογίας με την υπάρχουσα. Ένας ακόμα λόγος είναι ότι η ανάπτυξη των προτύπων και για την αποδοτική συμπίεση της προς μετάδοση πληροφορίας πραγματοποιήθηκε τα τελευταία χρόνια.

Η ψηφιακή τηλεόραση αναπτύσσεται με τόσο γρήγορο ρυθμό ώστε έχει επικρατήσει η τάση για αντικατάσταση της αναλογικής τηλεόρασης. Σύμφωνα με τις συστάσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης κάθε κράτος μέλος οφείλει να ολοκληρώσει τη μετάβαση από την αναλογική στη ψηφιακή τηλεόραση μέχρι το 2015.

Τα κυριότερα κυριότερα πρότυπα που υιοθετήθηκαν για την ψηφιακή τηλεόραση είναι τα εξής:

- Advanced Television Systems Committee (ATSC) – 8VSB (Αμερική)
- Digital Video Broadcasting (DVB) – COFDM (Ευρώπη)
- Integrated Services Digital Broadcasting (ISBD) – BST-OFDM (Ιαπωνία)

5.2 Πλεονεκτήματα μετάβασης στη ψηφιακή τηλεόραση

Η ψηφιακή τηλεόραση είναι μια νέα τεχνολογικά προηγμένη λύση για τη μετάδοση τηλεόρασης που εισάγει στην τηλεόραση τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής τεχνολογίας. Τα χαρακτηριστικά που διαθέτει είναι τα εξής:

- Απαιτείται μειωμένος λόγος SNR σε σύγκριση με την αναλογική μετάδοση. Η ύπαρξη θορύβου ιδίως σε αστικό περιβάλλον είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Ο λόγος είναι οι ανακλάσεις του σήματος στα κτίρια ή σε κινούμενα αντικείμενα μεταξύ πομπού και δέκτη δηλαδή του φαινομένου της πολύοδης μετάδοσης (multipath propagation). Με την χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας και των τεχνικών διόρθωσης σφαλμάτων είναι δυνατή η αντιμετώπιση του θορύβου.
- Βελτιωμένη ποιότητα εικόνας, με μεγαλύτερη ανοχή στις ατέλειες του ασύρματου διαύλου. Παρέχεται, δηλαδή, καλύτερη ικανότητα λήψης, συμπεριλαμβανομένης της εξάλειψης του φαινομένου ghosting και άλλων λαθών μετάδοσης.
- Μεταβλητό ρυθμό εκπομπής (bit rate), ανάλογα με τις απαιτήσεις ποιότητας του εκάστοτε προγράμματος.
- Πολυπλεξία: Η πολυπλεξία του σήματος στον πομπό επιτρέπει τη λήψη πολλαπλάσιων καναλιών σε ένα ενιαίο φάσμα συχνότητας. Η ποσότητα δεδομένων που μπορεί να διαβιβαστεί (και επομένως ο αριθμός των καναλιών) επηρεάζεται άμεσα από τη μέθοδο διαμόρφωσης του καναλιού.
- Μεγαλύτερη ανοχή στις παρεμβολές. Ρυθμίζοντας κατάλληλα τη διαμόρφωση και το ρυθμό εκπομπής μπορούμε να ελέγξουμε την ευαισθησία του σήματος στις παρεμβολές.
- Συμπίεση πληροφορίας. Με την χρήση αποδοτικών τεχνικών συμπίεσης έγινε εφικτή η μετάδοση μόνο της ωφέλιμης πληροφορίας εικόνας και ήχου στο δέκτη. Μια αναγκαία προϋπόθεση είναι η διατήρηση της ποιότητας της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Συγκεκριμένα σε παγκόσμιο επίπεδο χρησιμοποιείται το πρότυπο MPG-2.
- Εξοικονόμηση ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ως αποτέλεσμα των τεχνικών συμπίεσης και της πολυπλεξίας εξοικονομείται αισθητά μεγάλη χωρητικότητα σε κάθε δίαυλο εκπομπής.

- Εισαγωγή περισσότερων υπηρεσιών (διαδραστική τηλεόραση, τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας, ηλεκτρονικός οδηγός προγράμματος). Λόγω της εξοικονόμησης ηλεκτρομαγνητικού φάσματος δίνεται η δυνατότητα χρήσης της “αχρησιμοποίητης” χωρητικότητας για υπηρεσίες ψηφιακής τηλεόρασης.

5.3 DVB

Μέχρι και το 1990 η μετάδοση ψηφιακής τηλεόρασης ήταν ιδιαίτερα δύσκολη και η υλοποίηση της υψηλού κόστους. Εκείνη την εποχή λάμβαναν χώρα διάφορες δημόσιες συζητήσεις που είχαν ως στόχο τη δημιουργία ενός νέου συστήματος τηλεοπτικής μετάδοσης με καινούρια βελτιωμένα χαρακτηριστικά όπως τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας και δορυφορική μετάδοση. Οι συζητήσεις αυτές έφεραν αποτελέσματα το 1993 όπου ξεκίνησε η προσπάθεια μετάβασης στην ψηφιακή τηλεόραση. Μια συμμαχία αποτελούμενη από περισσότερους από 300 φορείς από 32 διαφορετικές χώρες ίδρυσαν το 1993 τον οργανισμό DVB (Digital Video Broadcasting). Ο οργανισμός αυτός ανέπτυξε 3 διαφορετικά πρότυπα μετάδοσης ψηφιακής τηλεόρασης.

- Δορυφορική εκπομπή. Σε αυτή ανήκουν τα πρότυπα DVB-S, DVB-S2, DVB-SH, DVB-RCS
- Καλωδιακή εκπομπή. Σε αυτή ανήκουν τα πρότυπα DVB-C, DVB-C2
- Επίγεια εκπομπή. Σε αυτή ανήκουν τα πρότυπα DVB-T, DVB-T2, DVB-H

Μια από τις σημαντικότερες ανησυχίες του DVB ήταν η εμπορική επιτυχία του εγχειρήματος αυτού. Η ψηφιακή τηλεόραση είχε να ανταγωνιστεί αρκετά τηλεοπτικά πρότυπα τα περισσότερα από τα οποία ήταν σε χρήση αρκετά χρόνια. Με την πάροδο του χρόνου η έννοια του μεταφορέα δεδομένων (data container) κυριάρχησε στην εξέλιξη του DVB. Ως data container ορίζουμε τη μέγιστη ποσότητα δεδομένων που μπορεί να μεταφερθεί ανά μονάδα χρόνου σχεδόν χωρίς λάθη (quasi error free-QEF). Σημασία δεν έχει τι είδους υπηρεσίες μεταδίδονται από τη στιγμή που αυτές πολυπλέκονται εφοδιασμένες με δεδομένα συγχρονισμού.

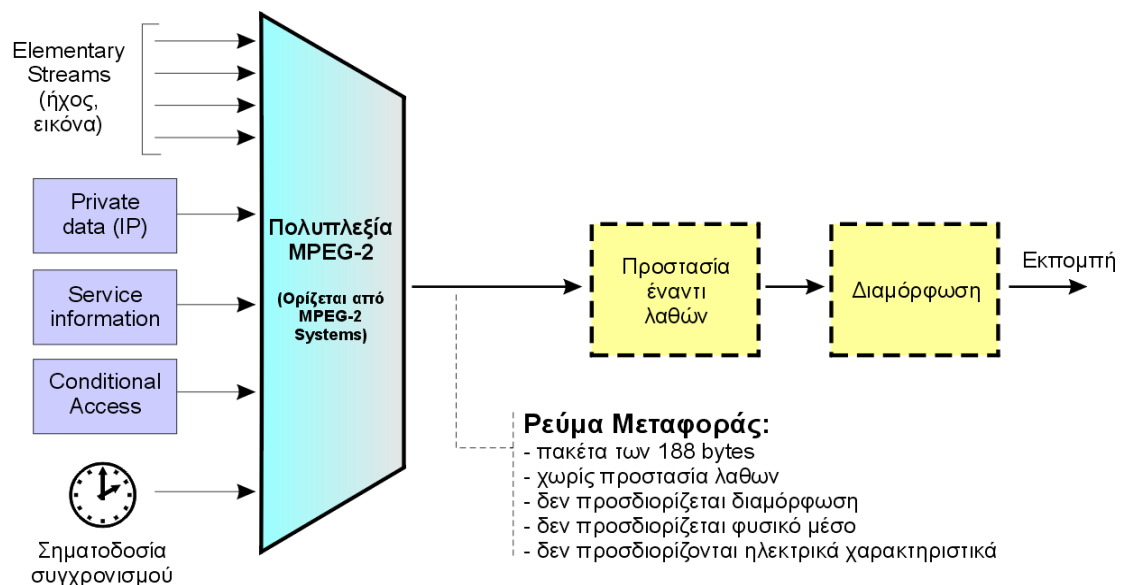
Κάτω από αυτό το πρίσμα αναπτύχθηκε το πρότυπο DVB. Η φιλοσοφία του στηριζόταν στα εξής σημεία:

- Δεν υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ ενός διαύλου μετάδοσης και ενός διαύλου προγράμματος (κανάλι). Σε ένα κανάλι μπορεί να μεταφερθεί συνδυασμός εικόνας, ήχου, πολυμέσων και δεδομένων.
- Όσον αφορά το φυσικό στρώμα (συχνότητες φέροντος) και τα χαρακτηριστικά μεταφοράς και μετάδοσης (διόρθωση λαθών, κωδικοποίηση) θα πρέπει να ακολουθούνται τα πρότυπα ETSI (European Telecommunication Standardization Institute).
- Για να μειωθεί το κόστος των χρηστών και των κατασκευαστών θα πρέπει να υπάρχει ομοιότητα ανάμεσα στις διαφορετικές πλατφόρμες παράδοσης.
- Για την δημιουργία διαδραστικών υπηρεσιών θα πρέπει το DVB να υποστηρίζει τη μετάδοση δεδομένων από τον χρήστη (return transmission).

5.4 Το πρότυπο DVB-T

5.4.1 Επίγεια ψηφιακή τηλεόρασης DTT

Το επίγειο ψηφιακό μοντέλο ασύρματης ευρυεκπομπής ακολουθεί τις προδιαγραφές της ITU-R.



Σχήμα 5.1: Το επίγειο ψηφιακό μοντέλο ασύρματης ευρυεκπομπής

Το μοντέλο αυτό αποτελείται από διάφορα στάδια.

- Με τη χρήση της τεχνικής MPEG-2 έχουμε την κωδικοποίηση, την συμπίεση και την πολυπλεξία μιας ροής βίντεο ήχους και εικόνας σε μορφή MPEG-2 PS (Program Stream).
- Ένας αριθμός τέτοιων ροών βίντεο, εικόνας, ήχου και δεδομένων πολυπλέκονται σε μία ενιαία ροή MPEG-2 TS (Transport Stream) η οποία μεταδίδεται μέσω ενός καναλιού συχνοτήτων. Το σήμα βασικής ζώνης αποτελεί ενιαία ροή μεταφοράς πολυπλεγμένη και κωδικοποιημένη σύμφωνα με το πρότυπο MPEG-2 ή MPEG-4. Η πολυπλεξία με την τεχνική MPEG-2 έχει την δυνατότητα μετάδοσης 4-6 καναλιών κανονικής ευκρίνειας σε εύρος ζώνης που καταλαμβάνει ένα αναλογικό κανάλι, ενώ με την τεχνική MPEG-4 παρέχεται η δυνατότητα τριπλασιασμού των καναλιών κανονικής ευκρίνειας.
- Το πρότυπο DVB-T υποστηρίζει κωδικοποίηση για διόρθωση λαθών FEC (Forward Error Correction) αποτελούμενο από έναν εξωτερικό και έναν εσωτερικό κωδικοποιητή. Ο εξωτερικός κωδικοποιητής είναι ένας μπλοκ κώδικας REED-SOLOMON ενώ ο εσωτερικός είναι ένας συνελκτικός κωδικοποιητής με βασικό ρυθμό 1/2.
- Το DVB-T χρησιμοποιεί κωδικοποιημένη ορθογώνια διαμόρφωση συχνότητας COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Η ροή ψηφίων πληροφορίας χωρίζεται σε επιμέρους ροές οι μεταδίδονται σε αντίστοιχο αριθμό υποδιαύλων. Το πλήθος των υποδιαύλων είναι 1705 (αναφερόμενο ως 2k) ή 6817 (αναφερόμενο ως 8k). Οι υποδιαύλοι αυτοί έχουν φέρουσες ορθογώνιες μεταξύ τους και καταλαμβάνουν εύρος ζώνης 8 Mhz για UHF και 7 Mhz για VHF. Οι υπο-φέρουσες διαμορφώνονται με ένα εκ των τύπων QPSK, 16-QAM και 64-QAM.
- Για την μετάδοση το DVB-T χρησιμοποιεί τις ζώνες συχνοτήτων VHF (174-230 Mhz) και UHF (470-862 Mhz).

5.5 Ζώνη Συχνοτήτων Τηλεόρασης

Η εκπομπή του επίγειου τηλεοπτικού σήματος γίνεται στη ζώνη συχνοτήτων 470-862 MHz της ευρύτερης ζώνης UHF (Ultra High Frequency) 300MHz-3GHz. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.7) φαίνεται το σύνολο του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων καθώς επίσης και η ζώνη UHF μέσα στην οποία βρίσκεται το φάσμα που διατίθεται για την μετάδοση τηλεοπτικού σήματος. Όπως παρατηρούμε στη ζώνη UHF βρίσκεται και το GSM (στα 900 MHz και στα 1800 MHz).

αυτή η μετάβαση τότε η τηλεόραση θα χρησιμοποιεί λιγότερα κανάλια (στην Ελλάδα από τα 38 που ήταν σε χρήση μόνο τα 12 θα είναι κατειλημμένα από την ψηφιακής τηλεόρασης). Η χρήση της έχει προοπτική σε πολλούς τομείς και η εκμετάλλευση της είναι ένα μείζον θέμα που πρέπει να ρυθμίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση και κατά συνέπεια η Ελλάδα.

Η ανάγκη διάθεσης του φάσματος 470-862 MHz της ζώνης UHF σε άλλες υπηρεσίες και ειδικότερα στην κινητή τηλεφωνία αντικατοπτρίζει δύο βασικές εξελίξεις στο χώρο των αγορών.

- Η ευρυεκπομπή επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης είναι πιο αποτελεσματική από την αναλογική. Τα ψηφιακά δίκτυα μπορούν να παράσχουν ισοδύναμο αριθμό καναλιών χρησιμοποιώντας λιγότερο φάσμα από ένα αναλογικό δίκτυο. Η χαμηλότερη φασματική απαίτηση της ψηφιακής τηλεόρασης επιτρέπει την απελευθέρωση φασματικού πλεονάσματος.
- Το φάσμα κάτω από το 1 GHz έχει ιδιαίτερα καλά χαρακτηριστικά διάδοσης και θεωρείται ελκυστική όχι μόνο για ευρυεκπομπή αλλά και για τις τηλεπικοινωνίες. Στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας το φάσμα κάτω του 1GHz είναι χρήσιμο για την επίτευξη ευρείας κάλυψης σε λιγότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές και στην κάλυψη εσωτερικών χώρων σε αστικές περιοχές.

