



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Η ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΕ
ΔΙΚΤΥΑ ΙΜΤ ΠΟΥ ΠΑΡΕΜΒΑΛΛΟΝΤΑΙ ΑΠΟ
DVB-T ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

Επιβλέπων: Παναγιώτης Κωττής

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Η ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΕ
ΔΙΚΤΥΑ ΙΜΤ ΠΟΥ ΠΑΡΕΜΒΑΛΛΟΝΤΑΙ ΑΠΟ
DVB-T ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

Επιβλέπων: Παναγιώτης Κωττής

Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Π. Κωττής
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Γ. Φικιώρης
Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Χ. Καψάλης
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2011

.....
Βασίλειος Β. Αθανασίου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Βασίλειος Β. Αθανασίου, 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος, All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσης 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 το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός εργαλείου προσομοίωσης που πραγματοποιεί δυναμική κατανομή φασματικών πόρων σε ασύρματα κυψελωτά ευρυζωνικά δίκτυα που προορίζονται για να λειτουργήσουν στη ζώνη συχνοτήτων 790-862 MHz του ψηφιακού μερίσματος. Στην παρούσα εργασία το πρόβλημα της κατανομής καναλιών αντιμετωπίζεται ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης όπου για την επίλυση τους χρησιμοποιούνται μέθοδοι όπως οι γενετικοί αλγόριθμοι. Ο προτεινόμενος γενετικός αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη την παρεμβολή που προκαλείται από γειτονικούς παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής σε όλη τη γεωγραφική περιοχή που καλύπτεται από τα κυψελωτά δίκτυα. Αυτός ο τύπος παρεμβολής μπορεί να συμβεί σε περιοχές πλησίον των συνόρων μεταξύ χωρών στις οποίες έχει αποδοθεί το ψηφιακό μέρημα για υπηρεσίες κινητών επικοινωνιών λόγω της λειτουργίας αλλοδαπών παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής. Κατά την ανάπτυξη του γενετικού αλγορίθμου δόθηκε έμφαση στη λειτουργία των κυψελωτών δικτύων με χρήση της προσαρμοστικής κωδικοποίησης και διαμόρφωσης (adaptive coding and modulation, ACM).

Συγκεκριμένα, υλοποιήθηκε ένα σχήμα γενετικού αλγορίθμου το οποίο επιδιώκει τη βέλτιστη κατανομή φασματικών πόρων ως προς τον όσο το δυνατόν μέγιστο ρυθμό μετάδοσης που αποδίδεται σε κάθε κυψέλη. Οι περιοριστικοί παράγοντες που αντιτίθεται σε αυτή την επιδίωξη και λαμβάνονται υπόψη είναι η παρεμβολή των παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής και η ομοδιαυλικός περιορισμός. Η παρεμβολή των παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής προκαλεί τον περιορισμό της μετάδοσης και κατ' επέκταση τη μετάδοση με χαμηλότερο επίπεδο ACM ή τη μη δυνατότητα μετάδοσης λόγω της χειρότερης του λόγου σήματος προς θόρυβο και παρεμβολή (SINR). Ο ομοδιαυλικός περιορισμός καθιστά αδύνατη την ταυτόχρονη απόδοση ενός διαύλου σε γειτονικές κυψέλες.

Στο τέταρτο κεφάλαιο μελετάται η συμπεριφορά του προτεινόμενου γενετικού αλγορίθμου και αξιολογούνται τα αποτελέσματα αυτών βάσει του συνολικού ρυθμού μετάδοσης που αποδίδεται στο σύστημα και ενός δείκτη δικαιοσύνης που δείχνει πόσο δίκαια είναι η κατανομή των φασματικών πόρων στις επιμέρους κυψέλες του συστήματος .

Λέξεις κλειδιά: Ψηφιακό Μέρημα, DVB-T, IEEE 802.22, Πρόβλημα Κατανομής Πόρων, Παρεμβολή Παρόχων Υπηρεσιών Ευρυεκπομπής, Γενετικοί Αλγόριθμοι, Προσαρμοστική Κωδικοποίηση και Διαμόρφωση

ABSTRACT

The motivation for this thesis is the development of a simulation tool which implements dynamic channel allocation for broadband wireless cellular networks destined to operate in the 790-862 MHz frequency band of the digital dividend. The present work faces the problem of channel allocation as an optimization problem for the solution of which several methods such as genetic algorithms are used. The proposed genetic algorithm takes into account the interference caused by neighbouring broadcasters over the geographical area covered by the cellular network. This type of interference may occur in countries that have allocated the Digital Dividend to mobile services, due to the operation of foreign broadcasters located near their borders. Emphasis has been put by the simulation tool on adaptive coding and modulation (ACM).

Specifically, the proposed genetic algorithm scheme aims at an optimal channel allocation through achieving a maximum possible throughput for each cell. The main constraints against this aim, which are taken into account, are broadcaster's interference and the co-channel constraint. Broadcaster's interference either causes transmission at lower ACM levels than the maximum possible or makes transmission impossible to take place due to deterioration of Signal to Interference and Noise Ratio (SINR). Co-channel constraint makes it impossible for adjacent cells to use at the same time the same channels.

In chapter 4, the performance of the proposed genetic algorithm is examined according to the total cellular system's throughput and a fairness index which shows how fair the channels have been allocated to the system.

Key words: *Digital Dividend, DVB-T, IEEE 802.22, Resource Allocation problem, Broadcaster's Interference, Genetic Algorithm, Adaptive Coding and Modulation (ACM)*

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Π. Κωττή, για την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τα τελευταία εξάμηνα των σπουδών μου και ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον υποψήφιο διδάκτορα του ΕΜΠ κύριο Νικόλαο Καψάλη για τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε, τις γνώσεις που μου μετέδωσε, καθώς και για την άριστη μεταξύ μας συνεργασία.

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	15
1.1 ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΕΡΙΣΜΑ ΚΑΙ Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ.....	15
1.1.1 Το ψηφιακό μέρος.....	15
1.1.2 Η σημερινή κατάσταση στην Ευρώπη.....	16
1.1.3 Τρόποι αξιοποίησης του ψηφιακού μέρους.....	17
1.1.4 Ψηφιακό μέρος και ευρυζωνικές υπηρεσίες.....	17
1.1.5 Προβλήματα σχετικά με θέματα συντονισμού μεταξύ γειτονικών χωρών.....	19
1.2 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ	21
1.2.1 Γενετικοί αλγόριθμοι.....	21
1.2.2 Γενετικοί αλγόριθμοι και κατανομή καναλιών.....	24
1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	25
Κεφάλαιο 2: Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΕΡΙΣΜΑ—ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ DVB-T.....	27
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	27
2.2 ΓΙΑΤΙ Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ ΕΙΝΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ.....	27
2.2.1 Περιορισμός της αναλογικής μετάδοσης.....	27
2.2.2 Ψηφιακή πολυπλεξία.....	28
2.2.3 Ψηφιακή συμπίεση.....	29
2.2.3.1 Εισαγωγή	29
2.2.3.2 MPEG	30
2.2.4 Διάταξη δικτύου (Network configuration)	31
2.2.5 Επίδραση στο ραδιοφάσμα	32
2.3 ΠΡΟΤΥΠΟ DVB-T	33
2.3.1 Πολυπλεξία τηλεοπτικών σταθμών	33
2.3.2 Διαμόρφωση και κωδικοποίηση	33
2.3.3 Ιεραρχική διαμόρφωση	35
2.3.4 Διάστημα φύλαξης και δίκτυα SFN	36

Κεφάλαιο 3: Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΕΡΙΣΜΑ.....39

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	39
3.2 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.22.....	39
3.2.1 Εισαγωγή – Τεχνολογία γνωστικών επικοινωνιών	39
3.2.2 Βασικές παράμετροι προτύπου 802.22.....	41
3.2.2.1 Τοπολογία συστήματος.....	41
3.2.2.2 Ακτίνα ραδιοκάλυψης.....	41
3.2.2.3 Χωρητικότητα συστήματος.....	42
3.2.3 Φυσικό στρώμα.....	42
3.2.3.1 OFFDMA.....	42
3.2.3.2 Προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση.....	44
3.2.4 Στρώμα MAC	46
3.2.4.1 Δομή πλαισίου.....	46
3.2.4.2 Ανίχνευση διαθέσιμων καναλιών.....	47
3.3 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.20.....	49
3.3.1 Εισαγωγή.....	49
3.3.2 Πολλαπλή πρόσβαση.....	50
3.3.2.1 Διαφορές μεταξύ των OFDMA και CDMA.....	50
3.3.2.2 Flash OFDM.....	50
3.3.3 Διαμόρφωση και κωδικοποίηση.....	51
3.3.4 Υβριδικό ARQ.....	52

Κεφάλαιο 4: ΕΚΧΩΡΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΣΕ ΚΥΨΕΛΩΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΠΟΥ ΥΠΟΚΕΙΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΛΟΓΩ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗΣ.....53

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	53
4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ.....	55
4.2.1 Ορισμός των χρησιμοποιούμενων οντοτήτων.....	56
4.2.2 Υλοποίηση γενετικού αλγορίθμου.....	60
4.3 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	61
4.3.1 Εισαγωγή.....	61
4.3.2 Επιλογή πληθυσμού.....	62
4.3.3 Παρεμβολή από έναν πάροχο υπηρεσιών ευρυεκπομπής.....	64
4.3.3.1 Λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM.....	64
4.3.3.2 Λειτουργία έξι επιπέδων ACM.....	68
4.3.4 Παρεμβολή από δύο παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής.....	70
4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	73

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΨΗΦΙΑΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

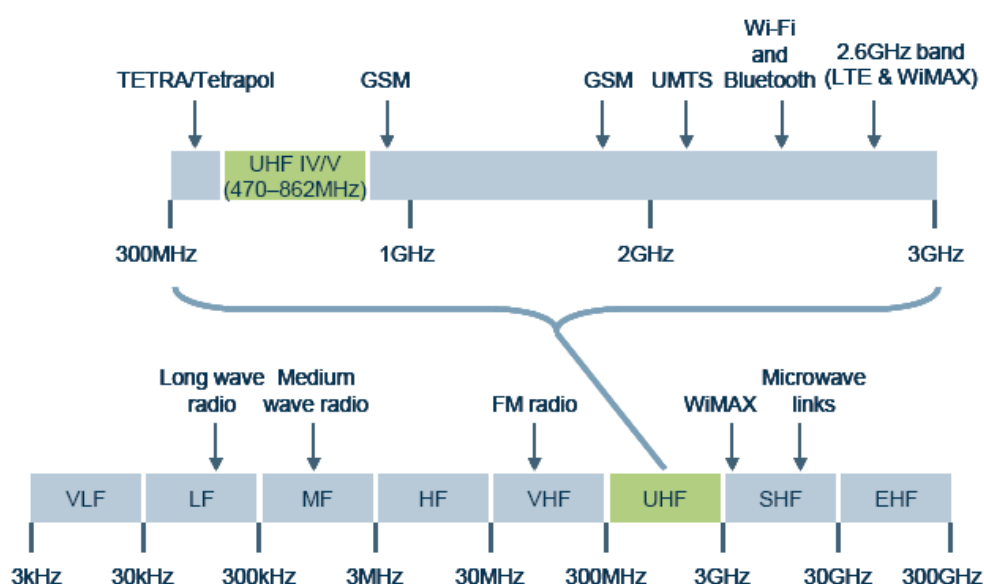
ΜΡΕG.....	79
Π.1 ΨΗΦΙΑΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΡΕG.....	79
Π.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΜΡΕG2.....	79
Π.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΡΕG2 ΚΑΙ ΜΡΕG4.....	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 --- ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΕΡΙΣΜΑ ΚΑΙ Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ

1.1.1 Το ψηφιακό μέρισμα

Ιστορικά , τα αναλογικά επίγεια τηλεοπτικά σήματα εκπέμπονται στη ζώνη των 470-862 MHz επί των UHF ζωνών IV και V. Η θέση αυτής της ζώνης συχνοτήτων στο ευρύτερο φάσμα (300 MHz-3 GHz) φαίνεται στο Σχήμα 1.1. Η ζώνη των 470- 862 MHz είναι φασματικά χωρισμένη σε 49 κανάλια των 8MHz που αριθμούνται ως κανάλι 21 (στο εύρος 470-478 MHz) μέχρι κανάλι 69(στο εύρος 854-862 MHz).



Σχήμα 1.1 Το φάσμα συχνοτήτων όπου εμφανίζονται ορισμένες από τις παρούσες και τις μελλοντικές χρήσεις του [1]

Η μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση (Digital Terrestrial Television, DTT) απελευθερώνει ένα σημαντικό τμήμα φάσματος στη ζώνη 470-862 MHz λόγω της περισσότερο αποδοτικής φασματικά τεχνολογίας της ψηφιακής εκπομπής τηλεοπτικού σήματος. Ο όρος ψηφιακό μέρισμα αναφέρεται στο τμήμα του φάσματος που θα απελευθερωθεί και θα αποδοθεί προς αξιοποίηση λόγω της μείωσης του φάσματος συχνοτήτων που απαιτείται για τη μετάδοση επίγειας τηλεόρασης όταν η τεχνολογία μετάδοσης της τελευταίας μετατραπεί από αναλογική σε ψηφιακή. Ένας ορισμός ο οποίος αναφέρεται στο [1], ορίζει το ψηφιακό μέρισμα ως το φάσμα που βρίσκεται σε υψηλότερες συχνότητες από εκείνες που απαιτούνται για να υποστηρίξουν υπηρεσίες ευρυεκπομπής σε ένα ψηφιακό περιβάλλον. Η ζώνη των 470-862 MHz αποτελεί πολύτιμη ζώνη του φάσματος διότι παρέχει ισορροπία μεταξύ κάλυψης, χωρητικότητας και ευκολίας σχεδίασης του εξοπλισμού που απαιτείται. Η ζώνη αυτή έχει μεγάλη προοπτική χρήσης σε πολλούς τομείς και η εκμετάλλευσή της

πρόκειται να ρυθμισθεί κατά ενιαίο τρόπο εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα προσεχή έτη.

1.1.2 Η σημερινή κατάσταση στην Ευρώπη

Στην Ευρώπη τα τελευταία χρόνια οι εργασίες προχωρούν για την κατά ενιαίο τρόπο ρύθμιση της εκμετάλλευσης του ψηφιακού μερίσματος, δηλαδή την εναρμονισμένη χρήση του προκειμένου να διαμορφωθεί ενιαία πανευρωπαϊκή αγορά με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Το προς εναρμόνιση μέρος του ψηφιακού μερίσματος είναι η ζώνη 790-862 MHz. Σε ορισμένες χώρες είναι πιθανόν να αποδοθεί επί πλέον ψηφιακό μέρος για ευρυζωνικές υπηρεσίες ενώ κάποιες χώρες δεν έχουν μέχρι τώρα απελευθερώσει φάσμα για το ψηφιακό μέρος. Η ΕΕ έχει εξουσιοδοτήσει τον CEPT να αναπτύξει ένα σχέδιο κατανομής συχνοτήτων εντός της ζώνης 790-862 MHz. Ο CEPT αναπτύσσει λεπτομερή σχέδια για να διευκολύνει την εισαγωγή ευρυζωνικών κινητών επικοινωνιών στο ψηφιακό μέρος σε μια εναρμονισμένη αλλά μη υποχρεωτική βάση. Το αντικείμενο των εργασιών του CEPT καλύπτει τις τεχνικές προδιαγραφές για τις κινητές υπηρεσίες, τους διακανονισμούς σχετικά με τις χρήσεις των καναλιών και τα θέματα που αφορούν γειτονικές χώρες ως προς τις διαφορετικές πολιτικές τους για την αξιοποίηση ή μη του ψηφιακού μερίσματος.

Στο Σχήμα 1.2 φαίνεται ένα προτεινόμενο σχέδιο για την εναρμονισμένη χρήση του ψηφιακού μερίσματος με πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας.

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)					

Σχήμα 1.2 Πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας: εύρος καναλιού uplink ή downlink ζεύξης 5 MHz

Χώρες όπως η Γαλλία, η Ελβετία, η Σουηδία και η Φιλανδία έχουν επιλέξει να αποδώσουν τη ζώνη 790-862 MHz για ευρυζωνικές επικοινωνίες. Η Γερμανία έκανε δοκιμές στο παρελθόν για χρήση του προτύπου HSPA και πιθανόν στο άμεσο μέλλον να υιοθετήσει τη ζώνη των 800 MHz για ασύρματες ευρυζωνικές επικοινωνίες. Χώρες όπως η Πορτογαλία, η Ιταλία, η Λετονία, η Σλοβενία και η Ισπανία δεν έχουν αποδώσει φάσμα για το ψηφιακό μέρος. Παγκοσμίως, υπάρχει η απαίτηση για ολοκλήρωση της ψηφιακής μετάβασης έως το 2015. Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υποχρεώσει τις χώρες-μέλη της να ολοκληρώσουν τη μετάβαση αυτή έως το αργότερο εντός του 2012.

Η Ελλάδα αποτελεί μία από τις χώρες εκείνες οι οποίες, μετά την ψηφιακή μετάβαση, θα αποδώσουν φάσμα για ευρυζωνικές επικοινωνίες. Συγκεκριμένα, η ελληνική κυβέρνηση έχει ανακοινώσει ότι το φάσμα του ψηφιακού μερίσματος θα χρησιμοποιηθεί μετά το 2012, προκειμένου να αναπτυχθεί ευρυζωνική υποδομή[2].

1.1.3 Τρόποι αξιοποίησης του ψηφιακού μερίσματος

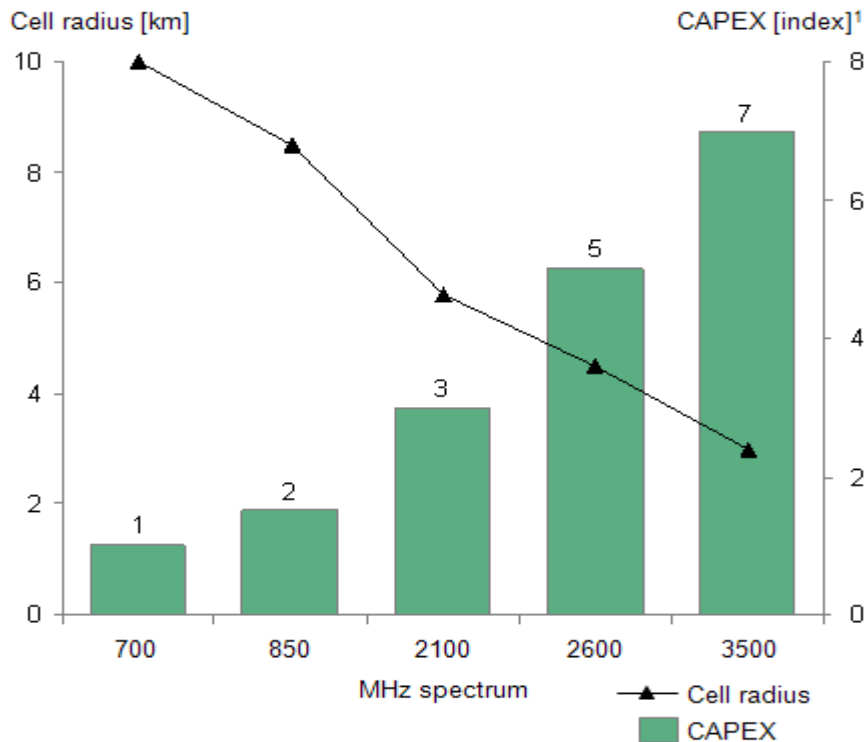
Οι κύριοι πιθανοί τρόποι αξιοποίησης του ψηφιακού μερίσματος σχετίζονται με τις εξής υπηρεσίες:

- Ψηφιακή επίγεια τηλεόραση (DTT)
- Εκπομπή(broadcast) κινητής τηλεόρασης
- Εμπορικές ευρυζωνικές ασύρματες υπηρεσίες, τόσο σε σταθερούς χρήστες όσο και σε κινητούς
- Ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση για την προστασία του κόσμου σε περιπτώσεις καταστροφών(wireless broadband for public protection and disaster relief , PPDR)
- Βοηθητικές υπηρεσίες ραδιοηλεκτρικών μεταδόσεων και προγράμματος λήψης

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην απόδοση του φάσματος 790-862 MHz του ψηφιακού μερίσματος σε ευρυζωνικές κυψελωτές ασύρματες υπηρεσίες.

1.1.4 Ψηφιακό μέρισμα και ευρυζωνικές υπηρεσίες

Οι συνθήκες διάδοσης είναι ευνοϊκότερες όταν γίνεται χρήση συχνοτήτων του ψηφιακού μερίσματος έναντι υψηλότερων συχνοτήτων. Αυτό ισχύει διότι η απόσβεση είναι μικρότερη στις χαμηλές συχνότητες του ψηφιακού μερίσματος έναντι υψηλότερων συχνοτήτων. Επομένως, η σχετικά μικρότερη απόσβεση στις συχνότητες του ψηφιακού μερίσματος το καθιστά ιδανικό για τη μετάδοση των σημάτων σε υπηρεσίες ευρυζωνικών επικοινωνιών. Η χρήση του ψηφιακού μερίσματος για ασύρματες ευρυζωνικές επικοινωνίες επιτρέπει την αύξηση της ραδιοκάλυψης σε αγροτικές περιοχές για κινητούς και σταθερούς χρήστες λόγω των ευνοϊκότερων συνθηκών διάδοσης. Επίσης, μπορεί να επιτευχθεί βελτιωμένη εξυπηρέτηση κινητών χρηστών εντός κτιρίων σε σχέση με τη χρήση υψηλότερων συχνοτήτων. Στην Ευρώπη, η πλειοψηφία των παρόχων κινητής τηλεφωνίας προσφέρει ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες στη ζώνη των 2.1 GHz. Σε άλλες χώρες της Ευρώπης όπως η Γερμανία και η Φιλανδία, έχει αποδοθεί επιπλέον η ζώνη των 2.6 GHz για τον ίδιο σκοπό. Μέχρι σήμερα, οι περισσότεροι πάροχοι προσφέρουν ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες σε αστικές περιοχές. Η αξιοποίηση χαμηλότερων συχνοτήτων του ραδιοφάσματος, όπως αυτές του ψηφιακού μερίσματος, θα επέτρεπε την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών σε αγροτικές περιοχές όπου είναι δύσκολη η παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών κατά ενσύρματο τρόπο (DSL, οπτικές ίνες) . Επιπλέον, οι ευνοϊκότερες συνθήκες διάδοσης στις συχνότητες του ψηφιακού μερίσματος καθιστούν οικονομικότερη τη μετάδοση σε σχέση με τη χρήση υψηλότερων συχνοτήτων αφού μπορεί να επιτευχθεί το ίδιο ποσοστό ραδιοκάλυψης με μικρότερη ισχύ εκπομπής.



Σχήμα 1.3 Μετάδοση σε χαμηλότερες ζώνες συχνοτήτων παρέχουν βέλτιστο συνδυασμό κάλυψης και δαπανών οικονομικών πόρων. CAPEX(capital expenditure): δαπάνες κεφαλαίου[3]

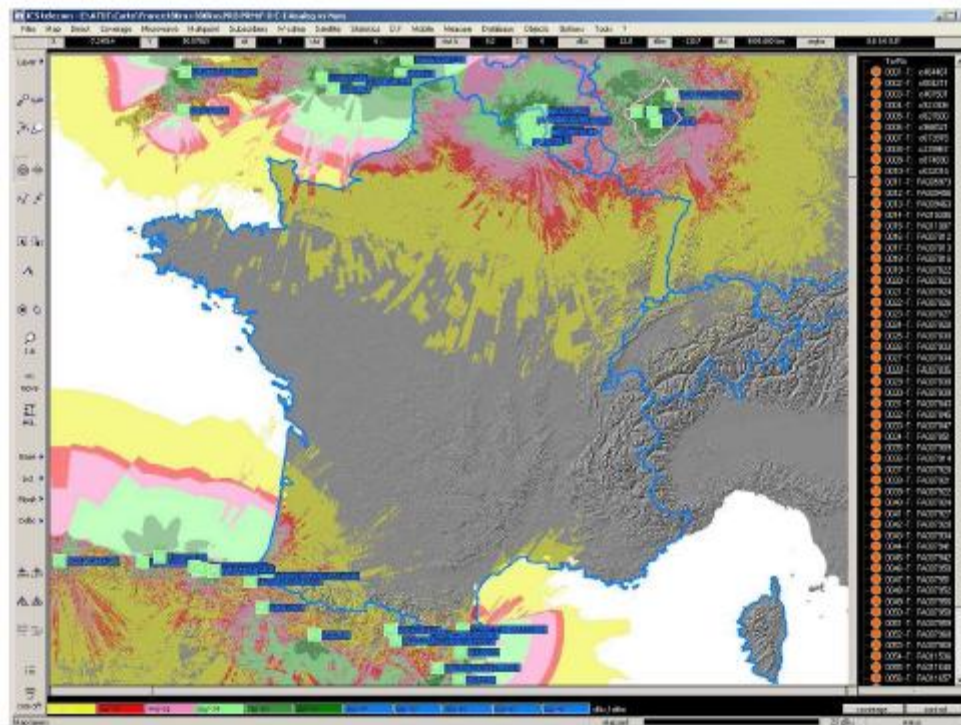
Σε σεμινάριο που πραγματοποιήθηκε στη Βαρκελώνη [3] σχετικά με την εναρμονισμένη χρήση του ψηφιακού μερίσματος στις χώρες της Ασίας, προβλήθηκε το διάγραμμα του Σχ. 1.3 το οποίο αποκαλύπτει ότι η μετάδοση στα 2100 MHz απαιτεί τριπλάσιους περίπου σταθμούς βάσης σε σχέση με τη μετάδοση στα 700 MHz. Φαίνεται επίσης ότι με μετάδοση στα 700 MHz επιτυγχάνεται ραδιοκάλυψη σε κυψέλη ακτίνας 10 km, η οποία είναι η μέγιστη σύμφωνα με το Σχ.1.3. Όσο αυξάνεται η συχνότητα μετάδοσης η ακτίνα ραδιοκάλυψης μιας κυψέλης γίνεται μικρότερη ενώ αντίστοιχα αυξάνονται οι κεφαλαιουχικές δαπάνες(CAPEX, capital expenditure).

Ο μικρότερος αριθμός σταθμών βάσης που χρειάζεται για μετάδοση σε χαμηλότερες συχνότητες υποδεικνύει ότι πρόκειται να μειωθεί σημαντικά το οικονομικό κόστος κυψελωτών δικτύων για μετάδοση στις συχνότητες του ψηφιακού μερίσματος. Αυτό θα οδηγήσει στην παροχή φθηνότερων ευρυζωνικών ασύρματων επικοινωνιών. Ο παράγοντας αυτός αποτελεί ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης του ψηφιακού μερίσματος αφού το κόστος δεν θα είναι απαγορευτικό για την πρόσβαση στο ευρυζωνικό δίκτυο. Επιπλέον, εφόσον συμφωνηθεί η απόδοση της ζώνης 790-862 MHz για κινητές επικοινωνίες, οι κατασκευαστές θα κατασκευάζουν τερματικά με χαμηλότερο κόστος λόγω της μαζικότερης παραγωγής τους. Η απελευθέρωση φάσματος και η ενδεχόμενη είσοδος νέων παρόχων στην αγορά θα οδηγήσει στην αύξηση του ανταγωνισμού, που θα λειτουργήσει επωφελώς για τον καταναλωτή.

Ένας άλλος λόγος για τον οποίο η απόδοση της ζώνης 790-862 MHz είναι σημαντικής σημασίας, σύμφωνα με το [4], είναι τεχνικής φύσης. Η χρήση του άνω τμήματος της ζώνης UHF (ζώνη V) για παροχή υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών οδηγεί σε φασματική γειτνίαση με υπηρεσίες ευρυεκπομπής. Επομένως, η μετάδοση ευρυζωνικών επικοινωνιών στη συγκεκριμένη ζώνη υφίσταται παρεμβολή γειτονικών διαύλων μόνο στο ένα άκρο της, δηλαδή στο κάτω άκρο του ψηφιακού μερίσματος το οποίο συνορεύει φασματικά με τις ζώνες που έχουν δοθεί για υπηρεσίες ευρυεκπομπής. Αυτό συνεπάγεται ότι δεν θα είναι μεγάλο ούτε το κόστος ούτε και η δυσκολία διαχείρισης των παρεμβολών μεταξύ των δύο υπηρεσιών. Η χρήση άλλων ζωνών UHF(των ζωνών IV και V) για κινητές υπηρεσίες είναι τεχνικά δυνατή. Όμως, το κόστος αποτροπής ισχυρής παρεμβολής είναι πιθανό να είναι μεγαλύτερο. Στην περίπτωση όπου αποδοθούν ζώνες συχνοτήτων για ευρυζωνικές κινητές επικοινωνίες οι οποίες τοποθετούνται φασματικά μεταξύ ζωνών οι οποίες χρησιμοποιούνται για υπηρεσίες ευρυεκπομπής, θα υπάρχουν φασματικές γειτνιάσεις και στα δύο άκρα του φάσματος που χρησιμοποιείται για ευρυζωνικές επικοινωνίες με φάσμα το οποίο χρησιμοποιείται για υπηρεσίες ευρυεκπομπής. Επομένως, στην περίπτωση όπου υπάρχουν δύο γειτνιάσεις ζωνών που έχουν δοθεί για ευρυζωνικές επικοινωνίες με άκρα φάσματος που έχει αποδοθεί για ευρεία εκπομπή, καθίσταται δύσκολη η διαχείριση του φάσματος. Αυτό οφείλεται στις παρεμβολές μεταξύ γειτονικών διαύλων και στα δύο άκρα του φάσματος που έχει αποδοθεί για ευρυζωνικές επικοινωνίες.

1.1.5 Προβλήματα σχετικά με θέματα συντονισμού μεταξύ γειτονικών χωρών

Ένα σημαντικό θέμα με το οποίο συνδέεται άμεσα η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τους διακανονισμούς μεταξύ γειτονικών χωρών που κάνουν χρήση ή μη του ψηφιακού μερίσματος για άλλες υπηρεσίες εκτός ευρυεκπομπής. Όπως αναφέρεται στο [5] η ταυτόχρονη χρήση διαύλου από σταθμούς βάσης που βρίσκονται πλησίον των συνόρων μιας χώρας και από τηλεοπτικούς πομπούς που βρίσκονται σε γειτονική χώρα είναι πιθανόν να αποτελέσει ένα σοβαρό ζήτημα. Από το Σχ.1.4 γίνεται κατανοητό το πρόβλημα παρατηρώντας την παρεμβολή που προκαλούν τηλεοπτικές εκπομπές εκτός των συνόρων της Γαλλίας σε περιοχές εντός της Γαλλίας και πλησίον των συνόρων της. Το πρόβλημα είναι έντονο όταν ληφθούν υπόψη τα πολύ υψηλά επίπεδα ισχύος τα οποία εκπέμπονται από τους τηλεοπτικούς μεταδότες σε σύγκριση με την ισχύ εκπομπής των σταθμών βάσης. Δηλαδή, λόγω της μεγάλης διαφοράς στα επίπεδα ισχύος εκπομπής, οι πάροχοι υπηρεσιών ευρυεκπομπής γειτονικών χωρών αποτελούν λόγω παρεμβολών δυνητικό περιοριστικό παράγοντα για τα κυψελωτά δίκτυα που λειτουργούν πλησίον των συνόρων.



Σχήμα 1.4 Παρεμβολή που προκαλούν τηλεοπτικές μεταδόσεις εκτός των συνόρων της Γαλλίας σε περιοχές εντός της Γαλλίας και πλησίον των συνόρων της[9]

Στο [6] γίνεται αναφορά σχετική με την Ελλάδα και τις γειτονικές της χώρες. Σύμφωνα με την αναφορά αυτή, εφόσον η πλειοψηφία των γειτονικών χωρών της Ελλάδας υιοθετήσουν την απόδοση της ζώνης 790-862 MHz του ψηφιακού μερίσματος για ευρυζωνικές κινητές υπηρεσίες, θα υπάρχουν σχετικά μικροί περιορισμοί όσον αφορά τη χρήση του ψηφιακού μερίσματος. Μεταξύ γειτονικών χωρών έχουν ήδη καθιερωθεί διασυνοριακοί κανονισμοί σχετικά με τη χρήση καναλιών για κινητές τηλεπικοινωνίες οι οποίες λειτουργούν σε υψηλότερες συχνότητες εκείνων του ψηφιακού μερίσματος. Δηλαδή έχουν γίνει συμφωνίες μεταξύ γειτονικών χωρών έτσι ώστε να μη χρησιμοποιούν γειτονικές κυψέλες ταυτόχρονα τα ίδια κανάλια. Το ίδιο πρέπει να γίνει και στη ζώνη 790-862 MHz. Όμως, είναι πολύ πιθανόν η Ιταλία να μην αποφασίσει την απόδοση της ζώνης 790-862 MHz για άλλες υπηρεσίες εκτός ευρυεκπομπής. Αυτό θα έχει ως συνέπεια οι πάροχοι υπηρεσιών ευρυεκπομπής της Ιταλίας να αποτελούν ισχυρές πηγές παρεμβολής κυρίως για τη δυτική Ελλάδα στη ζώνη 790-862 MHz. Στην πράξη, η ανάλυση που έχει γίνει στο [6] υποδεικνύει ότι η επίπτωση των Ιταλών παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής στους ελληνικούς σταθμούς βάσης μπορεί να περιοριστεί λόγω των ορεινών περιοχών της δυτικής Ελλάδος. Αντίθετα, σε περιοχές όπως η Κέρκυρα είναι πιθανόν να χρειαστούν λεπτομερείς μελέτες σχετικά με τις παρεμβολές των Ιταλών παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής και διαδικασίες συντονισμού όπου αυτό είναι δυνατό.

Επίσης, πρέπει να επισημανθεί ότι τα κανάλια 67-69 (846-862 MHz) είναι πιθανόν να χρησιμοποιούνται σε γειτονικές χώρες ή και στη χώρα μας για στρατιωτικές υπηρεσίες. Αυτό μπορεί να προκαλεί παρεμβολές σε σταθμούς βάσης κοντά στα σύνορα και γενικότερα κοντά σε περιοχές όπου γίνεται χρήση των συγκεκριμένων καναλιών για στρατιωτικές υπηρεσίες.

