



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Μελέτη και Προσομοίωση Σεναρίων
Λήψης Αποφάσεων στο Στάδιο Ανίχνευσης σε
Συνεργατικά Γνωστικά Ασύρματα Δίκτυα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τσιστράκης Γεώργιος

Επιβλέπων : Παναγόπουλος Αθανάσιος

Λέκτορας ΕΜΠ

Αθήνα, Ιανουάριος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Μελέτη και Προσομοίωση Σεναρίων
Λήψης Αποφάσεων στο Στάδιο Ανίχνευσης σε
Συνεργατικά Γνωστικά Ασύρματα Δίκτυα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τσιστράκης Γεώργιος

Επιβλέπων : Παναγόπουλος Αθανάσιος

Λέκτορας ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20^η Ιανουαρίου 2012.

.....

Παναγόπουλος Αθανάσιος
Λέκτορας ΕΜΠ

.....

Κωνσταντίνου Φίλιπος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Κανελλόπουλος Ιωάννης
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιανουάριος 2012

.....
ΤΣΙΣΤΡΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

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

Copyright © Τσιστράκης Γεώργιος, 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα έχει γίνει ένας δυσεύρετος πόρος ειδικότερα με την ευρεία εξάπλωση και ανάπτυξη πολλαπλών συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας, όπως η ψηφιακή μετάδοση video (DVB), τα κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και άλλα. Τα Γνωστικά Δίκτυα είναι μία πολλά υποσχόμενη μέθοδος για να γίνει πιο αποδοτική η χρησιμοποίηση του ήδη περιορισμένου ραδιοφάσματος. Η ιδέα των Γνωστικών Δικτύων είναι να επιτρέπεται σε έναν μη εξουσιοδοτημένο - δευτερεύοντα - χρήστη να έχει πρόσβαση στο φάσμα, με την προϋπόθεση ότι η λειτουργία του δεν θα παρεμβάλει στην επικοινωνία των εξουσιοδοτημένων - πρωτεύοντων - χρηστών.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετήσουμε την ανίχνευση φάσματος με συνεργατικότητα. Ειδικότερα να αναλύσουμε την συμπεριφορά της πιθανότητας παρεμβολής των δευτερευόντων χρηστών στους πρωτεύοντες και να προτείνουμε έναν διαφορετικό σχεδιασμό του ανιχνευτή ισχύος που θα χρησιμοποιείται από τους δευτερεύοντες χρήστες.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η τεχνολογία των Γνωστικών Δικτύων, ο σχεδιασμός τους και οι βασικές διαδικασίες τις οποίες επιτελούν προκειμένου να έχουμε την βέλτιστη χρησιμοποίηση του φάσματος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύουμε την ανίχνευση του φάσματος με συνεργατικότητα και παρατηρούμε την σχέση της πιθανότητας παρεμβολής και πιθανότητας εσφαλμένου εντοπισμού συναρτήσει του κατώφλιου του ανιχνευτή ισχύος.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται προσομοίωση ενός περιβάλλοντος με πρωτεύοντες και δευτερεύοντες χρήστες μέσω του προγράμματος Matlab. Μελετάται η εξάρτηση της πιθανότητας παρεμβολής από παράγοντες όπως το πλήθος των πρωτεύοντων και δευτερευόντων χρηστών, το κατώφλι του ανιχνευτή ισχύος και ο κανόνας k-out of-n που χρησιμοποιήθηκε.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ένας ανιχνευτής ισχύος με τρία κατώφλια και αναλύεται ο σχεδιασμός του. Τον χρησιμοποιούμε στην συνέχεια στην προσομοίωση μας και τον συγκρίνουμε με τον προηγούμενο ανιχνευτή ενός κατώφλιου.

Λέξεις Κλειδιά

Γνωστικά Δίκτυα, ανίχνευση φάσματος, συνεργατικότητα, ανιχνευτής ισχύος, ανάλυση απόδοσης.