5.7 Διεθνής δραστηριότητες ως προς το Ψηφιακό Μέρισμα

Μέχρι και το 2007 το φάσμα 470-862 MHz στη ζώνη UHF ήταν στην αποκλειστική διάθεση της τηλεόρασης (αναλογικής ή ψηφιακής) σύμφωνα πάντα με την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU (International Telecommunication Union). Ωστόσο εξαιτίας εξελίξεων σε ευρωπαϊκό επίπεδο αλλά και μέσα στην ITU άρχισαν οι συζητήσεις για μεγιστοποίηση των οφελών της χρήσης του ψηφιακού μερίσματος. Έτσι στην Παγκόσμια Διάσκεψη Ραδιοεπικοινωνιών 2007 (ITU World Radio Conference WRC-07) αποφασίστηκε η απονομή της ζώνης 790-862 MHz στις κινητές επικοινωνίες σε συμπρωτεύουσα βάση με τις ραδιοτηλεοπτικές υπηρεσίες για τη ζώνη 2 της ITU που περιλαμβάνει την Ευρώπη και την Αφρική το αργότερο μέχρι το 2015. Η Σύνοδος των Διοικήσεων της Ευρωπαϊκής Επιτροπής CEPT (European

Conference of Postal and Telecommunications Administrations) έχει αναπτύξει λεπτομερή σχέδια για την διευκόλυνση παροχής κινητών υπηρεσιών σε αυτό το φάσμα σε εναρμονισμένη αλλά μη υποχρεωτική βάση.

5.8 Προτεινόμενο Σχέδιο για την Ελλάδα

Σύμφωνα με την ITU η ζώνη 790-862MHz που περιλαμβάνει τα κανάλια 61 έως 69 θα δοθεί για χρήση κινητών επικοινωνιών (Πίνακας 4.4).

470	478	486	494	502	510	518	526	534	542	550	558	566MHz
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
566	574	582	590	598	606	614	622	630	638	646	654	662MHz
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
662	670	678	686	694	702	710	718	726	734	742	750	758MHz
45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	
758	766	774	782	790	798	806	814	822	830	838	846	854MHz
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	
854	862MHz											
69												

Πίνακας 5.4: Τα εννέα κανάλια που θα χρησιμοποιηθούν για κινητές τηλεπικοινωνίες

Το υπουργείο Υποδομών της Ελλάδας σε συνεργασία με Analysis-Mason μελέτησαν το θέμα της αποτίμησης και απόδοσης του Ψηφιακού Μερισίματος στην Ελλάδα. Το προτεινόμενο σχέδιο της μελέτης αυτής χρησιμοποιεί διαύλους FDD (Frequency Division Duplex) όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.5). Η τεχνολογία FDD παρέχει μια πραγματική full duplex λύση αλλά επίσης έχει το πρόβλημα της δέσμευσης μεγάλου φάσματος συχνοτήτων για εκπομπή και λήψη.

791-796	796-801	801-806	806-811	811-816	816-821	821 - 832	832-837	837-842	842-847	847-852	852-857	857-862
Downlink						Duplex gap	Uplink					
30 MHz (6 blocks of 5 MHz)						11 MHz	30 MHz (6 blocks of 5 MHz)					

Πίνακας 5.5: Το προτεινόμενο σχέδιο για την αποτίμηση και την απόδοση του Ψηφιακού Μερισίματος στην Ελλάδα

Υπάρχει και η εναλλακτική της χρησιμοποίησης TDD (Time Division Duplex) που χρησιμοποιεί το μισό φάσμα αφού είναι μονόδρομη επικοινωνία (half duplex). Όμως η τεχνολογία TDD θεωρείται ακατάλληλη για κινητές επικοινωνίες αφού απαιτείται ο

συντονισμός των σημάτων εκπομπής και λήψης και άρα ο συγχρονισμός των συσκευών, πράγμα ιδιαίτερα δύσκολο.

Από τη ζώνη 470-862MHz (κανάλια 61-69) τα άνω 3 κανάλια (838-862MHz) βρίσκονται στη διάθεση του στρατού. Έτσι θεωρείται αναγκαία η μετατόπιση των συχνοτήτων για στρατιωτική χρήση σε ένα αντίστοιχο τμήμα των 24MHz κάτω από τα 790 MHz.

Γνωρίζοντας τα αυξημένα οφέλη από την απελευθέρωση επιπρόσθετου φάσματος η μελέτη αυτή προτείνει τη χρήση του συνεχόμενου τμήματος φάσματος από το κανάλι 28 μέχρι και το 32. Το φάσμα αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε εθνικές ανάγκες και περιφερειακές υπηρεσίες.

Ως εκ τούτου, αν η μπάντα των 800MHz, επρόκειτο να διατεθεί για την κινητή χρήση στην Ελλάδα, η συνολική αξία της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης και των κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών στη ζώνη των UHF, θα είναι περίπου 26,2 δισεκατομύρια ευρώ, για μια περίοδο 20 ετών.

6

Το πρόβλημα εκχώρησης συχνοτήτων FAP

6.1 Εισαγωγή

Το πρόβλημα εκχώρησης καναλιών CAP (channel assignment problem) ή το πρόβλημα εκχώρησης συχνοτήτων FAP (frequency assignment problem) είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό αλλά και ιδιαίτερα δύσκολο πρόβλημα. Το πρόβλημα το οποίο χαρακτηρίζεται ως NP-δύσκολο έχει δύο διαρθρωτικές ιδιότητες: η περιορισμένη διαθεσιμότητα του φυσικού πόρου του ραδιοφάσματος (καναλιών-συχνοτήτων) που διαθέτουμε για τις ασύρματες συνδέσεις και οι παρεμβολές μεταξύ των συνδέσεων για ορισμένους συνδυασμούς συχνοτήτων. Η ποικιλία των πρακτικών του εφαρμογών κυμαίνεται από τη στρατιωτικές επικοινωνίες, την τηλεόραση (αναλογική και ψηφιακή) μέχρι και το πιο γνωστό και διαδεδομένο τα κυψελωτά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολλές διαφορετικές περιπτώσεις και πολλά διαφορετικά προσεγγιστικά μοντέλα. Τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας μπορούν να έχουν μεγαλύτερη επιτυχία στην παγκόσμια αγορά κάνοντας βελτιώσεις στους τομείς τις ποιότητας και της ασφάλειας ενσωματώνοντας υπηρεσίες ευρείας ζώνης και πολυμέσων. Οι υπηρεσίες αυτές χρειάζονται μεγάλη χωρητικότητα με βάση το ζητούμενο εύρος ζώνης.

Για να διευκολυνθεί αυτή η επέκταση του ραδιοφάσματος που διατίθεται για μία συγκεκριμένη υπηρεσία θα πρέπει ο πάροχος να κάνει την εκχώρηση συχνοτήτων όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά και αποτελεσματικά. Το πρόβλημα εκχώρησης ελάχιστου εύρους συχνοτήτων MSFAP (minimum span frequency assignment problem) ορίζεται ως το πρόβλημα ανάθεσης συχνοτήτων σε ένα σύνολο πομπών στους οποίους πρέπει να πληρούνται ορισμένοι περιορισμοί συμβατότητας καθώς επίσης και η ελαχιστοποίηση του εύρους ζώνης εργασίας δηλαδή της διαφοράς μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης συχνότητας που χρησιμοποιούνται.

Παρεμβολή μπορεί να προκύψει μεταξύ ενός ζευγαριού πομπών αν η ισχύς του σήματος παρεμβολής είναι αρκετά υψηλή. Όσο υψηλότερη λοιπόν είναι η πιθανή παρεμβολή μεταξύ δύο πομπών τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι και η απόσταση των συχνοτήτων που απαιτούνται. Για παράδειγμα αν δύο πομποί έχουν ικανοποιητική γεωγραφική απόσταση τότε η ίδια συχνότητα μπορεί να εκχωρηθεί εκ νέου και από τους δύο πομπούς. Από την άλλη πλευρά αν δύο πομποί βρίσκονται στην ίδια θέση τότε μπορεί να απαιτηθεί συχνοτική απόσταση πέντε ή και μεγαλύτερη.

Το πρόβλημα εκχώρησης συχνοτήτων έχει δύο βασικές πτυχές:

- 1) Σε ένα σύστημα ασύρματων επικοινωνιών πρέπει να καταναμειθούν συχνότητες έτσι ώστε να είναι δυνατή η μετάδοση δεδομένων μεταξύ πομπού και δέκτη για κάθε σύνδεση. Οι συχνότητες θα πρέπει να επιλέγονται από ένα δεδομένο σύνολο το οποίο μπορεί να διαφέρει μεταξύ των συνδέσεων. Αξιοσημείωτο είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος της κίνησης είναι αμφίδρομη (bidirectional), το οποίο στη πραγματικότητα σημαίνει ότι χρειάζονται δύο συχνότητες για κάθε σύνδεση, μία για κάθε κατεύθυνση.
- 2) Οι συχνότητες που έχουν εκχωρηθεί σε δύο συνδέσεις μπορεί να υποστούν παρεμβολές με αποτέλεσμα την απώλεια της ποιότητας του σήματος. Για να υπάρχει παρεμβολή θα πρέπει να πληρούνται δύο προϋποθέσεις:
 - a) Οι δύο συχνότητες θα πρέπει να είναι κοντά κατα μήκος της ηλεκτρομαγνητικής ζώνης (φαινόμενο Doppler) ή να βρίσκονται οι αρμονικές τους κοντά μεταξύ τους. Το τελευταίο αποτέλεσμα φαίνεται να είναι περιορισμένο και ο λόγος είναι ότι οι ζώνες συχνοτήτων που συνήθως επιλέγονται είναι τόσο μικρές ώστε να μην υπάρχουν αρμονικές μέσα σε αυτές.
 - b) Οι συνδέσεις θα πρέπει να βρίσκονται γεωγραφικά κοντά η μία στην άλλη. Επίσης τα σήματα τα οποία παρεμβάλουν θα πρέπει να έχουν παρόμοιο επίπεδο ενέργειας στις θέσεις παρεμβολής.

Οι πτυχές αυτές του προβλήματος εκχώρησης συχνοτήτων μοντελοποιούνται με διάφορους τρόπους στη βιβλιογραφία. Τα μοντέλα διαφέρουν ως προς το είδος των περιορισμών επιλογής συχνότητας που επιβάλλουν και τους στόχους που θα βελτιστοποιηθούν.

Η ζώνη συχνοτήτων (f_{min}, f_{max}) που είναι διαθέσιμη σε κάποιο πάροχο ασύρματης επικοινωνίας είναι συνήθως διαμοιρασμένη σε ένα σύνολο καναλιών, τα οποία έχουν όλα το ίδιο εύρος συχνοτήτων Δ . Για αυτό το λόγο τα κανάλια είναι αριθμημένα από το 1 ως μία δεδομένη τιμή N όπου $N = (f_{max} - f_{min}) / \Delta$. Τα διαθέσιμα κανάλια υποδηλώνονται από το σύνολο $D = \{1, \dots, N\}$. Για μία συγκεκριμένη σύνδεση δεν είναι απαραίτητο να είναι διαθέσιμα όλα τα κανάλια του συνόλου D . Για παράδειγμα, αν μια σύνδεση βρίσκεται κοντά στα σύνορα μιας χώρας τότε οι κανόνες κατανομής που έχουν θεσπίσει οι δύο εμπλεκόμενες χώρες οδηγούν σε σημαντική μείωση της διαθεσιμότητας των καναλιών. Ως εκ τούτου, τα κανάλια που είναι διαθέσιμα για μία σύνδεση u συγκροτούν ένα υποσύνολο $D \subseteq D_u$. Σε κάθε διαθέσιμο κανάλι μπορεί να μεταδοθούν πληροφορίες και δεδομένα από έναν πομπό σε έναν δέκτη. Για αμφίδρομη επικοινωνία χρειάζονται δύο τέτοια κανάλια, ένα για κάθε κατεύθυνση, αν και στα μοντέλα που εξετάζονται στη βιβλιογραφία το δεύτερο κανάλι σχεδόν πάντα παραλείπεται. Οι λόγοι που παραλείπεται ένα τέτοιο στοιχείο από ένα πρόβλημα εκχώρησης συχνοτήτων εξαρτώνται από την εκάστοτε εφαρμογή. Αντί για μία ζώνη συχνοτήτων (f_{min}, f_{max}), στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούνται δύο ζώνες (f^d_{min}, f^d_{max}) και (f^2_{min}, f^2_{max}) από N κανάλια η κάθε μία, η μία με σύνολο καναλιών $\{1, \dots, N\}$ και η άλλη με σύνολο καναλιών $\{s+1, \dots, s+N\}$ όπου $s \ll N$. Έτσι η προς τα κάτω σύνδεση (downlink) χρησιμοποιεί ένα κανάλι που είναι μετατοπισμένο s κανάλια σε σύγκριση με το αντίστοιχο προς τα επάνω κανάλι (uplink). Ως συνέπεια, κάθε κατανομή για το «κάτω» σύνολο καναλιών μπορεί να μετατραπεί και σε μία κατανομή για το «πάνω» σύνολο καναλιών με παρόμοια επίδοση.

Η παρεμβολή των σημάτων μετράται από τον σηματοθορυβικό λόγο (λόγος σήματος προς θόρυβο) ή από τον λόγο σήματος προς παρεμβολή στο άκρο λήψης μιας σύνδεσης. Τα σήματα τα οποία δημιουργούν την παρεμβολή μπορεί να προέρχονται από περισσότερες από μία πηγές, οι οποίες εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα ή σε ένα πολύ κοντινό εύρος συχνοτήτων, συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση του συνολικού θορύβου στο δέκτη.

Ο υπολογισμός του επιπέδου παρεμβολής είναι μία ιδιαίτερα δύσκολη και επίπονη διαδικασία, διότι εξαρτάται όχι μόνο από την επιλογή του σήματος και την ισχύ αυτού αλλά επίσης και από την μορφή του περιβάλλοντος. Στην πράξη μία τιμή κατωφλίου 12dB με 15dB για τον σηματοθορυβικό λόγο είναι ικανοποιητική. Εάν

αγνοήσουμε το περιβάλλον και λάβουμε υπ' όψιν μόνο κάποιο σήμα που μεταδίδει στην ίδια συχνότητα, τότε η παρεμβολή του σήματος στο δέκτη υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο: P/d^γ όπου P είναι η ισχύς του πομπού και d η απόσταση του δέκτη που παρεμβάλλεται. Το γ είναι ένας παράγοντας εξασθένισης με τιμές μεταξύ 2 και 4. Αν το παρεμβάλον σήμα μεταδίδεται σε $n > 1$ μέρη του αρχικού σήματος τότε πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν έναν παράγοντα φιλτραρίσματος $-15(1+\log^2 n)$. Η περίπτωση παρεμβολής από πολλαπλά σήματα μειώνει σε σημαντικό βαθμό την ποιότητα της επικοινωνίας. Παρόλα ταύτα στα περισσότερα μοντέλα αυτή παραλείπεται και μετριέται μόνο η παρεμβολή μεταξύ ζευγών συνδέσεων.

Η διπλής κατεύθυνσης μετάδοση δημιουργεί ένα ακόμα πρόβλημα: η παρεμβολή δεν είναι συμμετρική. Εάν ένα ζευγάρι πομποδεκτών (r_1, r_2) μεταδίδει στις συχνότητες f και $f+s$ και ένα άλλο ζευγάρι πομποδεκτών (s_1, s_2) μεταδίδει στις συχνότητες g και $g+s$, όπου f και g παρεμβάλουν και $f+s$ και $g+s$ παρεμβάλουν, τα επίπεδα παρεμβολής στον r_1 και r_2 είναι διαφορετικά. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην διαφορετική τους απόσταση από τους s_1 και s_2 .