Ένα επιπλέον αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα εργασία αποτελεί και η μελέτη της επίδρασης της παρεμβολής που προκαλούν πάροχοι υπηρεσιών ευρυεκπομπής επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης(DVB-T) είτε σε τερματικά είτε σε σταθμούς βάσης ενός ευρυζωνικού ασύρματου κυψελωτού δικτύου το οποίο υιοθετεί ένα εκ των προτύπων IEEE 802.20, IEEE 802.22 στην ζώνη 790-862 MHz. Μελετάται, επίσης, η μετάδοση σε κυψέλες οι οποίες παρεμβάλλονται από παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής DVB-T, με χρήση προσαρμοστικής κωδικοποίησης και διαμόρφωσης (Adaptive Coding and Modulation, ACM) και κατά συνέπεια, η μετάδοση με σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης διαφορετικών επιπέδων.

1.2 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ

1.2.1 Γενετικοί αλγόριθμοι

Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι στοχαστικοί αλγόριθμοι μέσω των οποίων διατυπώνονται ορισμένα φυσικά φαινόμενα. Υπάρχουν αρκετά ενδιαφέροντα προβλήματα για την επίλυση των οποίων δεν έχουν αναπτυχθεί αποδοτικοί και ταχείς αιτιοκρατικοί αλγόριθμοι. Ως αιτιοκρατικοί ορίζονται οι αλγόριθμοι το κάθε βήμα των οποίων προσδιορίζεται ακριβώς και δεν υπάρχει τυχαιότητα ως προς την πορεία όλων των σταδίων της εκτέλεσης τους. Αντίθετα γίνονται ενέργειες για την ανάπτυξη στοχαστικών αλγόριθμων που το κάθε βήμα της εκτέλεσης τους εξαρτάται από μια τυχαιότητα. Η λύση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης μπορεί να βρεθεί με τη χρήση στοχαστικών αλγορίθμων.

Γενικά οποιαδήποτε αφηρημένη έννοια ή εργασία που πρέπει να υλοποιηθεί μπορεί να εκληφθεί ως επίλυση ενός προβλήματος, η οποία με τη σειρά της μπορεί να θεωρηθεί ως μια αναζήτηση μέσα από ένα χώρο πιθανών λύσεων. Τελικά, κρατώντας από ένα χώρο πιθανών λύσεων τη βέλτιστη λύση, ένα πρόβλημα μπορεί να γίνει αντιληπτό ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Για την εύρεση βέλτιστων λύσεων σε προβλήματα με μικρό αριθμό μεταβλητών, οι κλασικές εξαντλητικές μέθοδοι συνήθως αρκούν. Για περισσότερους όμως αριθμούς μεταβλητών είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν ειδικές τεχνικές ευφυΐας.

Ένα ενδιαφέρον πρόβλημα βελτιστοποίησης αποτελεί και η δυναμική κατανομή καναλιών σε ένα κυψελωτό σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών. Η δυναμική κατανομή καναλιών σε ένα κυψελωτό σύστημα είναι ένα πρόβλημα για την επίλυση του οποίου δεν είναι εύκολο να αναπτυχθούν ντετερμινιστικές διαδικασίες οι οποίες

να συνιστούν έναν γρήγορο και αποδοτικό αλγόριθμο. Επομένως, η χρήση στοχαστικών αλγορίθμων, όπως οι γενετικοί αλγόριθμοι, επιφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα για την επίλυση του προβλήματος της δυναμικής κατανομής καναλιών.

Το λεξιλόγιο το οποίο χρησιμοποιούν οι γενετικοί αλγόριθμοι το δανείζονται από τη γενετική. Συχνά γίνεται αναφορά σε άτομα τα οποία ανήκουν σε πληθυσμό. Αρκετά συχνά τα άτομα αυτά αποκαλούνται ως χρωμοσώματα. Τα χρωμοσώματα δομούνται από γονίδια που είναι διατεταγμένα σε συνεχή αλληλουχία το ένα μετά το άλλο. Κάθε γονίδιο ελέγχει την κληρονομικότητα ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών. Αυτό σημαίνει ότι τα γονίδια έχουν συγκεκριμένη θέση στο χρωμόσωμα. Κάθε χρωμόσωμα αντιπροσωπεύει πιθανή λύση του προβλήματος.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούν μέθοδο επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης και ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των εξελικτικών προγραμμάτων. Είναι αλγόριθμοι οι οποίοι συντηρούν ένα πληθυσμό, $P(t) = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)\}$ για κάθε επανάληψη t . Κάθε πληθυσμός αντιπροσωπεύει μία πιθανή λύση στο πρόβλημα. Σε κάθε πληθυσμό $X_i(t)$ εκτιμάται η αξία του και αποδίδεται μια τιμή η οποία αντιπροσωπεύει την *καταλληλότητα* του, δηλαδή το κατά πόσο βελτιστοποιεί το πρόβλημα ή όχι η συγκεκριμένη λύση. Συνήθως, για την εκτίμηση κάθε απογόνου $X_i(t)$ χρησιμοποιείται η *συνάρτηση καταλληλότητας (fitness function)* της οποίας όρισμα είναι ο πληθυσμός $P(t)$. Κατ' επέκταση, σε κάθε επανάληψη γίνεται εκτίμηση του απογόνου και μεταξύ του απογόνου (νέας πιθανής λύσης) και του γονέα (παλαιάς πιθανής λύση $X_i(t)$), συνεχίζει αυτός που διαθέτει μεγαλύτερη καταλληλότητα.

Η επιλογή των προτεινόμενων βέλτιστων πληθυσμών $X_i(t)$ σε κάθε επανάληψη γίνεται σχεδόν τυχαία και είναι εμπνευσμένη από διαδικασίες, οι κλασικές μεταξύ των οποίων είναι η διασταύρωση (*crossover*) και μετάλλαξη (*mutation*), που λαμβάνουν χώρα στη γενετική και τη Βιολογία γενικότερα. Οι δύο αυτές διαδικασίες καλούνται επίσης γενετικοί τελεστές.

Η διασταύρωση συνδυάζει τα χαρακτηριστικά δύο γονέων προκειμένου να δημιουργηθούν δύο απόγονοι ανταλλάσσοντας τμήματα γονιδίων μεταξύ των γονέων. Για παράδειγμα, αν οι γονείς περιγράφονται μέσω των διανυσμάτων $(a_1, b_1, c_1, d_1, e_1)$ και $(a_2, b_2, c_2, d_2, e_2)$, η διασταύρωση των γονιδίων των γονέων μετά το 2^ο γονίδιο θα έδινε απογόνους $\{(a_1, b_1, c_2, d_2, e_2)$ και $(a_2, b_2, c_1, d_1, e_1)\}$.

Η μετάλλαξη αλλάζει ένα ή περισσότερα γονίδια ενός επιλεγμένου χρωμοσώματος σύμφωνα με μια πιθανότητα η οποία είναι ίση με το ρυθμό μετάλλαξης. Η διαδικασία της μετάλλαξης αποσκοπεί στην εισαγωγή πρόσθετης ποικιλομορφίας στον πληθυσμό.

Η δομή ενός γενετικού αλγορίθμου όπως παρουσιάζεται στο [7] είναι η εξής:

Procedure genetic algorithm

Begin

$t \leftarrow 0$

initialize $P(t)$

evaluate $P(t)$

while (not termination condition) do

begin

$t \leftarrow t+1$

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

alter $P(t)$

evaluate $P(t)$

end

end

Για να δώσει λύση σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, ένας γενετικός αλγόριθμος πρέπει να διαθέτει τα ακόλουθα 5 χαρακτηριστικά[7]:

- Κατάλληλη γενετική αναπαράσταση έτσι ώστε να περιγράφονται κατάλληλα οι λύσεις του προβλήματος βελτιστοποίησης
- Έναν τρόπο δημιουργίας αρχικών πληθυσμών ο οποίος θα συμβάλει στη προσέγγιση της λύσης του προβλήματος
- Μια *συνάρτηση εκτίμησης (evaluation function)* η οποία αξιολογεί τις λύσεις ως προς την *καταλληλότητα* τους
- Γενετικούς τελεστές οι οποίοι μεταβάλλουν τη σύνθεση των απογόνων
- Τιμές των διαφόρων παραμέτρων που χρησιμοποιούνται από ένα γενετικό αλγόριθμο(π.χ μέγεθος πληθυσμού)

Σε ένα γενετικό αλγόριθμο διατηρείται ένας πληθυσμός πιθανών λύσεων. Αυτός ο πληθυσμός εξελίσσεται με τη διαδικασία της φυσικής επιλογής. Σε κάθε επανάληψη, οι σχετικά καλές λύσεις αναπαράγονται, ενώ οι σχετικά κακές λύσεις πεθαίνουν προκειμένου να αντικατασταθούν από τις σχετικά καλές. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η συνάρτηση εκτίμησης της *καταλληλότητας* των πληθυσμών.

Στο παράρτημα Α παρουσιάζονται και επεξηγούνται τα κύρια χαρακτηριστικά ενός γενετικού αλγόριθμου μέσω ενός παραδείγματος μεγιστοποίησης μιας απλής συνάρτησης μίας μεταβλητής.

1.2.2 Γενετικοί αλγόριθμοι και κατανομή καναλιών

Οι νέες τεχνολογίες παρέχουν ευρυζωνικότητα με στόχο να ανταποκριθούν στη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση χρηστών για εύρος ζώνης καθώς και την ταυτόχρονη ζήτηση για πρόσβαση στο δίκτυο. Το φάσμα συχνοτήτων αποτελεί περιορισμένο πόρο χαρακτηριστικό το οποίο, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ζήτηση των χρηστών για εύρος ζώνης, έχει οδηγήσει στην ανάγκη για την καλύτερη δυνατή επίδοση των κυψελωτών δικτύων ως προς την κάλυψη της ζήτησης των χρηστών. Επομένως, είναι απαραίτητες αποδοτικές στρατηγικές κατανομής των καναλιών προκειμένου να εξασφαλιστεί αποδοτική κατανομή του φάσματος στις κυψέλες του συστήματος. Η κατανομή των καναλιών μπορεί να διατυπωθεί ως ένα μεγάλης κλίμακας δυναμικό πρόβλημα βελτιστοποίησης το οποίο έχει πολλαπλούς στόχους αλλά και περιορισμούς σε ένα στοχαστικό περιβάλλον. Όπως προαναφέρθηκε, ως κατάλληλο υπολογιστικό εργαλείο για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης έχουν προταθεί και οι γενετικοί αλγόριθμοι.

Κατά τη σχεδίαση ενός κυψελωτού δικτύου, τα κανάλια πρέπει να διατίθενται στις κυψέλες με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές. Επίσης, για κάθε κυψέλη πρέπει να εξασφαλίζεται η ζήτηση σε πλήθος καναλιών. Βέβαια, εκτός από τον περιορισμό των παρεμβολών, πρέπει να γίνεται αποδοτική χρήση του φάσματος.

Επομένως, το πρόβλημα της κατανομής καναλιών (channel assignment problem) αναφέρεται στην απόδοση των απαιτούμενων καναλιών σε κάθε κυψέλη έτσι ώστε να ικανοποιείται η αντίστοιχη ζήτηση φάσματος σε κάθε κυψέλη χωρίς, όμως, να προκαλούνται ισχυρές παρεμβολές.

Στο πρόβλημα της κατανομής καναλιών υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι παρεμβολών οι οποίοι αντιστοιχούν στους τρεις βασικούς περιορισμούς του προβλήματος.

- i) Ο ομοδιαυλικός περιορισμός (co-channel constraint) αναφέρεται στην αποτροπή της ταυτόχρονης χρήσης ενός διαύλου από δύο ή περισσότερους χρήστες εντός της ίδιας γεωγραφικής περιοχής ώστε να αποτρέπεται η μεταξύ τους παρεμβολή. Για παράδειγμα, αποτρέπεται η χρήση του ίδιου διαύλου από δύο γειτονικές κυψέλες λόγω της ενδεχόμενης μεταξύ τους παρεμβολής. Επίσης, για τον ίδιο λόγο αποτρέπεται η χρήση του ίδιου καναλιού από δύο ή περισσότερους χρήστες εντός μιας κυψέλης. Στην γενική περίπτωση, οι κυψέλες που κάνουν χρήση ίδιων καναλιών πρέπει να βρίσκονται σε ικανή απόσταση. Στην παρούσα εργασία ο ομοδιαυλικός περιορισμός αναφέρεται στη μη ταυτόχρονη χρήση ενός καναλιού από κάποια κυψέλη και από τις κυψέλες που συνορεύουν με αυτήν, δηλαδή τις γειτονικές της.
- ii) Ο περιορισμός γειτονικών φασματικά καναλιών (adjacent channel constraint) αναφέρεται στη μη ταυτόχρονη χρήση φασματικά γειτονικών διαύλων στην ίδια γεωγραφική περιοχή, δηλαδή σε μια περιοχή εντός της οποίας είναι δυνατόν να προκληθούν παρεμβολές μεταξύ των γειτονικών

καναλιών. Οι γειτονικοί φασματικά διάυλοι είναι ενδεχόμενο να παρεμβάλλουν μεταξύ τους όταν χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα σε γειτονικές κυψέλες ή ακόμη και στην ίδια κυψέλη.

- iii) Συχνά υπάρχει περιορισμός ως προς τη φασματική απόσταση κατά την οποία πρέπει να απέχουν τα κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται στην ίδια κυψέλη. Για παράδειγμα, μπορεί να κριθεί απαραίτητο να υπάρχει φασματική απόσταση μεγαλύτερη ή ίση του εύρους ζώνης τριών καναλιών μεταξύ των φερουσών των καναλιών που αποδίδονται για χρήση σε μια κυψέλη. Αυτό συμβαίνει για να αποφευχθούν φασματικές επικαλύψεις οι οποίες μπορεί να προκύψουν από προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης ακόμη και από φασματικές μετατοπίσεις Doppler.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εισάγεται και ένας επιπλέον περιορισμός. Ο περιορισμός αυτός αφορά την παρουσία παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής (broadcasters) οι οποίοι εκπέμπουν σε κανάλια τα οποία χρησιμοποιεί και το κυψελωτό δίκτυο. Επομένως, τα κανάλια αυτά δεν μπορούν να αποδοθούν στις κυψέλες όπου η παρεμβολή από τους παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής είναι μεγαλύτερη από συγκεκριμένο κατώφλι.

Σχετικά με τα σχήματα κατανομής καναλιών, υπάρχουν δύο είδη. Τα σχήματα σταθερής κατανομής καναλιών (Fixed Channel Allocation, FCA) και τα σχήματα δυναμικής κατανομής καναλιών (Dynamic Channel Allocation, DCA). Σύμφωνα με την FCA τα κανάλια αποδίδονται μόνιμα σε κάθε κυψέλη, ενώ σύμφωνα με την DCA τα κανάλια αποδίδονται δυναμικά ανάλογα με τη ζήτηση των κυψελών. Αν και επιθυμητή είναι η DCA, όταν υπάρχει υψηλή ζήτηση των κυψελών για κανάλια, τα σχήματα σταθερής ζήτησης είναι αποδοτικότερα [8].

1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την κατανομή καναλιών στο ψηφιακό μέρισμα στη ζώνη 790-862 MHz. Χρησιμοποιεί ως εργαλείο τους γενετικούς αλγόριθμους προκειμένου να δώσει λύση στο πρόβλημα της κατανομής καναλιών θεωρώντας αυτό ως πρόβλημα βελτιστοποίησης. Μελετά, επίσης, την κατανομή καναλιών σε κυψελωτά συστήματα όταν αυτά παρεμβάλλονται από παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής. Κατά την παρεμβολή παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής σε κυψελωτά συστήματα το θέμα που μελετάται είναι αν υπάρχει η δυνατότητα απόδοσης ενός καναλιού στις κυψέλες που παρεμβάλλονται. Για αυτό το λόγο, η εργασία αποσκοπεί στην αξιοποίηση της τεχνικής της προσαρμοστικής διαμόρφωσης για τη βελτιστοποίηση της χρήσης του φάσματος στις διάφορες κυψέλες.

Στο πρώτο μέρος του πρώτου κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο πρόβλημα που πραγματεύεται η παρούσα εργασία. Επεξηγείται η έννοια του ψηφιακού μέρισματος και συζητείται η αξιοποίηση του για μετάδοση υπηρεσιών ευρυζωνικών επικοινωνιών καθώς γίνεται αναφορά για τα πλεονεκτήματα της χρήσης του για αυτό το σκοπό.

Επίσης, παρουσιάζεται το βασικό πρόβλημα της παρεμβολής παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής σε κυψελωτά δίκτυα ευρυζωνικών επικοινωνιών το οποίο είναι πιθανόν να προκύψει σε περιοχές πλησίον των συνόρων μιας χώρας. Στο δεύτερο μέρος του πρώτου κεφαλαίου αναφέρονται βασικές έννοιες σχετικά με τους γενετικούς αλγορίθμους και την αξιοποίησή τους για το πρόβλημα της κατανομής καναλιών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι λόγοι για τους οποίους η ψηφιακή μετάδοση επιτυγχάνει υψηλότερη φασματική απόδοση έναντι της αναλογική και τα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου ψηφιακής ευρυεκπομπής DVB-T που αποτελεί ένα εκ των δύο βασικών προτύπων που σχετίζονται με το υπό εξέταση πρόβλημα.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των προτύπων IEEE 802.20 και IEEE 802.22 που προορίζονται για να λειτουργήσουν σε εύρος συχνοτήτων το οποίο περιλαμβάνει το ψηφιακό μέρισμα. Συγκεκριμένα, αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των προτύπων αυτών όσον αφορά το φυσικό στρώμα τα οποία εξασφαλίζουν την ύπαρξη κατάλληλης ραδιοεπαφής για αποδεκτή ποιότητα υπηρεσιών για τους κινητούς χρήστες.

Στο τέταρτο κεφάλαιο προβάλλεται ο τρόπος με τον οποίο διατυπώνεται ο γενετικός αλγόριθμος για την υλοποίηση δυναμικής εκχώρησης καναλιών σε ένα ασύρματο κυψελωτό ευρυζωνικό δίκτυο το οποίο παρεμβάλλεται από πάροχο υπηρεσιών ευρυεκπομπής. Επιπλέον, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση του γενετικού αλγορίθμου για διαφορετικές περιπτώσεις παρεμβολής των παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής στο ασύρματο ευρυζωνικό κυψελωτό δίκτυο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΕΡΙΣΜΑ – ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ DVB-T

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προγραμματισμένη μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή ευρυεκπομπή τηλεοπτικού σήματος θα επιφέρει σημαντική βελτίωση στην ποιότητα εικόνας και ήχου. Εκτός αυτού, όπως αναφέρθηκε στο Κεφ.1, θα απελευθερώσει τμήμα του φάσματος συχνοτήτων το οποίο σήμερα χρησιμοποιείται αποκλειστικά για ευρυεκπομπή τηλεοπτικού σήματος. Το τμήμα του φάσματος που θα απελευθερωθεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλες υπηρεσίες. Το όφελος αυτό προκύπτει λόγω της αυξημένης αποδοτικότητας της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης ως προς την αξιοποίηση του φάσματος συχνοτήτων.

Οι στόχοι του παρόντος κεφαλαίου είναι δύο:

(i) Η παρουσίαση των λόγων για τους οποίους η ψηφιακή μετάδοση επιτυγχάνει υψηλότερη φασματική απόδοση έναντι της αναλογικής. Η παρουσίαση αυτή αποσκοπεί στην κατανόηση της απελευθέρωσης φάσματος συχνοτήτων στη ζώνη UHF, γνωστού ως ψηφιακό μέρος, καθώς και της σημασίας των παραμέτρων της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης που επηρεάζει άμεσα το εύρος του φάσματος που απελευθερώνεται για το ψηφιακό μέρος.

(ii) Η παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών του προτύπου DVB-T. Αυτή η παρουσίαση έχει ως στόχο την ανάλυση του ενός εκ των δύο βασικών προτύπων που σχετίζονται με το υπό εξέταση πρόβλημα αφού στην παρούσα εργασία μελετάται η επίδραση των μεταδοτών ευρείας εκπομπής DVB-T σε ασύρματα κυψελωτά συστήματα ως περιοριστικών παραγόντων λόγω παρεμβολής.

2.2 ΓΙΑΤΙ Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ ΕΙΝΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ

2.2.1 Περιορισμός της αναλογικής μετάδοσης

Η αναλογική μετάδοση μπορεί να μεταδώσει ένα μόνο τηλεοπτικό κανάλι σε εύρος ζώνης 8 MHz. Για να αποφευχθεί η παρεμβολή κατά την αναλογική μετάδοση είναι απαραίτητο να υπάρχει μεγάλη γεωγραφική απόσταση μεταξύ των μεταδοτών οι οποίοι λειτουργούν στην ίδια συχνότητα. Η περιοχή η οποία μπορεί να καλυφθεί από έναν τηλεοπτικό μεταδότη είναι σχετικά μικρή. Αυτό σημαίνει ότι η κάλυψη μιας γεωγραφικά εκτεταμένης περιοχής ή μιας ολόκληρης χώρας απαιτεί πολλούς μεταδότες, οι οποίοι πρέπει να λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες εκτός αν υπάρχει μεταξύ τους μεγάλη απόσταση έτσι ώστε να αποφεύγεται η παρεμβολή. Στην πράξη, ένας τηλεοπτικός σταθμός προκειμένου να επιτύχει τη μετάδοση σε μια χώρα μπορεί να χρειαστεί ακόμη και 11 κανάλια συχνοτήτων. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να χρειαστεί ένα συνολικό εύρος ζώνης 88 MHz[10]. Επομένως, γίνεται αντιληπτή η

μεγάλη απαίτηση για εύρος ζώνης των τηλεοπτικών σταθμών για την ταυτόχρονη επίτευξη κάλυψης μιας χώρας και αποφυγή παρεμβολών μεταξύ των μεταδοτών καθώς, επίσης, και η αναγκαιότητα συντονισμένης αναχρησιμοποίησης των τηλεοπτικών διαύλων.

2.2.2 Ψηφιακή πολυπλεξία

Η ψηφιακή τηλεόραση παρέχει τη δυνατότητα σε πολλά τηλεοπτικά κανάλια να μεταδοθούν μέσω ενός μόνο καναλιού συχνοτήτων αξιοποιώντας τη διαδικασία της πολυπλεξίας. Όπως αναφέρθηκε στο Κεφ.1, η ζώνη των 470-862 διατίθεται για εκπομπή επίγειων τηλεοπτικών σημάτων. Επειδή το κάθε κανάλι καταλαμβάνει εύρος ζώνης 8 MHz, υπάρχουν 49 κανάλια διαθέσιμα για ευρυεκπομπή. Όμως, λόγω ομοδιαυλικών παρεμβολών μεταξύ γειτονικών γεωγραφικά εκτεταμένων περιοχών και της κατ' επέκταση κυψελωτής κατανομής καναλιών, είναι αδύνατο να διατίθενται 49 κανάλια σε κάθε περιοχή κάλυψης για ευρυεκπομπή.

Η ψηφιακή τηλεόραση είναι λιγότερο ευάλωτη στις παρεμβολές. Αυτό σημαίνει ότι, προκειμένου να περιοριστούν οι παρεμβολές, η γεωγραφική απόσταση μεταξύ δύο μεταδοτών που λειτουργούν στην ίδια συχνότητα είναι μικρότερη κατά την ψηφιακή μετάδοση σε σχέση με την αναλογική.

Κατά την ψηφιακή μετάδοση, υπάρχει η δυνατότητα στους πομπούς ευρείας εκπομπής να εκπέμπουν το ίδιο περιεχόμενο σε γειτονικές γεωγραφικά εκτεταμένες περιοχές χρησιμοποιώντας το ίδιο κανάλι συχνοτήτων. Τέτοιες διατάξεις δικτύων είναι γνωστές ως δίκτυα μιας συχνότητας (*single frequency networks*). Ένας πάροχος υπηρεσιών ευρυεκπομπής σε ένα τέτοιο δίκτυο, χρησιμοποιεί το ίδιο κανάλι συχνοτήτων σε όλη τη χώρα προκειμένου να μεταδώσει το ίδιο περιεχόμενο. Επίσης, σε ένα δίκτυο SFN, όλοι οι πομποί, εκτός από το να εκπέμπουν το ίδιο περιεχόμενο στην ίδια συχνότητα, πρέπει να εκπέμπουν και την ίδια χρονική στιγμή. Άρα, πρέπει να είναι τέλεια συγχρονισμένοι. Ο συγχρονισμός των πομπών είναι ιδιαίτερης σημασίας διότι ένας δέκτης σε ένα δίκτυο SFN λαμβάνει ένα ισχυρό σήμα από τον πλησιέστερο πομπό και εξασθενημένα σήματα που φθάνουν από απομακρυσμένους πομπούς. Επειδή έχουν διανύσει μεγαλύτερες αποστάσεις, τα εξασθενημένα αυτά σήματα φθάνουν στο δέκτη καθυστερημένα σε σχέση με το ισχυρό σήμα, με καθυστέρηση που εξαρτάται από τις αποστάσεις μεταξύ των πομπών και του δέκτη. Επειδή το σήμα που εκπέμπουν όλοι οι πομποί είναι ακριβώς το ίδιο, τα εξασθενημένα και καθυστερημένα σήματα που φθάνουν στο δέκτη από τους απομακρυσμένους πομπούς γίνονται αντιληπτά από το δέκτη ως αντίγραφα του ισχυρού σήματος που φθάνουν μέσω πολυδιαδρομικής διάδοσης.

Μεταδότες οι οποίοι μεταδίδουν το ίδιο ή διαφορετικό περιεχόμενο και λειτουργούν σε διαφορετική συχνότητα όταν καλύπτουν γειτονικές ή επικαλυπτόμενες περιοχές προκειμένου να περιορίσουν τις μεταξύ τους παρεμβολές σχηματίζουν δίκτυα πολλαπλών συχνοτήτων (*multi frequency networks*). Σε αυτή την περίπτωση

χρειάζεται μεγαλύτερος αριθμός καναλιών συχνοτήτων ανά πολυπλέκτη προκειμένου να επιτευχθεί η κάλυψη μιας χώρας.

Έχει καταστεί σαφές ότι ο αριθμός των καναλιών συχνοτήτων που απαιτούνται για την κάλυψη μιας περιοχής κατά την ψηφιακή μετάδοση είναι μικρότερος σε σχέση με την αναλογική μετάδοση. Δηλαδή, για την κάλυψη μιας χώρας από ένα τηλεοπτικό σταθμό με διάταξη δικτύων πολλαπλών συχνοτήτων απαιτείται εύρος ζώνης συχνοτήτων κατά πολύ μικρότερο του εύρους ζώνης που απαιτείται κατά την αναλογική μετάδοση.

Ο αριθμός των τηλεοπτικών σταθμών που μπορούν να φιλοξενηθούν από ένα μόνο πολυπλέκτη εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Η τεχνολογία που υποστηρίζεται παίζει σημαντικό ρόλο. Όταν κατά τη δεκαετία του 1990 αναπτύχθηκε η ψηφιακή τηλεόραση, υπήρχε η δυνατότητα μετάδοσης τεσσάρων ή πέντε σταθμών κανονικής συμβατικής ευκρίνειας (*standard definition*) ανά πολυπλέκτη. Η σημερινή βελτιωμένη τεχνολογία παρέχει πλέον τη δυνατότητα για τη φιλοξενία είκοσι σταθμών κανονικής ευκρίνειας ανά πολυπλέκτη και τεσσάρων καναλιών υψηλής ευκρίνειας ανά πολυπλέκτη. Στη βελτίωση αυτή οδήγησε η υιοθέτηση της τεχνολογίας MPEG4 η οποία παρέχει περίπου διπλασιασμό της χωρητικότητας σε σχέση με την τεχνολογία MPEG2. Επιπλέον, η πρόσφατη ανάπτυξη του προτύπου DVB-T2 παρέχει περαιτέρω βελτίωση της τάξης του 50%.

Οι περισσότερες χώρες που έχουν υιοθετήσει το DVB-T από το 2006 έχουν υιοθετήσει την τεχνολογία MPEG4. Όσες από αυτές είχαν αρχικά υιοθετήσει την τεχνολογία MPEG2 αναβαθμίζουν σταδιακά τα δίκτυά τους προκειμένου να υποστηρίξουν την τεχνολογία MPEG4. Στο παράρτημα Β δίνονται βασικές πληροφορίες για τις τεχνολογίες MPEG2 και MPEG4 καθώς και οι μεταξύ τους διαφορές.

2.2.3 Ψηφιακή συμπίεση

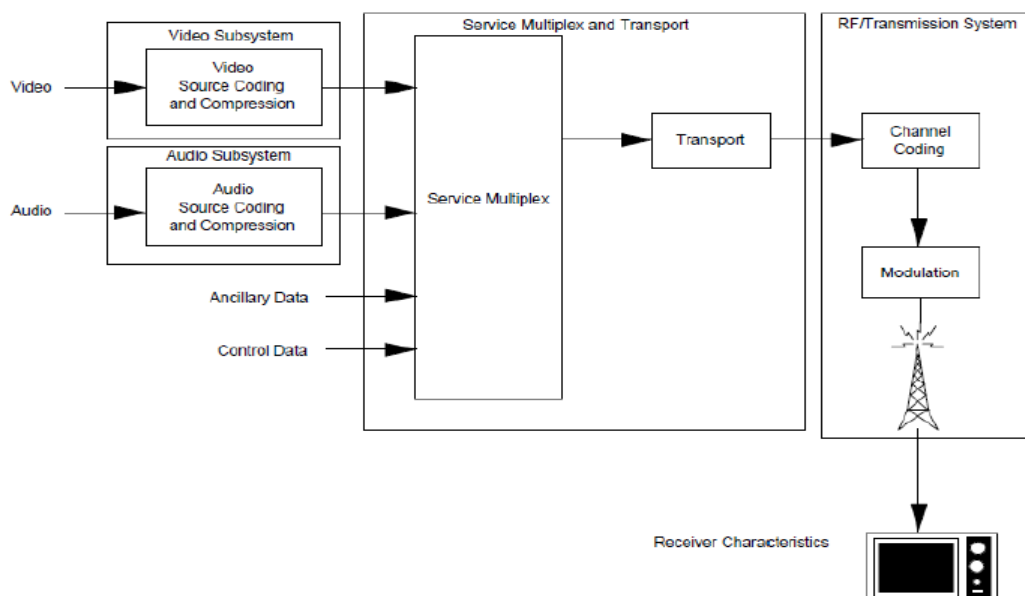
2.2.3.1 Εισαγωγή

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της ψηφιακής μετάδοσης είναι η δυνατότητα συμπίεσης των δεδομένων. Χωρίς συμπίεση δεδομένων σε μια έκδοση ενός προτύπου ψηφιακής μετάδοσης με έγχρωμη εικόνα και κανονική ευκρίνεια απαιτείται ρυθμός μετάδοσης άνω των 200 Mbps, η μετάδοση του οποίου θα απαιτούσε περισσότερο εύρος ζώνης από την αναλογική μετάδοση. Όμως, χρησιμοποιώντας αποδοτικούς αλγόριθμους κωδικοποίησης η αναγκαία ταχύτητα μετάδοσης πληροφορίας μπορεί να μειωθεί κάτω από τα 5 Mbps επιτυγχάνοντας αποδεκτή ποιότητα εικόνας και ήχου [10]. Επομένως, η συμπίεση δεδομένων μπορεί να επιτρέψει τη μετάδοση περισσότερων του ενός ψηφιακών καναλιών τηλεόρασης σε φάσμα το οποίο απαιτείται για τη μετάδοση ενός καναλιού τηλεόρασης με αναλογική μετάδοση.

Η τεχνολογία συμπίεσης που χρησιμοποιείται από όλα τα υπάρχοντα συστήματα ψηφιακής τηλεόρασης βασίζεται στο πρότυπο MPEG2. Με την ανάπτυξη του προτύπου MPEG4 το 1998 και τη συνεχή εξέλιξή του, η τεχνολογία συμπίεσης έχει βελτιωθεί περαιτέρω. Συγκεκριμένα, το πρότυπο MPEG4 περιλαμβάνει προχωρημένη κωδικοποίηση βίντεο (*advanced video coding*) η οποία παρέχει περαιτέρω μείωση του απαιτούμενου εύρους ζώνης για μετάδοση κατά περίπου 50%.

2.2.3.2 MPEG

Καίτοι υπάρχουν περιορισμένες δυνατότητες με την αναλογική μετάδοση ως προς τη συμπίεση πληροφορίας, άρα και τη μείωση απαιτούμενου εύρους ζώνης, με την ψηφιακή μετάδοση προσφέρεται μεγάλη ευελιξία για την ανταλλαγή ποιότητας σήματος και εύρους ζώνης. Για παράδειγμα, η εκπομπή ψηφιακών τηλεοπτικών σημάτων κανονικής ευκρίνειας παρέχει την ίδια ευκρίνεια που επιτυγχάνει η μετάδοση αναλογικού τηλεοπτικού σήματος. Η εκπομπή ψηφιακών σημάτων υψηλής ευκρίνειας αυξάνει την ευκρίνεια της ψηφιακής τηλεόρασης σε σχέση με την εκπομπή ψηφιακών σημάτων κανονικής ευκρίνειας και επομένως βελτιώνει την ποιότητα εικόνας και ήχου που λαμβάνει ο δέκτης. Όμως, η μετάδοση σημάτων υψηλής ευκρίνειας απαιτεί περισσότερο εύρος ζώνης σε σχέση με τη μετάδοση σημάτων κανονικής ευκρίνειας. Δηλαδή η υψηλή ευκρίνεια απαιτεί μετάδοση περισσότερης πληροφορίας για την εικόνα και τον ήχο και επομένως υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης σε σχέση με τη μετάδοση σήματος κανονικής ευκρίνειας.



Σχήμα 2.1 Κωδικοποίηση εικόνας και ήχου σε ένα σύστημα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης

Η τεχνολογία MPEG έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί με αρκετά χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης επιτυγχάνοντας, παράλληλα, αποδεκτή ποιότητα του σήματος. Όλα τα υπάρχοντα συστήματα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης βασίζονται στο σύνολο προτύπων MPEG2 και στη δομή της γενικής κωδικοποίησης εικόνας και ήχου που

φαίνεται στο Σχ. 2.1. Αυτό το σύνολο προτύπων παρέχει ένα ρεπερτόριο αλγορίθμων και δομών που μπορούν να προσαρμοστούν σε συγκεκριμένες απαιτήσεις των χρηστών.