ABSTRACT

Radio spectrum has become a scarce resource in particular with the widespread deployment of various wireless communication systems, such as digital video broadcasting (DVB), mobile cellular radio, wireless local area networks (WLAN), etc. Cognitive Radio are a promising method to make more efficient use of the limited radio spectrum. The key feature of cognitive radio is to allow a cognitive (unlicensed/secondary) user to access the licensed spectrum as long as its transmission does not interfere with the primary user's communications.

The object of the present paper is to study the collaborative spectrum sensing. In particular to analyze the behavior of probability of miss (P_m) of the secondary users to the primary users and to suggest a different design for the energy detector which will be used by the secondary users.

In the first chapter we present the technology of Cognitive Radios, their design and the basic functions they carry out in order to achieve the maximum utilization of the spectrum.

In second chapter we analyze the collaborative spectrum sensing and observe the relationship between the probability of detection (P_d) and the probability of false alarm (P_f) with the threshold of the energy detector.

In third chapter is presented a simulation of an environment with primary and secondary users through Matlab. We study the dependence of probability of miss from factors such as the number of primary and secondary users, the threshold of the energy detector and the k-out of-n rule used.

Finally, in fourth chapter we present an energy detector with three thresholds and analyze its design. Then we use it in our simulation and we compare it to the previous one threshold energy detector.

Keywords

Cognitive Radio, spectrum sensing, collaboration, energy detector, performance analysis.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Κωνσταντίνου Φίλιππο και τον λέκτορα κ. Παναγόπουλο Αθανάσιο που μέσα από τις διαλέξεις τους με ενέπνευσαν ως δάσκαλοι και με "έπεισαν" να ασχοληθώ περεταίρω με το συγκεκριμένο αντικείμενο, εκπονώντας την διπλωματική μου εργασία πάνω σε αυτό. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον Υποψήφιο Διδάκτορα Παπανικολάου Δημήτρη, ο οποίος με καθοδήγησε κατά την διάρκεια της εργασίας, με συμβούλεψε, με παρότρυνε και έδωσε στην εργασία ακόμα μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ COGNITIVE	15
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ COGNITIVE.....	15
1.2.ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	17
1.2.1.Μέρη του Δικτύου.....	17
1.2.2.Φασματική Ετερογενετικότητα.....	18
1.2.3.Δικτυακή Ετερογενετικότητα	19
1.2.4.Πλαίσιο Διαχείρισης Φάσματος.....	19
1.3.ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	21
1.3.1.Ανίχνευση Πρωτεύοντος Πομπού	21
1.3.2.Ανίχνευση Πρωτεύοντος Δέκτη.....	22
1.3.3.Διαχείριση Θερμοκρασίας Παρεμβολής.....	23
1.3.4.Προκλήσεις της Ανίχνευσης Φάσματος	23
1.4.ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	24
1.4.1.Χαρακτηριστικά Καναλιού στα Γνωστικά Δίκτυα.....	24
1.4.2.Διαδικασία Επιλογής.....	25
1.4.3.Προκλήσεις της Επιλογής Φάσματος.....	26
1.5.ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	26
1.5.1.Προκλήσεις της Κατανομής Φάσματος.....	29
1.6.ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟ ΦΑΣΜΑ.....	29
1.6.1.Προκλήσεις της Μετακίνησης Φάσματος.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΟΤΗΤΑ	31
2.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	31
2.2.ΜΗ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΑΝΑΛΙ ΜΕ ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ.....	32
2.2.1.Διαλείψεις Rayleigh.....	34
2.2.2. Λογαριθμοκανονική Σκίαση	35
2.3.ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΑΝΑΛΙ ΜΕ ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ	36
2.3.1.Soft Decision.....	37
2.3.2.Hard Decision	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΑΤLAB	45
3.1.ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΔΙΕΥΚΡΙΝΗΣΕΙΣ	45
3.2.ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	46
3.2.1.Σενάριο 1 ^ο	46