Αναλόγως με την εφαρμογή, μία ή πολλαπλές συνδέσεις πρέπει να εγκατασταθούν στα ίδια γεωγραφικά σημεία. Αυτό μοντελοποιείται κατανέμοντας $c_u \in \mathbf{Z}^+$ συχνότητες σε u συνδέσεις. Η παρεμβολή μεταξύ συχνοτήτων που έχουν εκχωρηθεί στην ίδια σύνδεση μπορεί να αποφευχθεί θεσπίζοντας μία πρόσθετη τιμή σε ορισμένα ζευγάρια συχνοτήτων $f, g \in D_u$. Στην πράξη οι τιμές του c_u ποικίλλουν με το χρόνο ανάλογα με την πραγματική ζήτηση για συνδέσεις. Οι προσεγγίσεις που προτείνονται στη βιβλιογραφία για την αντιμετώπιση του προβλήματος εκχώρησης συχνοτήτων χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες:

- Σταθερής Εκχώρησης Καναλιού Fixed Assignment Channel (FCA)
- Δυναμικής Εκχώρησης Καναλιού Dynamic Channel Assignment (DCA)
- Υβριδικής Εκχώρησης Καναλιού Hybrid Channel Assignment (HCA)

Στην FCA η προβλεπόμενη ζήτηση μετατρέπεται σε προϋπόθεση, σύμφωνα με την οποία πρέπει εκ των προτέρων να κατανείμουμε έναν αριθμό συχνοτήτων σε κάθε σύνδεση. Σε αυτή την περίπτωση δεν επιτρέπεται να αλλάξουμε την κατανομή συχνοτήτων απευθείας για να ικανοποιήσουμε την πραγματική ζήτηση σε ασύρματες

συνδέσεις. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την περίπτωση DCA στην οποία οι συχνότητες μπορούν να κατανέμονται απευθείας, έτσι ώστε να ικανοποιείται η πραγματική ζήτηση συνδέσεων καθώς και να ελαχιστοποιείται η συνολική παρεμβολή. Τέλος στην περίπτωση HCA εφαρμόζεται ένας συνδυασμός των FCA και DCA για να αποκτήσουμε μια γενικά καλύτερη επίδοση στο δίκτυο. Στην HCA ένας αριθμός συχνοτήτων κατανέμεται εκ των προτέρων στο σε κάθε σύνδεση (όπως και στη FCA), ενώ ένα άλλο τμήμα φάσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απευθείας εκχώρηση κατόπιν αιτήσεως (όπως και στη DCA).

6.2 MSFAP

Το πρόβλημα εκχώρησης ελάχιστου εύρους συχνοτήτων minimum span frequency assignment problem (MSFAP) είναι να κατανεμηθούν συχνότητες σε ένα σύστημα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην συμβεί παρεμβολή και η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης χρησιμοποιούμενης συχνότητας να είναι ελάχιστη (δηλαδή ελαχιστοποίηση του χρησιμοποιούμενου εύρους συχνοτήτων). Μπορούμε να περιγράψουμε το πρόβλημα ως εξής:

Έστω $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ένα σύνολο κελίων σε ένα κυψελωτό δίκτυο. Ένα διάνυσμα ζήτησης για το X είναι ένα n -διάστατο διάνυσμα $M = \{m_i\}$ με μη-αρνητικά ακέραια στοιχεία. Το στοιχείο m_i αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ραδιοσυχνοτήτων που απαιτούνται για το κελί x_i . Οι ραδιοσυχνότητες θεωρείται ότι είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες προκειμένου να μπορεί να αντιστοιχηθούν με θετικούς ακεραίους. Μια μήτρα συμβατότητας του X είναι ένας $n \times n$ πίνακας $C = c_{ij}$ με μη-αρνητικά ακέραια στοιχεία. Η τιμή c_{ij} περιγράφει την ελάχιστη συχνοτική διαχώριση που απαιτείται μεταξύ συχνοτήτων εκχωρημένων στα κελιά x_i και x_j . Εάν το $c_{ij} = v$, τα κελιά x_i και x_j λέγεται ότι είναι v -συμβατά μεταξύ τους, τότε ένας τριπλός πίνακας $P = (X, M, C)$ χαρακτηρίζει το πρόβλημα εκχώρησης συχνοτήτων.

Μια εφικτή εκχώρηση για το P θα είναι ένα σύνολο $F = \{f_i\}$ από θετικούς ακέραιους, $i = 1, \dots, n$, $k = 1, \dots, m_i$, $j = 1, \dots, n$, $l = 1, \dots, m_j$, τέτοιο ώστε

$$|f_i^k - f_j^l| \geq c_{ij}$$

για όλους τους δείκτες i, k, j, l (εκτός από $i=j$ και $k=l$), όπου f_i^l είναι η συχνότητα που αποδίδεται στην l απαίτηση του κελιού x_i . Το εύρος συχνοτήτων $S(F)$ είναι η διαφορά μεγαλύτερης και μικρότερης συχνότητας που έχουν αποδοθεί στο σύστημα, δηλαδή:

$$S(F) = \max_{i,l}(f_i^l) - \min_{i,l}(f_i^l)$$

Στόχος της MSFAP είναι να βρούμε μία εφικτή εκχώρηση F με το ελάχιστο εύρος $S_o(P)$ δηλαδή:

$$S_o(P) = \min\{S(F') \mid \text{όλες οι εφικτές } F' \text{ για το } P\}$$

Χωρίς να χάσουμε την γενικότητα μπορούμε να υποθέσουμε ότι το $\min_{i,l}(f_i^l)$ είναι 1, ως εκ τούτου το πρόβλημα εκχώρησης ελάχιστου εύρους συχνοτήτων MSFAP είναι το πρόβλημα έυρεσης εφικτής εκχώρησης στην οποία το $\max_{i,l}(f_i^l)$ ελαχιστοποιείται.

6.3 Παρεμβολή και Περιορισμοί

Η παρεμβολή λαμβάνει χώρα μεταξύ δύο πομπών, εάν η ισχύς του σήματος παρεμβολής είναι αρκετά ισχυρό. Για να υπάρχει παρεμβολή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η απόσταση, το έδαφος, η ισχύς ή ο σχεδιασμός της κεραίας. Όσο υψηλότερη είναι η πιθανότητα παρεμβολής μεταξύ ενός ζεύγους πομπών, τόσο μεγαλύτερη απαιτείται να είναι η απόσταση μεταξύ των συχνοτήτων. Εάν δύο πομποί βρίσκονται σε ικανοποιητική γεωγραφική απόσταση μεταξύ τους τότε μία συχνότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκ νέου, δηλαδή η ίδια συχνότητα μπορεί να εκχωρηθεί και στους δύο πομπούς. Από την άλλη πλευρά, αν οι δύο πομποί βρίσκονται στην ίδια τοποθεσία τότε είναι απαραίτητη ικανοποιητική συχνοτική απόσταση. Κατά γενικό κανόνα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθοι τρεις περιορισμοί.

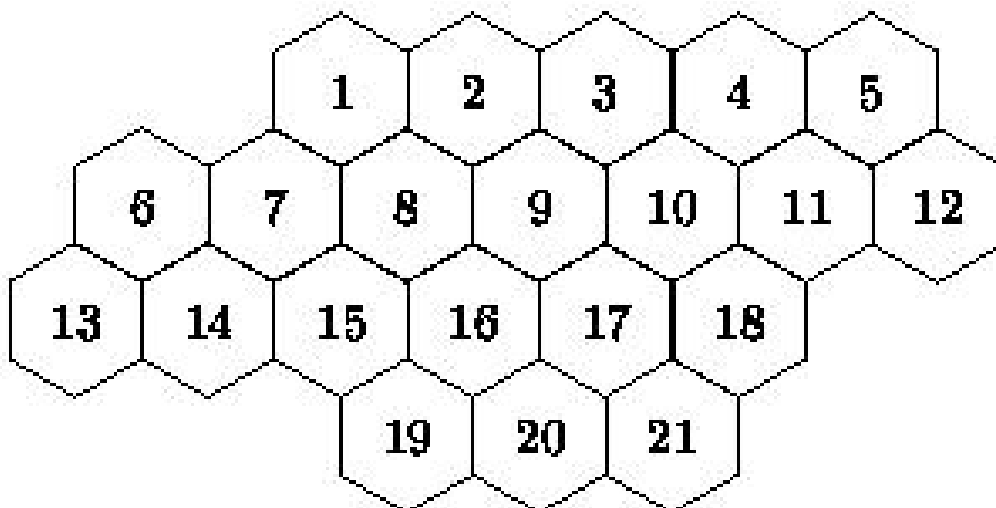
- *Ομοδιαυλικοί Περιορισμοί:* Ένα ζευγάρι πομπών που βρίσκονται σε διαφορετική θέση, δεν πρέπει να έχουν την ίδια συχνότητα εκτός αν είναι επαρκώς γεωγραφικά απομακρυσμένοι ώστε να μειώνεται η ισχύς του σήματος παρεμβολής.
- *Περιορισμοί Γειτονικών Καναλιών:* Όταν ένας πομπός και ένας δέκτης είναι συντονισμένοι σε παρόμοιες συχνότητες εξακολουθεί να υπάρχει το

ενδεχόμενο παρεμβολών. Ως εκ τούτου υπάρχει θα πρέπει να υπάρχει κάποιος διαχωρισμός μεταξύ των δύο συχνοτήτων.

- *Διαχωρισμός Καναλιών: Ίδιας Περιοχής:* Κάθε ζεύγος συχνοτήτων που εκχωρούνται σε πομπούς που βρίσκονται στον ίδιο χώρο πρέπει να διαχωρίζονται από ένα σταθερό αριθμό καναλιών. Αυτός ο αριθμός είναι συνήθως σημαντικά μεγαλύτερος από τους περιορισμούς γειτονικών καναλιών.

6.4 Το πρόβλημα της Φιλαδέλφεια

Το πρόβλημα της Φιλαδέλφεια είναι με βάση τα όσα είδαμε παραπάνω ένα πρόβλημα εκχώρησης ελάχιστου εύρους συχνοτήτων MSFAP (minimum span frequency assignment problem) και έχει διάφορες περιπτώσεις. Οι τοποθεσίες στη Φιλαδέλφεια έχουν μοντελοποιηθεί σε ένα εξαγωνικό κυψελωτό πλέγμα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.8). Η Φιλαδέλφεια έχει χωριστεί σε 21 εξαγωνικές κυψέλες για το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.



Σχήμα 6.1 : Το μοντέλο της Φιλαδέλφεια

Κάθε περιοχή απαιτεί υψηλό αριθμό συχνοτήτων- καναλιών. Για κάθε κυψέλη απαιτούνται συγκεκριμένος αριθμός συχνοτήτων ο οποίος ορίζεται ως διάνυσμα ζήτησης c_v . Το c_v είναι ένα διάνυσμα $1 \times N$ όπου N ο αριθμός των κυψελών ($N=21$ στο πρόβλημα της Φιλαδέλφειας). Κάθε στοιχείο του πίνακα $c_v(1,j)$ είναι η ζήτηση της j κυψέλης σε συχνότητες (δηλαδή πόσες συχνότητες απαιτεί).

Σε παρακείμενες κυψέλες δεν θα πρέπει να εκχωρηθούν για χρήση ίδιες συχνότητες και σε κάθε κυψέλη ξεχωριστά δεν θα πρέπει να εκχωρηθούν γειτονικές συχνότητες. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές αυτής της δομής με διαφορετικές αποστάσεις επαναχρησιμοποίησης η κάθε μία. Για παράδειγμα $(d^0, d^1, d^2, d^5)=(3,2,1,0)$ το οποίο σημαίνει ότι κυψέλες με γεωγραφική απόσταση τρία μπορούν να έχουν συχνοτική απόσταση μηδέν δηλαδή να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα, κυψέλες με γεωγραφική απόσταση δύο έχουν συχνοτική απόσταση ένα (δηλαδή αν στη μία εκχωρηθεί η συχνότητα πέντε στη άλλη δεν μπορεί να εκχωρηθεί πάλι η πέντε) και αντίστοιχα για το $d^2=1$. Το $d^5=0$ σημαίνει ότι στην ίδια κυψέλη πρέπει να έχω συχνοτική απόσταση πέντε (δηλαδή αν έχω εκχωρήσει σε μία κυψέλη την συχνότητα δέκα τότε δεν μπορώ στην ίδια κυψέλη να χρησιμοποιήσω τις έξι μέχρι την δεκατέσσερα συχνότητα). Ως γεωγραφική απόσταση ίση με ένα ορίζουμε την απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών κυψελών δηλαδή όπως φαίνεται στο χάρτη κυψελών της Φιλαδέλφειας η κυψέλη ένα με την κυψέλη δύο έχουν γεωγραφική απόσταση μονάδα.

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα της Φιλαδέλφειας έχουμε εννέα διαφορετικές περιπτώσεις ανάλογα με τις αποστάσεις επαναχρησιμοποίησης και το διάνυσμα ζήτησης c_v . Οι περιπτώσεις φαίνονται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.6).

instance	demand vector c_v	reuse distances
P1	(8,25,8,8,8,15,18,52,77,28,13,15,31,15,36,57,28,8,10,13,8)	$(2\sqrt{3},,1,1,1,0)$
P2	(8,25,8,8,8,15,18,52,77,28,13,15,31,15,36,57,28,8,10,13,8)	$(\sqrt{7},,1,1,1,0)$
P3	(5,5,5,8,12,25,30,25,30,40,40,45,20,30,25,15,15,30,20,20,25)	$(2\sqrt{3},,1,1,1,0)$
P4	(5,5,5,8,12,25,30,25,30,40,40,45,20,30,25,15,15,30,20,20,25)	$(\sqrt{7},,1,1,1,0)$
P5	(20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20)	$(2\sqrt{3},,1,1,1,0)$
P6	(20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20)	$(\sqrt{7},,1,1,1,0)$
P7	(16,50,16,16,16,30,36,104,154,56,26,30,62,30,72,114,56,16,20,26,16)	$(2\sqrt{3},,1,1,1,0)$
P8	(8,25,8,8,8,15,18,52,77,28,13,15,31,15,36,57,28,8,10,13,8)	$(2\sqrt{3},,1,1,1,0)$
P9	(32,100,32,32,32,60,72,208,308,112,52,60,124,60,144,228,112,32,40,52,32)	$(2\sqrt{3},,1,1,1,0)$

Πίνακας 5.6: Οι εννέα διαφορετικές περιπτώσεις της Φιλαδέλφεια

Για να μοντελοποιήσουμε τις παρεμβολές μεταξύ των κυψελών θα κατασκευάσουμε μια μήτρα παρεμβολής A . Η μήτρα παρεμβολής είναι ένας πίνακας $N \times N$ όπου N είναι ο αριθμός κυψελών. Μπορούμε να ορίσουμε τη μήτρα αυτή με δύο διαφορετικούς τρόπους:

Πρώτον ως μήτρα παρεμβολής με βάση τις συχνοτικές αποστάσεις. Κάθε στοιχείο του πίνακα a_{ij} καθορίζει την απόσταση που πρέπει να έχουν οι συχνότητες που θα εκχωρηθούν στις κυψέλες i και j . Δηλαδή αν η κυψέλη i έχει πάρει τη συχνότητα f_i και η κυψέλη j την συχνότητα f_j τότε θα ισχύει

$$|f_i - f_j| > a_{ij}$$

Και δεύτερον ως μήτρα παρεμβολής με βάση τις γεωγραφικές αποστάσεις. Κάθε στοιχείο του πίνακα a_{ij} καθορίζει την γεωγραφική απόσταση που πρέπει να έχουν οι κυψέλες i και j .