Το σημαντικότερο στάδιο κατά τη συμπίεση της πληροφορίας είναι οι αλγόριθμοι κωδικοποίησης video οι οποίοι παρέχουν ένα μεγάλο αριθμό επιλογών ως προς την ευκρίνεια της εικόνας, το βαθμό της συμπίεσης και τη πολυπλοκότητα των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για να αφαιρέσουν τον πλεονασμό ψηφίων, ώστε να μείνουν μόνο τα ψηφία εκείνα που χρειάζονται για την αναπαραγωγή της πληροφορίας.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι κωδικοποίησης MPEG, εκ των οποίων ορισμένες βασίζονται στη χρήση τεχνικών όπως ο διακριτός μετασχηματισμός συνημιτόνου. Στο παράρτημα Β επεξηγούνται τεχνικές με τις οποίες μπορεί να επιτευχθεί η συμπίεση της πληροφορίας. Η προδιαγραφή MPEG ορίζει επιπλέον μια ενιαία ροή μεταφοράς (*transport stream*), δηλαδή ένα σύστημα βασισμένο στη μετάδοση πακέτων βάσει του οποίου ψηφιακά δεδομένα, τα οποία μπορεί να αντιστοιχούν σε ήχο, εικόνα, ή άλλες ψηφιοποιημένες πληροφορίες, πολυπλέκονται κατάλληλα και μεταδίδονται μέσω μιας ροής δεδομένων.

2.2.4 Διάταξη δικτύου (Network Configuration)

Σημαντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει τον αριθμό των τηλεοπτικών σταθμών που μπορούν να φιλοξενηθούν από ένα πολυπλέκτη είναι η διάταξη του δικτύου, δηλαδή το πόσο αραιό ή πυκνό είναι ένα δίκτυο. Ένα αραιό δίκτυο είναι εκείνο που οι μεταδότες απέχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους σε αντίθεση με ένα πυκνό δίκτυο στο οποίο οι μεταδότες απέχουν μικρότερη απόσταση μεταξύ τους. Η χρήση υψηλότερων σχημάτων διαμόρφωσης, όπως η 64-QAM, είναι περισσότερο ευάλωτη στο θόρυβο αλλά προσφέρει τη δυνατότητα σε ένα πολυπλέκτη να εξυπηρετήσει περισσότερους σταθμούς. Η παρεμβολή είναι ενδεχομένως ισχυρότερη σε αραιά δίκτυα τα οποία αποτελούνται από μικρό αριθμό μεταδοτών υψηλής ισχύος εκπομπής σε σχέση με πυκνότερα δίκτυα με μεγαλύτερο αριθμό μεταδοτών χαμηλής ισχύος εκπομπής. Επομένως, τα πυκνότερα δίκτυα μπορούν να παρέχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα ανά πολυπλέκτη και για το λόγο αυτό απαιτούν λιγότερο φάσμα από αραιά δίκτυα. Λόγω της χαμηλής ισχύος εκπομπής των μεταδοτών, τα πυκνά δίκτυα εμφανίζουν το πρόσθετο πλεονέκτημα ότι απαιτείται μικρότερη γεωγραφική απόσταση ανάμεσα στους ομοδιαυλικούς μεταδότες. Σε ένα δίκτυο πολλαπλών συχνοτήτων, η κατανομή των καναλιών σε γεωγραφικές περιοχές ακολουθεί κυψελωτή δομή. Επομένως, με τη πύκνωση του δικτύου αυξάνεται η χωρητικότητα ενός δικτύου πολλαπλών συχνοτήτων, οπότε υπό δεδομένο πλήθος καναλιών συχνοτήτων που μπορεί να εκχωρήσει το δίκτυο, μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερους παρόχους. Άρα, εφόσον μένει σταθερός ο αριθμός των παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής, κανάλια συχνοτήτων που μένουν αχρησιμοποίητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άλλες υπηρεσίες.

Όμως, η δημιουργία πυκνών δικτύων εμφανίζει μειονεκτήματα όπως είναι το κόστος και ο χρόνος που απαιτείται για την υλοποίησή τους. Επιπλέον, η χρήση κατευθυντικών κεραιών στις οροφές κτιρίων, καθιστά δύσκολο τον προσανατολισμό των κεραιών των δεκτών επίγειας τηλεόρασης κατά την εγκατάσταση ενός νέου συστήματος.

2.2.5 Επίδραση στο ραδιοφάσμα

Έχει καταστεί σαφές ότι η ψηφιακή μετάβαση πρόκειται να επιδράσει στη διαχείριση του ραδιοφάσματος από τις υπάρχουσες και μελλοντικές υπηρεσίες. Η παροχή κάλυψης σε αναλογική μετάδοση για μικρό αριθμό τηλεοπτικών σταθμών απαιτεί μεγάλο ποσοστό του υπάρχοντος φάσματος συχνοτήτων που διατίθεται για ευρυεκπομπή. Σε ένα SFN, ένας τηλεοπτικός σταθμός προκειμένου να πετύχει κάλυψη μιας χώρας χρειάζεται θεωρητικά μόνο ένα κανάλι συχνοτήτων σε όλη την επικράτεια της χώρας. Σε ένα δίκτυο πολλαπλών συχνοτήτων, προκειμένου να καλύψει ένας τηλεοπτικός σταθμός μια χώρα απαιτούνται περισσότερα του ενός κανάλια συχνοτήτων. Όμως, λόγω του αποτελέσματος της ψηφιακής μετάβασης που είναι η καλύτερη φασματική απόδοση της ψηφιακής ευρυεκπομπής έναντι της αναλογικής, τόσο σε δίκτυα SFN όσο και σε δίκτυα πολλαπλών συχνοτήτων απαιτείται λιγότερο φάσμα συχνοτήτων σε σχέση με την αναλογική μετάδοση.

Η ανάγκη μικρότερου φάσματος συχνοτήτων κατά την ψηφιακή εκπομπή οδηγεί στη δυνατότητα εκπομπής περισσότερων τηλεοπτικών προγραμμάτων προκειμένου οι υπηρεσίες επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης να ανταγωνιστούν υπηρεσίες όπως η δορυφορική τηλεόραση. Επίσης είναι δυνατό να αναπτυχθούν βελτιωμένες υπηρεσίες όπως η μετάδοση τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας. Επιπλέον, λόγω της απελευθέρωσης φάσματος, υπάρχει η δυνατότητα για εξυπηρέτηση επιπλέον τοπικών τηλεοπτικών σταθμών. Όμως, η μετάδοση των σημάτων περισσότερων τοπικών τηλεοπτικών σταθμών περιορίζει την ανάπτυξη των δικτύων SFN. Αυτό οφείλεται στο ότι ένα δίκτυο SFN καταλαμβάνει μόνο ένα κανάλι συχνοτήτων σε όλη τη χώρα. Επομένως, για την ανάπτυξη τοπικών τηλεοπτικών σταθμών θα χρειασθούν κανάλια συχνοτήτων τα οποία μπορούν να δοθούν για την ανάπτυξη δικτύων SFN. Εντούτοις, η υιοθέτηση της τεχνολογίας ψηφιακής μετάδοσης σε συνδυασμό με τη βελτιστοποίηση της διατάξης των δικτύων μετάδοσης, πρόκειται να επιφέρει μεγάλη μείωση του απαιτούμενου αριθμού καναλιών που απαιτούνται για ευρυεκπομπή σε σχέση με την αναλογική μετάδοση. Το τμήμα του φάσματος που θα απελευθερωθεί και θα αποδοθεί για αξιοποίηση λόγω της μείωσης του φάσματος συχνοτήτων που απαιτείται για τη μετάδοση επίγειας τηλεόρασης όταν η τεχνολογία μετάδοσης μετατραπεί από αναλογική σε ψηφιακή είναι γνωστό ως ψηφιακό μείρισμα. Οι βελτιωμένες ιδιότητες ραδιοκάλυψης στις συχνοτήτες του ψηφιακού μείρισματος το καθιστούν ελκυστικό για υπηρεσίες ευρυεκπομπής καθώς και για τη βελτίωση της κάλυψης ασύρματων ευρυζωνικών επικοινωνιών.

2.3 ΠΡΟΤΥΠΟ DVB-T

2.3.1 Πολυπλεξία τηλεοπτικών σταθμών

Το πρότυπο επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης DVB-T ανήκει στο σύνολο προτύπων DVB που για τη συμπίεση δεδομένων χρησιμοποιούν την τεχνική MPEG. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του προτύπου DVB-T είναι αυτό της πολυπλεξίας. Δηλαδή, ένας αριθμός ροών video, ήχου και δεδομένων συνδυάζεται σε μια ενιαία ροή (Transport stream, TS) η οποία μεταδίδεται μέσω ενός καναλιού συχνοτήτων. Το σήμα βασικής ζώνης αποτελεί ενιαία ροή μεταφοράς πολυπλεγμένη και κωδικοποιημένη κατά το πρότυπο είτε MPEG2 είτε MPEG4.

Ο συνδυασμός των ροών μπορεί να είναι δυναμικός, δηλαδή σε κάθε πολυπλέκτη υπάρχει ελεύθερη χωρητικότητα διαθέσιμη για τη μετάδοση τηλεοπτικών σταθμών που εκχωρείται δυναμικά. Παράδειγμα διαδικασίας δυναμικής πολυπλεξίας είναι η στατιστική πολυπλεξία η οποία πραγματοποιείται είτε σε διαφορετικές χρονικές στιγμές είτε σε πραγματικό χρόνο. Ορισμένες υπηρεσίες που μεταδίδονται με σταθερό ρυθμό μετάδοσης χρειάζεται να καταλαμβάνουν ένα σταθερό τμήμα της χωρητικότητας του πολυπλέκτη. Υπηρεσίες που μεταδίδουν μεγάλο όγκο πληροφορίας χρειάζονται μεγαλύτερη χωρητικότητα έναντι υπηρεσιών που μεταδίδουν μικρότερο όγκο.

Για παράδειγμα, η μετάδοση εικόνας υψηλής ευκρίνειας απαιτεί μεγαλύτερο τμήμα της συνολικής χωρητικότητας του πολυπλέκτη σε σχέση με τη μετάδοση εικόνας κανονικής ευκρίνειας. Επομένως, όταν οι ανάγκες των υπηρεσιών για χωρητικότητα μεταβάλλονται, γίνεται εμφανής η ανάγκη για δυναμική εκχώρηση της χωρητικότητας του πολυπλέκτη στις διάφορες υπηρεσίες. Άρα, μέσω της στατιστικής πολυπλεξίας επιτυγχάνεται η καλύτερη αξιοποίηση και κατανομή της συνολικής χωρητικότητας του πολυπλέκτη στις διάφορες ροές δεδομένων των υπηρεσιών που μεταδίδονται μέσω αυτού.

Η πολυπλεξία στην προδιαγραφή MPEG2 έχει τη δυνατότητα για μετάδοση τεσσάρων έως έξι καναλιών κανονικής ευκρίνειας σε εύρος ζώνης που καταλαμβάνει ένα κανάλι συχνοτήτων στην αναλογική μετάδοση ενώ η προδιαγραφή MPEG4 παρέχει τη δυνατότητα μετάδοσης τριπλάσιου αριθμού καναλιών κανονικής ευκρίνειας από την MPEG2.

2.3.2 Διαμόρφωση και κωδικοποίηση

Μετά την έξοδό τους από τον πολυπλέκτη, τα δεδομένα της ροής μεταφοράς εισέρχονται στη μονάδα του σήματος βασικής ζώνης. Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας του σήματος βασικής ζώνης είναι η διασπορά ενέργειας (energy dispersal) που πραγματοποιείται προκειμένου να γίνει αναδιανομή της ισχύος στο χώρο των συχνοτήτων.

Το πρότυπο DVB-T υποστηρίζει την κωδικοποίηση για διόρθωση λαθών (forward error correction, FEC) που αποτελείται από ένα εξωτερικό (outer) και έναν εσωτερικό (inner) κωδικοποιητή. Ο εξωτερικός κωδικοποιητής είναι ένας μπλοκ κώδικας Reed-Solomon(255,239). Για κάθε πακέτο της ροής μεταφοράς, που έχει μήκος 188 bytes, προστίθενται άλλα 51 bytes μηδενικής τιμής και στο πακέτο των 239 πλέον bytes προσαρτώνται από τον κωδικοποιητή επιπλέον 16 bytes. Επομένως, λόγω της ωφέλιμης πληροφορίας που είναι 188 bytes για κάθε πακέτο ροής μεταφοράς, ουσιαστικά χρησιμοποιείται ένας (204,188,8) Reed-Solomon κώδικας που μπορεί να διορθώσει μέχρι 8 bytes ανά πακέτο. Οι Reed-Solomon κώδικες είναι οι ισχυρότεροι μπλοκ κώδικες αφού υπό δεδομένο ρυθμό κώδικα έχουν τη μεγαλύτερη δυνατότητα διόρθωσης σφαλμάτων. Η χρήση του εξωτερικού αναδευτήρα ψηφίων (outer interleaver) αποσκοπεί στην αύξηση της αποδοτικότητας του Reed-Solomon κώδικα μέσω της αναδιανομής των bytes του πακέτου μεταφοράς. Η διαδικασία της ανάδευσης αποσκοπεί στην αντιμετώπιση σφαλμάτων εκρηκτικού τύπου διότι μέσω της αναδιανομής των bytes, τα σφάλματα εκρηκτικού τύπου αντιμετωπίζονται ως απλά μεμονωμένα σφάλματα τα οποία είναι ευκολότερο να διορθωθούν. Ο εσωτερικός κωδικοποιητής (inner coder) είναι ένας συνελκτικός κωδικοποιητής με βασικό ρυθμό κώδικα $1/2$. Ο ρυθμός κώδικα $1/2$ προσφέρει ισχυρή προστασία από σφάλματα, με αντιστάθμισμα τη μείωση του ωφέλιμου ρυθμού μετάδοσης στο μισό. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται τεχνικές διάτρητης κωδικοποίησης (punctured coding) που αποσκοπούν σε μεγαλύτερους ρυθμούς κώδικα και άρα μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Για παράδειγμα, αν για κάθε 6 bits που προκύπτουν στην έξοδο του αποκωδικοποιητή (δηλαδή για 3 bits εισόδου), τα 2 bits δεν μεταδίδονται, προκύπτουν 4 bits εκπομπής από τον κωδικοποιητή, οπότε ο ρυθμός μετάδοσης γίνεται $3/4$ έναντι $1/2$. Σύμφωνα με το πρότυπο DVB-T, οι διαφορετικοί ρυθμοί κώδικα που μπορούν να επιτευχθούν με τον τρόπο αυτό είναι $1/2, 2/3, 3/4, 5/6$ και $7/8$.

Επίσης, το πρότυπο DVB-T χρησιμοποιεί την τεχνική της κωδικοποιημένης ορθογώνιας διαμόρφωσης συχνότητας (COFDM), κατά την οποία μια ροή ψηφίων πληροφορίας χωρίζεται σε πολλές επιμέρους ροές και η μετάδοσή τους σε αντίστοιχο πλήθος υποδιαύλων οι οποίοι είναι είτε 1705 οπότε αναφέρονται ως '2k' είτε 6817 οπότε αναφέρονται ως '8k'. Όλοι οι υποδιαύλοι μέσω των οποίων μεταδίδονται οι υποροές, καταλαμβάνουν εύρος ζώνης ίσο με ενός καναλιού στην αναλογική μετάδοση που είναι 8 MHz στη ζώνη UHF και 7 MHz στη ζώνη VHF. Τα πολλαπλά υπο-φέροντα επιλέγεται να είναι ορθογώνια μεταξύ τους υπό ιδανικές συνθήκες διάδοσης. Ο ρυθμός μετάδοσης και το εύρος ζώνης του κάθε υποδιαύλου είναι υποπολλαπλάσια του συνολικού ρυθμού μετάδοσης και του συνολικού εύρους ζώνης, αντίστοιχα.

Βασικό πλεονέκτημα της COFDM είναι η δραστική μείωση της παρεμβολής γειτονικών συμβόλων και οι μη επιλεκτικές διαλείψεις ως προς τη συχνότητα. Η διασυμβολική παρεμβολή οφείλεται είτε σε σχετικά μεγάλη εξάπλωση της χρονοκαθυστέρησης (time delay) σε μέσο όπου υπάρχει πολυδιαδρομική διάδοση είτε

σε σχετικά υψηλό ρυθμό μετάδοσης. Επομένως, ύπο δεδομένη χρονοκαθυστέρηση, ο υποπολλαπλάσιος ρυθμός μετάδοσης καθορίζεται έτσι ώστε να είναι μικρότερος του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης για τον οποίο δεν προκύπτει διασυμβολική παρεμβολή. Οι μη επιλεκτικές διαλείψεις ως προς τη συχνότητα οφείλονται στο ότι το πλήθος των υποδιαύλων καθορίζεται με στόχο να διασφαλισθεί ότι το εύρος ζώνης κάθε υποδιαύλου είναι μικρότερο από το εύρος ζώνης συνοχής της ζεύξης. Άρα, η COFDM βελτιώνει τη λήψη του σήματος σε μέσο όπου υπάρχει διασπορά καθυστέρησης λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης. Δηλαδή βελτιώνει τη λήψη σήματος σε ορεινές και πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου υπάρχουν πολλές ανακλάσεις σημάτων. Επιπλέον, σε δίκτυα SFN, ένας δέκτης λαμβάνει ένα ισχυρό σήμα από τον πλησιέστερο του πομπό και το ίδιο σήμα καθυστερημένο και εξασθενημένο από απομακρυσμένους πομπούς. Άρα, αντιλαμβάνεται τη λήψη του ισχυρού σήματος με υψηλή χρονοκαθυστέρηση. Επομένως, η COFDM είναι ανθεκτική στις ομοδιαυλικές παρεμβολές σε δίκτυα SFN.

Οι υποφέρουσες COFDM διαμορφώνονται προσαρμοστικά με ένα εκ των σχημάτων QPSK, 16-QAM ή 64-QAM, επιτρέποντας στους παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής να ανταλλάσουν το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, επιλέγοντας υψηλότερο σχήμα διαμόρφωσης, με την έκταση της περιοχής που θέλουν να καλύψουν. Στο Σχ.2.2 φαίνεται η σχέση ανάμεσα στην επιλογή σχήματος διαμόρφωσης και επιφάνειας περιοχής κάλυψης που επιτυγχάνεται από ένα μεταδότη. Δηλαδή, υπάρχει η δυνατότητα υψηλής ταχύτητας μετάδοσης(64-QAM) και μικρής επιφάνειας κάλυψης ενώ αντίστροφα υπάρχει η δυνατότητα μικρής ταχύτητας(QPSK) αλλά μεγαλύτερης επιφάνειας κάλυψης.



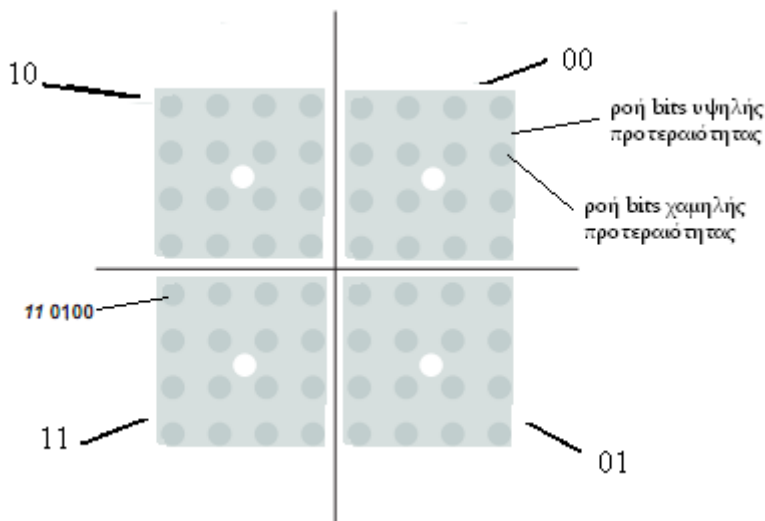
Σχήμα 2.2 Ανταλλαγή ανάμεσα σε ρυθμό μετάδοσης και επιφάνεια κάλυψης[12]

2.3.3 Ιεραρχική διαμόρφωση

Στο πρότυπο DVB-T προβλέπεται η υποστήριξη ιεραρχικής διαμόρφωσης σύμφωνα με την οποία δύο ανεξάρτητες ροές δεδομένων μπορούν να διαμορφωθούν από κοινού. Η μια ροή δεδομένων καλείται υψηλής προτεραιότητας (High priority) και ενσωματώνεται στην άλλη που καλείται χαμηλής προτεραιότητας(low priority). Η

ροή χαμηλής προτεραιότητας έχει συνήθως υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης αλλά είναι περισσότερο ευάλωτη στα σφάλματα και τις παρεμβολές, ενώ η ροή υψηλής προτεραιότητας μεταδίδεται με χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης αλλά είναι περισσότερο ανθεκτική στα σφάλματα και τις παρεμβολές. Επομένως, όταν οι συνθήκες λήψης του σήματος DVB-T είναι ευνοϊκές, ο δέκτης μπορεί να αποδιαμορφώσει και να αποκωδικοποιήσει και τις δύο ροές δεδομένων. Σε δυσμενείς όμως συνθήκες διάδοσης, λαμβάνεται επιτυχώς μόνο η ροή δεδομένων υψηλής προτεραιότητας. Για παράδειγμα, ένας πάροχος υπηρεσιών ευρυεκπομπής μπορεί να εκπέμπει με υψηλή ευκρίνεια στη ροή χαμηλής προτεραιότητας και το ίδιο πρόγραμμα με κανονική ευκρίνεια στη ροή υψηλής προτεραιότητας. Άρα, όταν οι συνθήκες λήψης το επιτρέπουν, ο τηλεθεατής παρακολουθεί το πρόγραμμα σε υψηλή ευκρίνεια ενώ, όταν οι συνθήκες λήψης δεν είναι ευνοϊκές, η ροή υψηλής προτεραιότητας μεταδίδει το ίδιο πρόγραμμα με κανονική ευκρίνεια.

Ένα παράδειγμα ιεραρχικής διαμόρφωσης απεικονίζεται στο Σχ. 2.3 όπου φαίνεται ο σηματοστερισμός ενός συστήματος 64-QAM, που υποστηρίζει ιεραρχική διαμόρφωση. Εντός του σηματοστερισμού της διαμόρφωσης 64-QAM βρίσκεται ο σηματοστερισμός της διαμόρφωσης QPSK. Η υπηρεσία χαμηλής προτεραιότητας μεταδίδεται με υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης, δηλαδή με διαμόρφωση 64-QAM ενώ όταν οι συνθήκες διάδοσης δεν επιτρέπουν μετάδοση με διαμόρφωση 64-QAM, μεταδίδεται η υπηρεσία υψηλής προτεραιότητας με διαμόρφωση QPSK.



Σχήμα 2.3 Σηματοστερισμός ιεραρχικής διαμόρφωσης 64-QAM/QPSK[15]

2.3.4 Διάστημα φύλαξης και δίκτυα SFN

Χαρακτηριστικό της τεχνικής COFDM είναι η δυνατότητα λειτουργίας υπό συνθήκες ισχυρών διαλείψεων που οφείλονται σε πολυδιαδρομική διάδοση. Αυτό επιτυγχάνεται με τον ακόλουθο τρόπο. Κάθε μεταδιδόμενο σύμβολο COFDM διάρκειας T_u επεκτείνεται κατά ένα διάστημα φύλαξης (*guard interval*). Ο αποδιαμορφωτής όμως αντλαμβάνεται τα σύμβολα που εισέρχονται σε αυτόν μόνο κατά το χρόνο διάρκειας συμβόλου T_u . Το αποτέλεσμα είναι να χάνεται η ενέργεια των καθυστερημένων

σημάτων λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης που χρονικά καθυστερούν και φθάνουν εντός του διαστήματος φύλαξης. Επομένως μειώνεται η διασπορά χρονοκαθυστερήσης στη λήψη του σήματος και περιορίζεται με αυτό το τρόπο η επίδραση των διαλείψεων λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης. Οι τιμές του διαστήματος φύλαξης βρίσκονται μεταξύ των τιμών $1/4$ και $1/32$ των χρόνων διάρκειας συμβόλου Tu. Αυτή η τεχνική είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη βελτίωση της μετάδοσης σημάτων σε ορεινές και αστικές περιοχές επειδή, λόγω πολλαπλών ανακλάσεων, σε τέτοια περιβάλλοντα μετάδοσης υπάρχει μεγάλη διασπορά καθυστέρησης.

Όπως έχει αναφερθεί στο εδάφιο 2.2.2, σε ένα δίκτυο SFN ο δέκτης λαμβάνει ένα ισχυρό σήμα από τον πομπό που βρίσκεται στη μικρότερη απόσταση και, επίσης, το ίδιο σήμα εξασθενημένο και καθυστερημένο από τους υπόλοιπους απομακρυσμένους πομπούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει χρονοκαθυστερήση λόγω πολυδιαδρομικής μετάδοσης. Επομένως, το διάστημα φύλαξης είναι σημαντικό για τον περιορισμό των ομοδιαυλικών παρεμβολών σε δίκτυα SFN διότι αποκόπτει τις εκδοχές του σήματος που φθάνουν στο δέκτη λόγω πολυδιαδρομικής μετάδοσης. Άρα πολλαπλοί μεταδότες μπορούν να λειτουργήσουν στην ίδια συχνότητα εφόσον το διάστημα φύλαξης που έχει οριστεί είναι επαρκές για να προστατεύει το δέκτη από παρεμβολές άλλων σταθμών που λειτουργούν στην ίδια συχνότητα.

Μολονότι τα δίκτυα SFN εξοικονομούν φάσμα συχνοτήτων, επειδή πολλοί μεταδότες λειτουργούν σε μια συχνότητα, εμφανίζουν μείωση της ταχύτητας μετάδοσης των επιμέρους μεταδοτών. Στο πρότυπο DVB-T το μέγιστο διάστημα φύλαξης περιορίζεται στα 224μs. Στον Πιν.2.1 φαίνονται οι ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνονται για επιλογή τυπικών τιμών διαστήματος φύλαξης σε συνδυασμό με σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης στο πρότυπο DVB-T. Επισημαίνεται ότι οι ρυθμοί μετάδοσης που παρουσιάζονται αφορούν τη μέγιστη χωρητικότητα που επιτυγχάνεται στο πρότυπο DVB-T, διότι στην πράξη οι ρυθμοί μετάδοσης υποβιβάζονται λόγω σφαλμάτων, παρεμβολών και άλλων περιοριστικών παραγόντων. Όπως επιβεβαιώνεται από τον Πιν.2.1, επιλέγοντας μικρότερη τιμή του διαστήματος φύλαξης και τη χρήση υψηλότερων σχημάτων διαμόρφωσης η χωρητικότητα του συστήματος αυξάνεται.

Διαμόρφωση	Ρυθμός κώδικα	Διάστημα φύλαξης ως κλάσμα της T_u			
		1/4	1/8	1/16	1/32
		Ρυθμός μετάδοσης (Mbps)			
QPSK	1/2	4.98	5.53	5.85	6.03
	2/3	6.64	7.37	7.81	8.04
	3/4	7.46	8.29	8.78	9.05
	5/6	8.29	9.22	9.76	10.05
	7/8	8.71	9.68	10.25	10.56
16-QAM	1/2	9.95	11.06	11.71	12.06
	2/3	13.27	14.75	15.61	16.09
	3/4	14.93	16.59	17.56	18.10
	5/6	16.59	18.43	19.52	20.11
	7/8	17.42	19.35	20.49	21.11
64-QAM	1/2	14.93	16.59	17.56	18.10
	2/3	19.91	22.12	23.42	24.13
	3/4	22.39	24.88	26.35	27.14
	5/6	24.88	27.65	29.27	30.16
	7/8	26.13	29.03	30.74	31.67

Πίνακας 2.1 Βασικές επιλογές σχημάτων διαμόρφωσης, κωδικοποίησης και διαστήματος φύλαξης του προτύπου DVB-T[13]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 -- Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΕΡΙΣΜΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση έχει ιδιαίτερη σημασία για τα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα καθώς μπορεί να παράσχει την υποστήριξη υπηρεσιών που απαιτούν πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, με αξιόπιστο τρόπο και αποτελεί εναλλακτική των σταθερών ευρυζωνικών δικτύων όπως είναι το ADSL και συστήματα οπτικών ινών. Η υλοποίηση ενσύρματων ευρυζωνικών δικτύων κυρίως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, πολλές φορές έχει υψηλό κόστος λόγω φυσικών δυσκολιών κατά την εγκατάσταση, ενώ υπάρχουν περιπτώσεις όπου η υλοποίηση τους είναι τεχνικά αδύνατη. Αντίθετα, η υλοποίηση ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων έχει σημαντικά μικρότερο κόστος και ευκολία εγκατάστασης και έχει ωθήσει στην ανάπτυξη της τεχνολογίας της ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης. Το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζεται κατά την υλοποίηση ενός συστήματος ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης είναι η υλοποίηση της κατάλληλης ραδιοεπαφής ώστε να εξασφαλίζεται η αδιάλειπτη αξιόπιστη λειτουργία.

Όπως έχει προαναφερθεί στο Κεφ.1, ως αποτέλεσμα της ψηφιακής μετάβασης προκύπτει η απελευθέρωση του ψηφιακού μερίσματος που μπορεί να αξιοποιηθεί χρησιμοποιηθεί για νέες υπηρεσίες ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης. Οι βελτιωμένες ιδιότητες ραδιοκάλυψης στις συχνότητες του ψηφιακού μερίσματος καθιστούν το ψηφιακό μέρισμα κατάλληλο για την ευρυζωνικότητα, δηλαδή για παροχή υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων.

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των προτύπων IEEE 802.22 και IEEE 802.20 των ομάδων εργασίας της IEEE (Ινστιτούτο ηλεκτρολόγων και ηλεκτρονικών μηχανικών) που προορίζονται για να λειτουργήσουν σε εύρος συχνοτήτων το οποίο περιλαμβάνει το ψηφιακό μέρισμα. Συγκεκριμένα, αναφέρονται τα κύρια χαρακτηριστικά των προτύπων αυτών όσον αφορά το φυσικό στρώμα. Τα χαρακτηριστικά αυτά εξασφαλίζουν την ύπαρξη κατάλληλης ραδιοεπαφής για αποδεκτή ποιότητα υπηρεσιών για τους κινητούς χρήστες.

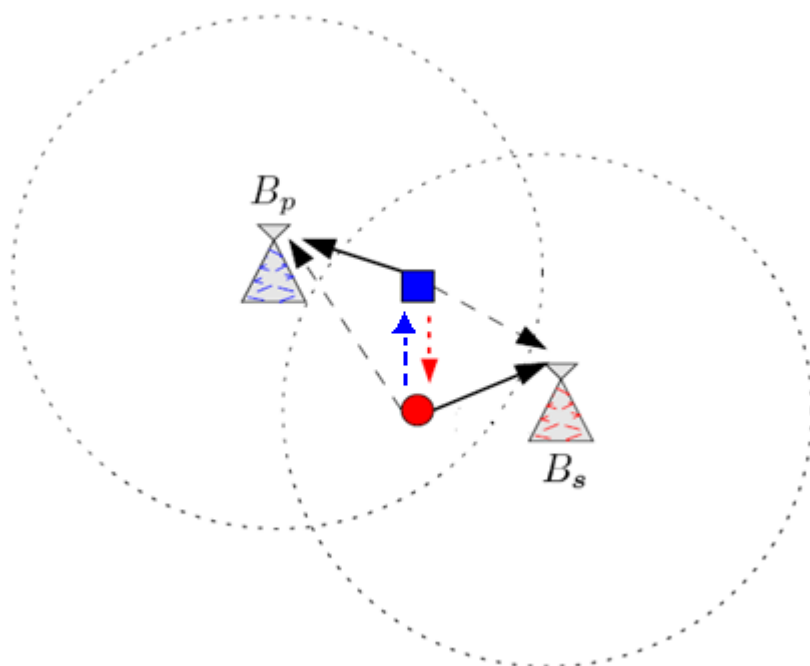
3.2ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEEE 802.22

3.2.1 Εισαγωγή – Τεχνολογία γνωστικών επικοινωνιών

Το πρότυπο 802.22 έχει αναπτυχθεί από την Ομάδα Εργασίας IEEE 802.22 για ασύρματα περιφερειακά δίκτυα(Wireless Regional Area Network, WRAN) με σκοπό τη λειτουργία σε μη χρησιμοποιούμενες τηλεοπτικές ζώνες συχνοτήτων ή σε κενά μεταξύ των τηλεοπτικών ζωνών συχνοτήτων (white spaces) εντός του εύρους ζώνης 54-862 MHz (κανάλια 2 έως 69) και την παροχή ευρυζωνικότητας με ρυθμούς

μετάδοσης δεδομένων συγκρίσιμους με αυτούς που επιτυγχάνουν οι σταθερές ευρυζωνικές τεχνολογίες τύπου DSL. Αφετηρία για τη δημιουργία του συγκεκριμένου προτύπου υπήρξε σχετική απόφαση της ρυθμιστικής αρχής τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ (FCC) για απόδοση σημαντικού μέρους του τηλεοπτικού φάσματος προς χρήση από δευτερεύοντες χρήστες χωρίς αδειοδότηση.

Προκειμένου να πετύχει τους στόχους της και να εξασφαλίσει ότι περιορίζονται οι παρεμβολές σε υπηρεσίες ευρυεκπομπής που χρησιμοποιούν τις τηλεοπτικές ζώνες συχνοτήτων, η Ομάδα Εργασίας 802.22 έδωσε έμφαση στην ανάπτυξη μιας γνωστικής (cognitive) ασύρματης διεπαφής. Το 802.22 είναι το πρώτο πρότυπο που ενσωματώνει τη γνωστική τεχνολογία επικοινωνιών (cognitive radio technology).