3.2.2.Σενάριο 2 ^ο	52
3.2.3.Σενάριο 3 ^ο	56
3.2.4.Σενάριο 4 ^ο	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΤΡΙΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ	61
4.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	61
4.2.ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	61
4.2.1.Υβριδικός Ανιχνευτής Ισχύος	63
4.3.ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	64
4.3.1.Θέσεις των Κατωφλίων	64
4.3.2.Συντελεστές	66
4.3.3.Απόσταση Κατωφλίων	66
4.4.ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΤΡΙΩΝ ΚΑΤΩΦΛΙΩΝ.....	67
4.4.1.Σενάριο 1 ^ο	68
4.4.1.1. Εκτέλεση με χρήση του «Ηθικού» Ανιχνευτή	69
4.4.1.2. Εκτέλεση με χρήση του «Εγλωτιστικού» Ανιχνευτή.....	70
4.4.1.3. Εκτέλεση με χρήση του «Μετριοπαθή» Ανιχνευτή	72
4.4.2.Σενάριο 2 ^ο	74
4.4.3.Σενάριο 3 ^ο	76
4.4.4.Σενάριο 4 ^ο	77
4.5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΣΤΟΥΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΤΡΙΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ.....	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1. Το κενό του φάσματος	16
Εικόνα 1.2. Αρχιτεκτονική πομποδέκτη Γνωστικού Δικτύου	17
Εικόνα 1.3. Αρχιτεκτονική Γνωστικού Δικτύου	18
Εικόνα 1.4. Πλαίσιο διαχείρισης φάσματος στα Γνωστικά Δίκτυα.....	20
Εικόνα 1.5. α) αβεβαιότητα δέκτη, β) αβεβαιότητα λόγω σκίασης	22
Εικόνα 1.6. Δομή του καναλιού στην επιλογή πολλαπλού φάσματος	25
Εικόνα 1.7. Κατανομή φάσματος σε ένα ή περισσότερα Γνωστικά Δίκτυα	28
Εικόνα 2. 1. Μπλοκ-διάγραμμα του ανιχνευτή ισχύος.....	32
Εικόνα 2. 2. Συμπληρωματικές καμπύλες ROC σε Rayleigh διαλείψεις	35
Εικόνα 2. 3.Συμπληρωματικές καμπύλες ROC σε λογαριθμοκανονική σκίαση για διάφορα dB-spread	36
Εικόνα 2. 4. Καμπύλες ROC σε Rayleigh διαλείψεις	39
Εικόνα 2. 5. Καμπύλες ROC σε Rayleigh διαλείψεις	39