7

Πειραματική Διαδικασία και Αποτελέσματα

7.1 Συνάρτησης Καταλληλότητας

Στα πλαίσια της εργασίας δημιουργήσαμε από την αρχή έναν αλγόριθμο-συνάρτηση εκχώρησης συχνοτήτων σε κυψελωτά δίκτυα. Με τη βοήθεια του λογισμικού Matlab καταφέραμε ο αλγόριθμός μας να έχει την δυνατότητα να κατανείμει συχνότητες σε οποιοδήποτε τέτοιου είδους δίκτυο . Για την εφαρμογή του χρειάζονται τα εξής δεδομένα:

- Η γεωγραφική τοπολογία του δικτύου κυψελών, η οποία εκφράζεται μαθηματικώς με τον πίνακα των γεωγραφικών αποστάσεων μεταξύ των κυψελών (δηλαδή τις αποστάσεις μεταξύ των κέντρων των κελιών).
- Η συχνοτική τοπολογία του δικτύου, η οποία προκύπτει από τους κανόνες παρεμβολής και τους κανόνες επαναχρησιμοποίησης συχνότητας και εκφράζεται με τον πίνακα συχνοτικών αποστάσεων (δηλαδή το εύρος συχνοτήτων που θα πρέπει να απέχουν οι κυψέλες μεταξύ τους ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα παρεμβολών).
- Το διάνυσμα ζήτησης, το οποίο συμβολίζει το πλήθος των συχνοτήτων-καναλιών που απαιτούνται σε κάθε κυψέλη.
- Μια λύση του προβλήματος, η οποία αποτελείται από αντιστοίχιση καναλιών-κυψελών και οι μόνες παράμετροι που θα παίρνει υπόψη της θα είναι η ικανοποίηση του διανύσματος ζήτησης και όλα τα κανάλια της λύσης να βρίσκονται εντός του προκαθορισμένου από εμάς φάσματος.

Γνωρίζοντας ο αλγόριθμος όλα τα προηγούμενα, προσπαθεί να εφαρμόσει τη λύση που του έχουμε δώσει ως δεδομένο στη συγκεκριμένη τοπολογία τοποθετώντας μία προς μία τις συχνότητες στο κυψελωτό δίκτυο.

Εξαιτίας των παρεμβολών και των κανόνων αυτών που έχουμε δώσει ως δεδομένο, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα μία συχνότητα να μην δύναται να εκχωρηθεί στη κυψέλη που υποδεικνύει η λύση. Όταν ο αλγόριθμος-συνάρτηση καταλείπει όσα από τα κανάλια της δοσμένης λύσης μπορεί, λαμβάνει τέλος. Το σύνολο των καναλιών, που δεν κατάφεραν να εκχωρηθούν ώστε να ικανοποιηθεί το διάλυμα ζήτησης, αποτελεί το αποτέλεσμα της συνάρτησης.

Για την επίλυση του προβλήματος εκχώρησης συχνοτήτων στην περίπτωση του προβλήματος της Φιλαδέλφειας έγινε η προσπάθεια της πλήρους και αποτελεσματικής αξιοποίησης του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Μελετήθηκαν εκτενώς διάφοροι αλγόριθμοι που θα μπορούσαν να προβούν σε αποτελεσματική και γρήγορη απόδοση συχνοτήτων σε ένα κυψελωτό δίκτυο. Η απόδοση των συχνοτήτων θα πρέπει να γίνεται με γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο και να είναι εύκολα προσαρμόσιμη σε τυχόν διαφορετικές απαιτήσεις οι οποίες μπορεί να ανακύπτουν ανά πάσα στιγμή σε οποιοδήποτε κυψελωτό δίκτυο.

7.2 Χρήση Γενετικού Αλγορίθμου

Ενταγμένοι σε αυτό το πλαίσιο και ευρέως χρησιμοποιούμενοι για την εκπόνηση τέτοιων αλγορίθμων είναι η οικογένεια αλγορίθμων, οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms - GAs). Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι, οι οποίοι αποτελούν ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο για την εύρεση λύσεων σε προβλήματα εύρεσης ολικού ακρότατου σε συναρτήσεις, έχουν την ιδιότητα να συγκλίνουν σε αρκετά σύντομο χρόνο σε κάποια λύση η οποία μπορεί να είναι, αν όχι η βέλτιστη, αρκετά κοντά στη βέλτιστη.

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι υλοποιούνται κάνοντας χρήση υπολογιστικών εξομοιώσεων στην οποία ένας πληθυσμός από αφαιρετικές αναπαραστάσεις (οι οποίες αποκαλούνται χρωμοσώματα) πιθανών λύσεων (οι οποίες αποκαλούνται άτομα) σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης εξελίσσονται σταδιακά για να συγκλίνουν προς καλύτερες λύσεις. Η εξέλιξη συνήθως ξεκινάει από έναν τυχαία δημιουργημένο

πληθυσμό και λαμβάνει χώρα σε γενιές. Σε κάθε γενιά, υπολογίζεται η καταλληλότητα κάθε πιθανής λύσης, ορισμένες εκ των οποίων επιλέγονται τυχαία από τον υπάρχοντα πληθυσμό (βασισμένοι στην καταλληλότητά τους), και μετατρέπονται (επανασυνδυάζονται και ενδεχομένως μεταλλάσσονται) ούτως ώστε να δημιουργήσουν ένα νέο πληθυσμό. Ο συγκεκριμένος πληθυσμός χρησιμοποιείται κατόπιν στην επόμενη επανάληψη του αλγορίθμου. Κρίσιμο μέγεθος για την επιτυχή ή μη κατάληξη του αλγορίθμου αποτελεί η συνάρτηση καταλληλότητας (fitness function) της οποίας ρόλος αποτελεί η μαθηματική προτυποποίηση και ορισμός του μεγέθους προς βελτιστοποίηση.

7.3 MSFAP της Φιλαδέλφειας

Με βάση όλα τα παραπάνω "τρέξαμε" το συγκεκριμένο αλγόριθμο-συνάρτηση με γενετικούς αλγορίθμους και ειδικότερα την εργαλειοθήκη βελτιστοποίησης της Matlab. Κάθε λύση-δεδομένο αντιστοιχεί σε έναν αριθμό (πλήθος συχνοτήτων που δεν εκχωρήθηκαν) και όλο αυτό αποτελεί ένα άτομο του γενετικού αλγορίθμου. Ο Γ.Α. ξεκινώντας δίνει τυχαίες λύσεις-άτομα-γονείς στην εξελικτική διαδικασία και με τις διαδικασίες του (μετάλλαξη, διασταύρωση και άλλες) δημιουργεί καινούργιες γενεές παιδιών-λύσεων. Στην περίπτωση της εργασίας μας θέτουμε τον αλγόριθμο-συνάρτησή μας ως συνάρτηση καταλληλότητας (fitness function), την οποία στοχεύουμε να βελτιστοποιήσουμε. Με τον όρο βελτιστοποίηση δεν επιζητούμε απλώς ελαχιστοποίηση αλλά τον μηδενισμό της, δηλαδή τον μηδενισμό των μη εκχωρημένων συχνοτήτων κάποιου παιδιού-λύσης.

Με την εύρεση έστω κι ενός ατόμου που θα μηδενίσει την συνάρτηση καταλληλότητας (fitness function), ο γενετικός αλγόριθμος τερματίζεται δίνοντας ως αποτέλεσμα μία επιτυχημένη λύση αποτελεσματικής κατανομής συγκεκριμένου φάσματος καναλιών στο κυψελωτό δίκτυο που μελετάμε (Φιλαδέλφεια).

Ύστερα από εκτενείς δοκιμές και πολλές αλλαγές στις παραμέτρους του Γ.Α. του Matlab παρατηρήθηκε ότι για συγκεκριμένο διάνυσμα ζήτησης όσο μικρότερο είναι το φάσμα καναλιών που δίνεται προς εκχώρηση στο κυψελωτό δίκτυο τόσο πιο δύσκολο είναι να βρεθεί λύση (μηδενισμός συνάρτησης καταλληλότητας).

Για ορισμένες περιπτώσεις του προβλήματος εκχώρησης ελαχίστου εύρους συχνοτήτων MSFAP (minimum span frequency assignment problem) της Φιλαδέλφειας ψάχνουμε λύσεις οι οποίες είναι ελάχιστες. Για να το επιτύχουμε κάτι τέτοιο μειώνουμε σταδιακά το εύρος των καναλιών του απαιτούμενου φάσματος. Όσο μειωνόταν το φασματικό εύρος τόσο αυξανόταν ο χρόνος που χρειαζόταν ο γενετικός αλγόριθμος για να μηδενίσει τη συνάρτηση καταλληλότητας. Για να μειωθεί ο χρόνος μηδενισμού της Σ.Κ. αναγκαστήκαμε να αυξήσουμε αρκετά τους αρχικούς πληθυσμούς και το πλήθος των γενεών.

7.4 Αποτελέσματα MSFAP της Φιλαδέλφειας

7.4.1 Περίπτωση P4

Στην περίπτωση P4 το διάνυσμα ζήτησης $c_v = (5, 5, 5, 8, 12, 25, 30, 25, 30, 40, 40, 45, 20, 30, 25, 15, 15, 30, 20, 20, 25)$ και οι αποστάσεις επαναχρησιμοποιήσεις (reuse distances) είναι ίσες με $(\sqrt{7}, \sqrt{3}, 1, 1, 1, 0)$.

Προκειμένου να βρούμε το κατώφλι της περίπτωσης P4 ξεκινήσαμε τη διαδικασία από ένα μεγάλο αριθμό καναλιών και συγκεκριμένα από τα 280 κανάλια. Μειώνοντας τα κανάλια κατά ένα κάθε φορά προσπαθούσαμε να μηδενίσουμε την συνάρτηση καταλληλότητας έως ότου καταλήξαμε στα 258 κανάλια εύρος φάσματος. Για να βρούμε λύση στο εύρος καναλιών 257 δυσκολευτήκαμε ιδιαίτερα καθώς ο γενετικός αλγόριθμος δεν μπορούσε να μηδενίσει την Σ.Κ. Ως συνέπεια είχε να καταλήξουμε ότι το κατώφλι της εργασίας μας για την περίπτωση P4 είναι τα 258 κανάλια.

Είναι αξιοσημείωτο ότι αναφερόμενοι σε μία λύση του προβλήματος με 258, για παράδειγμα, κανάλια δεν εννοούμε εύρος συχνοτήτων 258 (πχ KHz). Κάθε κανάλι αποτελείται από ένα συγκεκριμένο φάσμα συχνοτήτων, παραδείγματος χάρη 200 KHz που αντιστοιχεί στο εύρος ζώνης συχνοτήτων ενός καναλιού (Up link και Down link) του GSM 900. Όταν αναφερόμαστε σε λύση 258 καναλιών εννοούμε ότι θα κατανεμηθούν τα κανάλια από το 1 έως το 258 και μόνο αυτά στις 21 κυψέλες.

Παρακάτω (Σχήμα 12) παρατίθενται οι λύσεις από τα τέσσερα τελευταία βήματα αυτής της διαδικασίας:

Περίπτωση P4. Εύρος καναλιών 261 κανάλια.

Κυψέλη 1	κανάλια: 3, 10, 17, 22, 28
Κυψέλη 2	κανάλια: 7, 14, 33, 40, 47
Κυψέλη 3	κανάλια: 4, 11, 21, 27, 44
Κυψέλη 4	κανάλια: 34, 41, 74, 84, 90, 111, 116, 123
Κυψέλη 5	κανάλια: 7, 14, 23, 29, 47, 54, 60, 66, 72, 77, 92, 101
Κυψέλη 6	κανάλια: 4, 11, 20, 26, 32, 42, 49, 55, 61, 67, 76, 85, 103, 109, 116, 123, 129, 135, 140, 148, 154, 161, 166, 173, 180
Κυψέλη 7	κανάλια: 1, 8, 15, 30, 35, 46, 72, 79, 89, 95, 100, 113, 118, 127, 133, 143, 152, 157, 168, 176, 186, 192, 198, 204, 209, 214, 219, 224, 230, 236
Κυψέλη 8	κανάλια: 5, 12, 25, 37, 52, 58, 64, 70, 75, 86, 92, 97, 104, 110, 115, 122, 130, 136, 141, 149, 160, 165, 170, 179, 184
Κυψέλη 9	κανάλια: 18, 23, 29, 49, 55, 61, 67, 78, 101, 117, 124, 146, 154, 163, 172, 177, 182, 187, 193, 199, 205, 210, 216, 221, 227, 233, 238, 244, 250, 255
Κυψέλη 10	κανάλια: 1, 8, 15, 31, 38, 46, 53, 59, 65, 71, 76, 81, 88, 93, 98, 103, 108, 113, 120, 128, 133, 138, 143, 152, 159, 166, 175, 180, 185, 190, 196, 202, 208, 213, 219, 224, 230, 236, 241, 247
Κυψέλη 11	κανάλια: 5, 12, 19, 25, 36, 43, 50, 56, 62, 68, 79, 86, 96, 106, 118, 125, 130, 135, 140, 145, 150, 155, 161, 168, 173, 183, 188, 194, 200, 206, 211, 217, 222, 228, 234, 239, 245, 251, 256, 261
Κυψέλη 12	κανάλια: 2, 9, 16, 21, 27, 32, 39, 45, 52, 58, 64, 70, 75, 82, 89, 94, 99, 104, 109, 114, 121, 127, 132, 137, 142, 148, 153, 158, 163, 170, 176, 181, 186, 191, 197, 203, 209, 214, 220, 225, 231, 237, 242, 248, 253

Κυψέλη 13	κανάλια: 2, 9, 16, 22, 28, 34, 40, 47, 53, 59, 65, 71, 78, 83, 90, 96, 101, 107, 114, 119
Κυψέλη 14	κανάλια: 6, 13, 18, 24, 38, 44, 51, 57, 63, 69, 74, 81, 87, 93, 98, 105, 111, 121, 131, 138, 145, 150, 159, 164, 171, 178, 183, 188, 194, 200
Κυψέλη 15	κανάλια: 21, 27, 41, 48, 54, 60, 66, 84, 102, 108, 125, 147, 155, 162, 174, 190, 196, 202, 207, 212, 217, 222, 228, 234, 239
Κυψέλη 16	κανάλια: 2, 9, 16, 32, 39, 45, 82, 90, 99, 112, 119, 134, 139, 144, 151
Κυψέλη 17	κανάλια: 6, 13, 20, 26, 35, 42, 51, 57, 63, 69, 85, 95, 105, 126, 131
Κυψέλη 18	κανάλια: 3, 10, 17, 22, 28, 33, 40, 48, 73, 83, 91, 100, 110, 115, 122, 147, 157, 164, 171, 178, 192, 198, 204, 215, 226, 232, 243, 249, 254, 259
Κυψέλη 19	κανάλια: 4, 11, 19, 34, 43, 50, 56, 62, 68, 76, 94, 106, 114, 123, 128, 137, 142, 153, 158, 166
Κυψέλη 20	κανάλια: 24, 30, 47, 72, 79, 87, 109, 116, 121, 148, 156, 169, 176, 181, 186, 191, 197, 203, 209, 214
Κυψέλη 21	κανάλια: 37, 44, 54, 60, 66, 75, 89, 97, 102, 107, 129, 136, 141, 160, 167, 174, 184, 189, 195, 201, 207, 212, 218, 223, 229

Περίπτωση P4. Εύρος καναλιών 260 κανάλια.