Σχήμα 3.1 Τοπολογία δικτύου γνωστικής τεχνολογίας επικοινωνιών

Η γνωστική τεχνολογία επικοινωνιών χρησιμοποιείται με στόχο την αποδοτική αναχρησιμοποίηση του αδειοδοτημένου φάσματος συχνοτήτων. Αυτό επιτυγχάνεται όταν δευτερεύουσες υπηρεσίες χρησιμοποιούν ζώνες συχνοτήτων που έχουν απονεμηθεί για κύριες υπηρεσίες, σε περιοχές και χρονικά διαστήματα όπου είναι αχρησιμοποίητες. Για την κατανόηση ενός γνωστικού δικτύου δίνεται η τοπολογία του Σχ.3.1 όπου ως B_p και B_s συμβολίζονται οι σταθμοί βάσης της κύριας και της δευτερεύουσας υπηρεσίας αντίστοιχα. Ο σταθμός βάσης της κύριας υπηρεσίας λαμβάνει την ωφέλιμη πληροφορία από το χρήστη του (τετράγωνο στο Σχ.3.1) και παρεμβολή από το χρήστη του γνωστικού δικτύου (κύκλος στο Σχ.3.1). Η κύρια υπηρεσία δεν μπορεί να είναι διαθέσιμη στο χρήστη της αν η παρεμβολή είναι μεγαλύτερη ενός ορίου. Επομένως, το γνωστικό δίκτυο πρέπει να είναι ικανό να προσαρμόζει την επικοινωνία του με ευφυή τρόπο έτσι ώστε η παρεμβολή που προκαλεί στο αδειοδοτημένο δίκτυο να μην υπερβαίνει μια τιμή πέραν της οποίας το αδειοδοτημένο δίκτυο δεν μπορεί να λειτουργήσει. Δηλαδή, το κύριο χαρακτηριστικό

ενός γνωστικού δικτύου είναι η ικανότητά του να γνωρίζει το περιβάλλον διάδοσης και να προσαρμόζει δυναμικά τις παραμέτρους επικοινωνίας του (σχήμα διαμόρφωσης, ρυθμός κώδικα, συχνότητα λειτουργίας, ισχύ εκπομπής, κατευθυντικότητα κεραίας κλπ) ώστε να ελαχιστοποιεί τη παρεμβολή του στα αδειοδοτημένα δίκτυα. Ταυτόχρονα, επιδιώκει να μεγιστοποιήσει την ποιότητα υπηρεσιών των χρηστών του.

3.2.2 Βασικές παράμετροι προτύπου 802.22

3.2.2.1 Τοπολογία συστήματος

Η τοπολογία ενός συστήματος που λειτουργεί σύμφωνα με το πρότυπο 802.22 είναι τύπου σημείου προς πολλαπλά σημεία (point to multipoint, PTMP). Σε κάθε κυψέλη, ένας σταθμός βάσης εξυπηρετεί ένα πλήθος χρηστών (Customer Premises Equipment, CPE). Ο σταθμός βάσης είναι συνδεδεμένος με το βασικό δίκτυο με το οποίο επικοινωνεί και μεταφέρει δεδομένα στους χρήστες στη ζεύξη διαβίβασης (downlink, downstream) ενώ λαμβάνει δεδομένα από τους χρήστες στη ζεύξη επιστροφής (uplink, upstream). Επίσης, κάθε σταθμός βάσης ελέγχει τις παραμέτρους λειτουργίας του φυσικού στρώματος και διαχειρίζεται τις πληροφορίες που λαμβάνει από το επικοινωνιακό περιβάλλον της κυψέλης για την οποία είναι υπεύθυνος, προκειμένου να συμβάλει στη λειτουργία της γνωστικής τεχνολογίας επικοινωνιών. Τα CPEs των χρηστών μετρούν την ένταση σημάτων τηλεοπτικών υπηρεσιών ή άλλων κύριων υπηρεσιών στη θέση όπου βρίσκονται και ενημερώνουν το σταθμό βάσης. Με αυτό τον τρόπο, κάθε σταθμός βάσης κάθε κυψέλης πραγματοποιεί μια κατανομημένη μέτρηση των ενδεχόμενων παρεμβολών των κύριων υπηρεσιών στις δευτερεύουσες. Επομένως, με τη συλλογή και επεξεργασία των εντάσεων των σημάτων των κύριων υπηρεσιών στις θέσεις των χρηστών, ο σταθμός βάσης κάθε κυψέλης αποφασίζει σε ποιά κανάλια συχνοτήτων είναι δυνατή η επικοινωνία με τους χρήστες. Αυτή η διαδικασία αποτελεί μια μέθοδο χαρακτηριστική των συστημάτων γνωστικής τεχνολογίας επικοινωνιών.

3.2.2.2 Ακτίνα ραδιοκάλυψης

Η ακτίνα ραδιοκάλυψης στο πρότυπο 802.22 είναι μεγαλύτερη από αυτήν των άλλων προτύπων 802. Για παράδειγμα, στο πρότυπο 802.11 η ακτίνα ραδιοκάλυψης περιορίζεται στα 50 μέτρα. Όμως, στο πρότυπο 802.22 η ακτίνα ραδιοκάλυψης ενός σταθμού βάσης είναι κατά πολύ μεγαλύτερη που μπορεί να φθάσει από τριάντα έως εκατό χιλιόμετρα. Η αυξημένη ραδιοκάλυψη οφείλεται στα ευνοϊκά χαρακτηριστικά διάδοσης των ραδιοκυμάτων στη ζώνη UHF. Συγκεκριμένα, η απώλεια διάδοσης ελευθέρου χώρου είναι συγκριτικά πολύ μικρή και όπως αναφέρεται στο [16], στη ζώνη UHF οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (βροχή, χιόνι) δεν επιβαρύνουν τη διάδοση ραδιοκυμάτων σε σχέση με υψηλότερες ζώνες που χρησιμοποιούνται από άλλες τεχνολογίες ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων και η διείσδυση στο εσωτερικό κτιρίων είναι αρκετά μεγαλύτερη.

3.2.2.3 Χωρητικότητα συστήματος

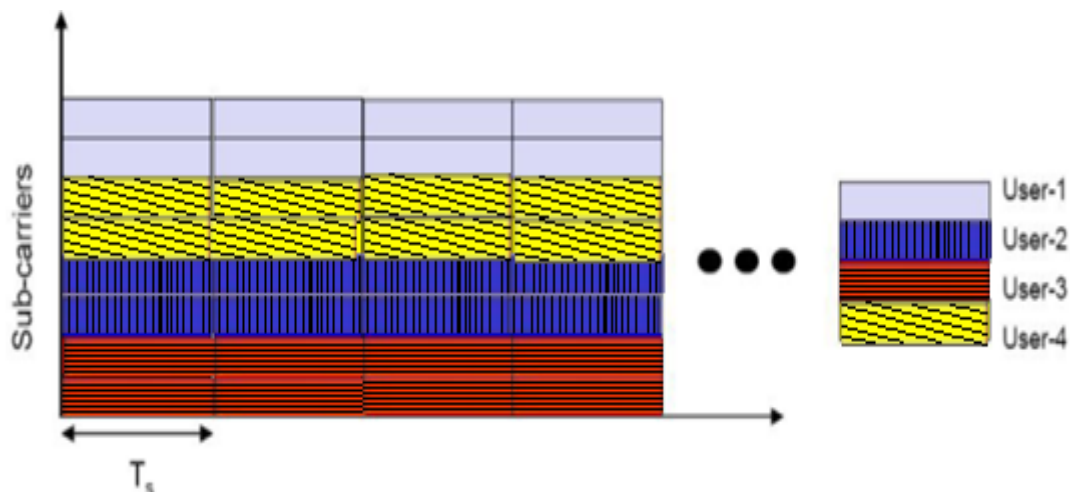
Το πρότυπο έχει καθοριστεί ώστε να επιτρέπει στους χρήστες να επιτύχουν επίδοση παρόμοια με αυτή των υπηρεσιών DSL. Στη ζεύξη διαβίβασης μπορεί να επιτευχθεί ελάχιστη ταχύτητα ανά χρήστη 1.5 Mbps στα όρια της κυψέλης ενώ αντίστοιχα στη ζεύξη επιστροφής επιτυγχάνεται ελάχιστη ταχύτητα 384 kbps [21]. Η φασματική απόδοση ποικίλει από περιοχή σε περιοχή εντός μιας κυψέλης και εξαρτάται από την απόσταση, τη συνολική απόσβεση που υφίσταται το σήμα, το περιβάλλον διάδοσης (διαλείψεις) και την παρεμβολή που λαμβάνει είτε ο σταθμός βάσης (ζεύξη επιστροφής) είτε το τερματικό (ζεύξη διαβίβασης) από εκπομπές άλλων τερματικών ή άλλων χρηστών. Η ελάχιστη φασματική απόδοση είναι 0.5 bps/Hz ενώ τυπική τιμή της φασματικής απόδοσης για το συγκεκριμένο πρότυπο είναι 3 bps/Hz. Ανάλογα με τη χώρα, το εύρος ζώνης ενός καναλιού είναι 6,7 ή 8 MHz. Επομένως, υποθέτοντας φασματική απόδοση 3 bps/Hz, προκύπτει τυπική τιμή για το ρυθμό μετάδοσης 18 Mbps, 21 Mbps ή 24 Mbps, αντίστοιχα[17]. Επίσης, για τη βελτίωση του ρυθμού μετάδοσης, προδιαγράφεται η χρησιμοποίηση της τεχνικής της συνένωσης καναλιών (channel bonding) σύμφωνα με την οποία κανάλια που είναι φασματικά γειτονικά συνενώνονται σε ένα ενιαίο κανάλι και αποδίδονται σε ένα χρήστη ώστε να αυξηθεί το εύρος ζώνης του και κατά συνέπεια ο ρυθμός μετάδοσης του. Όμως, αυτό δεν είναι πάντα εφικτό διότι τα αχρησιμοποιήτα κανάλια δεν είναι πάντα συνεχόμενα, οπότε δεν είναι πάντα δυνατή η αύξηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

3.2.3 Φυσικό στρώμα

3.2.3.1 OFDMA

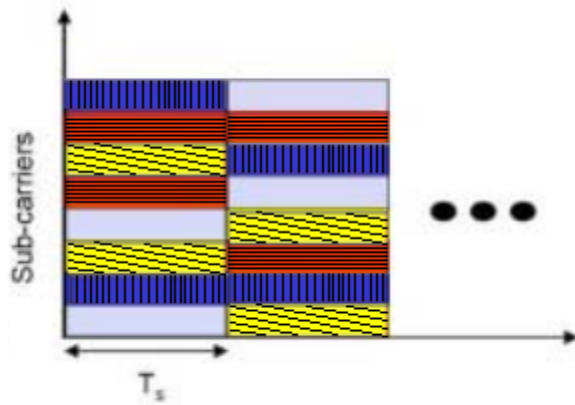
Το φυσικό στρώμα του προτύπου 802.22 έχει σχεδιαστεί ώστε να επιτρέπει ικανοποιητική επίδοση του συστήματος ως προς τη χρήση των αχρησιμοποίητων καναλιών ή των αχρησιμοποίητων κενών μεταξύ των καναλιών (white spaces). Για να επιτευχθεί αυτό, ένα σύστημα 802.22 πρέπει να είναι ευέλικτο ώστε να ανιχνεύει τα αχρησιμοποίητα κανάλια και να μεταπηδά από κανάλι σε κανάλι χωρίς σφάλμα και χωρίς απώλεια συνδέσεων. Πρέπει, επίσης, να είναι ευέλικτο ως προς τη δυναμική χρήση σχήματος διαμόρφωσης και ρυθμού κώδικα. Τέτοια ευελιξία προσφέρει το σχήμα OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) που αποτελεί έκδοχη της OFDM για πολλαπλή πρόσβαση. Υιοθετείται από το πρότυπο 802.22 διότι, όπως έχει προαναφερθεί στο εδάφιο 2.3.2, η τεχνική OFDM παρέχει ανθεκτικότητα ως προς την αντιμετώπιση των επιλεκτικών ως προς τη συχνότητα διαλείψεων που οφείλονται σε πολυδιαδρομική διάδοση. Όπως έχει αναφερθεί στο εδάφιο 2.3.2, μια ροή ψηφίων πληροφορίας χωρίζεται σε επιμέρους ροές όπου το εύρος ζώνης και ο ρυθμός μετάδοσης έκαστης είναι κατάλληλο υποπολλαπλάσιο του συνολικού εύρους ζώνης και ρυθμού μετάδοσης αντίστοιχα. Το εύρος ζώνης το πολλαπλών υπο-φερόντων επιλέγεται έτσι ώστε να είναι μικρότερο του εύρους ζώνης συνοχής της ζεύξης και να μην υπάρχουν διαλείψεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα.

Η OFDMA παρέχει πολλαπλή πρόσβαση σε ένα σύστημα διότι σε κάθε χρήστη εκχωρείται ένα υπό-σύνολο των διαθέσιμων υπό-φερόντων. Επομένως, όπως γίνεται αντιληπτό από το Σχ. 3.2 όπου φαίνεται η κατανομή των υπό-φερόντων σε διάφορους χρήστες στην OFDMA, η τεχνική αυτή είναι παρόμοια με την πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας (FDMA) [18]. Σε αντίθεση όμως με την FDMA, στην OFDMA οι υποφέρουσες είναι ορθογώνιες μεταξύ τους οπότε είναι ευκολότερη, σε σχέση με την FDMA, η ανάκτηση των επιμέρους υπο-φερόντων μέσω φιλτραρίσματος. Δηλαδή στην OFDMA δεν απαιτούνται ζώνες προστασίας μεταξύ των αποδιδόμενων υπο-φερόντων ούτε στενό φιλτράρισμα όπως στην FDMA.



Σχήμα 3.2 Κατανομή υπο-φερόντων σε πολλαπλούς χρήστες μέσω της OFDMA όπου ένα σύνολο γειτονικών υπο-φερόντων αποδίδεται στον ίδιο χρήστη.

Στο Σχ. 3.2 απεικονίζεται η κατανομή υποσυνόλων φασματικά γειτονικών υπο-φερόντων στον ίδιο χρήστη για οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Αντίθετα, ένας άλλος τρόπος κατανομής των υπο-φερόντων στους χρήστες είναι αυτός της τυχαίας κατανομής με την τεχνική της μεταπήδησης συχνότητας (frequency hopping). Σε αυτή την περίπτωση τα υποφέροντα ενός υποσυνόλου που αποδίδονται σε ένα χρήστη δεν είναι απαραίτητο να είναι γειτονικά μεταξύ τους. Έτσι, η πολλαπλή πρόσβαση εκτός από το πεδίο της συχνότητας αξιοποιεί και το πεδίο του χρόνου, δηλαδή στα μεμονωμένα τερματικά ανατίθενται χρονοσχιζμές και μόνο κατά τη διάρκεια αυτών επιτρέπεται η χρήση των συγκεκριμένων υπο-φερόντων (βλ. Σχ.3.3).

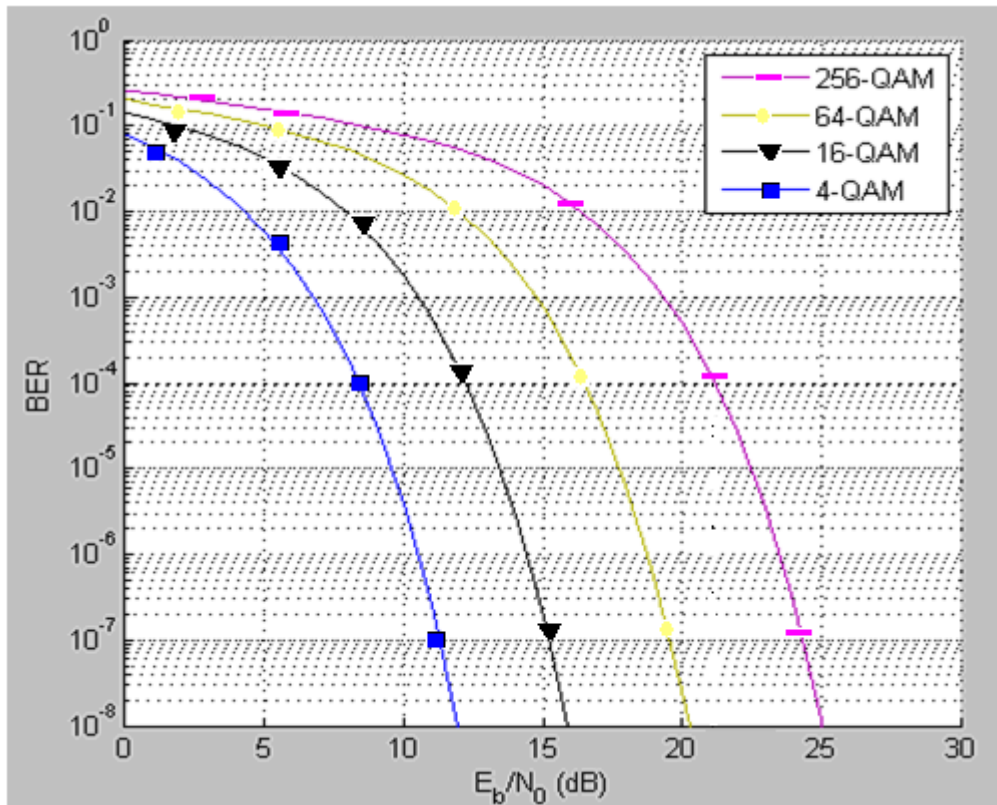


Σχήμα 3.3 Μεταπήδηση συχνότητας και κατανομή υποφερόντων σε κάθε χρήστη κατά τη διάρκεια χρονικών σχισμών. Με διαφορετικό χρώμα συμβολίζονται οι διαφορετικοί χρήστες.

3.2.3.2 Προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση

Τα υποφέροντα OFDMA διαμορφώνονται προσαρμοστικά με ένα εκ των σχημάτων QPSK, 16-QAM, 64-QAM και 256-QAM στη ζεύξη διαβίβασης ενώ στη ζεύξη επιστροφής χρησιμοποιούνται τα σχήματα BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM και 64QAM.

Για να λειτουργεί επαρκώς ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα απαραίτητη προϋπόθεση είναι η αποδεκτή ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service, QoS), δηλαδή το ποσοστό λανθασμένων ψηφίων (bit error ratio) δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο κατώφλι. Συγκεκριμένα, στο πρότυπο 802.22 και για υπηρεσία μετάδοσης φωνής, η μέγιστη πιθανότητα λανθασμένου ψηφίου με την οποία λειτουργεί υπό αποδεκτή QoS ένα σύστημα είναι 10^{-4} . Το ποσοστό λαθών εξαρτάται από το σηματοθορυβικό λόγο που εμφανίζεται στην είσοδο του συστήματος απόφασης του αποδιαμορφωτή του δέκτη. Τα υψηλής τάξης σχήματα διαμόρφωσης είναι περισσότερο ευάλωτα στις μη ευνοϊκές συνθήκες στο δίαυλο ως προς την πιθανότητα λανθασμένου ψηφίου σε σχέση με σχήματα διαμόρφωσης με μικρότερη φασματική απόδοση. Αυτό γίνεται αντιληπτό παρατηρώντας το Σχ.3.4 όπου απεικονίζεται το ποσοστό λανθασμένων ψηφίων συναρτήσει του σηματοθορυβικού λόγου για τα σχήματα διαμόρφωσης 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM και 256-QAM.



Σχήμα 3.4 Θεωρητική πιθανότητα λάθους συναρτήσει του σηματοθορυβικού λόγου E_b/N_0 για τα σχήματα διαμόρφωσης 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM σε διάλυο που εμφανίζει μόνο αθροιστικό θορύβο τύπου Gauss.

Η προσαρμοστική διαμόρφωση επιτυγχάνει τη βέλτιστη αξιοποίηση του διαύλου διότι όταν οι συνθήκες διάδοσης είναι ευνοϊκές τα υποφέροντα μεταδίδονται με όσο το δυνατόν περισσότερο υψηλής τάξης σχήματα διαμόρφωσης.

Το πρότυπο 802.22 υποστηρίζει επίσης την κωδικοποίηση για διόρθωση λαθών (FEC) που συνίσταται στην αντιστοίχιση k ψηφίων πληροφορίας σε n κωδικοποιημένα ψηφία με $n > k$. Ο λόγος k/n είναι ο ρυθμός κώδικα. Τα υποφέροντα OFDMA κωδικοποιούνται προσαρμοστικά με συνελικτική κωδικοποίηση με ένα εκ των ρυθμών κώδικα $1/2$, $2/3$, $3/4$ ή $5/6$. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα διόρθωσης λαθών καταγκιστικού τύπου με τεχνικές ισχυρής κωδικοποίησης όπως οι κώδικες turbo, LDPC και οι αλυσιδωτοί (concatenated). Υψηλοί ρυθμοί κώδικα παρέχουν υψηλή φασματική απόδοση, αλλά δεν παρέχουν ισχυρή διόρθωση λαθών σε αντίθεση προς τις κωδικοποιήσεις με μικρούς ρυθμούς κώδικα.

Οι ρυθμοί κώδικα συνδυάζονται με τα σχήματα διαμόρφωσης με αποτέλεσμα να προκύπτει ένα σύνολο συνδυασμών σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Κατά την προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση επιλέγεται κάθε φορά ο κατάλληλος συνδυασμός που εξασφαλίζει την όσο το δυνατό μεγαλύτερη φασματική απόδοση χωρίς το σύστημα να μεταβαίνει σε μη αποδεκτή ποιότητα υπηρεσίας. Επομένως, η φασματική απόδοση όπως κάθε φορά προκύπτει από την επιλογή του συνδυασμού σχήματος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, εξαρτάται από τις συνθήκες

διάδοσης στο δίαυλο, που εκφράζονται μέσω του συνολικού λόγου σήματος προς θόρυβο και παρεμβολή SINR που μεταβάλλεται δυναμικά με το χρόνο. Στον Πιν.3.1 απεικονίζονται οι δυνατοί συνδυασμοί σχημάτων διαμόρφωσης και ρυθμών κώδικα για μια ασύρματη ζεύξη ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος με αποδεκτή ποιότητα υπηρεσίας για πιθανότητα λανθασμένου ψηφίου μεγαλύτερη του $ber=10^{-6}$. Ο ελάχιστος απαιτούμενος σηματοπαρεμβολικός λόγος για τη χρήση ενός σχήματος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης φαίνεται στην τέταρτη στήλη του Πιν.3.1.

SIR OF DIFFERENT CODING- MODULATION LEVELS

Code rate & modulation level index (k)	Code rate & Modulation level comparison	Spectral Efficiency (b/s/Hz)	Required SIR at 10^{-6} BER (γ_k) dB
1	1/2 & QPSK	1.00	4.65
2	2/3 & QPSK	1.33	6.49
3	3/4 & QPSK	1.50	7.45
4	7/8 & QPSK	1.75	9.05
5	1/2 & 16-QAM	2.00	10.93
6	2/3 & 16-QAM	2.66	12.71
7	3/4 & 16-QAM	3.00	14.02
8	7/8 & 16-QAM	3.50	15.74
9	2/3 & 64-QAM	4.00	18.50
10	3/4 & 64-QAM	4.50	19.88
11	7/8 & 64-QAM	5.25	21.94

Πίνακας 3.1 Απεικόνιση δυνατών συνδυασμών σχημάτων διαμόρφωσης και ρυθμού κώδικα για μια ασύρματη ζεύξη ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος.[19]

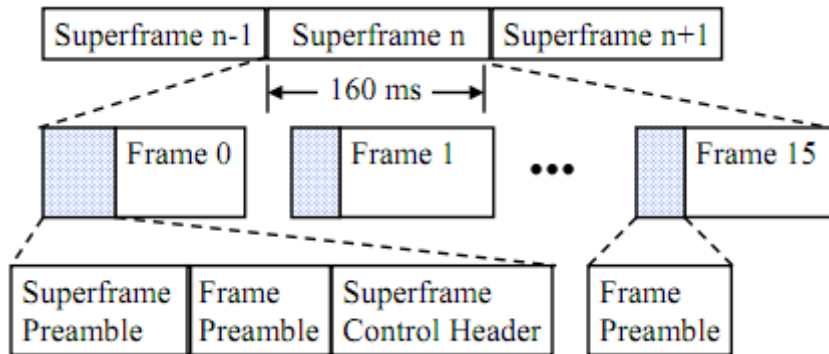
3.2.4 Στρώμα MAC

Η λειτουργία του στρώματος MAC του 802.22 βασίζεται στη θεωρία των γνωστικών ραδιοεπικοινωνιών καθώς είναι αναγκαία η ευέλικτη προσαρμογή στις δυναμικές μεταβολές του διαθέσιμου φάσματος στο τοπικό περιβάλλον λειτουργίας.

3.2.4.1 Δομή πλαισίων

Προκειμένου τα δεδομένα να είναι καταλλήλως δομημένα, είναι απαραίτητο να έχουν προκαθορισμένη δομή. Η μετάδοση των δεδομένων οργανώνεται σε δύο δομές, τα πλαίσια και τα υπερπλαίσια, τα οποία διατίθενται από το σταθμό βάσης σε κάθε κανάλι όπου είναι δυνατή η μετάδοση χωρίς παρεμβολές.

Ένα υπερπλαίσιο αποτελείται από δεκαέξι πλαίσια όπως φαίνεται στο Σχ.3.5. Παρέχει πληροφορίες για τον ολικό συγχρονισμό του συστήματος και γενικά για την πρόσβαση ενός CPE σε συγκεκριμένο σταθμό βάσης. Στην αρχή κάθε υπερπλαισίου και συγκεκριμένα στο πρώτο από τα πλαίσια, υπάρχει ένα προοίμιο (preamble) και η κεφαλή ελέγχου υπερπλαισίου (Superframe Control Header, SCH). Για το λόγο αυτό, το φορτίο του πρώτου πλαισίου είναι μειωμένο κατά δύο σύμβολα. Το SCH παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για οποιοδήποτε νέο CPE το οποίο θέλει να έχει πρόσβαση στο σταθμό βάσης.



Σχήμα 3.5 Δομή ενός υπερπλαισίου και των μικρότερων πλαισίων[20]

Τα πλαίσια, τα οποία συνθέτουν ένα υπερπλαίσιο, αποτελούνται από δύο ειδών υποπλαίσια, τα υποπλαίσια της ροής ζεύξης διαβίβασης (upstream subframe) και τα υποπλαίσια της ροής ζεύξης επιστροφής (downstream subframes). Τα όρια μεταξύ των δύο ειδών υποπλαισίων ποικίλουν και προσαρμόζονται δυναμικά έτσι ώστε να ενσωματώνουν αλλαγές που απαιτούνται στη χωρητικότητα των αντιστοίχων ροών.

3.2.4.2 Ανίχνευση διαθέσιμων καναλιών (spectrum sensing)

Όταν η CPE ενός χρήστη είναι ενεργοποιημένη, είναι σε θέση να ανακαλύψει τα διαθέσιμα κανάλια τα οποία δεν χρησιμοποιούνται για τηλεοπτική μετάδοση. Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι το γνωστικό δίκτυο δεν θα προκαλέσει παρεμβολές στις κύριες υπηρεσίες, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί η διαδικασία ανίχνευσης διαθέσιμων καναλιών (spectrum sensing). Οι ενεργοποιημένες CPEs των χρηστών σαρώνουν το διαθέσιμο φάσμα και ενημερώνουν το σταθμό βάσης για την ισχύ των σημάτων των κύριων υπηρεσιών που ανίχνευσαν σε όλο το διαθέσιμο φάσμα που τους αποδίδεται για χρήση. Στη συνέχεια, ο σταθμός βάσης αποφασίζει για το ποιά κανάλια είναι διαθέσιμα και αν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεταδόσεις σύμφωνα με το πρότυπο 802.22. Για να λάβει μια τέτοια απόφαση ένας σταθμός βάσης χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα της ανίχνευσης διαθέσιμων καναλιών καθώς επίσης και πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον διάδοσης, οι οποίες παρέχονται από την οντότητα γνωστή ως ο διαχειριστής του δικτύου (Network Manager).

Ένα σύστημα που λειτουργεί σύμφωνα με το πρότυπο 802.22 λαμβάνει υπόψη ότι υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι χρηστών στις συχνότητες που χρησιμοποιούνται από το πρότυπο 802.22:

- Αναλογική τηλεόραση: Στις χώρες όπου δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμα η ψηφιακή μετάβαση, η τηλεοπτική ευρυεκπομπή πραγματοποιείται με αναλογικό τρόπο. Το κατώφλιο ισχύος (που ανιχνεύεται από το 802.22) ενός αναλογικού σήματος πάνω από το οποίο το πρότυπο 802.22 δεν μπορεί να κάνει χρήση ενός καναλιού είναι -94 dbm.
- Ψηφιακή τηλεόραση: Στις χώρες όπου πραγματοποιείται ευρυεκπομπή τηλεοπτικού σήματος με ψηφιακό τρόπο, το κατώφλιο ισχύος (που ανιχνεύεται από το 802.22) ενός ψηφιακού σήματος πάνω από το οποίο το πρότυπο 802.22 δεν μπορεί να κάνει χρήση ενός καναλιού είναι -116 dbm.
- Ασύρματα μικρόφωνα: Καίτοι τα ασύρματα μικρόφωνα συνήθως λειτουργούν με διαμόρφωση συχνότητας και μεταδίδονται σε εύρος ζώνης 200 kHz, δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο της λειτουργίας τους. Εντούτοις, ένα κατώφλιο ισχύος (που ανιχνεύεται από το 802.22) σήματος ασύρματου μικροφώνου πάνω από το οποίο το πρότυπο 802.22 δεν μπορεί να κάνει χρήση ενός καναλιού είναι -107 dbm όταν μετράται σε εύρος ζώνης 200 kHz.[21]

Υπάρχουν δύο μηχανισμοί ανίχνευσης μέσω των οποίων η CPE ενός γνωστού χρήστη ανιχνεύει διαθέσιμα κανάλια, η ανίχνευση εντός ζώνης και η ανίχνευση εκτός ζώνης. Η ανίχνευση εντός ζώνης (in band sensing) συνίσταται στην ανίχνευση των διαθέσιμων καναλιών που χρησιμοποιούνται από το σταθμό βάσης. Η CPE ενός χρήστη εντοπίζει την παρουσία άλλων σημάτων που μεταδίδονται στο εύρος ζώνης των καναλιών που χρησιμοποιούνται από το σταθμό βάσης. Τα επίπεδα ισχύος των σημάτων αυτών καθώς και όλες οι παράμετροι για τη διαδικασία των μετρήσεων που πραγματοποιεί η CPE ελέγχονται από το σταθμό βάσης. Συγκεκριμένα και προκειμένου να έχει καλύτερη εικόνα για όλες τις δυνατές χρήσεις καναλιών στην κυψέλη, ο σταθμός βάσης αναθέτει στις CPEs τις μετρήσεις τις οποίες πρέπει να διεξάγουν βάσει αλγορίθμων που εκτελούνται εντός του σταθμού βάσης. Η ανίχνευση εκτός ζώνης (out of band sensing) συνίσταται στην ανεύρεση διαθέσιμων καναλιών τα οποία δεν χρησιμοποιούνται από το σταθμό βάσης. Οι μετρήσεις των CPEs πραγματοποιούνται προκειμένου να βρεθούν εναλλακτικά κανάλια στην περίπτωση όπου αυτά που έχουν ανατεθεί στο σταθμό βάσης είναι κατειλημμένα.

Για αμφοτέρους τις διαδικασίες μέτρησης, το στρώμα MAC διαθέτει δύο δυνατότητες ανίχνευσης καναλιών: ταχεία ανίχνευση (fast sensing) και λεπτομερή ανίχνευση (fine sensing). Κατά την ταχεία ανίχνευση, η ανίχνευση των διαθέσιμων καναλιών γίνεται με χαμηλής πολυπλοκότητας αλγόριθμο ανίχνευσης ενεργειών άλλων σημάτων. Η ταχεία ανίχνευση ολοκληρώνεται εντός 1 ms. Ο σταθμός βάσης επεξεργάζεται τα αποτελέσματα της ταχείας ανίχνευσης ως προς τις παρεμβολές μεταξύ χρηστών και υπηρεσιών και αποφασίζει αν χρειάζεται να εκτελεστούν περισσότερο λεπτομερές μετρήσεις, οπότε εκτελείται ο λεπτομερής αλγόριθμος ανίχνευσης καναλιών, ο οποίος

διαρκεί επί περισσότερο χρόνο με χρόνους αντίχρευσσης που κυμαίνονται περί τα 25 ms.

3.3 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEEE 802.20

3.3.1 Εισαγωγή

Το πρότυπο IEEE 802.20, γνωστό ως πρότυπο κινητής ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης (mobile broadband wireless access, MBWA), έχει υλοποιηθεί προκειμένου να αναπτυχθεί ένα πρότυπο που στηρίζει την κινητικότητα των χρηστών σε ένα κυψελωτό μητροπολιτικό δίκτυο (WMAN). Πριν την ανάπτυξη του 802.20 δεν υπήρχε πρότυπο ευρυζωνικής πρόσβασης προορισμένο να στηρίζει την κινητικότητα των χρηστών. Κατά τη διαδικασία της εξέλιξης των προτύπων ευρυζωνικής πρόσβασης 802.16 για υποστήριξη κινητικότητας χρηστών, οι ομάδες εργασίας 802.16 και MBWA συμφώνησαν ότι οι εργασίες τους απευθύνονται σε διαφορετικές αγορές και διαχώρισαν τις εργασίες τους. Αν και η σταδιακή στροφή των δικτύων IEEE 802.16 σε κινητές υπηρεσίες επέφερε την προσωρινή αναστολή εργασιών της ομάδας IEEE 802.20, τον Ιούνιο του 2008 η IEEE ενέκρινε το πρώτο πρότυπο IEEE 802.20.

Αποστολή της ομάδας IEEE 802.20 είναι η ανάπτυξη ενός παγκόσμιου, οικονομικά προσιτού και αξιόπιστου προτύπου MBWA μεταξύ πολλών συνεργαζόμενων παρόχων που θα καλύπτει επιχειρηματικές και οικιακές ανάγκες των τελικών χρηστών. Συγκεκριμένα, στόχος του προτύπου είναι η ανάπτυξη μιας αποδοτικής ασύρματης διεπαφής του φυσικού και MAC στρώματος που θα λειτουργεί σε αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων κάτω των 3.5 GHz. Επίσης, η ομάδα IEEE 802.20 αποσκοπεί στη βελτιστοποίηση της μεταφοράς δεδομένων IP επιτυγχάνοντας μέγιστο ρυθμό μετάδοσης που θα υπερβαίνει το 1 Mbps στη ζεύξη διαβίβασης και τα 300 kbps στη ζεύξη επιστροφής ενώ, παράλληλα, θα υποστηρίζει ταχύτητες κινητών χρηστών έως 250 km/h. Οι υπηρεσίες τις οποίες υποστηρίζει το πρότυπο 802.20 είναι υπηρεσίες δεδομένων και φωνής (Voice over IP, VoIP) καθώς και πρόσβαση στο διαδίκτυο με απαραίτητη προϋπόθεση την ενσωμάτωση καρτών PC στις συσκευές των τελικών χρηστών που επιτρέπουν τη μετάδοση δεδομένων.