Εικόνα 2. 6α. ROC καμπύλες για διάφορους k-out of-n κανόνες σε διαλείψεις Rayleigh με $m=5, n=4, \gamma=0\text{dB}$	41
Εικόνα 2. 6β. ROC καμπύλες για διάφορους k-out of-n κανόνες σε διαλείψεις Rayleigh με $m=5, n=4, \gamma=5\text{dB}$	41
Εικόνα 2. 6γ. ROC καμπύλες για διάφορους k-out of-n κανόνες σε διαλείψεις Rayleigh με $m=5, n=10, \gamma=0\text{dB}$	42
Εικόνα 2. 6δ. ROC καμπύλες για διάφορους k-out of-n κανόνες σε διαλείψεις Rayleigh με $m=5, n=10, \gamma=5\text{dB}$	42
Εικόνα 2. 7α. Καμπύλες ROC για τον κανόνα OR σε Rayleigh διαλείψεις.....	43
Εικόνα 2. 7β. Καμπύλες ROC για τον κανόνα OR σε λογαριθμοκανονική σκίαση.....	43
Εικόνα 3. 1. Δύο διαφορετικές εκτελέσεις της προσομοίωσης. Αριστερά οι περιοχές με τους χρήστες και δεξιά τα διαγράμματα με την ανίχνευση ισχύος.....	48
Εικόνα 3. 2 Σχέση πιθανότητας παρεμβολής – κατωφλίου ανιχνευτή ισχύος. 3-out of-4 rule.....	49
Εικόνα 3. 3. Σχέση πιθανότητας παρεμβολής - k-out of-4 rule. $\lambda=8\text{dB}$ ($O=\mu\eta$ συνεργατικότητα).....	50
Εικόνα 3. 4 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για $k=1,2,3,4$	51
Εικόνα 3. 5 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για $k=1,2,3,4$	51
Εικόνα 3. 6 Δύο διαφορετικές εκτελέσεις της προσομοίωσης. Αριστερά οι περιοχές με τους χρήστες και δεξιά τα διαγράμματα με την ανίχνευση ισχύος.....	53
Εικόνα 3. 7 Σχέση πιθανότητας παρεμβολής – κατωφλίου ανιχνευτή ισχύος. 7-out of-10 rule.....	54
Εικόνα 3. 8 . Σχέση πιθανότητας παρεμβολής - k-out of-10 rule. $\lambda=8\text{dB}$ ($O=\mu\eta$ συνεργατικότητα).....	54
Εικόνα 3. 9 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για $k=1,4,7,10$	55
Εικόνα 3. 10 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για $k=1,4,7,10$	56
Εικόνα 3. 11 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για $n=1,4,7,10$	57
Εικόνα 3. 12 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για $n=1,4,7,10$	58
Εικόνα 3. 13 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για 2,5,10,20 πρωτεύοντες χρήστες.....	59
Εικόνα 3 .14 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για 2,5,10,20 πρωτεύοντες χρήστες.....	60
Εικόνα 4. 1. Ανιχνευτής ισχύος με ένα κατώφλι λ	61
Εικόνα 4. 2. Ανιχνευτής ισχύος με τρία κατώφλια $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	62
Εικόνα 4. 3. Εισαγωγή συντελεστών στις περιοχές μέτρησης.....	62
Εικόνα 4. 4. Σχεδιασμός του ανιχνευτή στην περίπτωση του soft-decision.....	63
Εικόνα 4. 5. Μετατροπή του ανιχνευτή για λειτουργία από soft σε hard-decision.....	63
Εικόνα 4. 6α. Τα νέα κατώφλια λ_1 και λ_2 τοποθετούνται δεξιά του αρχικού λ_3 . «Ηθικός» ανιχνευτής.....	64
Εικόνα 4.6β. Τα νέα κατώφλια λ_2 και λ_3 τοποθετούνται δεξιά του αρχικού λ_1 . «Εγωιστικός» ανιχνευτής.....	65
Εικόνα 4. 6γ. Τα νέα κατώφλια λ_1 και λ_3 τοποθετούνται εκατέρωθεν του αρχικού λ_2	65
Εικόνα 4. 7. Ανιχνευτές ισχύος με διαφορετική πολιτική στον καθορισμό των συντελεστών.....	66
Εικόνα 4. 8. Ανιχνευτές ισχύος με διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ των κατωφλίων.....	67

Εικόνα 4. 9. <Ηθικός> ανιχνευτής ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση.....	67
Εικόνα 4. 10. «Εγωιστικός» ανιχνευτής ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση	68
Εικόνα 4. 11 <Μετριοπαθής> ανιχνευτής ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση	68
Εικόνα 4. 12. Δύο διαφορετικές εκτελέσεις της προσομοίωσης με τον «ηθικό» ανιχνευτή. Στα αριστερά οι περιοχές με τους χρήστες και στα δεξιά τα διαγράμματα με την ανίχνευση ισχύος.	70
Εικόνα 4. 13 Δύο διαφορετικές εκτελέσεις της προσομοίωσης με τον «εγωιστικό» ανιχνευτή. Στα αριστερά οι περιοχές με τους χρήστες και στα δεξιά τα διαγράμματα με την ανίχνευση ισχύος.	71
Εικόνα 4. 14 Δύο διαφορετικές εκτελέσεις της προσομοίωσης με τον «μετριοπαθή» ανιχνευτή. Στα αριστερά οι περιοχές με τους χρήστες και στα δεξιά τα διαγράμματα με την ανίχνευση ισχύος.	73
Εικόνα 4. 15 Πιθανότητα παρεμβολής με ανιχνευτές ενός και τριών κατωφλίων για το 1 ^ο σενάριο.....	74
Εικόνα 4. 16 Πιθανότητα παρεμβολής με ανιχνευτές ενός και τριών κατωφλίων για το 2 ^ο σενάριο.....	75
Εικόνα 4. 17 Πιθανότητα παρεμβολής με ανιχνευτές ενός και τριών κατωφλίων για το 3 ^ο σενάριο.....	77
Εικόνα 4. 18 Πιθανότητα παρεμβολής με ανιχνευτές ενός και τριών κατωφλίων για το 4 ^ο σενάριο.....	78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ COGNITIVE