Κυψέλη 1	κανάλια: 3, 10, 15, 21, 27
Κυψέλη 2	κανάλια: 7, 17, 25, 30, 35
Κυψέλη 3	κανάλια: 4, 11, 20, 40, 45

Κυψέλη 4	κανάλια: 18, 24, 29, 38, 56, 79, 84, 89
Κυψέλη 5	κανάλια: 9, 16, 27, 32, 51, 63, 73, 81, 86, 91, 97, 102
Κυψέλη 6	κανάλια: 4, 13, 19, 25, 35, 42, 53, 59, 94, 102, 112, 119, 126, 131, 137, 143, 149, 155, 166, 174, 180, 185, 190, 197, 202
Κυψέλη 7	κανάλια: 1, 8, 37, 45, 62, 68, 73, 78, 83, 88, 96, 105, 110, 116, 121, 133, 139, 145, 151, 161, 170, 193, 200, 205, 211, 217, 223, 228, 234, 240
Κυψέλη 8	κανάλια: 5, 12, 32, 41, 47, 56, 66, 71, 76, 81, 86, 91, 99, 108, 113, 125, 136, 142, 148, 158, 163, 173, 179, 184, 189
Κυψέλη 9	κανάλια: 22, 51, 63, 69, 74, 94, 101, 106, 111, 117, 134, 146, 152, 160, 167, 177, 182, 187, 192, 197, 202, 208, 214, 220, 225, 231, 237, 243, 248, 253
Κυψέλη 10	κανάλια: 1, 8, 15, 26, 31, 36, 48, 53, 60, 65, 72, 77, 82, 87, 96, 103, 109, 114, 121, 126, 131, 138, 143, 149, 164, 171, 180, 185, 190, 195, 205, 211, 217, 223, 228, 234, 240, 246, 251, 256
Κυψέλη 11	κανάλια: 5, 12, 21, 34, 41, 46, 58, 68, 75, 93, 100, 107, 112, 118, 123, 128, 133, 140, 145, 151, 156, 161, 168, 173, 178, 183, 188, 193, 198, 203, 209, 215, 221, 226, 232, 238, 244, 249, 254, 259
Κυψέλη 12	κανάλια: 2, 7, 14, 19, 25, 30, 37, 43, 49, 54, 61, 66, 71, 78, 83, 88, 95, 104, 110, 115, 120, 125, 130, 135, 142, 148, 154, 159, 165, 170, 175, 181, 186, 191, 196, 201, 206, 212, 218, 224, 229, 235, 241, 247, 252
Κυψέλη 13	κανάλια: 2, 9, 15, 21, 27, 32, 38, 44, 50, 55, 61, 66, 72, 77, 82, 87, 92, 97, 104, 109
Κυψέλη 14	κανάλια: 6, 11, 17, 23, 30, 40, 48, 57, 64, 70, 75, 80, 85, 90, 100, 107, 114, 123, 128, 135, 141, 147, 153, 159, 164, 172, 177, 183, 188, 195

Κυψέλη 15	κανάλια: 14, 20, 26, 34, 43, 52, 60, 93, 118, 130, 156, 168, 175, 181, 186, 191, 198, 203, 209, 215, 221, 226, 232, 238, 244
Κυψέλη 16	κανάλια: 2, 9, 16, 24, 29, 38, 49, 54, 79, 84, 89, 97, 104, 115, 122
Κυψέλη 17	κανάλια: 6, 13, 19, 33, 42, 57, 67, 92, 119, 129, 141, 155, 162, 169, 174
Κυψέλη 18	κανάλια: 3, 10, 17, 23, 28, 39, 44, 50, 55, 62, 70, 80, 85, 90, 98, 105, 116, 136, 147, 153, 158, 166, 176, 200, 207, 213, 219, 230, 236, 242
Κυψέλη 19	κανάλια: 4, 18, 31, 58, 65, 72, 77, 82, 87, 95, 102, 109, 120, 126, 132, 137, 143, 149, 154, 165
Κυψέλη 20	κανάλια: 11, 21, 27, 35, 40, 45, 61, 75, 100, 107, 112, 124, 135, 157, 172, 178, 183, 188, 193, 199
Κυψέλη 21	κανάλια: 25, 30, 37, 47, 52, 59, 64, 73, 78, 83, 88, 110, 127, 139, 144, 150, 181, 186, 191, 196, 204, 210, 216, 222, 227

Περίπτωση P4. Εύρος καναλιών 259 κανάλια.

Κυψέλη 1	κανάλια: 3, 8, 15, 20, 31
Κυψέλη 2	κανάλια: 12, 22, 35, 41, 47
Κυψέλη 3	κανάλια 4, 19, 39, 45, 53
Κυψέλη 4	κανάλια 21, 69, 75, 104, 114, 136, 161, 168
Κυψέλη 5	κανάλια 5, 14, 31, 37, 43, 57, 64, 81, 88, 106, 112, 118
Κυψέλη 6	κανάλια 4, 11, 18, 32, 38, 44, 51, 56, 66, 78, 84, 90, 95, 105, 113, 119, 124, 130, 136, 142, 147, 152, 157, 162, 167

Κυψέλη 7	κανάλια 1, 13, 26, 36, 42, 48, 54, 63, 71, 76, 103, 109, 115, 122, 128, 134, 140, 149, 173, 180, 190, 195, 201, 206, 212, 218, 224, 230, 235, 240
Κυψέλη 8	κανάλια 5, 24, 29, 50, 69, 74, 86, 91, 96, 101, 120, 125, 131, 137, 146, 151, 158, 163, 168, 176, 183, 188, 193, 204, 210
Κυψέλη 9	κανάλια 9, 16, 27, 32, 64, 72, 78, 83, 89, 99, 107, 123, 129, 153, 172, 179, 186, 191, 197, 202, 208, 214, 220, 225, 231, 237, 243, 248, 253, 258
Κυψέλη 10	κανάλια 1, 6, 13, 23, 30, 36, 42, 49, 56, 61, 66, 80, 87, 92, 97, 102, 111, 117, 126, 132, 138, 144, 150, 155, 165, 177, 182, 189, 194, 200, 205, 211, 217, 223, 228, 234, 240, 246, 251, 256
Κυψέλη 11	κανάλια 10, 17, 26, 33, 40, 47, 52, 59, 71, 77, 84, 90, 95, 100, 108, 122, 128, 134, 140, 146, 152, 157, 163, 170, 175, 180, 185, 192, 198, 203, 209, 215, 221, 226, 232, 238, 244, 249, 254, 259
Κυψέλη 12	κανάλια 2, 7, 12, 19, 24, 29, 35, 45, 50, 55, 62, 67, 73, 79, 86, 93, 98, 103, 110, 115, 120, 125, 131, 137, 143, 149, 154, 159, 166, 172, 178, 183, 188, 195, 201, 206, 212, 218, 224, 229, 235, 241, 247, 252, 257
Κυψέλη 13	κανάλια 2, 8, 14, 20, 25, 30, 35, 40, 46, 53, 58, 64, 70, 75, 80, 86, 92, 97, 102, 107
Κυψέλη 14	κανάλια 6, 16, 22, 28, 61, 68, 73, 82, 88, 100, 111, 117, 126, 132, 138, 145, 154, 159, 164, 169, 175, 182, 187, 192, 197, 203, 208, 214, 220, 226
Κυψέλη 15	κανάλια 10, 19, 33, 39, 45, 52, 59, 65, 79, 93, 98, 106, 143, 156, 161, 166, 171, 178, 185, 199, 216, 222, 228, 233, 238
Κυψέλη 16	κανάλια 2, 7, 14, 21, 37, 43, 55, 62, 67, 81, 104, 112, 118, 127, 133
Κυψέλη 17	κανάλια 11, 18, 25, 34, 46, 51, 58, 70, 76, 85, 94, 109, 115, 121, 135

Κυψέλη 18	κανάλια 3, 8, 15, 20, 28, 38, 44, 54, 63, 68, 74, 82, 105, 113, 119, 124, 130, 142, 148, 160, 167, 173, 187, 196, 207, 213, 219, 230, 236, 242
Κυψέλη 19	κανάλια 4, 12, 17, 23, 30, 35, 47, 57, 75, 84, 90, 95, 102, 108, 114, 124, 130, 136, 141, 147
Κυψέλη 20	κανάλια 40, 53, 60, 73, 88, 100, 139, 145, 154, 159, 164, 169, 174, 180, 190, 195, 201, 206, 212, 218
Κυψέλη 21	κανάλια 5, 22, 31, 48, 65, 79, 91, 96, 103, 137, 151, 156, 162, 171, 176, 183, 193, 199, 204, 210, 216, 222, 227, 233, 239

Περίπτωση P4. Εύρος καναλιών 258 κανάλια.

Κυψέλη 1	κανάλια: 3, 8, 15, 20, 26
Κυψέλη 2	κανάλια: 12, 22, 30, 36, 41
Κυψέλη 3	κανάλια: 4, 16, 25, 34, 46
Κυψέλη 4	κανάλια: 23, 29, 40, 57, 63, 71, 93, 105
Κυψέλη 5	κανάλια: 5, 14, 21, 32, 50, 69, 74, 80, 86, 99, 107, 113
Κυψέλη 6	κανάλια: 4, 11, 18, 24, 30, 36, 46, 56, 66, 75, 81, 96, 101, 110, 116, 122, 129, 135, 142, 147, 152, 157, 162, 171, 176
Κυψέλη 7	κανάλια: 1, 13, 39, 49, 54, 64, 69, 86, 91, 99, 107, 114, 120, 126, 133, 139, 160, 166, 174, 180, 185, 190, 195, 200, 206, 212, 217, 222, 227, 232
Κυψέλη 8	κανάλια: 5, 17, 33, 43, 52, 57, 62, 78, 84, 93, 104, 111, 117, 123, 130, 136, 143, 148, 153, 163, 168, 177, 188, 193, 198

Κυψέλη 9	κανάλια: 9, 27, 60, 66, 75, 81, 87, 96, 101, 108, 115, 121, 127, 134, 140, 145, 150, 155, 170, 175, 181, 186, 191, 196, 202, 208, 213, 218, 223, 229
Κυψέλη 10	κανάλια: 1, 6, 13, 20, 31, 37, 42, 49, 54, 68, 73, 79, 85, 90, 98, 112, 118, 124, 131, 137, 142, 147, 152, 158, 173, 178, 184, 189, 194, 199, 205, 211, 216, 221, 226, 232, 238, 244, 250, 256
Κυψέλη 11	κανάλια: 10, 17, 26, 35, 45, 52, 59, 65, 76, 82, 88, 95, 102, 109, 116, 122, 128, 133, 139, 144, 149, 154, 160, 165, 171, 176, 182, 187, 192, 197, 203, 209, 214, 219, 224, 230, 236, 242, 248, 254
Κυψέλη 12	κανάλια: 2, 7, 12, 19, 24, 30, 38, 43, 48, 55, 61, 67, 72, 78, 84, 91, 97, 104, 111, 119, 125, 130, 136, 141, 146, 151, 157, 162, 167, 174, 179, 185, 190, 195, 200, 206, 212, 217, 222, 227, 233, 239, 245, 251, 257
Κυψέλη 13	κανάλια: 2, 8, 14, 20, 26, 32, 38, 43, 48, 53, 58, 63, 68, 73, 79, 85, 90, 98, 103, 108
Κυψέλη 14	κανάλια: 6, 16, 22, 28, 34, 41, 51, 61, 71, 77, 83, 88, 94, 105, 112, 118, 124, 131, 137, 144, 149, 154, 164, 169, 178, 187, 192, 197, 202, 208
Κυψέλη 15	κανάλια: 10, 19, 25, 31, 37, 45, 59, 67, 74, 80, 97, 102, 109, 128, 141, 146, 151, 158, 172, 182, 204, 210, 215, 220, 225
Κυψέλη 16	κανάλια: 2, 7, 14, 21, 29, 35, 40, 48, 55, 72, 89, 113, 119, 125, 138
Κυψέλη 17	κανάλια: 11, 18, 24, 44, 51, 58, 64, 77, 83, 94, 103, 110, 129, 161, 166
Κυψέλη 18	κανάλια: 3, 8, 15, 22, 28, 33, 39, 47, 56, 62, 70, 92, 100, 106, 114, 120, 126, 135, 156, 163, 168, 180, 201, 207, 228, 234, 240, 246, 252, 258
Κυψέλη 19	κανάλια: 4, 12, 23, 42, 50, 63, 76, 82, 95, 116, 122, 132, 156, 162, 167, 176, 184, 189, 194, 199
Κυψέλη 20	κανάλια: 16, 26, 32, 38, 46, 53, 61, 69, 86, 91, 99, 105, 144, 149, 154, 159, 164, 169, 174, 179

Κυψέλη 6	κανάλια: 3, 10, 16, 23, 29, 39, 48, 53, 64, 76, 82, 90, 100, 110, 118, 124, 132, 138, 143, 150
Κυψέλη 7	κανάλια: 5, 18, 33, 44, 58, 66, 71, 80, 86, 93, 98, 103, 120, 128, 148, 153, 159, 164, 169, 175
Κυψέλη 8	κανάλια: 9, 15, 22, 28, 40, 47, 54, 101, 106, 112, 123, 131, 137, 144, 151, 157, 167, 179, 185, 194

Κυψέλη 9	κανάλια: 37, 43, 57, 64, 69, 74, 79, 85, 90, 97, 104, 110, 116, 127, 135, 149, 165, 170, 176, 188
Κυψέλη 10	κανάλια: 5, 10, 18, 23, 31, 46, 61, 77, 83, 88, 93, 100, 120, 130, 147, 155, 162, 168, 173, 183
Κυψέλη 11	κανάλια: 3, 15, 28, 34, 40, 54, 67, 72, 96, 103, 115, 122, 128, 134, 144, 160, 171, 177, 185, 190
Κυψέλη 12	κανάλια: 6, 11, 19, 24, 30, 37, 43, 48, 56, 62, 69, 74, 79, 84, 92, 99, 105, 110, 117, 124
Κυψέλη 13	κανάλια: 1, 6, 12, 19, 25, 31, 37, 43, 51, 57, 62, 67, 72, 78, 84, 92, 97, 102, 107, 112
Κυψέλη 14	κανάλια: 8, 14, 21, 27, 35, 41, 46, 55, 60, 69, 74, 88, 95, 105, 116, 122, 130, 136, 141, 146
Κυψέλη 15	κανάλια: 2, 30, 38, 50, 63, 77, 83, 91, 109, 114, 126, 134, 139, 155, 162, 171, 177, 183, 189, 197
Κυψέλη 16	κανάλια: 6, 12, 19, 25, 32, 45, 52, 59, 67, 72, 81, 87, 94, 121, 142, 160, 174, 181, 191, 200
Κυψέλη 17	κανάλια: 1, 16, 29, 35, 41, 49, 55, 108, 113, 118, 125, 133, 138, 145, 153, 158, 178, 186, 193, 198

Κυψέλη 18	κανάλια: 7, 13, 20, 26, 38, 44, 51, 58, 63, 70, 75, 91, 106, 111, 136, 141, 151, 164, 175, 180
Κυψέλη 19	κανάλια: 10, 17, 23, 34, 42, 48, 56, 61, 70, 75, 89, 96, 102, 107, 117, 124, 132, 147, 152, 166
Κυψέλη 20	κανάλια: 3, 8, 14, 21, 27, 39, 65, 78, 84, 92, 98, 105, 115, 128, 140, 150, 156, 163, 169, 184
Κυψέλη 21	κανάλια: 11, 24, 33, 47, 53, 60, 68, 73, 80, 86, 95, 101, 123, 131, 143, 148, 161, 167, 172, 182

Περίπτωση Ρ6. Εύρος καναλιών 199 κανάλια.