Το πρότυπο 802.20 είναι ευέλικτο, ώστε το εύρος ζώνης κάθε καναλιού να μπορεί να λάβει τις τιμές 5, 10 ή 20 MHz, και υποστηρίζει την πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM) και συχνότητας (FDM). Ένα τυπικό μέγεθος της ακτίνας της κυψέλης για το 802.20 είναι 15 km. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, η ακτίνα της κυψέλης εξαρτάται από τη συχνότητα λειτουργίας. Επομένως, το συγκεκριμένο πρότυπο που λειτουργεί σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων κάτω των 3.5 GHz, η ακτίνα κάλυψης λαμβάνει τιμές που μπορεί να έχουν μεγάλη διαφορά μεταξύ τους.

3.3.2 Πολλαπλή πρόσβαση

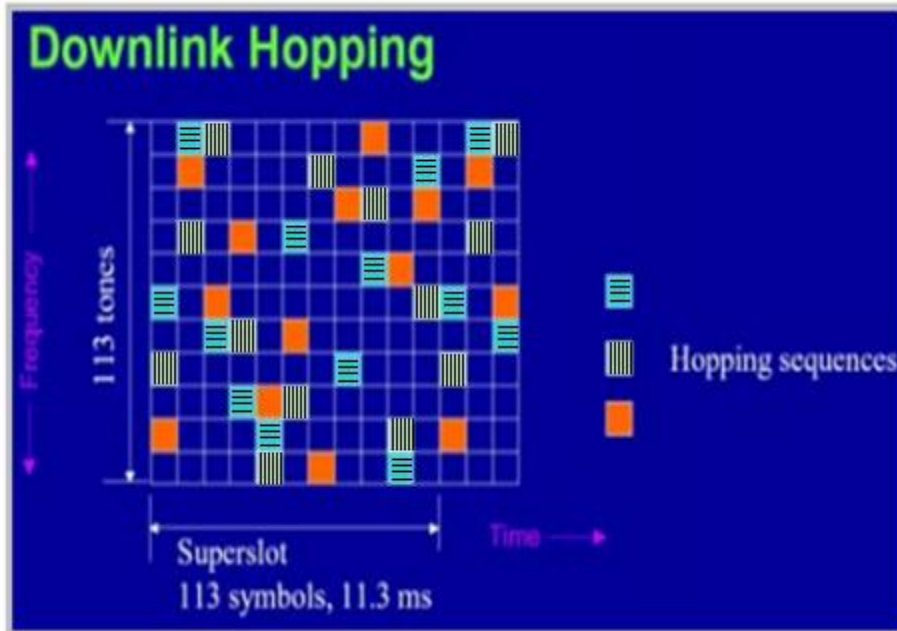
3.3.2.1 Διαφορές μεταξύ των OFDMA και CDMA

Στο φυσικό στρώμα, η πολλαπλή πρόσβαση πραγματοποιείται με χρήση πολυπλεξίας OFDMA (βλ. εδάφιο 3.2.3), CDMA (code division multiple access) και flash OFDM. Η OFDMA λόγω των ορθογώνιων υποφερουσών της και της μη απαίτησης ενδιάμεσων ζωνών προστασίας είναι φασματικά αποδοτική και ιδανική για επίτευξη υψηλών χωρητικότητας συγκρινόμενη με τη CDMA. Κατά την CDMA, όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν τα ίδια υποφέροντα ταυτόχρονα, σε αντίθεση με την OFDMA (όπου οι χρήστες χρησιμοποιούν διαφορετικά υποφέροντα). Επίσης, κατά την CDMA, για τη διάκριση μεταξύ των χρηστών χρησιμοποιούνται ορθογώνιοι και μη ορθογώνιοι κώδικες εξάπλωσης. Όμως, σε περίπτωση πολυδιαδρομικής διάδοσης, η παραμόρφωση που προκαλείται μπορεί να επιφέρει απώλεια ορθογωνιότητας και επομένως παρεμβολή μεταξύ των χρηστών που χρησιμοποιούν τα ίδια υποφέροντα. Αντίθετα, η OFDMA δεν υποφέρει από παρόμοιο μειονέκτημα διότι σε κάθε κυψέλη οι χρήστες λειτουργούν σε διαφορετικά υποφέροντα, οπότε εξαλείφεται η πιθανότητα εμφάνισης διασυμβολικής παρεμβολής και παρεμβολής μεταξύ των χρηστών. Η εμφάνιση μικρής ενδοκυψελικής παρεμβολής αποτελεί το μεγάλο πλεονέκτημα της OFDMA σε σχέση με την CDMA. Επομένως, αφού η OFDMA λειτουργεί με μικρότερη ένδοκυψελική παρεμβολή σε σχέση με την CDMA, μπορεί να λειτουργήσει με μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης.

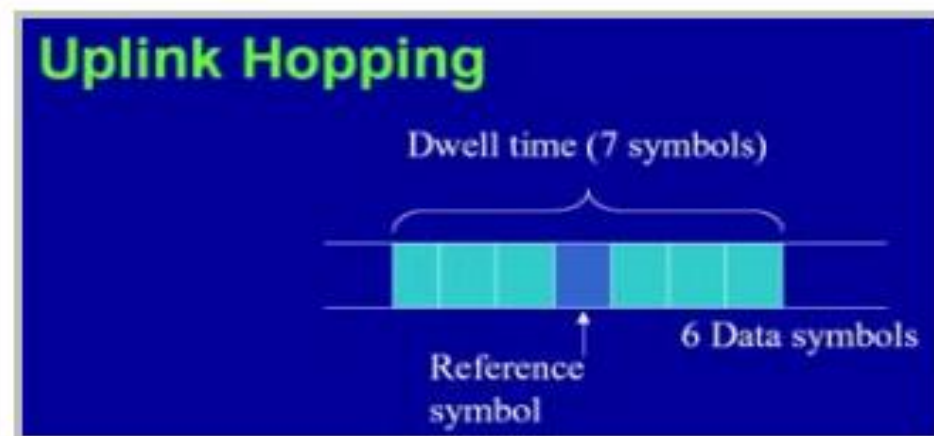
3.3.2.2 Flash OFDM

Το πρότυπο 802.20 αξιοποιεί την τεχνολογία flash OFDM. Η τεχνολογία της μετάδοσης flash OFDM βασίζεται στην τεχνολογία FHSS (fast hopping spread spectrum), δηλαδή ταχεία μεταπήδηση συχνότητας μεταξύ των επιμέρους υποδιαύλων. Σύμφωνα με την τεχνολογία αυτή, στους χρήστες αποδίδονται οι υποφερουσές OFDM σύμφωνα με ένα ψευδοτυχαίο αλγόριθμο διασφαλίζοντας ότι σε διάφορους χρήστες εντός της ίδιας κυψέλης αποδίδονται διαφορετικά υποσύνολα φερουσών ορθογώνιων μεταξύ τους ανά χρονική διάρκεια ενός συμβόλου στη ζεύξη διαβίβασης και ανά χρονική διάρκεια επτά συμβόλων στη ζεύξη επιστροφής. Επομένως, λόγω της ορθογωνιότητας των υποφερουσών και των διαφορετικών υποφερουσών ανά χρήστη, οι χρήστες εντός της ίδιας κυψέλης δεν παρεμβάλλουν μεταξύ τους. Γίνεται αντιληπτό ότι με την απόδοση διαφορετικών σχημάτων μεταπήδησης σε σταθμούς βάσης γειτονικών κυψελών είναι δυνατή η χρήση των ίδιων ζωνών συχνοτήτων σε γειτονικούς σταθμούς βάσης η οποία πραγματοποιείται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές συμβάλλοντας έτσι σε μια πιθανή υλοποίηση δικτύου με ομάδα αναχρησιμοποίησης συχνοτήτων ίση με τη μονάδα. Σύμφωνα με το [22], στο Σχ.3.6.α απεικονίζεται η λειτουργία της Flash OFDM στη ζεύξη διαβίβασης όπου αποδίδονται στους χρήστες διαφορετικές υποφερουσές OFDM ανά κάθε χρονική διάρκεια ενός συμβόλου κατά ψευδοτυχαίο τρόπο. Επίσης, φαίνεται ότι η αλληλουχία των χρηστών που χρησιμοποιούν την ίδια φέρουσα είναι περιοδική με

περίοδο ίση με ένα *superslot*. Στο Σχ.3.6.β απεικονίζεται ένα σχήμα μεταπήδησης συχνότητας ζεύξης επιστροφής. Η μεταπήδηση συχνότητας πραγματοποιείται ανά επτά OFDM σύμβολα εκ των οποίων τα έξι είναι σύμβολα δεδομένων και ένα σύμβολο αναφοράς.



(α)



(β)

Σχήμα 3.6 α) Σχήμα μεταπήδησης συχνότητας ζεύξης διαβίβασης β) Σχήμα μεταπήδησης συχνότητας ζεύξης επιστροφής.[22]

3.3.3 Διαμόρφωση και κωδικοποίηση

Το πρότυπο 802.20 υποστηρίζει τις διαμορφώσεις BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM και 64-QAM. Επίσης, για τη διόρθωση διάσπαρτων λαθών χρησιμοποιείται η συνελκτική κωδικοποίηση ενώ για διόρθωση λαθών καταγωγικού τύπου

χρησιμοποιείται η turbo και η LDPC κωδικοποίηση. Τα σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιούνται κάθε φορά επιλέγονται προσαρμοστικά με αξιοποίηση της δυνατότητας προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (βλ. εδάφιο 3.2.3.2).

3.3.4 Υβριδικό ARQ

Από το πρότυπο 802.20, υποστηρίζεται η χρησιμοποίηση του υβριδικού σχήματος ARQ (automatic repeat request) για την αναμετάδοση των χαμένων πακέτων. Το υβριδικό ARQ συνδυάζει τη μέθοδο κωδικοποίησης για διόρθωση λαθών FEC με τη μέθοδο ανίχνευσης λαθών που χρησιμοποιεί το ARQ σχήμα. Στο σχήμα ARQ εισάγονται επιπλέον ψηφία πριν τη μετάδοση των δεδομένων χρησιμοποιώντας κώδικα ανίχνευσης λανθασμένων ψηφίων, δηλαδή ανιχνεύεται αν έχει μεταδοθεί σωστά ένα πακέτο. Αν ένα πακέτο έχει μεταδοθεί λανθασμένα, αναμεταδίδεται. Στο υβριδικό ARQ, μαζί με τα επιπλέον ψηφία που έχουν προστεθεί για την ανίχνευση των λαθών, προστίθενται επιπλέον ψηφία από τον αποστολέα για την κωδικοποίηση διόρθωσης λαθών FEC ώστε να μειωθεί η πιθανότητα ένα πακέτο να σταλεί λανθασμένα και να πρέπει να αναμεταδοθεί. Το υβριδικό ARQ είναι ιδιαίτερα αποδοτικό υπό δυσχερείς συνθήκες διάδοσης διότι, λόγω της κωδικοποίησης FEC, μειώνεται η πιθανότητα ένα πακέτο να πρέπει να αναμεταδοθεί. Αντίθετα, υπό ευνοϊκές συνθήκες διάδοσης, τα πλεονάζοντα ψηφία, τα οποία προσαρτώνται για ανίχνευση και διόρθωση λαθών, μειώνουν το ωφέλιμο ρυθμό μετάδοσης που θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερος αν χρησιμοποιείτο απλό σχήμα ARQ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΕΚΧΩΡΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΣΕ ΚΥΨΕΛΩΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΠΟΥ ΥΠΟΚΕΙΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΛΟΓΩ ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφ.1, η ψηφιακή μετάβαση πρόκειται να απελευθερώσει σημαντικό τμήμα του φάσματος στη UHF ζώνη (470-862 MHz), το οποίο σήμερα καταλαμβάνεται για υπηρεσίες αναλογικής τηλεόρασης, και να το καταστήσει διαθέσιμο για νέες ευρυζωνικές υπηρεσίες. Η λειτουργία ενός ευρυζωνικού κυψελωτού δικτύου στις συχνότητες του ψηφιακού μερίσματος είναι πολύ πιθανό να επιφέρει τη γεωγραφική και φασματική συνύπαρξη του με υπηρεσίες επίγειας ψηφιακής ή αναλογικής ευρυεκπομπής (βλ. εδάφιο 1.1.4). Σε χώρες όπου έχει αποδοθεί το ψηφιακό μέρος για κινητές υπηρεσίες, τέτοιου είδους συνύπαρξη μπορεί να προκύψει λόγω της λειτουργίας πλησίον των συνόρων αλλοδαπών παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής.

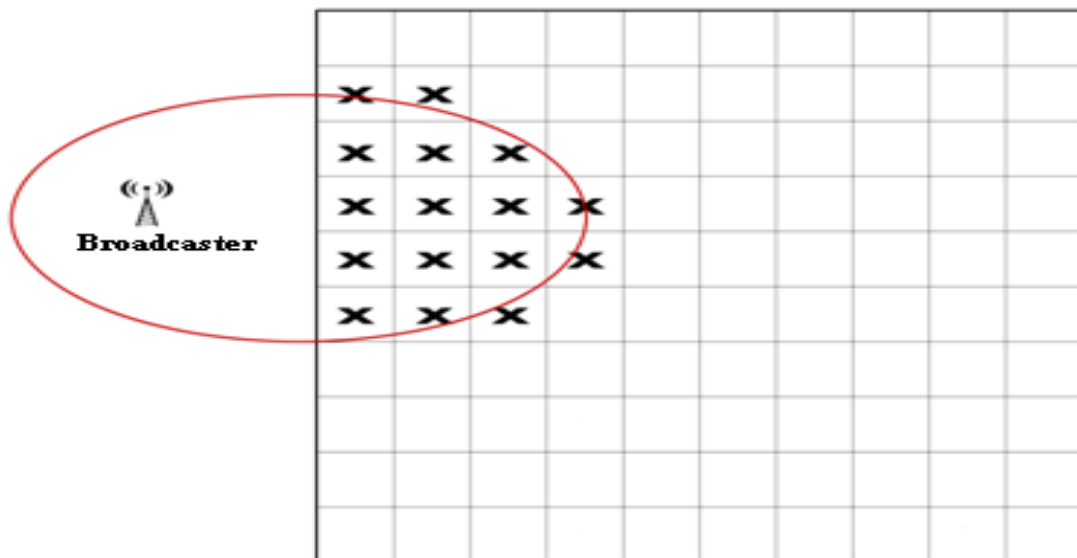
Στην παρούσα εργασία μελετάται η υλοποίηση δυναμικής εκχώρησης καναλιών σε ένα κυψελωτό ευρυζωνικό σύστημα που παρεμβάλλεται από έναν ή περισσότερους παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής με χρήση γενετικών αλγορίθμων. Για τη διατύπωση του σχήματος εκχώρησης καναλιών, λαμβάνονται υπόψη οι κατωτέρω παραδοχές.

- i) Προκειμένου να μην υπάρχουν εσωτερικές παρεμβολές στο κυψελωτό σύστημα, οι γειτονικές κυψέλες δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιούν τα ίδια κανάλια συχνοτήτων (co-channel constraint).
- ii) Γίνεται η υπόθεση ότι η ισχύς εκπομπής κάθε σταθμού βάσης καθώς και οι αποστάσεις μεταξύ των σταθμών βάσης κάθε κυψέλης είναι τέτοιες ώστε η παρεμβολή μεταξύ μη γειτονικών κυψελών να θεωρείται αμελητέα. Δηλαδή, οι παρεμβολές αυτές μειώνουν ελάχιστα ή καθόλου το λόγο SNIR στους δέκτες έτσι ώστε το επίπεδο σχήματος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (επίπεδο ACM) να παραμένει το μέγιστο (επίπεδο 12 του υπόψη προβλήματος, βλ. εδάφιο 4.2.1).
- iii) Θεωρείται ότι η ισχύς εκπομπής τόσο των χρηστών όσο και των σταθμών βάσης του κυψελωτού δικτύου είναι τέτοιου μεγέθους ώστε να μη δυσχεραίνουν (λόγω παρεμβολής) τη λήψη στους δέκτες υπηρεσιών ψηφιακής τηλεόρασης που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση.
- iv) Για την απλοποίηση του προβλήματος γίνεται μελέτη μόνο της ζεύξης διαβίβασης ενώ κατά παρόμοιο τρόπο μπορεί να γίνει η μελέτη της ζεύξης επιστροφής. Δηλαδή, μελετάται μόνο ο ρυθμός με τον οποίο λαμβάνουν δεδομένα οι χρήστες ενός κυψελωτού συστήματος και όχι ο ρυθμός με τον οποίο αποστέλλουν δεδομένα. Αυτό συμβαίνει διότι το φυσικό στρώμα μετάδοσης των δύο αυτών ζεύξεων έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά ως

προς το περιβάλλον μετάδοσης (διαλείψεις, παρεμβολές) και οι δύο ζεύξεις λειτουργούν ανεξάρτητα η μία από την άλλη.

- v) Δεν λαμβάνονται υπόψη μοντέλα ραδιοδιάδοσης. Δηλαδή γίνεται η παραδοχή ότι όλοι οι χρήστες λαμβάνουν την ίδια ισχύ από το σταθμό βάσης στη ζεύξη διαβίβασης.
- vi) Οι πάροχοι υπηρεσιών ευρυεκπομπής είναι ο μόνος εξωτερικός παράγοντας που περιορίζει την επίδοση του κυψελωτού ευρυζωνικού συστήματος. Η παρεμβολή που προκαλείται στις κυψέλες του ευρυζωνικού συστήματος είτε περιορίζει τη φασματική απόδοση τους είτε καθιστά ακόμη και μη δυνατή τη ζεύξη με το σταθμό βάσης. Τα μεγέθη των παρεμβολών που προέρχονται από παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής ποικίλλουν και εξαρτώνται από την απόσταση μεταξύ παρεμβολέα και παρεμβαλλόμενου.

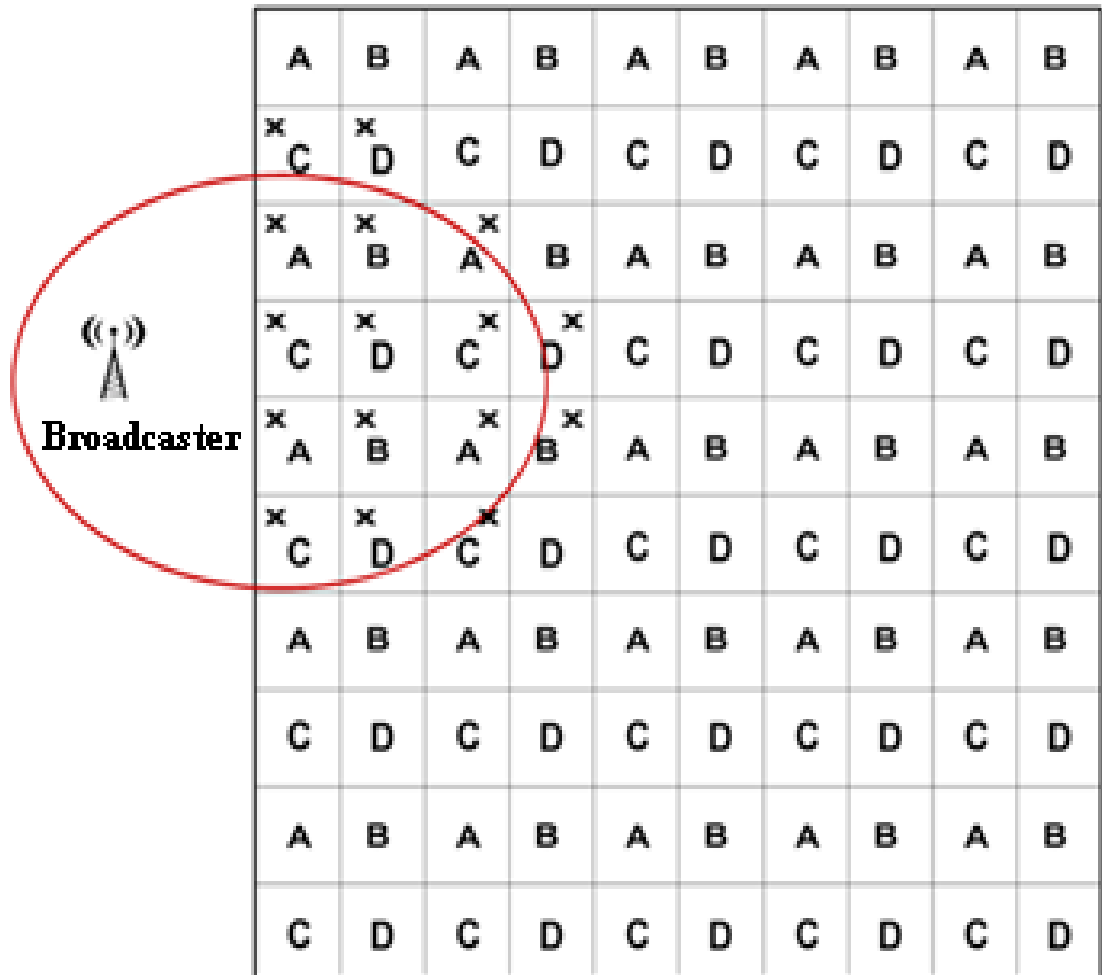
Επομένως, με βάση τις υποθέσεις αυτές, το πρόβλημα κατανομής καναλιών σε ένα ευρυζωνικό σύστημα έχει ως αποκλειστικό περιορισμό της επίδοσής του παρεμβολές προερχόμενες από τους παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής. Στο Σχ.4.1 φαίνεται μια απλή τοπολογία ενός κυψελωτού συστήματος που παρεμβάλλεται από πάροχο υπηρεσιών ευρυεκπομπής. Με x συμβολίζονται οι κυψέλες που παρεμβαλλονται.



Σχήμα 4.1 Τοπολογία κυψελωτού συστήματος παρεμβαλλόμενου από πάροχο υπηρεσιών ευρυεκπομπής.

Προκειμένου να ικανοποιηθεί η ζήτηση σε χωρητικότητα των χρηστών, τα διαθέσιμα κανάλια πρέπει να αναχρησιμοποιούνται κατάλληλα. Η γενική υπόθεση που έχει γίνει για την αποφυγή ομοδιαυλικών παρεμβολών επιτρέπει σε μη γειτονικές κυψέλες να χρησιμοποιούν τα ίδια κανάλια συχνοτήτων. Επομένως,

το κυψελωτό δίκτυο χωρίζεται σε ομάδες κυψελών έκαστη των οποίων αποτελείται από τέσσερις κυψέλες οι οποίες λειτουργούν σε διαφορετικά κανάλια μεταξύ τους. Η αναχρησιμοποίηση συχνοτήτων επιτυγχάνεται απονέμοντας τέσσερα σύνολα καναλιών (A,,B,C,D) σε κάθε ομάδα των τεσσάρων κυψελών όπως φαίνεται στο Σχ.4.2.



Σχήμα 4.2 Αναχρησιμοποίηση καναλιών σε κυψελωτό σύστημα με αναχρησιμοποίηση καναλιών 1:4.

4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Τα κανάλια συχνοτήτων που αποδίδονται σε κάθε κυψέλη αντιμετωπίζονται από το γενετικό αλγόριθμο ως οντότητες, η κατανομή των οποίων μεταβάλλεται μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση στη βέλτιστη κατανομή, δηλαδή να βελτιστοποιηθεί η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας (fitness function) του γενετικού αλγορίθμου. Επομένως, κατά τη συνεχή εξέλιξη του πληθυσμού των οντοτήτων σε κάθε επανάληψη του

γενετικού αλγόριθμου, ανανεώνεται η καταλληλότητα του πληθυσμού των πιθανών λύσεων μέχρι να ικανοποιηθεί η συνθήκη τερματισμού του αλγόριθμου.

4.2.1 Ορισμός των χρησιμοποιούμενων οντοτήτων

Οι κυψέλες του υπόψη προβλήματος θεωρούνται τετραγωνικές και συνθέτουν ένα τετραγωνικό κυψελωτό σύστημα διαστάσεων $\dim x \times \dim y$ όπου μπορούν να διατεθούν Nch το πλήθος κανάλια. Ως $\dim x$ ορίζεται η διάσταση του κυψελωτού συστήματος κατά τον οριζόντιο άξονα και ως $\dim y$ η διάσταση του κυψελωτού συστήματος κατά τον κάθετο άξονα. Επίσης, ορίζονται τα διανύσματα δύο διαστάσεων $A_i(x, y)$, $i = 1, 2, \dots, Nch$, όπου Nch ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών για κατανομή στο κυψελωτό σύστημα. Τα διανύσματα αυτά είναι διαστάσεων $(\dim x, \dim y)$ και κάθε στοιχείο τους εκφράζει το ρυθμό μετάδοσης υπό τον οποίο λαμβάνει δεδομένα ένας χρήστης που χρησιμοποιεί το κανάλι i στην κυψέλη συντεταγμένων (x, y) του συστήματος.

Σημειώνεται ότι το κυψελωτό σύστημα του προβλήματος κάνει χρήση της προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (ACM). Επομένως, πρέπει να είναι διαθέσιμη πληροφορία περί της κατάστασης του διαύλου (channel state information), δηλαδή μια εκτίμηση του σηματοπαρεμβολικού λόγου (SIR) σύμφωνα με την οποία γίνεται επιλογή ενός εκ των σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης με στόχο τη μέγιστη φασματική απόδοση υπό δεδομένη απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών. Στη ζεύξη διαβίβασης, ο κινητός χρήστης επεξεργάζεται ένα σήμα που λαμβάνει από το σταθμό βάσης και με βάση αυτή την επεξεργασία πληροφορεί το σταθμό βάσης για την ποιότητα του διαύλου (λόγος SNIR). Ο σταθμός βάσης σύμφωνα με αυτήν την εκτίμηση επιλέγει το επίπεδο ACM. Στη ζεύξη επιστροφής, ο σταθμός βάσης λαμβάνει σήμα από τον κινητό χρήστη και το επεξεργάζεται προκειμένου να εκτιμήσει την ποιότητα της ζεύξης επιστροφής. Η ACM παρέχει τη δυνατότητα απονομής ενός καναλιού σε κυψέλη η οποία παρεμβάλλεται κατά τρόπο ανεκτό από ευρυεκπομπείς υποβιβάζοντας το σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης σε βάρος της φασματικής απόδοσης όπως φαίνεται στον Πιν.4.1. Ο Πιν. 4.1 απεικονίζει τα επίπεδα ACM που χρησιμοποιούνται σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.22 τα οποία χρησιμοποιούνται επίσης για τη διατύπωση του υπόψη προβλήματος[26]. Όπως φαίνεται, τα επίπεδα ACM είναι δώδεκα και προκύπτουν με συνδυασμό τριών σχημάτων διαμόρφωσης (QPSK, 16-QAM, 64-QAM) με τέσσερις ρυθμούς κώδικα $(1/2, 2/3, 3/4, 5/6)$. Επίσης, απεικονίζεται ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για κανάλι εύρους ζώνης 6 MHz καθώς και η φασματική απόδοση που επιτυγχάνεται για κάθε επίπεδο ACM.

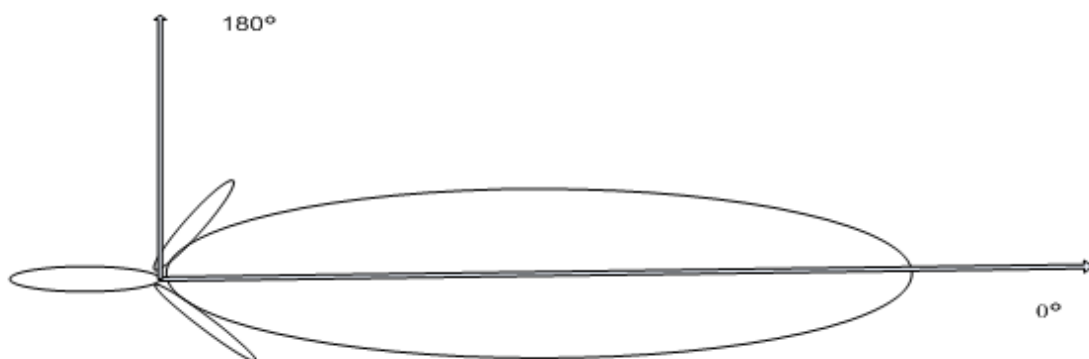
Επίπεδο ACM	Σχήμα διαμόρφωσης	Ρυθμός κώδικα	Φασματική απόδοση (b/s/Hz)	Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (Mbps)
0	-	-	0	0
1	QPSK	1/2	0.76	4.54
2	QPSK	2/3	1.01	6.05
3	QPSK	3/4	1.13	6.81
4	QPSK	5/6	1.26	7.56
5	16-QAM	1/2	1.51	9.08
6	16-QAM	2/3	2.02	12.10
7	16-QAM	3/4	2.27	13.61
8	16-QAM	5/6	2.52	15.13
9	64-QAM	1/2	2.27	13.61
10	64-QAM	2/3	3.03	18.15
11	64-QAM	3/4	3.40	20.42
12	64-QAM	5/6	3.78	22.69

Πίνακας 4.1 Σχήματα διαμόρφωσης και ρυθμού κώδικα διαφορετικών επιπέδων του προτύπου IEEE 802.22. [26]

Στο Σχ. 4.4 φαίνεται ένα παράδειγμα κατανομής των επιπέδων ACM σε σύστημα το οποίο παρεμβάλλεται από δύο παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής. Κάθε επίπεδο ACM συμβολίζεται με ένα δείκτη (Πιν.4.1 αριστερή στήλη). Ο δείκτης 0 σημαίνει ότι η παρεμβολή του ευρυεκπομπέα είναι τόσο ισχυρή ώστε να μην είναι διαθέσιμο προς χρήση το κανάλι από το σύστημα. Βάσει των παραδοχών που έχουν γίνει, ο λόγος SNIR στις ζεύξεις των κυψελών είναι μικρότερος στις κυψέλες που βρίσκονται κοντά στον πάροχο υπηρεσιών ευρυεκπομπής, δηλαδή τον παρεμβολέα. Συνεπώς, στις κυψέλες αυτές χρησιμοποιούνται σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης χαμηλού επιπέδου σε σχέση με τις κυψέλες αυτές που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση στις οποίες χρησιμοποιούνται σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης υψηλότερου επιπέδου. Στις μη παρεμβαλλόμενες κυψέλες θεωρείται ότι οι συνθήκες μετάδοσης είναι βέλτιστες οπότε και χρησιμοποιείται το σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που παρέχει τη μέγιστη δυνατή χωρητικότητα (επίπεδο 12). Για κάθε επίπεδο ACM, η 4^η στήλη απεικονίζει το ρυθμό μετάδοσης και η 5^η τη φασματική απόδοση μετρούμενες σε Mbps και b/s/Hz, αντίστοιχα. Ο αριθμός των ψηφίων (bits) που μεταδίδονται ανά χρονική διάρκεια ενός συμβόλου T_s προκύπτει ως $K \times r$ (bits),

όπου $K = \log_2(M)$ (όπου M είναι η τάξη του σχήματος διαμόρφωσης) είναι το πλήθος των ψηφίων που χρειάζονται για την παράσταση ενός συμβόλου και εξαρτάται από το σχήμα διαμόρφωσης και r ο ρυθμός κώδικα. Η σχέση που συνδέει το εύρος ζώνης του καναλιού Bch με τη χρονική διάρκεια συμβόλου Ts είναι $Bch \times Ts = c$, όπου c είναι σταθερά. Επομένως, ο ρυθμός μετάδοσης υπολογίζεται ως $R = \frac{K \times r}{Ts} = \frac{K \times r}{\frac{c}{Bch}} (bps)$ και η φασματική απόδοση ως $e = \frac{R}{Bch} = \frac{K \times r}{c}$, όπου $Bch = 6MHz$ και $c=1.3218$. Για παράδειγμα, στο επίπεδο ACM 10 ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων υπολογίζεται ως εξής. Λόγω της διαμόρφωσης 64-QAM ο αριθμός των ψηφίων που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ενός συμβόλου είναι $K = \log_2(M) = \log_2(64) = 6$. Ο ρυθμός κώδικα είναι $r=2/3$, οπότε η φασματική απόδοση προκύπτει $e = \frac{K \times r}{c} = \frac{6 \times (\frac{2}{3})}{1.3218} = 3.03$ και ο ρυθμός μετάδοσης προκύπτει $R = e \times Bch = 18.15 Mbps$.

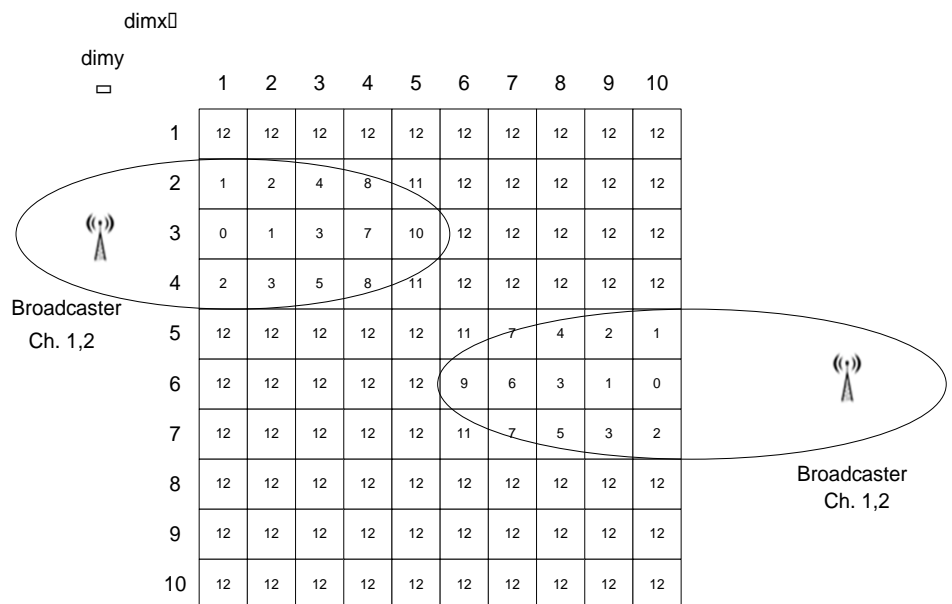
Στην περίπτωση του Σχ. 4.4 και τις επόμενες περιπτώσεις της εργασίας θεωρείται ότι το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας των παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής είναι αυτό του Σχ.4.3. από όπου φαίνεται ότι η κεραία του παρεμβολέα είναι κατευθυντική με τον κύριο λοβό της να εκπέμπει εντός μικρού σχετικά γωνιακού εύρους περί τις 0 μοίρες. Οι πλευρικοί λοβοί θεωρούνται αμελητέας ισχύος σε σχέση με την ισχύ του κύριου λοβού. Στην σχήματα της παρούσας εργασίας οι κυψέλες που βρίσκονται εντός της έλλειψης (π.χ Σχ.4.4) θεωρείται ότι παρεμβάλλονται από τον κύριο λοβό του διαγράμματος ακτινοβολίας των παρεμβολέων. Στο Σχ.4.4 υπάρχει μεγάλη απόκλιση μεταξύ των επιπέδων ACM που χρησιμοποιούνται στις κυψέλες συντεταγμένων (1,4) (επίπεδο 2) και (1,5) (επίπεδο 12) λόγω της μεγάλης κατευθυντικότητας της κεραίας. Δηλαδή, η κυψέλη συντεταγμένων (1,4) βρίσκεται εντός της περιοχής κάλυψης του κύριου λοβού ενώ η κυψέλη (1,5) βρίσκεται εκτός της περιοχής κάλυψης του κύριου λοβού.



Σχήμα 4.3 Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής

Προκειμένου να καταγράφεται το επίπεδο ACM που χρησιμοποιείται σε κάθε κυψέλη ορίζονται τα διδιάστατα διανύσματα $Z_i(x,y), i = 1,2, \dots, Nch$, τα οποία εκφράζουν το επίπεδο ACM που χρησιμοποιείται σε μια κυψέλη συντεταγμένων (x,y) όταν ο ευρυεκπομπέας παρεμβάλλει το κανάλι i . Δηλαδή τα στοιχεία $Z_i(x,y)$ λαμβάνουν

τις τιμές των επιπέδων ACM που χρησιμοποιούνται σε κάθε κυψέλη. Για παράδειγμα, παρατηρώντας στο Σχ. 4.4, για τη κυψέλη συντεταγμένων $(x=3, y=2)$ το διάνυσμα Z λαμβάνει τη τιμή $Z_1(3,2) = 4$, όταν ο ευρυεκπομπέας παρεμβάλλει στη συγκεκριμένη κυψέλη στο κανάλι 1. Επομένως, το διάνυσμα Z εκφράζει έμμεσα το μέγεθος της παρεμβολής του ευρυεκπομπέα σε κάθε κυψέλη διότι, όσο μικρότερη είναι η παρεμβολή του ευρυεκπομπέα και, κατ' επέκταση, όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος SIR, τόσο υψηλότερο επίπεδο ACM χρησιμοποιείται σε μια κυψέλη. Το διάνυσμα $Z_i(x, y)$ συνδέεται άμεσα με το διάνυσμα $A_i(x, y)$ διότι η επιλογή του επιπέδου ACM σε κάθε κυψέλη αντιστοιχεί, σύμφωνα με τον Πιν.4.1, σε ένα ρυθμό μετάδοσης στη ζεύξη διαβίβασης. Επομένως, στο παράδειγμα του Σχ.4.4, στη κυψέλη συντεταγμένων $(x=3, y=2)$ όπου $Z_1(3,2) = 4$, εφόσον αποδοθεί το κανάλι 1 στη συγκεκριμένη κυψέλη, θα αποδοθεί με χωρητικότητα ζεύξης διαβίβασης $A_1(3,2) = 7.56 Mbps$ (βλ Πιν. 4.1).



Σχήμα 4.4 Παράδειγμα κατανομής σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης σε κυψελωτό σύστημα παρεμβαλλόμενο από παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής.

Στόχος της εργασίας είναι η κατανομή καναλιών σε μη παρεμβαλλόμενες, ανεκτά παρεμβαλλόμενες και πλήρως παρεμβαλλόμενες κυψέλες κατά τρόπο που αποσκοπεί στην όσο το δυνατό μεγαλύτερη φασματική απόδοση συνολικά στο κυψελωτό δίκτυο. Ως πλήρως παρεμβαλλόμενες λογίζονται οι κυψέλες που δεν μπορούν να κάνουν καθόλου χρήση ενός ή περισσότερων καναλιών στα οποία παρεμβάλλονται. Στο Σχ. 4.4, ως πλήρως παρεμβαλλόμενες κυψέλες λογίζονται εκείνες με συντεταγμένες $(x=1, y=3)$ και $(x=10, y=6)$ από τους παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής 1 και 2 αντίστοιχα. Θεωρώντας ότι οι πάροχοι παρεμβάλλουν στα κανάλια 1 και 2, αντίστοιχα, για το διάνυσμα Z ισχύει $Z_1(1,3) = 0$, $Z_2(10,6) = 0$ που αντιστοιχούν σε $A_1(1,3) = 0 Mbps$, $A_2(10,6) = 0 Mbps$. Ως ανεκτά παρεμβαλλόμενες λογίζονται οι κυψέλες που κάνουν περιορισμένη χρήση ενός καναλιού i που τους αποδίδεται

λόγω της παρεμβολής των παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής στο κανάλι αυτό με ένα εκ των επιπέδων ACM 1-11. Στο Σχ. 4.4 όλες οι κυψέλες που κάνουν χρήση του επιπέδου ACM 12 στα κανάλια 1 ή 2 αποτελούν τις μη παρεμβαλλόμενες κυψέλες.

4.2.2 Υλοποίηση γενετικού αλγορίθμου

Το πρώτο στάδιο της υλοποίησης ενός γενετικού αλγορίθμου είναι η δημιουργία ενός αρχικού πληθυσμού. Ο πληθυσμός είναι ένα σύνολο τυχαίων απονομών των διαθέσιμων καναλιών $i, i = 1, 2, \dots, Nch$, σε μια κυψέλη του συστήματος. Η απονομή των καναλιών αναπαριστάται με το διάνυσμα $X(i), i = 1, 2, \dots, Nch$, όπου κάθε στοιχείο του απεικονίζει την τιμή $n = 1, 2, \dots, C$, όπου το n συμβολίζει την κυψέλη στην οποία αποδίδεται στην αρχή κάθε επανάληψης του γενετικού αλγορίθμου το κανάλι i . Για παράδειγμα αν $X(3) = 10$, σημαίνει ότι το κανάλι 3 έχει αποδοθεί στην κυψέλη 10 του κυψελωτού συστήματος.

Εφόσον το κυψελωτό δίκτυο είναι χωρισμένο σε ομάδες των τεσσάρων κυψελών (four-cell clusters) και απαιτείται δίκαιη εκχώρηση του ρυθμού μετάδοσης στις κυψέλες του συστήματος, ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να αξιοποιηθεί σε κυψέλες που δεν παρεμβάλλονται είναι $R/4$, όπου R είναι ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μια ομάδα τεσσάρων κυψελών όταν αυτές δεν παρεμβάλλονται. Καθώς η παρεμβολή των παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής είτε υποβιβάζει τη φασματική απόδοση σε μερικώς παρεμβαλλόμενες κυψέλες είτε καθιστά μη δυνατή τη χρήση ενός καναλιού σε πλήρως παρεμβαλλόμενες κυψέλες, ο προτεινόμενος γενετικός αλγόριθμος επιδιώκει τη βέλτιστη κατανομή των καναλιών ως προς την επίτευξη ρυθμού μετάδοσης σε κάθε κυψέλη όσο το δυνατόν κοντά στη μέγιστη τιμή $R/4$. Οι μη παρεμβαλλόμενες κυψέλες δύνανται να επιτύχουν ρυθμό μετάδοσης μέχρι και $R/4$ ενώ οι μερικώς παρεμβαλλόμενες κυψέλες επιτυγχάνουν μικρότερο ρυθμό μετάδοσης που εξαρτάται από το πλήθος των καναλιών που παρεμβάλλονται στην κυψέλη και από το μέγεθος της παρεμβολής όπως ποσοτικοποιείται μέσω του λόγου SNIR.

Σε κάθε επανάληψη του γενετικού αλγορίθμου, υπολογίζεται η τιμή της καταλληλότητας κάθε λύσης. Προς τούτο εισάγεται το διάνυσμα $E(x,y)$ το οποίο υπολογίζεται στο τέλος κάθε επανάληψης μέσω της σχέσης

$$E(x, y) = \sum_{i=1}^{Nch} A_i(x, y)$$

Κάθε στοιχείο του διανύσματος $E(x,y)$ εκφράζει το συνολικό ρυθμό μετάδοσης που αποδίδεται στη κυψέλη με συντεταγμένες (x,y) . Η συνάρτηση καταλληλότητας εκφράζεται ως

$$I = \left| \sum_{x=1}^{dimx} \sum_{y=1}^{dimy} (E(x, y) - R/4) \right|$$

όπου R ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να αποδοθεί σε μια ομάδα τεσσάρων κυψελών (four-cell cluster) όταν καμία κυψέλη του συστήματος δεν παρεμβάλλεται από πάροχο υπηρεσιών ευρυεκπομπής και οι ζεύξεις σε όλα τα κανάλια λειτουργούν με το μεγαλύτερο επίπεδο ACM (επίπεδο 12). Σε αυτή τη περίπτωση όλα τα κανάλια λειτουργούν με ρυθμό μετάδοσης 22.69 Mbps, που αντιστοιχεί στο επίπεδο ACM 12, και λόγω της απόδοσης N_{ch} καναλιών σε κάθε ομάδα τεσσάρων κυψελών ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης γίνεται $R=N_{ch} \cdot 22.69$. Σε μια δίκαιη κατανομή ρυθμού μετάδοσης στις επιμέρους κυψέλες μιας ομάδας κυψελών, βασική επιδίωξη είναι η απονομή συνολικού ρυθμού μετάδοσης σε κάθε κυψέλη ίση με R/k , όπου k το μέγεθος μιας ομάδας κυψελών. Στην παρούσα περίπτωση όπου εξετάζονται τετραγωνικές κυψέλες $k=4$. Επομένως, η συγκεκριμένη συνάρτηση καταλληλότητας έχει επιλεγεί διότι επιδιώκεται ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης κάθε κυψέλης να είναι όσο το δυνατό πλησιέστερα στη τιμή $R/4$.

Προκειμένου να μετρηθεί πόσο δίκαια οι υποψήφιες λύσεις κατανέμουν τα κανάλια στις κυψέλες του δικτύου εισάγεται ο δείκτης δικαιοσύνης του *Jain* που ορίζεται μέσω της σχέσης

$$JFI = \frac{|\sum_{x=1}^{dimx} \sum_{y=1}^{dimy} E(x,y)|^2}{dimx \cdot dimy \sum_{x=1}^{dimx} \sum_{y=1}^{dimy} E(x,y)^2}$$

και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών $\frac{1}{dimx \cdot dimy}$ στην χειρότερη περίπτωση όταν έχει αποδοθεί σε μια κυψέλη συντεταγμένων (x,y) ρυθμός μετάδοσης $E(x,y) > 0$ και σε όλες τις άλλες κυψέλες μηδενικός ρυθμός μετάδοσης και 1 στην καλύτερη περίπτωση όταν όλες οι κυψέλες λαμβάνουν τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης και απουσιάζει η παρεμβολή των παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής. Άρα, η τιμή $JFI=1$ σημαίνει μια πλήρως δίκαιη κατανομή.

4.3 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.3.1 Εισαγωγή

Στην προσομοίωση που πραγματοποιείται, το κυψελωτό δίκτυο αποτελείται από $C=100$ τετραγωνικές κυψέλες. Έχει προτιμηθεί το τετραγωνικό σχήμα των κυψελών έναντι των εξαγωνικών, που συνήθως χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία, καθώς προσφέρουν μια απλούστερη περιγραφή του συνολικού κυψελωτού δικτύου. Ο προτεινόμενος γενετικός αλγόριθμος αναμένεται να αποδώσει παρόμοια αποτελέσματα αν ως σχήμα των κυψελών υιοθετηθεί το εξαγωνικό. Το κυψελωτό δίκτυο παρεμβάλλεται από πάροχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής οι οποίοι χρησιμοποιούν δύο κανάλια του κυψελωτού δικτύου παρεμβάλλοντας ομοδιαυκτικά σε όλο το εύρος των κοινών διαύλων. Το μέγεθος της παρεμβολής ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή και σύμφωνα με τις παραδοχές που έχουν γίνει εξαρτάται αποκλειστικά από την απόσταση μεταξύ παρεμβολέα και παρεμβαλλόμενου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κινητοί χρήστες σε μακρινή απόσταση από τους παρεμβολείς να

λειτουργούν υπό υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης έναντι κινητών χρηστών σε κοντινή απόσταση αφού μπορούν να χρησιμοποιήσουν μίγμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης υψηλότερης φασματικής απόδοσης. Οι κινητοί χρήστες λαμβάνουν δεδομένα από το σταθμό βάσης με ρυθμό μετάδοσης που αντιστοιχεί στο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται. (βλ. Πιν.4.1).

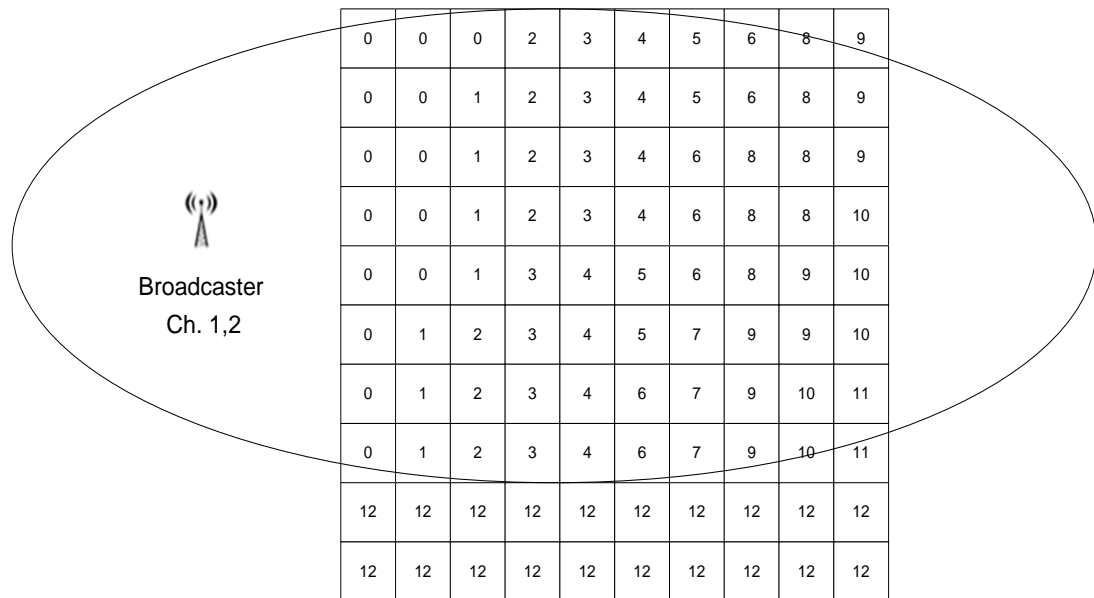
Όταν το κυψελωτό δίκτυο δεν παρεμβάλλεται, ο γενετικός αλγόριθμος κατανέμει το ρυθμό μετάδοσης δίκαια στις κυψέλες με $JFI = 1$ και ο ρυθμός μετάδοσης του σταθμού βάσης προς τους χρήστες είναι για όλα τα κανάλια 22.69 Mbps που αντιστοιχεί στο σχήμα ACM επιπέδου 12. Όμως, όταν το κυψελωτό δίκτυο παρεμβάλλεται, ο γενετικός αλγόριθμος αποδίδει στα κανάλια που παρεμβάλλονται μερικώς (ή πλήρως) ACM επιπέδου μικρότερου του 12 (ή 0) αλλά το κάνει βέλτιστα μεγιστοποιώντας το μέσο ρυθμό μετάδοσης.

4.3.2 Επιλογή πληθυσμού

Οι γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούν μέθοδο επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης και συντηρούν ένα πληθυσμό πιθανών λύσεων $P(t) = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)\}$ για κάθε επανάληψη t κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής τους. Κάθε προτεινόμενη λύση $X_i(t)$, $i=1,2,\dots,N$, όπου N το πλήθος το προτεινόμενων λύσεων κάθε επανάληψης, αποτελεί πιθανή λύση του προβλήματος η καταλληλότητα της οποίας εκτιμάται από τη συνάρτηση καταλληλότητας. Κατ' επέκταση, σε κάθε επανάληψη γίνεται εκτίμηση των προτεινόμενων λύσεων $X_i(t)$, $i=1,2,\dots,N$, και μεταξύ αυτών και των παλαιών $X_i(t-1)$, $i=1,2,\dots,N$, συνεχίζουν κάθε φορά εκείνες με τη μεγαλύτερη καταλληλότητα. Η επιλογή του πλήθους των προτεινόμενων λύσεων, γνωστή ως *πληθυσμός* ενός γενετικού αλγορίθμου, παίζει σημαντικό ρόλο για την εύρεση της βέλτιστης λύσης διότι, όσο μεγαλύτερος είναι, δημιουργεί μεγαλύτερη πιθανότητα να βρεθεί βέλτιστη λύση, δεδομένου ότι αυξάνεται ο χώρος των πιθανών λύσεων. Όμως, η αύξηση του πληθυσμού αυξάνει την πολυπλοκότητα εκτέλεσης του αλγορίθμου με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο χρόνος εκτέλεσης και η μνήμη που απαιτείται για την εκτέλεσή του. Επομένως, η επιλογή του πληθυσμού P πρέπει να είναι τέτοια έτσι ώστε να βρίσκεται η βέλτιστη δυνατή λύση με το μικρότερο υπολογιστικό κόστος και τη μικρότερη πολυπλοκότητα.

Στο Σχ.4.4 απεικονίζεται η υποθετική περίπτωση όπου ένα κυψελωτό σύστημα $C=100$ κυψελών τετραγωνικής μορφής που ομαδοποιούνται σε ομάδες των τεσσάρων και διαστάσεων $\dim_x = \dim_y = 10$ παρεμβάλλεται από πάροχο υπηρεσιών ευρυεκπομπής σε 80 κυψέλες στα κανάλια 1 και 2. Η παρεμβολή των παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής σε αυτή την περίπτωση θεωρείται μικρότερη καθώς αυξάνεται η διάσταση \dim_x των κυψελών λόγω μεγαλύτερης απόστασης από τον παρεμβολέα. Θεωρείται, επίσης ότι διατίθενται $N_{ch}=20$ κανάλια για απονομή στο σύστημα. Ο αλγόριθμος εκτελείται για πληθυσμό $P=5,10,20,30,40$ και σύμφωνα με αυτές τις προσομοιώσεις καταρτίζεται ο Πιν.4.2 ο οποίος καταγράφει το συνολικό ρυθμό μετάδοσης και δείκτη JFI για κάθε πληθυσμό. Ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης

προκύπτει ως το συνολικό άθροισμα των ρυθμών μετάδοσης $E(x,y)$ κάθε κυψέλης συντεταγμένων (x,y) .



Σχήμα 4.5 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται ογδόντα κυψέλες

Μέγεθος πληθυσμού	5	10	20	30	40
Συνολική χωρητικότητα (Mbps)	10790	10806	10814	10820	10820
$\sum_{x=1}^{dimx} \sum_{y=1}^{dimy} E(x,y)$					
Δείκτης JFI	0.9843	0.9949	0.9950	0.9955	0.9955

Πίνακας 4.2 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης αποδιδόμενος σε δίκτυο με $n=100$ κυψέλες και δείκτης JFI όταν παρεμβάλλονται 80 κυψέλες σε δύο κανάλια για συνολικό αριθμό καναλιών $N_{ch}=20$

Στην ίδια τοπολογία του δικτύου του Σχ.4.4 πραγματοποιούνται εκτελέσεις του γενετικού αλγόριθμου για πληθυσμούς $P=20,30,40,50$ όταν διατίθενται $N_{ch}=28$ κανάλια για απονομή στο δίκτυο και τα αντίστοιχα αποτελέσματα φαίνονται στον Πιν.4.3.

Μέγεθος πληθυσμού	5	10	20	30	40
Συνολική χωρητικότητα (Mbps)	15350	15365	15365	15381	15381
$\sum_{x=1}^{dimx} \sum_{y=1}^{dimy} E(x, y)$					
Δείκτης JFI	0.9855	0.9960	0.9960	0.9975	0.9975

Πίνακας 4.3 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης αποδιδόμενος σε δίκτυο με $n=100$ κυψέλες και δείκτης JFI όταν παρεμβάλλονται 80 κυψέλες σε δύο κανάλια για συνολικό αριθμό καναλιών $N_{ch}=28$

Παρατηρώντας τους Πιν 4.2 και 4.3 προκύπτει ότι ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης παρουσιάζει μικρές μεταβολές ενώ ο δείκτης JFI αυξάνεται ελαφρώς με την αύξηση του πληθυσμού. Συγκεκριμένα, ο δείκτης JFI αυξάνεται κατά περίπου 0.01 κατά την αύξηση του πληθυσμού από $P=5$ σε $P=10$ και στις δύο περιπτώσεις ενώ κατά την αύξηση του πληθυσμού από $P=10$ σε $P=20,30$ και 40 αυξάνεται ελαφρώς ή παραμένει σταθερός. Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη τις μικρές και ασήμαντες μεταβολές του συνολικού ρυθμού μετάδοσης και του δείκτη JFI διαπιστώνεται ανεξαρτησία της λύσης από το P για $P \geq 10$. Άρα, προκειμένου οι εκτελέσεις των γενετικών αλγορίθμων να είναι οι βέλτιστες δυνατές με το μικρότερο υπολογιστικό κόστος και τη μικρότερη πολυπλοκότητα επιλέγεται ο πληθυσμός $P=10$ για την εκτέλεση των προσομοιώσεων της εργασίας.

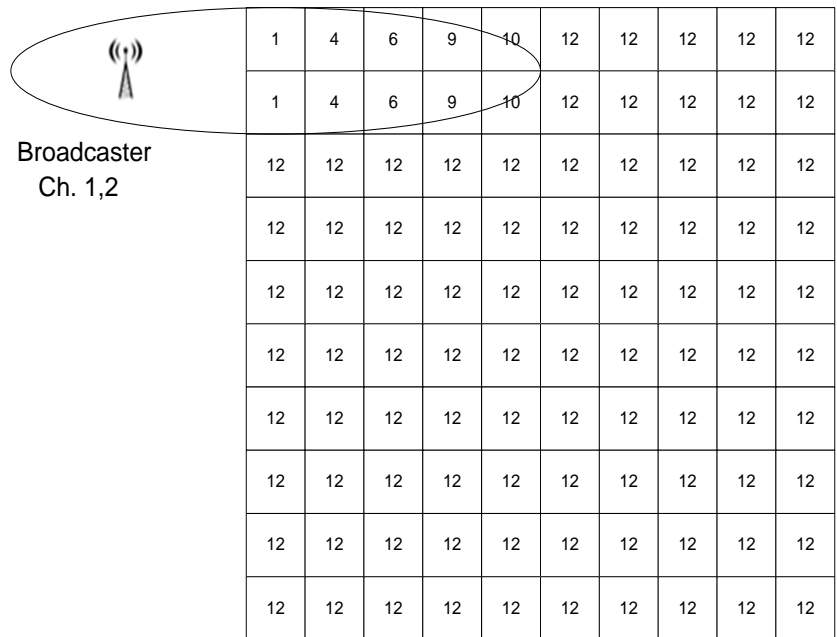
4.3.3 Παρεμβολή από έναν πάροχο υπηρεσιών ευρυεπομπής

Στο εδάφιο αυτό μελετάται το πρόβλημα της απονομής καναλιών σε τετραγωνικό κυψελωτό σύστημα με $C=100$ κυψέλες που παρεμβάλλεται από έναν πάροχο υπηρεσιών ευρυεκπομπής. Εξετάζονται δύο σενάρια. Στο πρώτο σενάριο (σενάριο 1) το κυψελωτό σύστημα χρησιμοποιεί δώδεκα επίπεδα ACM όπως αναφέρονται στον Πιν.4.1 ενώ στο δεύτερο (σενάριο 2) χρησιμοποιεί το μισό πλήθος επιπέδων ACM .

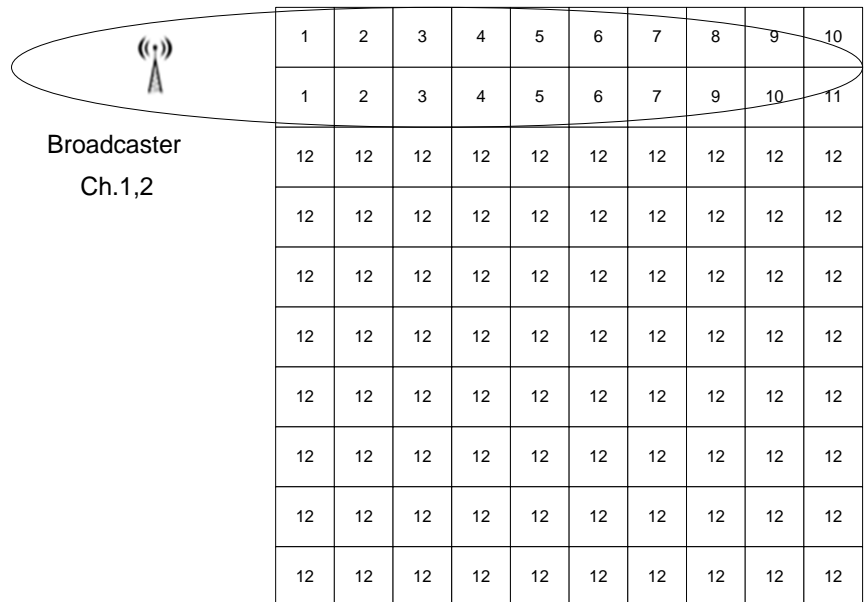
4.3.3.1 Λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM

Υπό το σενάριο 1 το κυψελωτό σύστημα κάνει χρήση δώδεκα επιπέδων ACM σύμφωνα με τον Πιν.4.1. Ο πάροχος υπηρεσιών ευρυεκπομπής παρεμβάλει το κυψελωτό δίκτυο σε δύο κανάλια. Στα Σχ.4.6, 4.7, 4.8 και 4.9 απεικονίζονται οι δείκτες επιπέδων ACM στις υποθετικές περιπτώσεις όπου ο πάροχος υπηρεσιών ευρυεκπομπής παρεμβάλει σε 10, 20, 40 και 80 κυψέλες αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον Πιν.4.4 όπου απεικονίζεται ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης του συστήματος και ο δείκτης JFI που προκύπτει για κάθε

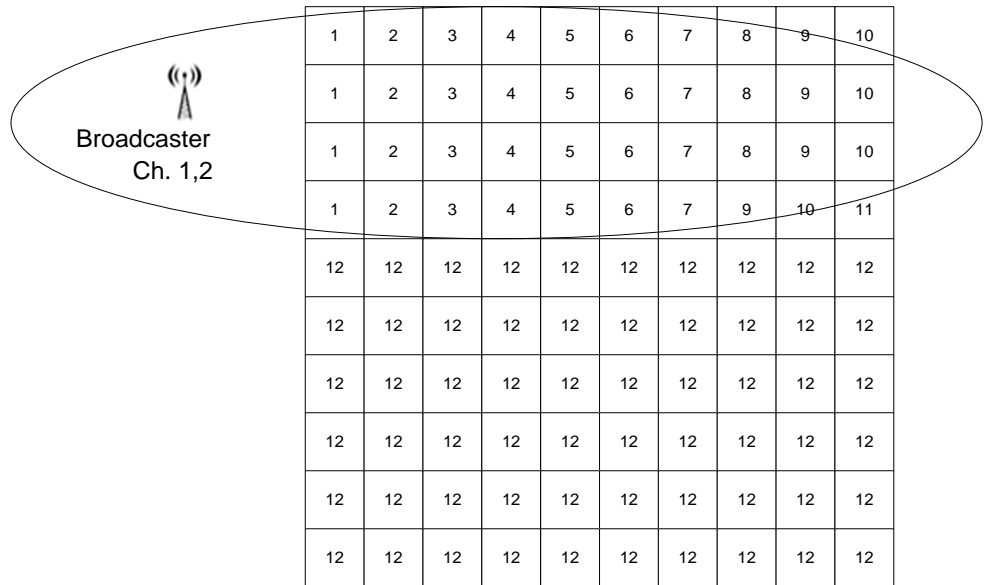
περίπτωση όταν διατίθενται στο σύστημα $N_{ch}= 20,24,28$ κανάλια και παρεμβάλλονται $B=0,10,20,40$ και 80 κυψέλες.



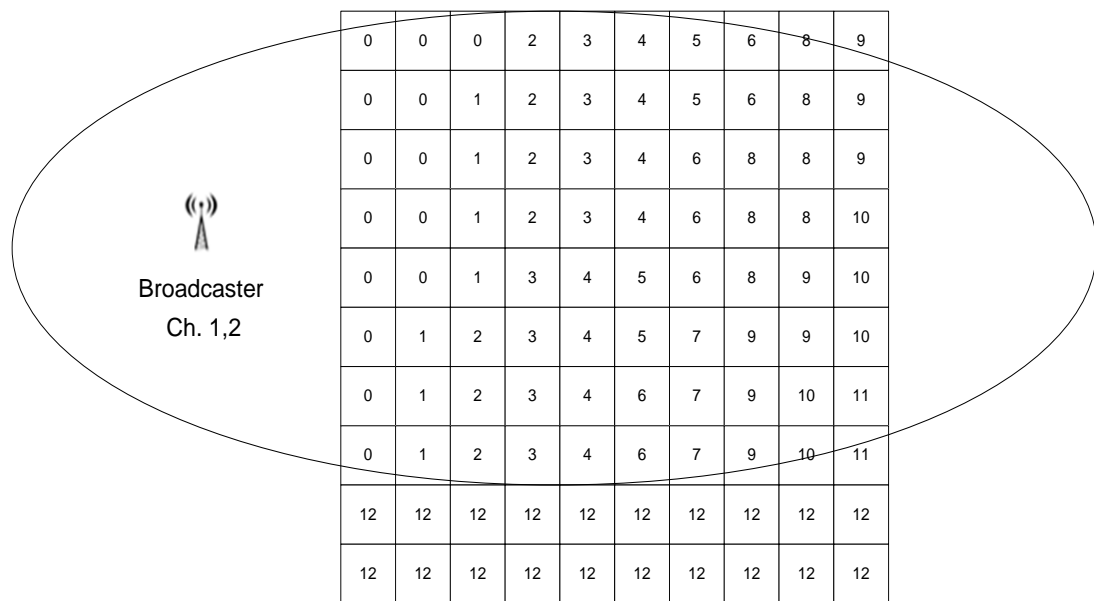
Σχήμα 4.6 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται δέκα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM



Σχήμα 4.7 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται είκοσι κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM



Σχήμα 4.8 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται σαράντα κυψέλες του κυψελοτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM



Σχήμα 4.9 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται ογδόντα κυψέλες του κυψελοτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM

Nch \ B	20		24		28	
	Συνολικός ρυθμός μετάδοσης (Mbps)	Δείκτης JFI	Συνολικός ρυθμός μετάδοσης (Mbps)	Δείκτης JFI	Συνολικός ρυθμός μετάδοσης (Mbps)	Δείκτης JFI
0	11345	1	13614	1	15883	1
10	11297	0.9995	13569	0.9997	15835	0.9994
20	11241	0.9990	13510	0.9993	15779	0.9995
40	11136	0.9982	13405	0.9987	15673	0.9989
80	10806	0.9949	13116	0.9966	15365	0.9960


Πίνακας 4.4 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης και δείκτης JFI όταν αποδίδονται στο σύστημα Nch=20,24 και 28 κανάλια για περιπτώσεις παρεμβολής B=0,10,20,40 και 80 κυψελών με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM

Όταν δεν παρεμβάλλεται καμία κυψέλη του συστήματος, όλοι οι σταθμοί βάσης χρησιμοποιούν το επίπεδο ACM 12 για τη μετάδοση όλων των καναλιών που τους διατίθενται. Επομένως, ο ρυθμός μετάδοσης των σταθμών βάσης σε κάθε κανάλι είναι 22.69 Mbps. Για παράδειγμα, όταν διατίθενται στο κυψελωτό σύστημα Nch=20 κανάλια, μια ομάδα τεσσάρων κυψελών (four-cell cluster), στην οποία αποδίδονται Nch κανάλια, έχει συνολική χωρητικότητα $R = Nch \times 22.69 \text{ Mbps} = 453.8 \text{ Mbps}$. Επομένως, διατίθεται σε κάθε κυψέλη της ομάδας $R/4 = 113.45 \text{ Mbps}$. Επειδή όλες οι κυψέλες είναι 100, προκύπτει ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης του κυψελωτού συστήματος ίσος με $100 \times R/4 = 11345 \text{ Mbps}$. Με τον ίδιο τρόπο προκύπτει συνολικός ρυθμός μετάδοσης 13614 Mbps και 15883 Mbps όταν αποδίδονται στο σύστημα 24 και 28 κανάλια αντίστοιχα. Επίσης, στην περίπτωση μη παρεμβολής παρόχου υπηρεσιών ευρυεκπομπής, η συνάρτηση καταλληλότητας ελαχιστοποιείται και γίνεται 0, αποδίδονται σε κάθε κυψέλη Nch/4 κανάλια και ισχύει ότι ο ρυθμός μετάδοσης οποιασδήποτε κυψέλης συντεταγμένων (x,y), γίνεται $E(x,y) = R/4$. Επειδή όλες οι κυψέλες έχουν τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης, ο δείκτης γίνεται JFI=1 που δηλώνει μια πλήρως δίκαιη κατανομή.