Κυψέλη 1	κανάλια: 3, 9, 15, 21, 30, 40, 46, 52, 58, 63, 68, 77, 83, 91, 96, 102, 107, 114, 120, 125
Κυψέλη 2	κανάλια: 6, 12, 18, 24, 34, 43, 61, 71, 80, 86, 105, 110, 118, 128, 139, 145, 152, 158, 165, 173
Κυψέλη 3	κανάλια: 29, 36, 41, 47, 53, 59, 66, 74, 92, 108, 113, 122, 133, 148, 161, 170, 181, 187, 192, 197
Κυψέλη 4	κανάλια: 3, 9, 15, 21, 31, 50, 68, 77, 83, 89, 95, 100, 115, 125, 143, 151, 164, 176, 184, 190
Κυψέλη 5	κανάλια: 6, 12, 18, 24, 35, 42, 54, 63, 71, 80, 86, 103, 119, 128, 134, 139, 145, 153, 158, 166
Κυψέλη 6	κανάλια: 4, 10, 16, 22, 32, 42, 49, 55, 61, 72, 78, 84, 89, 95, 105, 113, 119, 126, 131, 137
Κυψέλη 7	κανάλια: 7, 13, 19, 25, 35, 44, 66, 81, 87, 109, 133, 140, 146, 159, 166, 172, 179, 184, 190, 195

Κυψέλη 8	κανάλια: 1, 28, 37, 48, 54, 75, 94, 100, 112, 123, 130, 136, 143, 149, 156, 162, 169, 176, 182, 188
Κυψέλη 9	κανάλια: 4, 10, 16, 22, 32, 51, 57, 64, 69, 78, 84, 90, 97, 103, 116, 126, 167, 178, 185, 194
Κυψέλη 10	κανάλια: 7, 13, 19, 25, 38, 44, 55, 62, 72, 81, 87, 120, 129, 135, 140, 146, 154, 159, 172, 199
Κυψέλη 11	κανάλια: 1, 27, 33, 48, 60, 75, 93, 98, 105, 110, 117, 123, 131, 137, 149, 156, 162, 168, 174, 180
Κυψέλη 12	κανάλια: 4, 10, 16, 22, 29, 37, 45, 51, 56, 66, 73, 78, 84, 90, 96, 101, 108, 113, 121, 126
Κυψέλη 13	κανάλια: 1, 6, 12, 18, 24, 29, 34, 40, 45, 51, 57, 63, 68, 74, 80, 86, 91, 97, 103, 108
Κυψέλη 14	κανάλια: 27, 38, 47, 53, 59, 70, 76, 93, 101, 111, 117, 124, 129, 135, 142, 148, 154, 161, 170, 175
Κυψέλη 15	κανάλια: 5, 11, 17, 23, 31, 41, 50, 56, 62, 73, 79, 85, 98, 104, 115, 121, 127, 151, 164, 186
Κυψέλη 16	κανάλια: 8, 14, 20, 26, 39, 45, 60, 67, 82, 88, 106, 119, 134, 141, 147, 153, 160, 171, 180, 191
Κυψέλη 17	κανάλια: 2, 30, 35, 42, 49, 76, 99, 109, 114, 124, 132, 138, 144, 150, 157, 163, 175, 183, 189, 196
Κυψέλη 18	κανάλια: 5, 11, 17, 23, 40, 46, 52, 58, 65, 70, 79, 85, 91, 102, 107, 112, 127, 142, 152, 165
Κυψέλη 19	κανάλια: 3, 29, 36, 43, 52, 58, 65, 71, 77, 91, 96, 108, 113, 125, 131, 137, 145, 158, 168, 173
Κυψέλη 20	κανάλια: 6, 12, 18, 24, 33, 47, 63, 80, 86, 93, 101, 111, 117, 128, 155, 166, 177, 187, 193, 198

Κυψέλη 21	κανάλια: 9, 15, 21, 28, 37, 54, 61, 68, 73, 83, 89, 95, 104, 121, 130, 136, 148, 161, 169, 179
-----------	--

Περίπτωση Ρ6. Εύρος καναλιών 198 κανάλια.

Κυψέλη 1	κανάλια: 3, 9, 16, 23, 28, 37, 43, 50, 60, 67, 79, 85, 92, 97, 103, 108, 114, 123, 129, 138
Κυψέλη 2	κανάλια: 7, 13, 20, 31, 47, 53, 62, 69, 83, 101, 117, 126, 132, 140, 151, 158, 163, 172, 178, 185
Κυψέλη 3	κανάλια: 4, 10, 17, 24, 34, 40, 51, 59, 66, 78, 88, 93, 120, 137, 154, 160, 167, 175, 181, 188
Κυψέλη 4	κανάλια: 8, 27, 37, 43, 54, 61, 68, 73, 82, 90, 95, 100, 114, 123, 129, 141, 148, 164, 169, 184
Κυψέλη 5	κανάλια: 5, 13, 20, 31, 45, 52, 64, 71, 76, 85, 97, 103, 108, 126, 132, 138, 143, 151, 156, 161
Κυψέλη 6	κανάλια: 6, 12, 19, 26, 36, 42, 49, 58, 65, 77, 83, 89, 95, 101, 111, 124, 130, 137, 145, 150
Κυψέλη 7	κανάλια: 1, 14, 21, 30, 46, 54, 73, 87, 105, 116, 121, 133, 141, 148, 155, 160, 166, 173, 179, 186
Κυψέλη 8	κανάλια: 5, 11, 18, 25, 33, 39, 57, 64, 71, 76, 94, 112, 119, 136, 153, 168, 176, 182, 190, 195
Κυψέλη 9	κανάλια: 36, 42, 49, 55, 74, 80, 86, 91, 98, 104, 109, 115, 124, 130, 142, 147, 156, 165, 193, 198
Κυψέλη 10	κανάλια: 1, 6, 14, 21, 30, 46, 63, 70, 84, 102, 107, 118, 127, 133, 145, 150, 173, 179, 186, 191

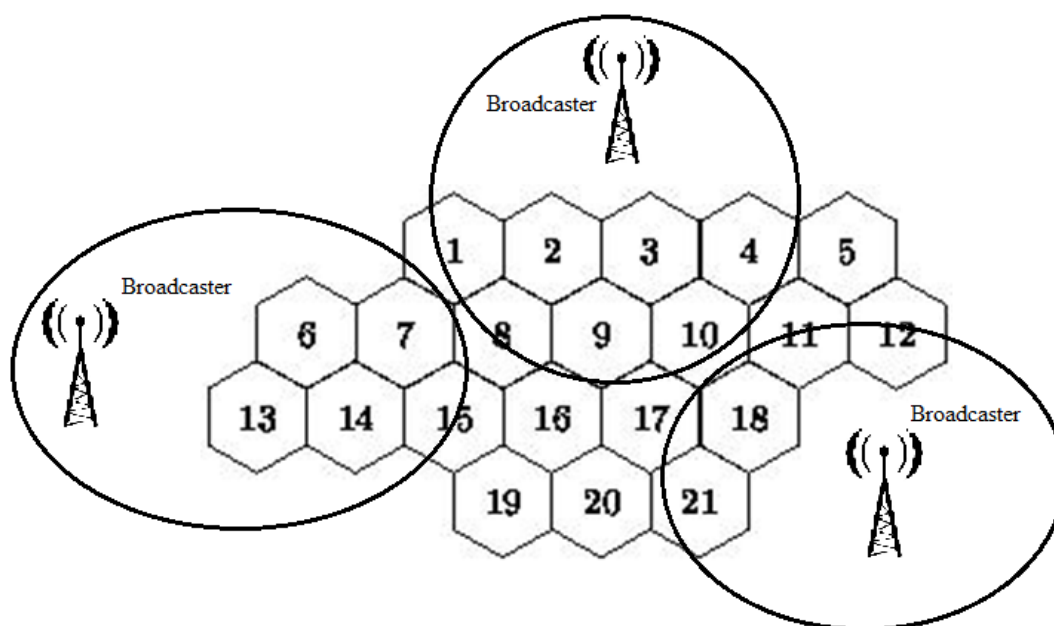
Κυψέλη 11	κανάλια: 11, 18, 25, 33, 39, 50, 57, 79, 87, 92, 105, 110, 116, 121, 135, 153, 158, 166, 171, 176
Κυψέλη 12	κανάλια: 2, 7, 15, 22, 28, 36, 42, 47, 55, 62, 69, 74, 83, 89, 94, 101, 112, 119, 124, 130
Κυψέλη 13	κανάλια: 2, 8, 15, 22, 28, 34, 40, 47, 53, 60, 67, 72, 79, 85, 91, 97, 103, 109, 114, 120
Κυψέλη 14	κανάλια: 4, 10, 17, 24, 32, 38, 44, 51, 56, 62, 69, 75, 81, 93, 99, 107, 118, 127, 135, 143
Κυψέλη 15	κανάλια: 27, 35, 41, 48, 59, 66, 78, 84, 90, 102, 110, 125, 131, 139, 146, 157, 164, 171, 184, 192
Κυψέλη 16	κανάλια: 2, 8, 15, 22, 29, 45, 52, 61, 68, 82, 100, 106, 122, 128, 134, 144, 149, 159, 174, 180
Κυψέλη 17	κανάλια: 12, 19, 26, 32, 38, 58, 65, 72, 77, 89, 96, 111, 138, 152, 161, 170, 177, 183, 189, 196
Κυψέλη 18	κανάλια: 3, 9, 16, 23, 35, 41, 48, 53, 60, 67, 75, 81, 99, 113, 125, 131, 140, 155, 163, 168
Κυψέλη 19	κανάλια: 6, 13, 20, 31, 37, 43, 50, 63, 70, 88, 95, 108, 113, 120, 137, 151, 162, 169, 178, 188
Κυψέλη 20	κανάλια: 4, 10, 17, 24, 34, 40, 47, 54, 79, 85, 92, 103, 116, 126, 132, 141, 154, 166, 172, 185
Κυψέλη 21	κανάλια: 7, 28, 44, 51, 56, 62, 69, 83, 94, 101, 119, 129, 136, 143, 148, 157, 175, 181, 187, 192

7.5 MSFAP της Φιλαδέλφειας με παρεμβολές

Όπως αναφερθήκαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο η ψηφιακή τηλεόραση ελευθέρωσε ένα σημαντικό τμήμα της ζώνης συχνοτήτων UHF, το οποίο μέχρι σήμερα είχε καταλάβει η αναλογική τηλεόραση. Η λειτουργία ενός ευρυζωνικού κυψελωτού δικτύου στις συχνότητες του ψηφιακού μερίσματος επιφέρει τη γεωγραφική και φασματική συνύπαρξή του με άλλες υπηρεσίες επίγειας ψηφιακής και αναλογικής ευρυεκπομπής.

Σε περιπτώσεις όπου το ψηφιακό μέρισμα έχει αποδοθεί σε υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας είναι πολύ πιθανή η συχνοτική συνύπαρξη με δίκτυα κινητής τηλεφωνίας γειτονικών περιοχών, με τη ψηφιακή ή αναλογική τηλεόραση, με το φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιείται αποκλειστικά από το στρατό και γενικά με οποιαδήποτε υπηρεσία επίγειας ευρυεκπομπής στο συγκεκριμένο φάσμα συχνοτήτων.

Στη συγκεκριμένη εργασία ασχοληθήκαμε και με την κατανομή καναλιών σε κυψελωτό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, όπου η συνύπαρξη με ένα ευρυζωνικό σύστημα υπηρεσιών (ψηφιακή τηλεόραση) περιορίζει την ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου φάσματος καναλιών.



Σχήμα 7.1: Παρεμβολή κυψελωτού δικτύου από τρεις Broadcasters

7.6 Συνάρτησης Καταλληλότητας

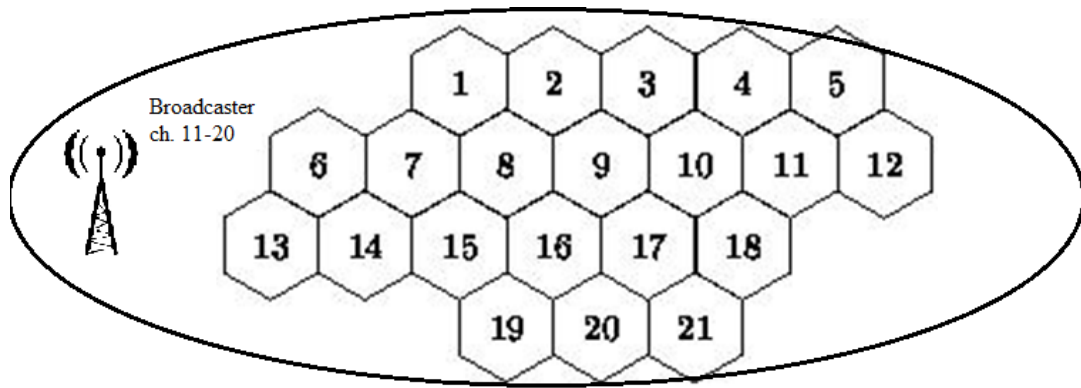
Προκειμένου να επιλύσουμε αυτό το είδος τα προβλήματα χρησιμοποιήσαμε τον αλγόριθμο-συνάρτηση που είχαμε δημιουργήσει τροποποιώντας τον καταλλήλως. Για την τροποποίηση αυτή προσθέσαμε στη συνάρτηση τις παρεμβολές του συστήματος ευρυεκπομπής στις κυψέλες του δικτύου. Οι παρεμβολές αυτές αναπαριστώνται με ένα πίνακα περιορισμών συχνοτήτων από κυψέλες, δηλαδή τα κανάλια που δεν μπορούν να εκχωρηθούν σε συγκεκριμένες κυψέλες επειδή χρησιμοποιούνται από κάποιο άλλο ευρυζωνικό σύστημα. Ο τροποποιημένος αυτός αλγόριθμος-συνάρτηση χρησιμοποιήθηκε εκ νέου ως συνάρτηση καταλληλότητας (fitness function).

Με τη χρήση του γενετικού αλγορίθμου προσπαθήσαμε να μηδενίσουμε την καινούρια συνάρτηση καταλληλότητας. Σκοπός μας πάλι ήταν να βρούμε το κατώφλι σε διάφορες περιπτώσεις κατανομής καναλιών σε κυψελωτό δίκτυο με τη συνήπαραξη παρεμβολών από ευρυζωνικό σύστημα. Όπως και προηγουμένως αναγκαστήκαμε να ξεκινήσουμε τις δοκιμές από αρκετα μεγάλο αριθμό καναλιών και σταδιακά να συγκλίνουμε στο τελικό μας κατώφλι.

7.7 Αποτελέσματα MSFAP της Φιλαδέλφειας με παρεμβολές

7.7.1 Περίπτωση P4 με παρεμβολές (11-20).

Στην περίπτωση P4 το διάνυσμα ζήτησης $c_v = (5, 5, 5, 8, 12, 25, 30, 25, 30, 40, 40, 45, 20, 30, 25, 15, 15, 30, 20, 20, 25)$ και οι αποστάσεις επαναχρησιμοποιήσεις (reuse distances) είναι ίσες με $(\sqrt{7}, 1, 1, 1, 0)$. Το παρεμβάλον ευρυζωνικό σύστημα χρησιμοποιεί τα κανάλια 11 έως 20 σε ολόκληρη τη γεωγραφική έκταση. Δηλαδή σε καμία κυψέλη δεν μπορεί να εκχωρηθεί συχνότητα από το 11 έως το 20. Το εύρος καναλιών που επιτύχαμε είναι 260.



Σχήμα 7.2: Παρεμβολή κυψελωτού δικτύου από έναν Broadcaster στα κανάλια 11 ως 20

Περίπτωση P4. Εύρος καναλιών 260 κανάλια.