Όμως, όταν παρεμβάλλονται κυψέλες του συστήματος, σύμφωνα με τα Σχ.4.6,4.7,4.8 και 4.9, ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης μειώνεται λόγω του ότι στις κυψέλες όπου παρεμβάλλονται τα κανάλια 1 και 2 χρησιμοποιούνται κατά φασματικά λιγότερο αποδοτικό τρόπο, δηλαδή με ένα εκ των επιπέδων ACM 1 έως 11 ή δεν χρησιμοποιούνται καθόλου (επίπεδο ACM 0). Επίσης, για τον δείκτη JFI ισχύει ότι $0.99 < JFI < 1$. Ο δείκτης JFI είναι μικρότερος της μονάδας διότι η περιορισμένη χρήση των καναλιών 1 και 2 δεν επιτρέπει σε όλες τις κυψέλες να χρησιμοποιούν τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης. Όμως, το ότι λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες του 0.99 καταδεικνύει ότι ο γενετικός αλγόριθμος του σχήματος απονέμει τα κανάλια στις κυψέλες του συστήματος κατά δίκαιο τρόπο.

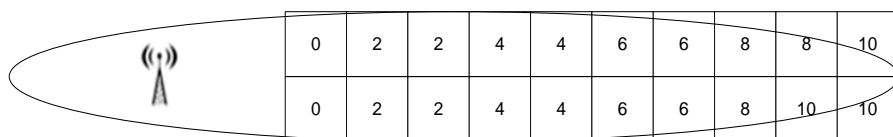
4.3.3.2 Λειτουργία έξι επιπέδων ACM

Στο σενάριο 2 προσομοιώνονται οι περιπτώσεις των Σχ.4.6, 4.7, 4.8 και 4.9 με τη λειτουργία έξι επιπέδων ACM. Τα έξι επίπεδα που χρησιμοποιεί το κυψελωτό σύστημα είναι τα 2,4,6,8,10,12. Αυτό σημαίνει ότι οι κυψέλες όπου τα παρεμβαλλόμενα κανάλια 1 και 2 χρησιμοποιούνται με ένα εκ των επιπέδων 1,3,5,7,9,11 δεν μπορούν πλέον να χρησιμοποιήσουν τα ίδια επίπεδα. Επομένως, πρέπει σε εκείνες τις κυψέλες να υποβιβαστεί το επίπεδο στο αμέσως χαμηλότερο προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ένα εκ των επιπέδων (0,2,4,6,8,10,12). Για παράδειγμα, έστω ότι σε μια κυψέλη χρησιμοποιείται το επίπεδο 9 για τη μετάδοση στα κανάλια 1 και 2 όταν λειτουργούν δώδεκα επίπεδα ACM. Στη λειτουργία με έξι επίπεδα ACM, ο σταθμός βάσης της κυψέλης θα αναγκαστεί να μεταδώσει με το αμέσως χαμηλότερο επίπεδο, δηλαδή το επίπεδο 8, διότι αυτό είναι το επίπεδο με την αμέσως μικρότερη φασματική απόδοση που δύναται να χρησιμοποιηθεί στα κανάλια 1 και 2 δεδομένης της παρεμβολής του παρόχου υπηρεσιών ευρυεκπομπής και κατ' επέκταση του λόγου SNIR. Επομένως, στις περιπτώσεις των Σχ. 4.6, 4.7, 4.8 και 4.9 στις κυψέλες όπου χρησιμοποιούνται τα επίπεδα ACM 1,3,5,7,9,11 χρησιμοποιούνται τα επίπεδα 0,2,4,6,8,10 αντίστοιχα και έτσι προκύπτουν τα σενάρια των Σχ.4.10, 4.11, 4.12, 4.13. Τα αποτελέσματα σχετικά με το συνολικό ρυθμό μετάδοσης και το δείκτη JFI απεικονίζονται στον Πιν.4.5 για κάθε μια εκ των περιπτώσεων $N_{ch}=20,24$ και 28 καναλιών.



0	4	6	8	10	12	12	12	12	12	12
0	4	6	8	10	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

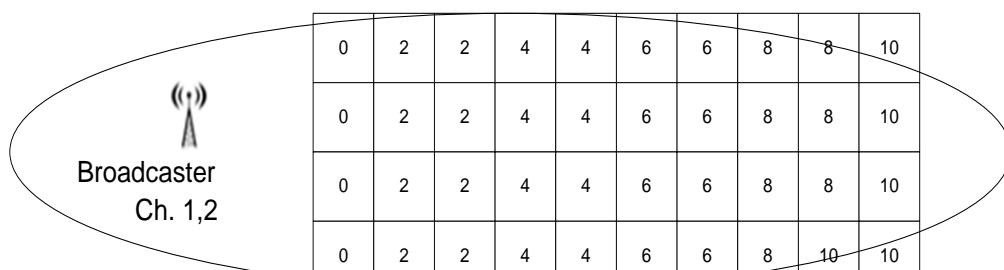
Σχήμα 4.10 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται δέκα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία έξι επιπέδων ACM



Broadcaster
Ch.1,2

0	2	2	4	4	6	6	8	8	10
0	2	2	4	4	6	6	8	10	10
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

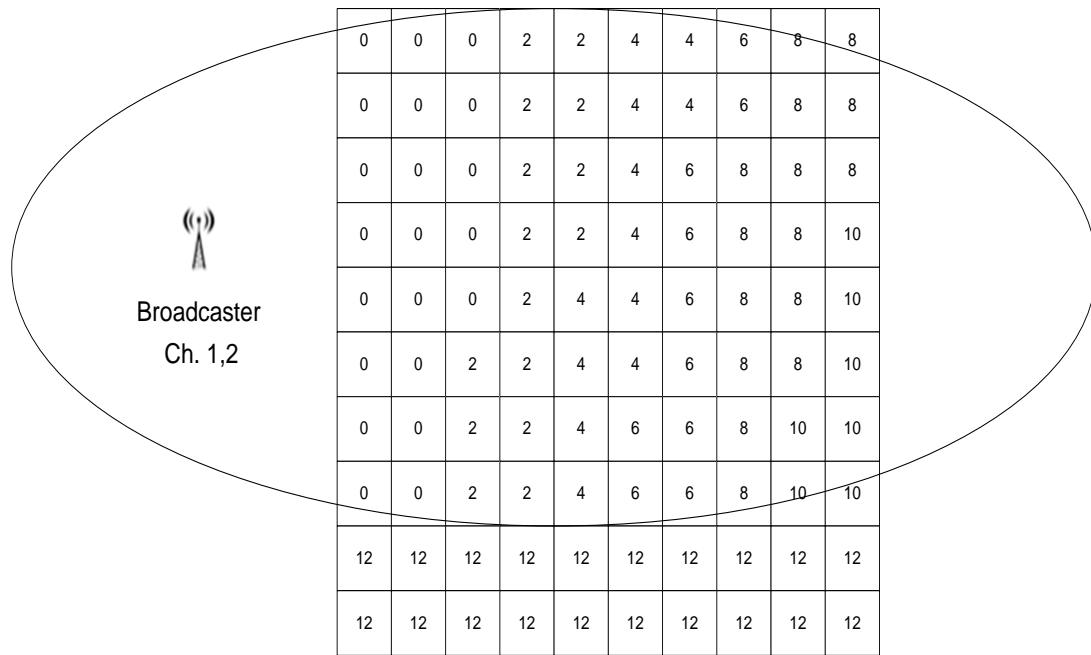
Σχήμα 4.11 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται είκοσι κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία έξι επιπέδων ACM



Broadcaster
Ch. 1,2

0	2	2	4	4	6	6	8	8	10
0	2	2	4	4	6	6	8	8	10
0	2	2	4	4	6	6	8	8	10
0	2	2	4	4	6	6	8	10	10
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Σχήμα 4.12 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται σαράντα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία έξι επιπέδων ACM



Σχήμα 4.13 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται ογδόντα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία έξι επιπέδων ACM

Nch \ B	20		24		28	
	Συνολικός ρυθμός μετάδοσης (Mbps)	Δείκτης JFI	Συνολικός ρυθμός μετάδοσης (Mbps)	Δείκτης JFI	Συνολικός ρυθμός μετάδοσης (Mbps)	Δείκτης JFI
0	11345	1	13614	1	15883	1
10	11284	0.9993	13559	0.9996	15822	0.9996
20	11236	0.9990	13505	0.9993	15756	0.9993
40	11091	0.9975	13360	0.9983	15653	0.9991
80	10878	0.9954	13097	0.9963	15366	0.9973

Πίνακας 4.5 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης και δείκτης JFI όταν αποδίδονται στο σύστημα Nch=20,24 και 28 κανάλια για περιπτώσεις παρεμβολής B=0,10,20,40 και 80 κυψελών με λειτουργία έξι επιπέδων ACM

4.3.4 Παρεμβολή κυψελωτού συστήματος από δύο παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής

Ένα άλλο σενάριο (σενάριο 3) της εργασίας προκύπτει με τη μελέτη της επίδρασης της παρεμβολής δύο παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής στο κυψελωτό σύστημα. Όπως απεικονίζεται στα Σχ.4.14,4.15,4.16 και 4.17 προσομοιώνονται οι περιπτώσεις όπου δύο πάροχοι υπηρεσιών ευρυεκπομπής παρεμβάλλουν στα κανάλια 1 και 2 σε

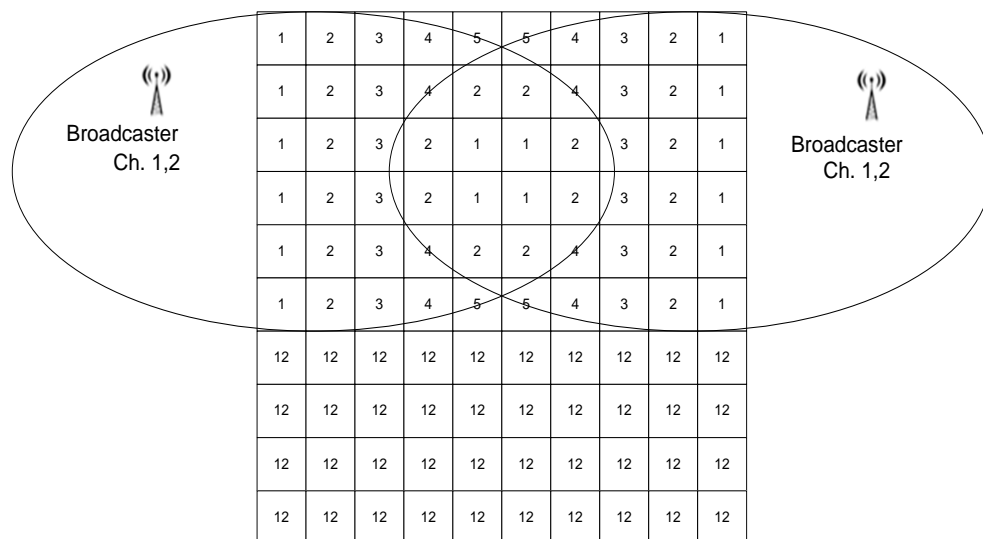
10,20,40 και 80 κυψέλες, αντίστοιχα, ο καθένας και τα αποτελέσματα για το συνολικό ρυθμό μετάδοσης και το δείκτη JFI συγκεντρώνονται στον Πιν.4.6. Στο Σχ.4.14 οι πάροχοι παρεμβάλλουν σε γεωγραφικά μη επικαλυπτόμενες περιοχές σε δέκα κυψέλες έκαστος. Στα Σχ.4.15, 4.16 και 4.17 αυξάνεται ο αριθμός των κυψελών οι οποίες παρεμβάλλονται, με αποτέλεσμα οι δύο πάροχοι υπηρεσιών ευρυεκπομπής να παρεμβάλλονται σε γεωγραφικά επικαλυπτόμενες περιοχές όπου οι κυψέλες που παρεμβάλλονται από δύο παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής κάνουν χρήση χαμηλότερου επιπέδου ACM σε σχέση με τις περιπτώσεις εκείνες όπου παρεμβάλλονται από έναν πάροχο υπηρεσιών ευρυεκπομπής. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του σεναρίου 3 γίνονται περισσότερο κατανοητά στο υποκεφάλαιο 4.4 όπου γίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των τριών σεναρίων

	1	4	6	9	10	10	9	6	4	1	
	1	4	6	9	10	10	9	6	4	1	
Broadcaster Ch. 1,2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Broadcaster Ch. 1,2
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	

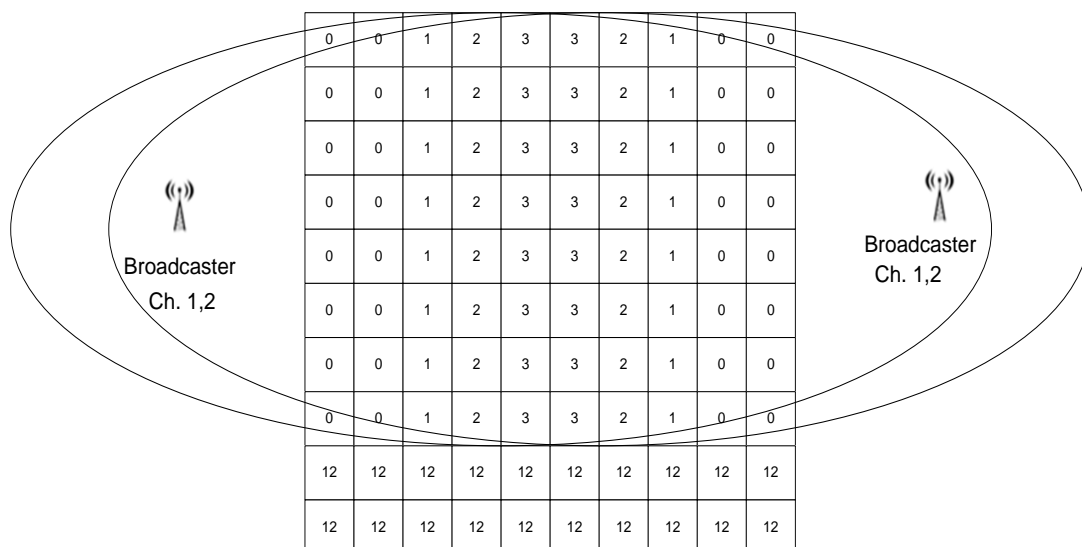
Σχήμα 4.14 Επίπεδα ACM όταν κάθε πάροχος υπηρεσιών ευρυεκπομπής παρεμβάλλει δέκα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM

	1	2	3	4	5	5	4	3	2	1	
	1	2	3	4	2	2	4	3	2	1	
	1	2	3	4	5	5	5	3	2	1	
Broadcaster Ch.1,2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Broadcaster Ch.1,2
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	

Σχήμα 4.15 Επίπεδα ACM όταν κάθε πάροχος υπηρεσιών ευρυεκπομπής παρεμβάλλει είκοσι κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM



Σχήμα 4.16 Επίπεδα ACM όταν κάθε πάροχος υπηρεσιών ευρυεκπομπής παρεμβάλλει σαράντα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM



Σχήμα 4.17 Επίπεδα ACM όταν κάθε πάροχος υπηρεσιών ευρυεκπομπής παρεμβάλλει ογδόντα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM

B \ Nch	20		24		28	
	Συνολικός ρυθμός μετάδοσης (Mbps)	Δείκτης JFI	Συνολικός ρυθμός μετάδοσης (Mbps)	Δείκτης JFI	Συνολικός ρυθμός μετάδοσης (Mbps)	Δείκτης JFI
0	11345	1	13614	1	15883	1
10	11235	0.9989	13504	0.9992	15773	0.9994
20	11168	0.9977	13437	0.9984	15706	0.9988
40	10991	0.9957	13260	0.9973	15529	0.9979
80	10563	0.9915	12832	0.9942	15101	0.9924

Πίνακας 4.6 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης και δείκτης JFI όταν αποδίδονται στο σύστημα Nch=20,24 και 28 κανάλια για περιπτώσεις παρεμβολής B=0,10,20,40 και 80 κυψελών με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM

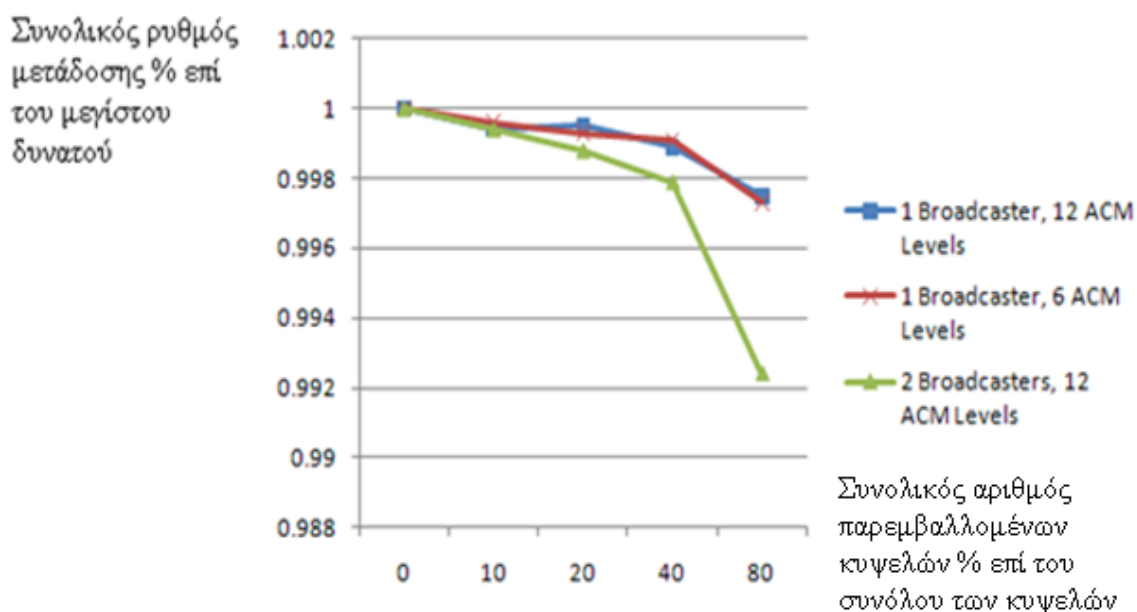
4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των τριών σεναρίων συμβάλλει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τη λειτουργία ενός κυψελωτού συστήματος που παρεμβάλλεται από παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής. Επιδίωξη του γενετικού αλγορίθμου της εργασίας είναι η απονομή καναλιών σε ένα κυψελωτό σύστημα. Ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης και ο δείκτης δικαιοσύνης JFI εκφράζουν το αποτέλεσμα της επιδίωξης αυτής καθώς δείχνουν το μέγεθος του ρυθμού μετάδοσης που αποδόθηκε σε όλο το σύστημα καθώς επίσης και το πόσο δίκαια αποδόθηκε σε συνολική θεώρηση.

Στα Σχ.4.18,4.19 και 4.20 απεικονίζεται ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης % επί του μεγίστου δυνατού που αποδίδεται στο κυψελωτό σύστημα συναρτήσει του αριθμού των παρεμβαλλόμενων κυψελών % επί του συνόλου των κυψελών για Nch=20,24 και 28 κανάλια, αντίστοιχα. Και στα τρία σεναρία η αύξηση του αριθμού των παρεμβαλλομένων κυψελών προκαλεί τη μείωση του συνολικού ρυθμού μετάδοσης που αποδίδει ο γενετικός αλγόριθμος στο σύστημα λόγω της μείωσης των μη παρεμβαλλομένων κυψελών και της αύξησης των ανεκτά και πλήρως παρεμβαλλομένων κυψελών στα κανάλια 1 και 2 όπου παρεμβάλλουν οι πάροχοι υπηρεσιών ευρυεκπομπής. Επομένως, με την αύξηση των πλήρως παρεμβαλλομένων και των ανεκτά παρεμβαλλομένων κυψελών αυξάνεται ο αριθμός των κυψελών όπου τα κανάλια 1 και 2 δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθόλου καθώς, επίσης, και ο αριθμός των κυψελών όπου γίνεται περιορισμένη χρήση των καναλιών 1 και 2. Δηλαδή, η αύξηση του πλήθους των παρεμβαλλομένων κυψελών προκαλεί τη λειτουργία περισσότερων κυψελών στα κανάλια 1 και 2 με χαμηλότερο επίπεδο ACM.

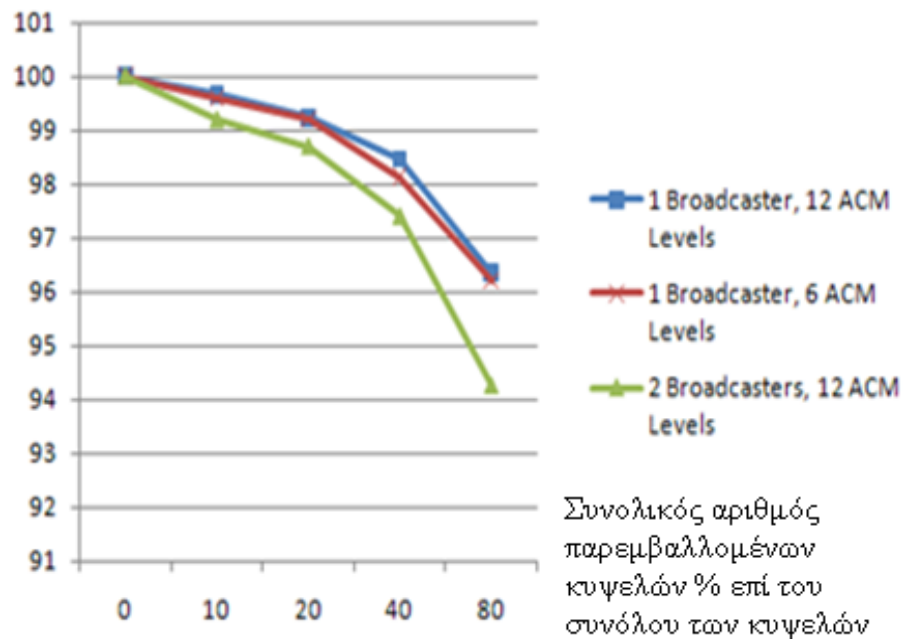
Στο σενάριο 2 ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης που αποδίδεται στο σύστημα είναι ελαφρώς μικρότερος σε σχέση με το σενάριο 1. Αυτό συμβαίνει λόγω της μείωσης του πλήθους των επιπέδων ACM διότι οι κυψέλες που χρησιμοποιούν στο σενάριο 1 κάποιο εκ των επιπέδων ACM 1,3,5,7,9,11 για μετάδοση στα κανάλια 1 και 2 υποβιβάζουν το επίπεδο ACM στο αμέσως χαμηλότερο που χρησιμοποιείται, δηλαδή στα επίπεδα ACM 0,2,4,6,8,10, αντίστοιχα, περιορίζοντας τη χρήση των παρεμβαλλομένων καναλιών 1 και 2.

Στο σενάριο 3 ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης που αποδίδεται στο σύστημα είναι εμφανώς μικρότερος από τα σενάρια 1 και 2. Όπως είναι απόλυτα λογικό, η παρεμβολή δύο παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής προκαλεί λιγότερο αποδοτική χρήση ή και μη χρήση των παρεμβαλλομένων καναλιών 1 και 2 σε ακόμη περισσότερες κυψέλες του συστήματος.



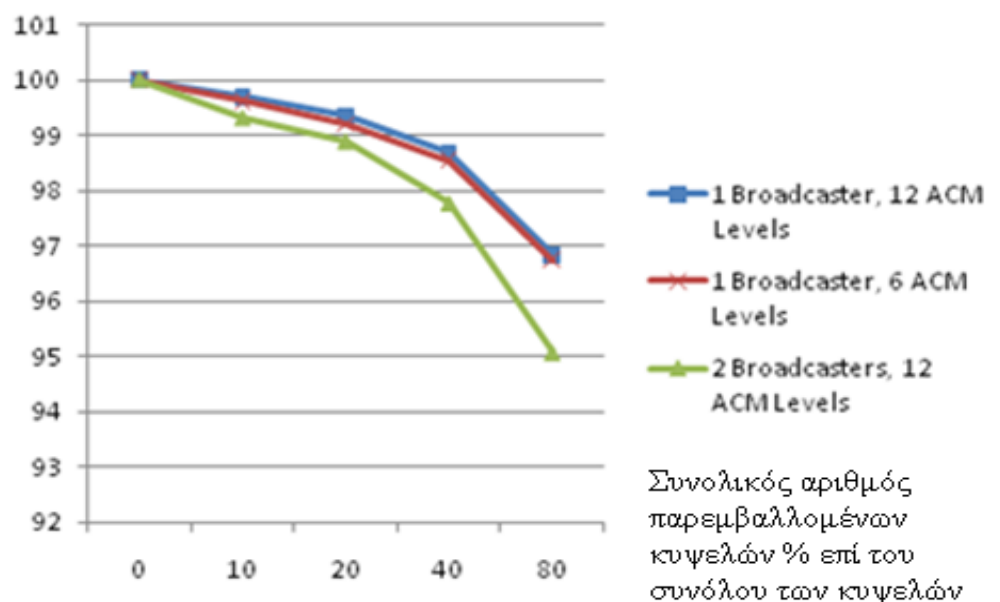
Σχήμα 4.18 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης % επί του μεγίστου δυνατού του κυψελωτού συστήματος συναρτήσει του αριθμού παρεμβαλλόμενων κυψελών % επί του συνόλου των κυψελών για πλήθος καναλιών $N_{ch}=20$ στα τρία διαφορετικά σενάρια

Συνολικός ρυθμός μετάδοσης % επί του μεγίστου δυνατού



Σχήμα 4.19 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης % επί του μεγίστου δυνατού του κυψελωτού συστήματος συναρτήσει του αριθμού παρεμβαλλόμενων κυψελών % επί του συνόλου των κυψελών για πλήθος καναλιών $N_{ch}=24$ στα τρία διαφορετικά σενάρια

Συνολικός ρυθμός μετάδοσης % επί του μεγίστου δυνατού

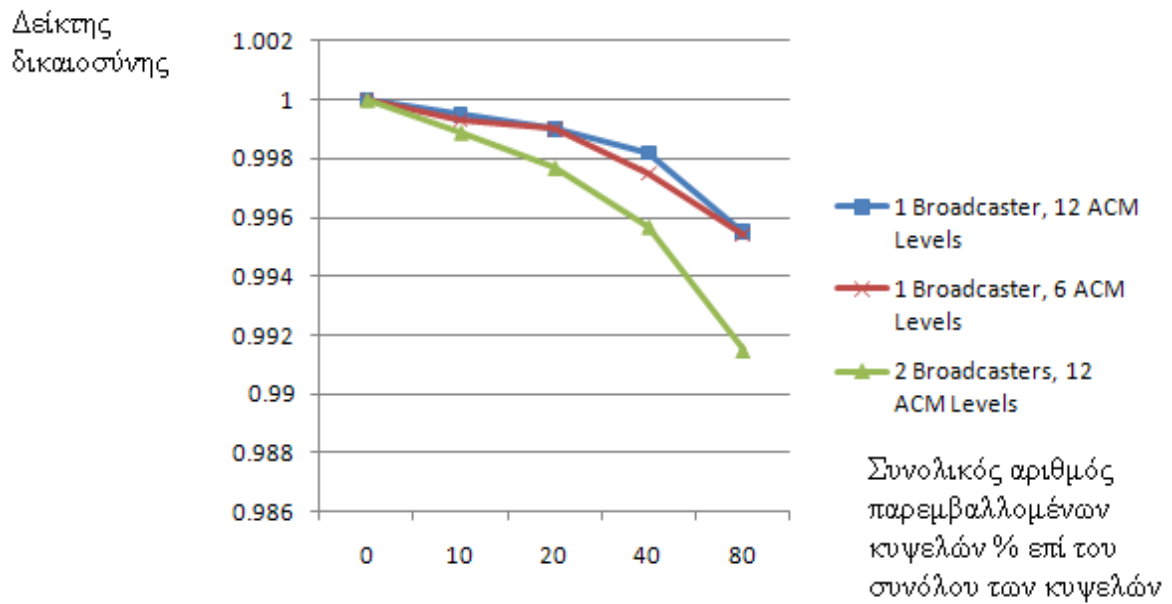


Σχήμα 4.20 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης % επί του μεγίστου δυνατού του κυψελωτού συστήματος συναρτήσει του αριθμού παρεμβαλλόμενων κυψελών % επί του συνόλου των κυψελών για πλήθος καναλιών $N_{ch}=28$ για τα τρία διαφορετικά σενάρια

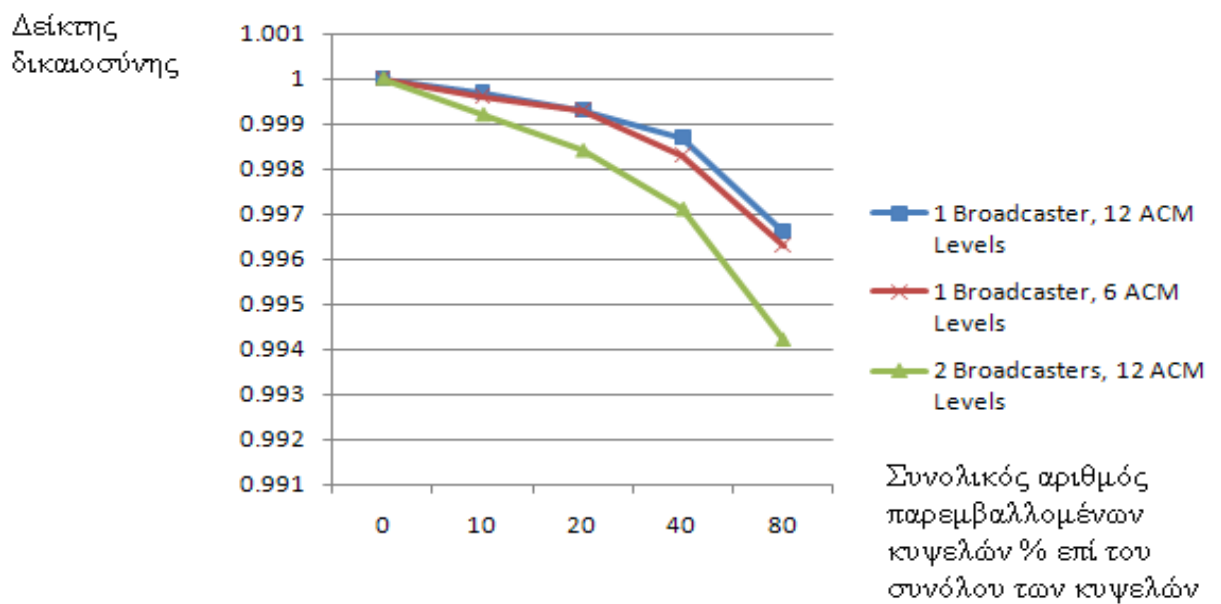
Στα Σχ.4.21,4.22 και 4.23 απεικονίζονται διαγράμματα του δείκτη δικαιοσύνης *Jain's Fairness Index*(JFI) συναρτήσεως του πλήθους παρεμβαλλομένων κυψελών για τις τρεις περιπτώσεις $N_{ch}=20,24$ και 28 καναλιών που διατίθενται στο κυψελωτό σύστημα. Ο γενετικός αλγόριθμος της εργασίας εξασφαλίζει σε όλες τις περιπτώσεις κατανομή του ρυθμού απόδοσης στις επιμέρους κυψέλες του συστήματος με δείκτη δικαιοσύνης JFI μεγαλύτερο του 0.99. Η αύξηση της παρεμβολής (σενάριο 3) και η αύξηση του αριθμού των παρεμβαλλόμενων κυψελών είναι παράγοντες που προκαλούν μείωση του δείκτη δικαιοσύνης.

Η ελάχιστη τιμή του δείκτη δικαιοσύνης εμφανίζεται στο σενάριο 3 όταν ο κάθε πάροχος υπηρεσιών ευρυεκπομπής παρεμβάλλει σε 80 κυψέλες. Παρατηρώντας στο Σχ.4.18 τους δείκτες των επιπέδων ACM που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη περίπτωση γίνεται αντιληπτή η χρήση αρκετά χαμηλών επιπέδων ACM στις παρεμβαλλόμενες κυψέλες σε σχέση με τις μη παρεμβαλλόμενες κυψέλες για τη μετάδοση στα κανάλια 1 και 2.

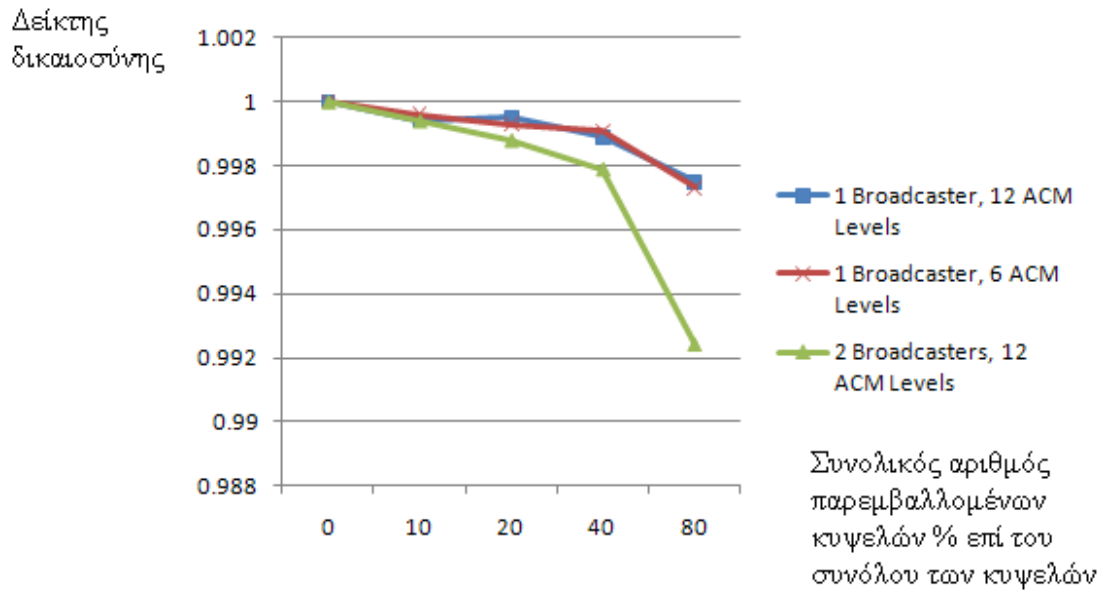
Σύμφωνα με την παραδοχή που έχει γίνει σχετικά με τη μη δυνατότητα χρήσης κοινών καναλιών σε γειτονικές κυψέλες σε μια ομάδα τεσσάρων κυψελών όπου στόχος είναι η **δίκαιη** κατανομή του ρυθμού μετάδοσης μέσω της κατανομής των N_{ch} καναλιών στις επιμέρους κυψέλες, τα δύο κανάλια που παρεμβάλλονται από παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής επιδιώκεται να αποδίδονται σε δύο διαφορετικές κυψέλες της ομάδας και όχι στην ίδια κυψέλη. Επομένως, σε μία ομάδα τεσσάρων κυψελών, της οποίας παρεμβάλλονται όλες οι κυψέλες, δύο κυψέλες κάνουν περιορισμένη χρήση ή μη χρήση(επίπεδο 0-11) ενός καναλιού και πλήρη χρήση(επίπεδο 12) όλων των υπολοίπων, ενώ οι δύο υπόλοιπες κυψέλες κάνουν πλήρη χρήση όλων των καναλιών τους. Άρα, στην περίπτωση αυτή γίνεται αντιληπτό ότι είναι δεδομένη η μη δίκαιη κατανομή ρυθμού μετάδοσης στις επιμέρους κυψέλες μιας ομάδας κυψελών. Επομένως, λόγω της δεδομένης μη δίκαιης κατανομής του ρυθμού μετάδοσης στις επιμέρους κυψέλες μια ομάδα κυψελών, η αύξηση της παρεμβολής σε όλο και περισσότερες κυψέλες, και κατ' επέκταση σε περισσότερες ομάδες κυψελών, αυξάνει τη μη δίκαιη κατανομή του ρυθμού μετάδοσης συνολικά στο σύστημα. Για το λόγο αυτό, μειώνεται ο δείκτης δικαιοσύνης JFI με την αύξηση του αριθμού των παρεμβαλλόμενων καναλιών αλλά και με την αύξηση της παρεμβολής όπως στο σενάριο 3.



Σχήμα 4.21 Δείκτης JFI του κυψελωτού συστήματος συναρτήσει του αριθμού παρεμβαλλόμενων κυψελών % επί του συνόλου των κυψελών για αριθμό καναλιών $N_{ch}=20$ στα τρία διαφορετικά σενάρια



Σχήμα 4.22 Δείκτης JFI του κυψελωτού συστήματος συναρτήσει του αριθμού παρεμβαλλόμενων κυψελών % επί του συνόλου των κυψελών για αριθμό καναλιών $N_{ch}=24$ στα τρία διαφορετικά σενάρια



Σχήμα 4.23 Δείκτης JFI του κυψελωτού συστήματος συναρτήσει του αριθμού παρεμβαλλόμενων κυψελών % επί του συνόλου των κυψελών για αριθμό καναλιών $N_{ch}=28$ στα τρία διαφορετικά σενάρια

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΨΗΦΙΑΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ MPEG

Π.1 MPEG2

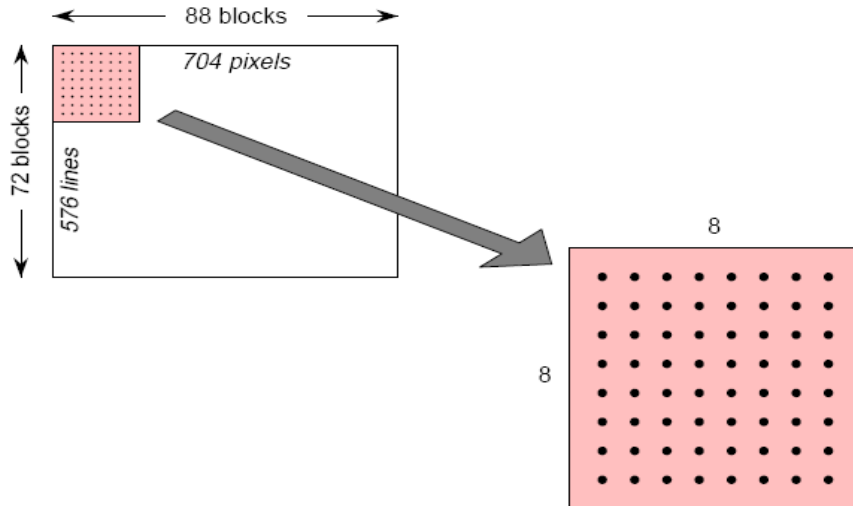
Το πρότυπο MPEG2 αποτελεί προέκταση του προτύπου MPEG1 που έχει σχεδιαστεί για την ψηφιακή συμπίεση δεδομένων σημάτων ήχου και βίντεο. Το πρότυπο MPEG1 σχεδιάστηκε με σκοπό την κωδικοποίηση σημάτων βίντεο με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης (bitrate) μέχρι το 1.5 Mbit/sec για εφαρμογές όπως η CD-i (Compact Disc interactive). Το MPEG2 απευθύνεται σε εφαρμογές ευρυεκπομπής με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Περιλαμβάνει επιπλέον αλγορίθμους για αποδοτικότερη κωδικοποίηση σημάτων βίντεο και υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος ρυθμών μετάδοσης. Συγκεκριμένα, το πρότυπο MPEG2 παρέχει τη δυνατότητα κωδικοποίησης βίντεο κανονικής ευκρίνειας με ρυθμούς δειγματοληψίας στο εύρος τιμών 3-15 Mbits/sec ενώ για την κωδικοποίηση βίντεο υψηλής ευκρίνειας στο εύρος τιμών 15-30 Mbits/sec.

Επίσης, το σύστημα κωδικοποίησης βίντεο του MPEG2 υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Δηλαδή, διαφορετικά αλγοριθμικά εργαλεία έχουν αναπτυχθεί για διαφορετικές εφαρμογές και έχουν ενσωματωθεί σε ολόκληρο το πρότυπο. Η αποκωδικοποίηση των ροών όλων των υπηρεσιών από ένα μόνο αποκωδικοποιητή, καθιστά τη διαδικασία της αποκωδικοποίησης πολύπλοκη και σπάταλη σε εύρος ζώνης διότι οι διαφορετικές υπηρεσίες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά (ρυθμό μετάδοσης, αλγόριθμους κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης, μέγεθος εικόνας, κλπ.). Για το λόγο αυτό, έχουν οριστεί ορισμένες οντότητες του προτύπου που είναι γνωστές ως προφίλ (profile) και επίπεδα (levels). Το προφίλ υποδεικνύει το υποσύνολο των αλγορίθμων που έχουν χρησιμοποιηθεί ενώ το επίπεδο ένα σύνολο περιορισμών στις τιμές των παραμέτρων (π.χ μέγεθος εικόνας, ρυθμός δειγματοληψίας). Επομένως, ένας αποκωδικοποιητής αποκωδικοποιεί μόνο εκείνη τη ροή δεδομένων που χαρακτηρίζεται από το συμβατό προφίλ και επίπεδο.

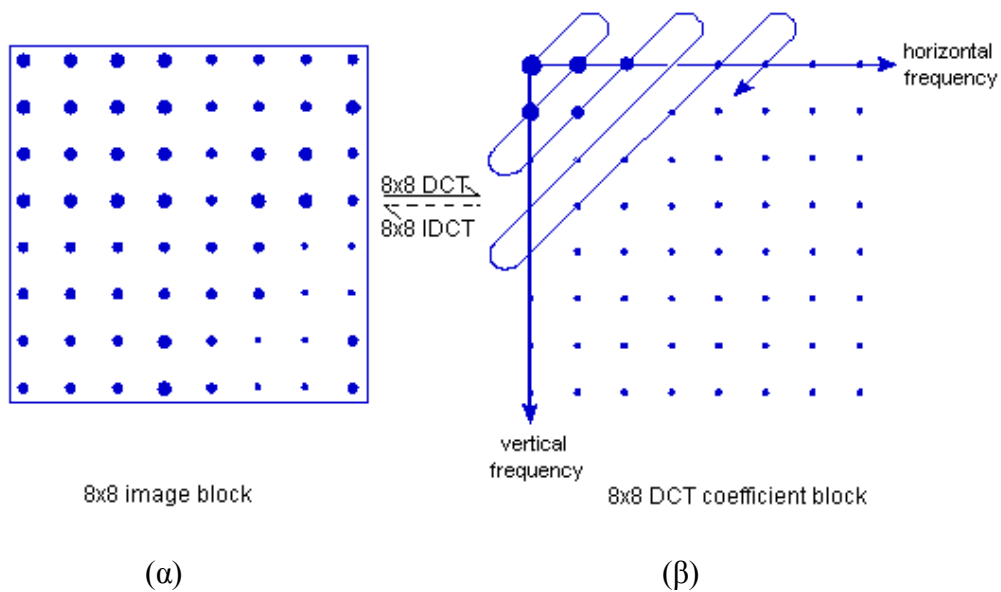
Π.2 Τεχνικές συμπίεσης δεδομένων στην MPEG2

Σε ένα σύστημα MPEG2 χρησιμοποιούνται δύο τεχνικές συμπίεσης των δεδομένων, ο διακριτός μετασχηματισμός συνημιτόνου (discrete cosine transform, DCT) και η *motion compensated inter frame prediction*.

Διακριτός μετασχηματισμός συνημιτόνου: Ένας διακριτός μετασχηματισμός συνημιτόνου δύο διαστάσεων αποτελείται από μικρά μπλοκ που έχουν διαστάσεις 8x8 pixels όπως φαίνεται στο Σχ.Π.1.



Σχήμα Π.1 Διακριτός μετασχηματισμός συνημιτόνου βασισμένος στα μπλοκ 8 pixels x 8 lines. 88 μπλοκ κατά μήκος και 72 μπλοκ κατά πλάτος κατασκευάζουν την εικόνα 704 pixels x 576 lines.



Σχήμα Π.2 Μετασχηματισμός DCT

Στο Σχ.Π.2 φαίνεται ότι ο DCT είναι μια διαδικασία που αντιστοιχίζει την απεικόνιση της εικόνας από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας ενώ ο αντίστροφος DCT (IDCT) αντιστοιχίζει την απεικόνιση από το πεδίο της συχνότητας στο πεδίο του χρόνου. Η σημασία κάθε συνιστώσας στο πεδίο της συχνότητας υποδεικνύει ένα συγκεκριμένο συνδυασμό οριζόντιων και κάθετων χωρικών συχνοτήτων μέσω των οποίων μπορεί να προκύψει η αρχική εικόνα. Η συνιστώσα με τη χαμηλότερη κάθετη και οριζόντια χωρική συχνότητα ορίζεται ως η dc συνιστώσα.

Ο μετασχηματισμός DCT δεν μειώνει αμέσως τον αριθμό των bits που απαιτούνται για την αναπαράσταση του κάθε μπλοκ. Για παράδειγμα, σε ένα μπλοκ 8x8 (Σχ.2),

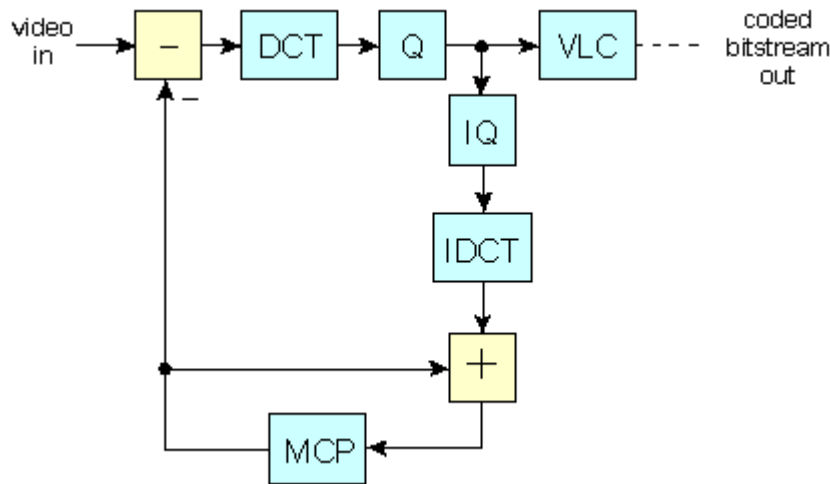
όπου κάθε συνιστώσα αναπαριστάται με 8 bits, ο DCT παράγει ένα μπλοκ 8x8 στο πεδίο της συχνότητας όπου κάθε συνιστώσα αναπαριστάται με 11 bits, δηλαδή τα εύρη των τιμών στο πεδίο της συχνότητας είναι μεγαλύτερα από ότι είναι στο πεδίο του χρόνου. Η μείωση του αριθμού των ψηφίων που μπορούν να περιγράψουν την τελική εικόνα προκύπτει από το γεγονός ότι στις περισσότερες απεικονίσεις η κατανομή των συνιστωσών είναι μη κανονική. Συγκεκριμένα, παρατηρώντας το Σχ.Π.2 γίνεται αντιληπτό ότι οι συνιστώσες στο πεδίο της συχνότητας με την υψηλότερη ενέργεια είναι συγκεντρωμένες στις χαμηλές συχνότητες ενώ οι άλλες συνιστώσες έχουν ενέργεια κοντά στο μηδέν. Η συμπίεση των δεδομένων επιτυγχάνεται με κατάλληλη κβάντιση και κωδικοποίηση των συνιστωσών υψηλής και χαμηλής ενέργειας όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

Κβάντιση: Η λειτουργία του κωδικοποιητή αναφέρεται στη μετάδοση κάθε μπλοκ DCT στον αποκωδικοποιητή με ρυθμό δειγματοληψίας έτσι ώστε να είναι κατάλληλος ο αντίστροφος μετασχηματισμός για την ανακατασκευή της εικόνας. Έχει παρατηρηθεί ότι η αριθμητική ακρίβεια των συνιστωσών στο πεδίο της συχνότητας μπορεί να μειωθεί χωρίς να υπάρχει επίδραση στην ποιότητα της εικόνας που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι. Με αυτόν τον τρόπο, η κβάντιση χρησιμοποιείται για να μειώσει τον αριθμό των πιθανών τιμών των συνιστωσών, μειώνοντας τον αριθμό των απαιτούμενων bits. Συγκεκριμένα, ο βαθμός κβάντισης σε κάθε συνιστώσα εξαρτάται από το θόρυβο κβάντισης που γίνεται αντιληπτός από τον άνθρωπο. Τα σφάλματα λόγω κβάντισης (αποκλίσεις κβαντισμένων τιμών από τις πραγματικές) γίνονται περισσότερο αντιληπτά στις χαμηλές συχνότητες σε σχέση με τις υψηλές. Επομένως, ο βαθμός κβάντισης είναι μεγαλύτερος στις χαμηλές συχνότητες σε σχέση με τις υψηλές με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται περισσότερα bits για την περιγραφή των συνιστωσών χαμηλών συχνοτήτων.

Κωδικοποίηση: Μετά την κβάντιση, τα 8x8 μπλοκ των συνιστωσών DCT σαρώνονται όπως απεικονίζεται στο Σχ.2 (β) προκειμένου να μετατραπεί ο δισδιάστατος πίνακας σε μια ροή σειριακών κβαντισμένων συνιστωσών. Η κωδικοποίηση εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι η ενέργεια συγκεντρώνεται στις χαμηλές συχνότητες και τη συχνή εμφάνιση μηδενικών συνιστωσών. Οι τιμές των συνιστωσών που προκύπτουν από τη σάρωση και κωδικοποιούνται σύμφωνα με έναν κώδικα μεταβλητού μήκους (Variable Length Code, VLC). Κάθε κωδική λέξη αποτελείται από μια σειρά μηδενικών συνιστωσών και μια μη μηδενική συνιστώσα. Το μήκος κάθε κωδικής λέξης εξαρτάται από τη συχνότητα εμφάνισης του κάθε συνδυασμού *Αριθμός μη μηδενικών συνιστωσών/τιμή μη μηδενικής συνιστώσας*. Για συνδυασμούς που έχουν μικρή πιθανότητα εμφάνισης χρησιμοποιούνται κωδικές λέξεις μικρού μήκους ενώ για συνδυασμούς που έχουν συχνή πιθανότητα εμφάνισης χρησιμοποιούνται λέξεις μεγαλύτερου μήκους.

Motion compensated inter frame prediction (MCP): Η τεχνική αυτή επιδιώκει να προβλέψει το πλαίσιο που πρόκειται να κωδικοποιηθεί και να μεταδοθεί μέσω ενός πλαισίου αναφοράς. Ο κωδικοποιητής περιέχει ένα τοπικό αποκωδικοποιητή που ανακατασκευάζει τις εικόνες ακριβώς όπως θα ανακατασκευάζονταν στο δέκτη.

Συγκεκριμένα, η τεχνική αυτή προβλέπει τη διαφορά μεταξύ του πλαισίου αναφοράς και του προβλεπόμενου πλαισίου έτσι ώστε να μετασηματιστεί και να κβαντιστεί μόνο η διαφορά τους και ταυτόχρονα λαμβάνει υπόψη τις χωρικές μεταβολές των blocks μεταξύ των δύο πλαισίων.



Σχήμα Π.3 (I)DCT=(αντίστροφος) DCT, (I)Q=(αντίστροφη)κβαντοποίηση

Στο Σχ.Π.3 φαίνεται η δομή ενός κωδικοποιητή MPEG2 όπου οι τεχνικές DCT και η MCP συνδυάζονται. Συγκεκριμένα, ο κωδικοποιητής αφαιρεί την πρόβλεψη της MCP από την εικόνα προκειμένου να δημιουργηθεί μια εικόνα με τις προβλεπόμενες αποκλίσεις, οι οποίες μετασηματίζονται, κβαντίζονται και κωδικοποιούνται σύμφωνα με τον κώδικα μεταβλητού μήκους VLC. Στον αποκωδικοποιητή, οι κβαντισμένες συνιστώσες DCT υπόκεινται σε αντίστροφο μετασηματισμό DCT και ανακατασκευάζεται η εικόνα των προβλεπόμενων αποκλίσεων. Η εικόνα των προβλεπόμενων αποκλίσεων προστίθεται στην πρόβλεψη MCP προηγούμενων αποκωδικοποιημένων εικόνων έτσι ώστε να παραχθεί η τελική έξοδος στον αποκωδικοποιητή. Κύριο χαρακτηριστικό αυτής της τεχνικής είναι η ιδιότητα να αντισταθμίζει τις παραμορφώσεις λόγω της κίνησης σε ένα σήμα βίντεο μεταξύ του πλαισίου αναφοράς και του πλαισίου που κωδικοποιείται.

Π.3 Διαφορές MPEG2 και MPEG4

Όπως έχει προαναφερθεί οι τεχνικές συμπίεσης MPEG2 και MPEG4 αποτελούν δύο εκδόσεις της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για να συμπιέζονται αρχεία δεδομένων ήχου και βίντεο. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται οι διαφορές ανάμεσα στις τεχνικές συμπίεσης MPEG2 και MPEG4.

Το πρότυπο MPEG2 έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιηθεί στην ψηφιακή τηλεόραση καθώς επίσης και στην τεχνολογία DVD για τη συμπίεση δεδομένων βίντεο. Η ποιότητα του συγκεκριμένου προτύπου είναι περισσότερο ικανοποιητική σε σχέση με το MPEG4 για τις εφαρμογές όπου εφαρμόζεται αλλά δεν έχει σχεδιαστεί για διαδικτυακές εφαρμογές πολυμέσων. Αντίθετα, το πρότυπο MPEG4 έχει σχεδιαστεί

για εφαρμογές μετάδοσης ροών πολυμέσων στο διαδίκτυο και για συσκευές με περιορισμένους πόρους.

Τα αρχεία, που μεταδίδονται με συμπίεση MPEG4 καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο πληροφοριών σε σχέση με αρχεία συμπιεσμένα με MPEG2. Δηλαδή, το MPEG4 αποτελεί μια βελτίωση του MPEG2 ως προς την επίτευξη βέλτιστου συνδυασμού ποιότητας ήχου και εικόνας και μεγέθους δεδομένων. Για αυτό το λόγο το MPEG4 είναι προτιμότερο πρότυπο για συσκευές με περιορισμένους πόρους, διότι η λήψη των αρχείων επιτυγχάνεται ταχύτερα λόγω μικρότερου μεγέθους αρχείων και για τον ίδιο λόγο απαιτείται μικρότερος αποθηκευτικός χώρος. Όπως περιγράφηκε στο Π.1 και Π.2 κατά τη συμπίεση MPEG2 μεταδίδεται ένα πλαίσιο αναφοράς και στη συνέχεια μόνο οι διαφορές των επόμενων πλαισίων με το πλαίσιο αναφοράς. Αντίθετα, η συμπίεση MPEG4 είναι αρκετά πολύπλοκη συγκρινόμενη με την MPEG2 διότι έχει σχεδιαστεί για την επίτευξη ικανοποιητικής ποιότητας βίντεο και εικόνας σε εφαρμογές πολυμέσων στο διαδίκτυο με σχετικά χαμηλό ρυθμό δειγματοληψίας. Συγκεκριμένα, η συμπίεση MPEG4 αφαιρεί πλεονάζοντα ψηφία συγκρίνοντας περισσότερα πλαίσια σε μια χρονική περίοδο σε σχέση με το πρότυπο MPEG2. Στη συμπίεση MPEG4 αφαιρείται περισσότερη πληροφορία σε σχέση με την MPEG2 και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η MPEG2 να παρέχει καλύτερη ποιότητα εικόνας και ήχου. Ο ρυθμός μετάδοσης στα αρχεία συμπιεσμένα με MPEG2 βρίσκεται μεταξύ των τιμών 4 MB έως 9 MB ανά δευτερόλεπτο ενώ στα αρχεία συμπιεσμένα με MPEG4 είναι της τάξης μερικών KB ανά δευτερόλεπτο. Επίσης, όπως είναι λογικό το μικρό σχετικά μέγεθος των αρχείων στο MPEG4 ισοδυναμεί με μικρότερο απαιτούμενο εύρος ζώνης για την μετάδοση τους.

REFERENCES

1. Report for the European Commission, 'Exploiting the digital dividend'- a European approach , Analysis Mason's Final Report , 14 August 2009
2. GSMA digital dividend Newsletter April 2011, <http://app.en25.com/e/es.aspx?s=667&e=121719&elq=7ffbdfdb9273640508f09de3d76af4bf5>
3. Knut Haanes presentation, Socio-impact of allocating 700 MHz band to mobile in Asia Pacific, Presentation at GSMA world congress, The Boston Consulting Group, 2009
4. Ofcom, Digital Dividend, clearing the 800 MHz band, 2 February 2009
5. Cept Report 29, Report from CEPT to the European Commission in response to the Mandate on 'Technical Consideration regarding harmonisation options for the digital dividend in the European Union' , 'Guideline on Cross Border coordination issues between mobile Services in one country and broadcasting services in another country', 26 June 2009
6. Review of digital dividend options in Greece, Report prepared for EETT, 26 June 2009
7. Zbigniew Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution programs", Springer – Verlag, Third Edition, 1999
8. Genetic Algorithms for optimal channel assignment in mobile communications, Lipo Wang*, Sa Li, Sokwei Cindy Lay, Wen Hsin Yu, and Chunru Wan
9. The Digital Dividend, Jean-Yves GUYOMARD, Agence Nationale des Frequences, Nouvelle-Caledonie, 11-16 April 2011
10. Digital TV spectrum requirements and the digital dividend, Briefing note prepared for GSM Association, AEGIS spectrum engineering, 25 May 2010
11. 'MPEG video coding, a simple introduction', Dr. S.R. Ely
12. Ali H. Al-Qahtani, Rabah W. Aldhaheeri, 'Performance Study of adaptive modulation and coding schemes in wimax OFDM-based system'
13. European Broadcasting Union, 'Digital Video Broadcasting, Framing Structure, Channel Coding and Modulation for digital terrestrial television'
14. Value Partners, Final Report, BROADCAST MIGRATION STUDY, optimizing DTT delivery in Europe to maximize the gains from the digital dividend, London, October 2008
15. DVB-T terrestrial, Hierarchical Modulation, WP-01, March 2000
16. Π.Κωττής-Π.Αράπογλου (2010), *Ασύρματες επικοινωνίες*, Εκδόσεις Τζιόλα
17. Ying-Chang Liang, Institute for Infocomm Research, System description and operation principles for IEEE 802.22 WRANs, January 2006
18. Alexis Dowhuszko, Multiple Access schemes for OFDMA, 21.3.2006
19. Mohamed H. Ahmed, Halim Yanikomeroğlu and Samy Mahmoud, Fairness of link adaptation in broadband wireless access
20. Raj Jain Professor of Computer Science and Engineering Washington University in Saint Louis, IEEE 802.22 Wireless Regional Area Networks
21. <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/ieee-802-22/cognitive-network-spectrum-sensing.php>

22. Martin Döttling, Jean-Philippe Javaudin, Kari Kalliojärvi, Göran Klang, Thomas Sälzer, Uwe Schwark, Antti Sorri, Carl Wijting, IST-4-027756 WINNER II D6.13.2 State-of-the-art evaluation (issue 1), June 2006
23. Nikolaos C. Kapsalis and P. G. Cottis, A Genetic Algorithm Based Scheme for Dynamic Frequency Allocation over 790-862 Mhz
24. Dr Bob Ely, MPEG VIDEO CODING, A simple introduction, EBU Technical Review, winter 1995
25. P.N. Tudor, MPEG2 VIDEO COMPRESSION, IEE J Langham Thompson Prize, Electronics and Communication Engineering Journal, December 1995
26. Carl R. Stevenson, WK3C Wireless, Gerald Chouinard, Communications Research Centre, Canada, Zhongding Lei, Institute for Infocomm Research, Singapore, Wendong Hu, STMicroelectronics, Inc. Stephen J. Shellhammer, Qualcomm Inc. Winston Caldwell, Fox Technology Group, IEEE STANDARDS IN COMMUNICATIONS AND NETWORKING, IEEE 802.22: The First Cognitive Radio Wireless Regional Area Network Standard

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Το φάσμα συχνοτήτων όπου εμφανίζονται ορισμένες από τις παρούσες και τις μελλοντικές χρήσεις του.....	15
Σχήμα 1.2 Πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας: εύρος καναλιού uplink ή downlink ζεύξης 5 MHz.....	16
Σχήμα 1.3 Μετάδοση σε χαμηλότερες ζώνες συχνοτήτων παρέχουν βέλτιστο συνδυασμό κάλυψης και δαπανών οικονομικών πόρων.....	18
Σχήμα 1.4 Παρεμβολή που προκαλούν τηλεοπτικές μεταδόσεις εκτός των συνόρων της Γαλλίας σε περιοχές εντός της Γαλλίας και πλησίον των συνόρων της.....	20
Σχήμα 2.1 Κωδικοποίηση εικόνας και ήχου σε ένα σύστημα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης.....	30
Σχήμα 2.2 Ανταλλαγή ανάμεσα σε ρυθμό μετάδοσης και επιφάνεια κάλυψης.....	35
Σχήμα 2.3 Σηματαστερισμός ιεραρχικής διαμόρφωσης 64-QAM/QPSK.....	36
Σχήμα 3.1 Τοπολογία δικτύου γνωστικής τεχνολογίας επικοινωνιών.....	40
Σχήμα 3.2 Κατανομή υπο-φερόντων σε πολλαπλούς χρήστες μέσω της OFDMA όπου ένα σύνολο γειτονικών υπο-φερόντων αποδίδεται στον ίδιο χρήστη.....	43
Σχήμα 3.3 Μεταπήδηση συχνότητας και κατανομή υποφερόντων σε κάθε χρήστη κατά τη διάρκεια χρονικών σχισμών.....	44
Σχήμα 3.4 Θεωρητική πιθανότητα λάθους συναρτήσει του σηματοθορυβικού λόγου Eb/No για τα σχήματα διαμόρφωσης 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM σε δίαυλο που εμφανίζει μόνο αθροιστικό θορύβο τύπου Gauss.....	45
Σχήμα 3.5 Δομή ενός υπερπλαισίου και των μικρότερων πλαισίων.....	47
Σχήμα 3.6 α) Σχήμα μεταπήδησης συχνότητας ζεύξης διαβίβασης β) Σχήμα μεταπήδησης συχνότητας ζεύξης επιστροφής.....	51
Σχήμα 4.1 Τοπολογία κυψελωτού συστήματος παρεμβαλλόμενο από πάροχο υπηρεσιών ευρυεκπομπής.....	54
Σχήμα 4.2 Αναχρησιμοποίηση καναλιών σε κυψελωτό σύστημα με αναχρησιμοποίηση καναλιών 1:4.....	55
Σχήμα 4.3 Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας παρόχων υπηρεσιών ευρυεκπομπής.....	58
Σχήμα 4.4 Παράδειγμα κατανομής σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης σε κυψελωτό σύστημα παρεμβαλλόμενο από παρόχους υπηρεσιών ευρυεκπομπής.....	59
Σχήμα 4.5 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται ογδόντα κυψέλες.....	63
Σχήμα 4.6 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται δέκα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM.....	65
Σχήμα 4.7 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται είκοσι κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM.....	65
Σχήμα 4.8 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται σαράντα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM.....	66
Σχήμα 4.9 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται ογδόντα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM.....	66

Σχήμα 4.10 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται δέκα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία έξι επιπέδων ACM.....	68
Σχήμα 4.11 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται είκοσι κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία έξι επιπέδων ACM.....	69
Σχήμα 4.12 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται σαράντα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία έξι επιπέδων ACM.....	69
Σχήμα 4.13 Επίπεδα ACM όταν παρεμβάλλονται ογδόντα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία έξι επιπέδων ACM.....	70
Σχήμα 4.14 Επίπεδα ACM όταν κάθε πάροχος υπηρεσιών ευρυεκπομπής παρεμβάλλει δέκα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM.....	71
Σχήμα 4.15 Επίπεδα ACM όταν κάθε πάροχος υπηρεσιών ευρυεκπομπής παρεμβάλλει είκοσι κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM.....	71
Σχήμα 4.16 Επίπεδα ACM όταν κάθε πάροχος υπηρεσιών ευρυεκπομπής παρεμβάλλει σαράντα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM.....	72
Σχήμα 4.17 Επίπεδα ACM όταν κάθε πάροχος υπηρεσιών ευρυεκπομπής παρεμβάλλει ογδόντα κυψέλες του κυψελωτού συστήματος στα κανάλια 1 και 2 με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM.....	72
Σχήμα 4.18 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης % επί του μεγίστου δυνατού του κυψελωτού συστήματος συναρτήσει του αριθμού παρεμβαλλόμενων κυψελών % επί του συνόλου των κυψελών για πλήθος καναλιών $N_{ch}=20$ στα τρία διαφορετικά σενάρια.....	74
Σχήμα 4.19 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης % επί του μεγίστου δυνατού του κυψελωτού συστήματος συναρτήσει του αριθμού παρεμβαλλόμενων κυψελών % επί του συνόλου των κυψελών για πλήθος καναλιών $N_{ch}=24$ στα τρία διαφορετικά σενάρια.....	75
Σχήμα 4.20 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης % επί του μεγίστου δυνατού του κυψελωτού συστήματος συναρτήσει του αριθμού παρεμβαλλόμενων κυψελών % επί του συνόλου των κυψελών για πλήθος καναλιών $N_{ch}=28$ για τα τρία διαφορετικά σενάρια.....	75
Σχήμα 4.21 Δείκτης JFI του κυψελωτού συστήματος συναρτήσει του αριθμού παρεμβαλλόμενων κυψελών % επί του συνόλου των κυψελών για αριθμό καναλιών $N_{ch}=20$ στα τρία διαφορετικά σενάρια.....	77
Σχήμα 4.22 Δείκτης JFI του κυψελωτού συστήματος συναρτήσει του αριθμού παρεμβαλλόμενων κυψελών % επί του συνόλου των κυψελών για αριθμό καναλιών $N_{ch}=24$ στα τρία διαφορετικά σενάρια.....	77
Σχήμα 4.23 Δείκτης JFI του κυψελωτού συστήματος συναρτήσει του αριθμού παρεμβαλλόμενων κυψελών % επί του συνόλου των κυψελών για αριθμό καναλιών $N_{ch}=28$ στα τρία διαφορετικά σενάρια.....	78
Σχήμα Π.1 Διακριτός μετασχηματισμός συνημιτόνου βασισμένος στα μπλοκ 8 pixels x 8 lines. 88 μπλοκ κατά μήκος και 72 μπλοκ κατά πλάτος κατασκευάζουν την εικόνα 704 pixels x 576 lines.....	80

Σχήμα Π.2 Μετασχηματισμός DCT.....	80
Σχήμα Π.3 (I)DCT=(αντίστροφος) DCT, (I)Q=(αντίστροφη)κβαντοποίηση.....	82

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Βασικές επιλογές σχημάτων διαμόρφωσης, κωδικοποίησης και διαστήματος φύλαξης του προτύπου DVB-T.....	38
Πίνακας 3.1 Απεικόνιση δυνατών συνδυασμών σχημάτων διαμόρφωσης και ρυθμού κώδικα για μια ασύρματη ζεύξη ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος.....	46
Πίνακας 4.1 Σχήματα διαμόρφωσης και ρυθμού κώδικα διαφορετικών επιπέδων του προτύπου IEEE 802.22.....	57
Πίνακας 4.2 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης αποδιδόμενος σε δίκτυο με n=100 κυψέλες και δείκτης JFI όταν παρεμβάλλονται 80 κυψέλες σε δύο κανάλια για συνολικό αριθμό καναλιών Nch=20.....	63
Πίνακας 4.3 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης αποδιδόμενος σε δίκτυο με n=100 κυψέλες και δείκτης JFI όταν παρεμβάλλονται 80 κυψέλες σε δύο κανάλια για συνολικό αριθμό καναλιών Nch=28.....	64
Πίνακας 4.4 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης και δείκτης JFI όταν αποδίδονται στο σύστημα Nch=20,24 και 28 κανάλια για περιπτώσεις παρεμβολής B=0,10,20,40 και 80 κυψελών με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM.....	67
Πίνακας 4.5 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης και δείκτης JFI όταν αποδίδονται στο σύστημα Nch=20,24 και 28 κανάλια για περιπτώσεις παρεμβολής B=0,10,20,40 και 80 κυψελών με λειτουργία έξι επιπέδων ACM.....	70
Πίνακας 4.6 Συνολικός ρυθμός μετάδοσης και δείκτης JFI όταν αποδίδονται στο σύστημα Nch=20,24 και 28 κανάλια για περιπτώσεις παρεμβολής B=0,10,20,40 και 80 κυψελών με λειτουργία δώδεκα επιπέδων ACM.....	73