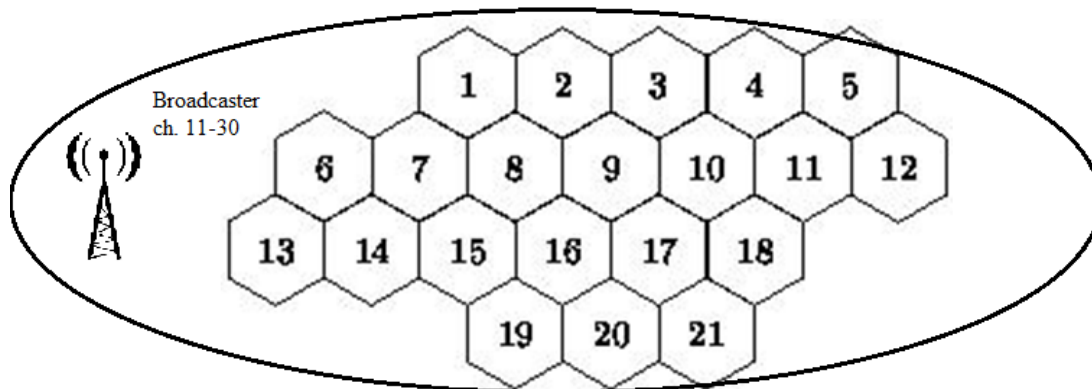
Κυψέλη 1	κανάλια: 3, 10, 21, 27, 33
Κυψέλη 2	κανάλια: 7, 24, 36, 42, 49
Κυψέλη 3	κανάλια: 4, 28, 34, 46, 55
Κυψέλη 4	κανάλια: 40, 53, 81, 93, 116, 121, 132, 138
Κυψέλη 5	κανάλια: 9, 21, 51, 61, 67, 74, 88, 98, 108, 114, 126, 145
Κυψέλη 6	κανάλια: 4, 11, 17, 29, 35, 46, 52, 62, 68, 82, 100, 109, 114, 120, 125, 132, 138, 146, 151, 156, 161, 168, 173, 178, 184
Κυψέλη 7	κανάλια: 1, 8, 14, 23, 37, 71, 76, 87, 92, 97, 105, 116, 128, 142, 154, 165, 182, 190, 196, 202, 208, 214, 219, 224, 229, 234, 239, 244, 249, 254
Κυψέλη 8	κανάλια: 5, 16, 30, 40, 47, 53, 59, 65, 74, 80, 94, 101, 110, 119, 126, 131, 137, 145, 150, 157, 162, 169, 174, 179, 185

Κυψέλη 9	κανάλια: 11, 22, 44, 57, 62, 69, 88, 98, 108, 117, 123, 129, 135, 141, 148, 155, 166, 171, 176, 181, 187, 192, 197, 203, 209, 215, 221, 226, 231, 237
Κυψέλη 10	κανάλια: 1, 8, 15, 20, 25, 31, 37, 50, 60, 66, 73, 78, 85, 90, 95, 100, 105, 113, 125, 144, 152, 158, 163, 168, 173, 178, 184, 189, 194, 200, 206, 212, 218, 224, 229, 234, 240, 246, 252, 257
Κυψέλη 11	κανάλια: 5, 12, 17, 23, 29, 35, 42, 47, 56, 63, 70, 76, 83, 103, 110, 119, 128, 134, 140, 147, 154, 160, 165, 170, 175, 180, 186, 191, 198, 204, 210, 216, 222, 227, 232, 238, 244, 250, 255, 260
Κυψέλη 12	κανάλια: 2, 7, 14, 19, 26, 32, 38, 44, 49, 54, 59, 65, 72, 79, 86, 91, 96, 101, 106, 112, 117, 123, 130, 136, 143, 149, 157, 162, 167, 172, 177, 183, 188, 193, 201, 207, 213, 219, 225, 230, 235, 241, 247, 253, 258
Κυψέλη 13	κανάλια: 2, 9, 15, 21, 27, 33, 38, 43, 48, 54, 59, 64, 70, 75, 80, 85, 91, 98, 104, 111
Κυψέλη 14	κανάλια: 6, 19, 25, 31, 41, 50, 57, 66, 73, 78, 89, 95, 102, 107, 118, 123, 130, 136, 144, 149, 158, 163, 170, 175, 180, 186, 192, 198, 204, 210
Κυψέλη 15	κανάλια: 12, 28, 34, 45, 55, 61, 83, 99, 112, 121, 134, 140, 160, 167, 172, 177, 188, 194, 200, 206, 212, 217, 222, 227, 232
Κυψέλη 16	κανάλια: 2, 9, 26, 32, 38, 51, 67, 77, 86, 91, 96, 106, 114, 143, 153
Κυψέλη 17	κανάλια: 6, 13, 18, 41, 48, 54, 64, 71, 82, 102, 111, 120, 133, 139, 161
Κυψέλη 18	κανάλια: 3, 10, 27, 33, 39, 45, 52, 58, 68, 80, 87, 92, 97, 107, 115, 122, 131, 137, 142, 150, 156, 182, 196, 202, 208, 214, 220, 236, 242, 248
Κυψέλη 19	κανάλια: 4, 15, 20, 42, 49, 58, 63, 70, 75, 81, 93, 103, 109, 124, 132, 138, 146, 151, 156, 164

Περίπτωση Ρ6. Εύρος καναλιών 202 κανάλια.

Κυψέλη 1	κανάλια: 1, 7, 21, 34, 40, 51, 57, 62, 68, 79, 85, 94, 108, 124, 129, 135, 141, 150, 156, 162
Κυψέλη 2	κανάλια: 24, 31, 38, 54, 60, 73, 82, 88, 98, 111, 117, 133, 144, 152, 159, 165, 176, 181, 187, 192
Κυψέλη 3	κανάλια: 2, 10, 22, 28, 35, 41, 52, 67, 76, 93, 100, 105, 114, 123, 149, 161, 168, 174, 179, 185
Κυψέλη 4	κανάλια: 5, 25, 39, 44, 57, 65, 71, 79, 85, 95, 102, 121, 126, 134, 153, 158, 171, 177, 191, 196
Κυψέλη 5	κανάλια: 1, 8, 21, 31, 36, 47, 54, 60, 73, 82, 88, 99, 111, 117, 129, 136, 144, 150, 156, 165
Κυψέλη 6	κανάλια: 3, 10, 23, 28, 37, 43, 53, 60, 66, 72, 80, 86, 96, 102, 109, 122, 130, 136, 142, 149
Κυψέλη 7	κανάλια: 5, 25, 32, 46, 55, 74, 83, 89, 99, 112, 118, 126, 145, 158, 166, 174, 179, 185, 191, 198
Κυψέλη 8	κανάλια: 9, 29, 36, 42, 49, 65, 71, 77, 92, 101, 106, 115, 121, 139, 148, 154, 169, 183, 189, 195
Κυψέλη 9	κανάλια: 4, 26, 45, 58, 63, 69, 80, 86, 96, 103, 109, 125, 130, 136, 142, 157, 163, 172, 197, 202
Κυψέλη 10	κανάλια: 7, 32, 37, 48, 55, 61, 74, 83, 89, 112, 118, 128, 138, 145, 155, 166, 182, 188, 194, 199
Κυψέλη 11	κανάλια: 3, 23, 29, 42, 50, 68, 77, 91, 97, 106, 115, 124, 131, 141, 147, 162, 169, 175, 180, 186

(reuse distances) είναι ίσες με $(\sqrt{7}, 1, 1, 1, 0)$. Το παρεμβάλον ευρυζωνικό σύστημα χρησιμοποιεί τα κανάλια 11 έως 20 σε ολόκληρη τη γεωγραφική έκταση. Το εύρος καναλιών που επιτύχαμε είναι 215.



Σχήμα 7.4: Παρεμβολή κυψελωτού δικτύου από έναν Broadcaster στα κανάλια 11 ως 30

Περίπτωση P6. Εύρος καναλιών 215 κανάλια.

Κυψέλη 1	κανάλια: 1, 31, 37, 43, 50, 56, 63, 68, 79, 91, 98, 113, 130, 137, 143, 159, 164, 171, 177, 183
Κυψέλη 2	κανάλια: 4, 41, 47, 60, 72, 83, 95, 102, 117, 123, 128, 133, 140, 146, 154, 162, 180, 185, 190, 195
Κυψέλη 3	κανάλια: 2, 8, 32, 38, 44, 51, 57, 78, 99, 106, 114, 121, 126, 149, 158, 178, 188, 193, 199, 204
Κυψέλη 4	κανάλια: 5, 36, 42, 54, 62, 68, 76, 82, 87, 103, 116, 130, 143, 153, 167, 176, 181, 201, 206, 211
Κυψέλη 5	κανάλια: 1, 31, 39, 47, 58, 64, 74, 85, 90, 95, 100, 109, 119, 133, 140, 146, 156, 162, 171, 179
Κυψέλη 6	κανάλια: 3, 8, 33, 40, 46, 53, 59, 69, 77, 87, 92, 101, 119, 129, 138, 144, 149, 157, 162, 168

Κυψέλη 7	κανάλια: 5, 35, 48, 61, 66, 73, 81, 89, 96, 105, 110, 122, 127, 134, 147, 152, 188, 193, 199, 204
Κυψέλη 8	κανάλια: 9, 39, 45, 52, 58, 76, 85, 93, 100, 107, 115, 120, 125, 156, 167, 173, 197, 202, 210, 215
Κυψέλη 9	κανάλια: 6, 34, 55, 64, 69, 80, 88, 104, 111, 131, 138, 144, 151, 160, 165, 170, 175, 182, 207, 212
Κυψέλη 10	κανάλια: 40, 48, 59, 66, 73, 84, 91, 96, 101, 108, 118, 134, 141, 147, 155, 163, 172, 186, 191, 196
Κυψέλη 11	κανάλια: 3, 9, 33, 45, 52, 70, 79, 93, 105, 112, 123, 128, 136, 150, 159, 169, 174, 183, 189, 194
Κυψέλη 12	κανάλια: 6, 35, 41, 49, 55, 60, 67, 72, 77, 83, 88, 97, 102, 107, 114, 121, 126, 131, 138, 144
Κυψέλη 13	κανάλια: 1, 6, 31, 36, 42, 49, 55, 62, 67, 72, 79, 85, 90, 97, 104, 111, 116, 121, 126, 131
Κυψέλη 14	κανάλια: 10, 38, 44, 51, 57, 64, 75, 83, 94, 99, 108, 114, 124, 136, 141, 154, 160, 165, 172, 178
Κυψέλη 15	κανάλια: 2, 7, 32, 54, 70, 78, 103, 112, 118, 132, 139, 145, 150, 158, 163, 169, 176, 181, 186, 191
Κυψέλη 16	κανάλια: 36, 42, 49, 62, 67, 74, 82, 90, 97, 109, 129, 135, 142, 148, 153, 179, 189, 194, 200, 205
Κυψέλη 17	κανάλια: 1, 10, 31, 46, 53, 71, 77, 86, 94, 113, 122, 127, 157, 168, 177, 184, 198, 203, 209, 214
Κυψέλη 18	κανάλια: 7, 37, 43, 50, 56, 61, 75, 81, 89, 98, 110, 115, 120, 125, 132, 139, 145, 152, 161, 166
Κυψέλη 19	κανάλια: 40, 47, 56, 65, 72, 84, 95, 101, 116, 121, 126, 137, 155, 161, 166, 171, 183, 196, 208, 213

Κυψέλη 20	κανάλια: 3, 8, 33, 38, 44, 51, 60, 79, 99, 105, 119, 124, 133, 140, 146, 159, 164, 187, 192, 211
Κυψέλη 21	κανάλια: 5, 35, 41, 58, 63, 68, 83, 92, 102, 107, 117, 130, 143, 149, 154, 173, 180, 190, 195, 201

8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή προτείνουμε έναν νέο αλγόριθμο σταθερής εκχώρησης συχνοτήτων με περιορισμένο εύρος ζώνης. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος χρησιμοποιεί Γενετικούς Αλγορίθμους, συγκεκριμένα το *optimtool* της Matlab, για την ελαχιστοποίηση των αποτελεσμάτων του. Για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας παρατίθενται ορισμένες σημαντικές παρατηρήσεις και συμπεράσματα.

Στη συγκεκριμένη έρευνα για την κατανομή συχνοτήτων παίρνουμε δύο περιορισμούς, την τοπολογία του κυβελωτού δικτύου και τις παρεμβολές. Ωστόσο, υπάρχουν περισσότερα σχετικά τεχνικά και πρακτικά ζητήματα που δεν λαμβάνονται υπόψη, όπως οι πολλαπλές παρεμβολές και η δυναμική κατανομή καναλιού.

Το γεγονός ότι το πρόβλημα βρίσκεται στο σταυροδρόμι πολλών κλάδων της επιστήμης δεν διευκολύνει την παρακολούθηση των νέων εξελίξεων. Η ιστοσελίδα FAP (<http://far.zib.de>) έχει ταξινομήσει όλες αυτές τις έρευνες και ενημερώνεται τακτικά με νεότερες δημοσιεύσεις στον τομέα αυτό. Η ιστοσελίδα αποτελεί μια πρώτη πηγή σε όσους ενδιαφέρονται για το συγκεκριμένο θέμα .

Ένα ακόμα μειονέκτημα που ισχύει για τα περισσότερα προβλήματα βελτιστοποίησης είναι ότι παρακινούνται από την πρακτική και ως εκ τούτου είναι περιορισμένη η διαθεσιμότητα των περιπτώσεων αναφοράς. Οι περισσότεροι από τους προτεινόμενους αλγορίθμους έχουν δοκιμαστεί σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Εξαιρέσεις αποτελούν η CALMA και το COST 259. Οι εργασίες που διατίθενται για τη λύση των περιπτώσεων της Φιλαδέλφεια είναι ένα πραγματικό παράδειγμα δικτύου GSM.

Ατενίζοντας το μέλλον της εκχώρησης συχνοτήτων, τρεις τεχνολογικές εξελίξεις είναι ιδιαίτερης σημασίας. Αρχικά η νέα γενιά των δικτύων 3G, όπως η τεχνολογία

UMTS, εκμεταλλεύεται κυρίως πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα (CDMA) αντί για πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας. Από τη άλλη πλευρά, αρκετές νέες τεχνολογίες, όπως τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, αποτελούν προβλήματα εκχώρησης συχνοτήτων. Μια τρίτη σημαντική εφαρμογή είναι η ανάπτυξη της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης. Η μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση προσφέρει νέες προκλήσεις στα προβλήματα εκχώρησης συχνοτήτων.

Τέλος, από μαθηματική σκοπιά, εξακολουθεί να υπάρχει αρκετός χώρος για βελτίωση των λύσεων και ελαχιστοποίηση των ορίων του φάσματος, για όλες τις παραλλαγές του προβλήματος εκχώρησης συχνοτήτων. Ως εκ τούτου, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η εργασία αυτή αποτελεί μία προσπάθεια εύρεση του κατωφλίου του προβλήματος εκχώρησης συχνοτήτων με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων.

9

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

9.1 ΟΙ ΚΛΑΣΕΙΣ P ΚΑΙ NP

Η πολυπλοκότητα ενός αλγόριθμου είναι το σύνολο των βημάτων (στοιχειωδών πράξεων όπως πρόσθεση, σύγκριση κλπ) που χρειάζεται για να επιλύσει κάποιο πρόβλημα. Επίσης αυτή η πολυπλοκότητα εξαρτάται από το πλήθος των δεδομένων εισόδου. Δηλαδή, μπορεί να αποδοθεί από μία συνάρτηση $f : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$ όπου για κάθε συγκεκριμένο πλήθος δεδομένων εισόδου n επιστρέφει το πλήθος των στοιχειωδών πράξεων $f(n)$ που απαιτούνται για την επίλυση του προβλήματος.

Η Κλάση Προβλημάτων P

Αν ένα πρόβλημα αποσκοπεί στη λήψη μιας δυαδικής απόφασης (ναι / όχι) τότε λέγεται πρόβλημα απόφασης. Από τα προβλήματα απόφασης όσα επιδέχονται λύση από πολυωνυμικούς αλγόριθμους αποτελούν την κλάση (οικογένεια) P. Δηλαδή, ένας αλγόριθμος θεωρείται ότι είναι υπολογιστικής πολυπλοκότητας της τάξης P, εάν υπάρχει ένα πολυώνυμο $p()$ τέτοιο ώστε η πολυπλοκότητα του αλγόριθμου να μπορεί να εκφρασθεί σαν $O(p(N))$ για οποιοδήποτε πλήθος δεδομένων N.

Η Κλάση Προβλημάτων NP

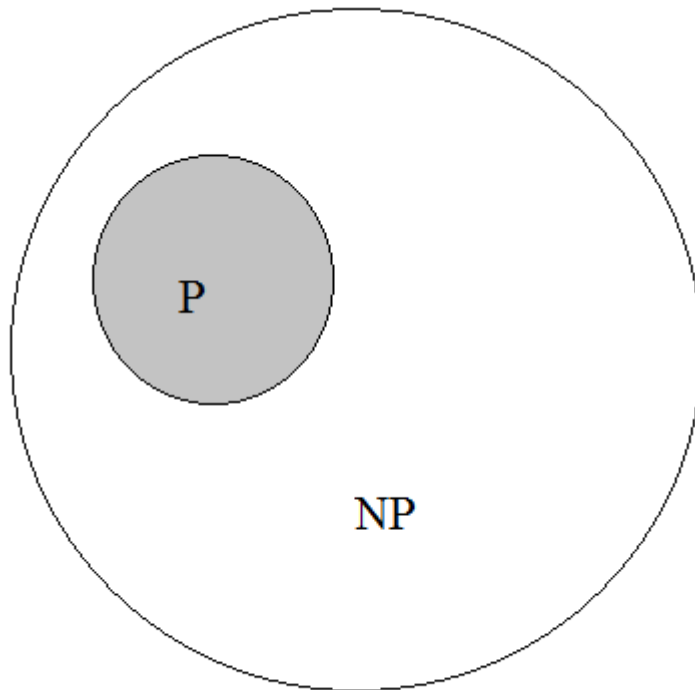
Έστω ένα πρόβλημα απόφασης μεγέθους n της μορφής:

«Τα δεδομένα $A=(A(1), A(2), \dots, A(n))$ ικανοποιούν την συνθήκη C»

Δηλαδή, για παράδειγμα ας θεωρηθεί το ακόλουθο πρόβλημα: Δοθέντος ενός φυσικού αριθμού m με δυαδική αναπαράσταση $a = a_{n-1} \dots a_2 a_1$ όπου $a_i \in \{0, 1\}$, να ελεγχθεί εάν αυτός ο αριθμός είναι σύνθετος, δηλαδή εάν έχει ακέραιους διαιρέτες.

Έστω τώρα ότι η εν λόγω συνθήκη ικανοποιείται αν βρεθεί έστω και ένας διαιρέτης (εκτός φυσικά της μονάδας και του εαυτού του).

Ας υποθεθεί ότι ένας αριθμός b κάποιου μεγέθους διαιρεί τον a . Εάν η υπόθεση είναι αξιόπιστη, το πρόβλημα παίρνει την μορφή του ελέγχου στο εάν ο b διαιρεί τον a . Εάν το νέο αυτό πρόβλημα ανήκει στην κλάση P , τότε ορίζεται πως το αρχικό πρόβλημα ανήκει στην κλάση NP . Προφανώς ισχύει $P \subseteq NP$. Ωστόσο παραμένει αναπόδεικτη η εικασία $P \subset NP$. Αυτό δείχνει την άγνοια του ότι ενώ είναι γνωστά προβλήματα της κλάσης NP δεν μπορεί να αποδειχθεί ότι δεν μπορεί να βρεθούν κάποιοι καλύτεροι αλγόριθμοι για αυτά τα προβλήματα ώστε να ανήκουν στην κλάση P .



Σχήμα 8.1 : Σχέση κλάσεων P και NP με την υπόθεση $P \neq NP$

Ορισμός : Το σύνολο των προσδιοριστικών αλγόριθμων απόφασης που επιλύονται σε πολυωνυμικό χρόνο, ανήκουν στην κλάση P .

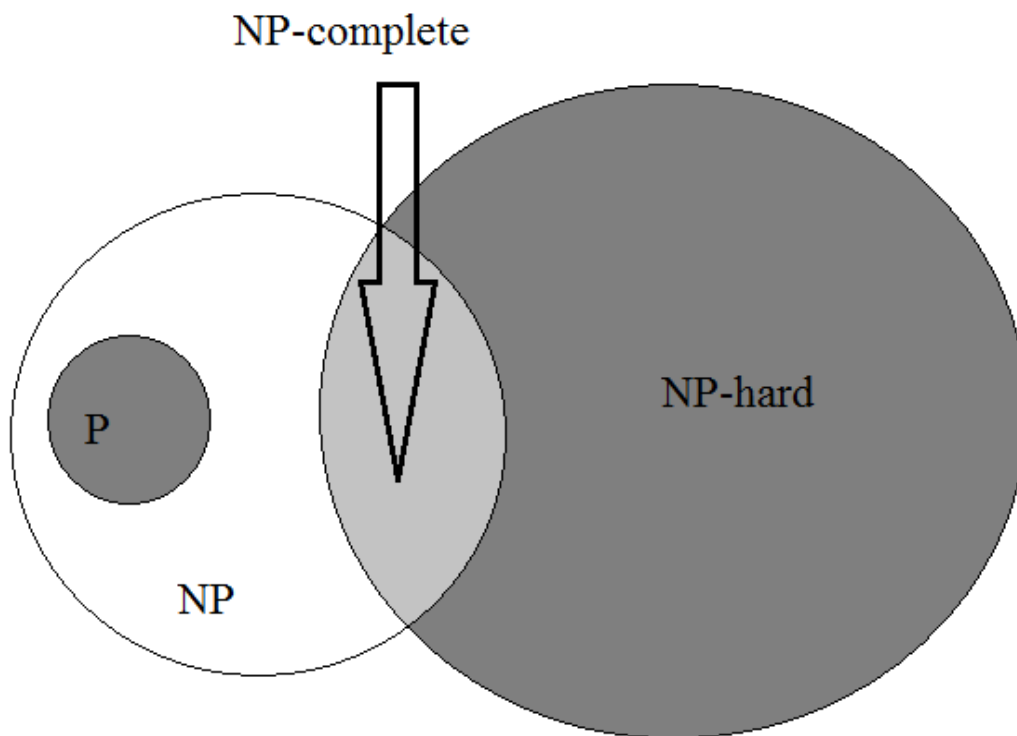
Ορισμός : Το σύνολο των αλγόριθμων απόφασης που επιλύονται σε πολυωνυμικό χρόνο από μη προσδιοριστικούς αλγόριθμους, ανήκουν στην κλάση NP.

Η κλάση των NP-hard και NP-complete Προβλημάτων

Σαν συνέπεια της προαναφερθείσης άγνοιας, ορίζεται μία κλάση προβλημάτων NPcomplete (NPC). Τα προβλήματα που ανήκουν σ' αυτή την κλάση έχουν τις εξής δύο ιδιότητες:

1. Ανήκουν στην κλάση NP
2. Αν έστω και για ένα από αυτά αποδειχθεί (στο μέλλον) ότι ανήκει στην κλάση P τότε αυτόματα έχει αποδειχθεί ότι $NPC \subseteq P$, δηλαδή όλα τα NP-complete προβλήματα θα ήταν επιλύσιμα σε πολυωνυμικό χρόνο.

Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι από τα NP προβλήματα, τα P είναι τα εύκολα και τα NP-complete τα δύσκολα ως προς την υπολογιστική τους πολυπλοκότητα. Από την άλλη μεριά όμως μπορεί να αποδειχθεί ότι όλα τα NP προβλήματα, συμπεριλαμβανόμενων και των NP-complete επιδέχονται αλγόριθμους με πολυπλοκότητα $f(n) \in O(2^n)$. Είναι δηλαδή λιγότερο ή το πολύ ισοδύναμοι με αλγόριθμους εκθετικής πολυπλοκότητας.



Σχήμα 8.2 : Σχέσεις των κλάσεων P, NP, NP-hard και NP-complete

Ορισμός : Έστω L_1 και L_2 είναι δύο προβλήματα απόφασης. Ορίζεται ότι το πρόβλημα L_1 περιορίζει το πρόβλημα L_2 ($L_1 \leq L_2$) εάν και μόνον εάν υπάρχει ένας τρόπος ώστε να επιλυθεί το L_1 από προσδιοριστικό αλγόριθμο σε πολυωνυμικό χρόνο χρησιμοποιώντας έναν προσδιοριστικό αλγόριθμο που επιλύει το L_2 .

Ορισμός : Ένα πρόβλημα L θεωρείται ότι ανήκει στην κλάση NP-hard εάν η ικανοποίηση του προβλήματος περιορίζει το L (ικανοποίηση $\leq L$)

Ορισμός : Ένα πρόβλημα L θεωρείται ότι ανήκει στην κλάση NP-complete εάν και μόνο εάν το L ανήκει στην κλάση NP-hard και ταυτόχρονα στην κλάση NP.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή προτείνουμε έναν νέο αλγόριθμο σταθερής εκχώρησης συχνοτήτων με περιορισμένο εύρος ζώνης. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος

χρησιμοποιεί Γενετικούς Αλγορίθμους, συγκεκριμένα το *optimtool* της *Matlab*, για την ελαχιστοποίηση των αποτελεσμάτων του. Για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας παρατίθενται ορισμένες σημαντικές παρατηρήσεις και συμπεράσματα.

Στη συγκεκριμένη έρευνα για την κατανομή συχνοτήτων παίρνουμε δύο περιορισμούς, την τοπολογία του κυψελωτού δικτύου και τις παρεμβολές. Ωστόσο, υπάρχουν περισσότερα σχετικά τεχνικά και πρακτικά ζητήματα που δεν λαμβάνονται υπόψη, όπως οι πολλαπλές παρεμβολές και η δυναμική κατανομή καναλιού.

Το γεγονός ότι το πρόβλημα βρίσκεται στο σταυροδρόμι πολλών κλάδων της επιστήμης δεν διευκολύνει την παρακολούθηση των νέων εξελίξεων. Η ιστοσελίδα *FAP* (<http://far.zib.de>) έχει ταξινομήσει όλες αυτές τις έρευνες και ενημερώνεται τακτικά με νεότερες δημοσιεύσεις στον τομέα αυτό. Η ιστοσελίδα αποτελεί μια πρώτη πηγή σε όσους ενδιαφέρονται για το συγκεκριμένο θέμα .

Ένα ακόμα μειονέκτημα που ισχύει για τα περισσότερα προβλήματα βελτιστοποίησης είναι ότι παρακινούνται από την πρακτική και ως εκ τούτου είναι περιορισμένη η διαθεσιμότητα των περιπτώσεων αναφοράς. Οι περισσότεροι από τους προτεινόμενους αλγορίθμους έχουν δοκιμαστεί σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Εξαιρέσεις αποτελούν η *CALMA* και το *COST 259*. Οι εργασίες που διατίθενται για τη λύση των περιπτώσεων της Φιλαδέλφεια είναι ένα πραγματικό παράδειγμα δικτύου *GSM*.

Ατενίζοντας το μέλλον της εκχώρησης συχνοτήτων, τρεις τεχνολογικές εξελίξεις είναι ιδιαίτερης σημασίας. Αρχικά η νέα γενιά των δικτύων *3G*, όπως η τεχνολογία *UMTS*, εκμεταλλεύεται κυρίως πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα (*CMDA*) αντί για πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας. Από τη άλλη πλευρά, αρκετές νέες τεχνολογίες, όπως τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, αποτελούν προβλήματα εκχώρησης συχνοτήτων. Μια τρίτη σημαντική εφαρμογή είναι η ανάπτυξη της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης. Η μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση προσφέρει νέες προκλήσεις στα προβλήματα εκχώρησης συχνοτήτων.

Τέλος, από μαθηματική σκοπιά, εξακολουθεί να υπάρχει αρκετός χώρος για βελτίωση των λύσεων και ελαχιστοποίηση των ορίων του φάσματος, για όλες τις παραλλαγές

του προβλήματος εκχώρησης συχνοτήτων. Ως εκ τούτου, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η εργασία αυτή αποτελεί μία προσπάθεια εύρεση του κατωφλίου του προβλήματος εκχώρησης συχνοτήτων με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων.

10

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] *Δορυφορικές Επικοινωνίες*, Π.Κωττής, Χ.Καψάλης, Εκδόσεις Τζιόλα (2006)
- [2] *Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών*, Μ.Θεολόγου, Εκδόσεις Τζιόλα (2007)
- [3] *Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών*, Α.Κανατάς, Φ.Κωνσταντίνου, Γ.Πάντος, Εκδόσεις Παπασωτηρίου (2008)
- [4] *Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα (EMC)*, Χ.Καψάλης, Π.Τρακάδας, Εκδόσεις Τζιόλα (2006)
- [5] *Κεραίες και Ασύρματες Ζεύξεις*, Π.Κωττής, Χ.Καψάλης, Εκδόσεις Τζιόλα (2005)
- [6] *Χάρτης Συχνότητων Πλάνου Ψηφιακής Τηλεόρασης*, Χ.Καψάλης (2008)
- [7] *FREQUENCY ASSIGNMENT Models and Algorithms*, C.A. Koster (1999)
- [8] *An Efficient Genetic Algorithm for a Fixed Frequency Assignment Problem with Limited Bandwidth Constraint*, Shouichi Matsui, Isamu Watanabe, and Ken-ichi Tokoro (2009)
- [9] *Algorithms for Frequency Assignment Problems*, C.A.J. Hurkens, J.K. Lenstra, S.R. Tiourine (1996)
- [10] *A New Strategy for the Application of Genetic Algorithms to the Channel-Assignment Problem*, Dirk Beckmann and Ulrich Killat (1999)
- [11] *A Genetic Algorithm for Channel Assignment Problems*, Monica Cuppini (1994)
- [12] *Final Report for the Greek Ministry of Transport, Infrastructure and Networks Property rights in UHF and 2.6GHz spectrum*, Analysys Mason (2012)
- [13] *Review of Digital Dividend Options in Greece Report prepared for EETT*, Aegis spectrum engineering (2009)
- [14] *A Permutation Based Genetic Algorithm for Minimum Span Frequency Assignment*, Christine Valenzuela, Steve Hurley, Derek Smith

- [15] *Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγόριθμους*, Ευστράτιος Φ. Γεωργόπουλος, Σπυρίδων Δ. Λυκοθανάσης (1999)
- [16] *A Parameter-Free Genetic Algorithm for a Fixed Channel Assignment Problem with Limited Bandwidth*, Shouichi Matsui, Isamu Watanabe, and Ken-ichi Tokoro
- [17] *Γενετικοί Αλγόριθμοι και Εφαρμογές*, Σπυρίδων Δ. Λυκοθανάσης (2001)
- [18] *Αλγόριθμοι και Πολυπλοκότητα*, Ηλίας Σάββας (2005)
- [19] *Models and solution techniques for frequency assignment problems*, Karen I. Aardal, Stan P.M. van Hoesel, Arie M.C.A. Koster, Carlo Mannino, Antonio Sassano (2003)
- [20] *The Orientation Model for Frequency Assignment Problems*, Ralf Borndörfer Andreas Eisenblätter Martin Grötschel Alexander Martin