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ COGNITIVE

Στις μέρες μας, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, εξαιτίας της όλο και περισσότερο αυξανόμενης ζήτησης του, βρίσκεται σε έλλειψη. Το μεγαλύτερο ποσοστό του είναι κατειλημμένο από ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες και εφαρμογές. Επομένως, για να αποδοθεί σε μία νέα υπηρεσία ένα ορισμένο εύρος από το ηλεκτρομαγνητικό (H/M) φάσμα, θα πρέπει η υπηρεσία αυτή να πάρει την θέση μίας άλλης, ενδεχομένως παλαιότερης υπηρεσίας, η οποία θα σταματήσει την λειτουργία της προκειμένου να ελευθερωθεί το ζητούμενο εύρος H/M φάσματος. Έτσι η νέα υπηρεσία θα καταλάβει το φάσμα που ελευθερώθηκε, καταλήγοντας λοιπόν πάλι σε πλήρως κατειλημμένο H/M φάσμα. Εν αντιθέσει, ένα μεγάλο μέρος του ήδη καταναμεμημένου H/M φάσματος χρησιμοποιείται ελάχιστα και σποραδικά, οδηγώντας λοιπόν σε υποχρησιμοποίηση του, κατά τα άλλα “γεμάτου”, H/M φάσματος. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητο να βρεθεί μία νέα θεώρηση της διαχείρισης του φάσματος η οποία θα διαφοροποιήσει την στατική αυτή κατανομή του H/M φάσματος και θα την καταστήσει δυναμική και μεταβαλλόμενη, λύνοντας έτσι το πρόβλημα της φασματικής ανεπάρκειας που αντιμετωπίζουμε.

Η τεχνολογία που ενσωματώνει τεχνικές δυναμικής διαχείρισης του φάσματος είναι τα Γνωστικά Δίκτυα ή αλλιώς Cognitive Radio Networks (CR). Τα Γνωστικά Δίκτυα έχουν την δυνατότητα να μοιράζονται το φάσμα με τους πρωτεύοντες χρήστες, δηλαδή με τους χρήστες οι οποίοι χρησιμοποιούν την υπηρεσία στην οποία έχει ανατεθεί το συγκεκριμένο εύρος ζώνης, μεγιστοποιώντας έτσι τον βαθμό χρησιμοποίησης του H/M φάσματος. Οι χρήστες οι οποίοι ανήκουν στα Γνωστικά Δίκτυα ονομάζονται δευτερεύοντες χρήστες. Τα Γνωστικά Δίκτυα όμως παρουσιάζουν αρκετές δυσκολίες, οι οποίες προέρχονται από την συνεχή μεταβολή της διαθεσιμότητας του φάσματος και από τις διαφορές στην απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) των διαφόρων υπηρεσιών. Προκειμένου να ξεπεραστούν αυτές οι προκλήσεις, κάθε δευτερεύων χρήστης στα Γνωστικά Δίκτυα πρέπει να διατελέσει τις εξής λειτουργίες [1]:

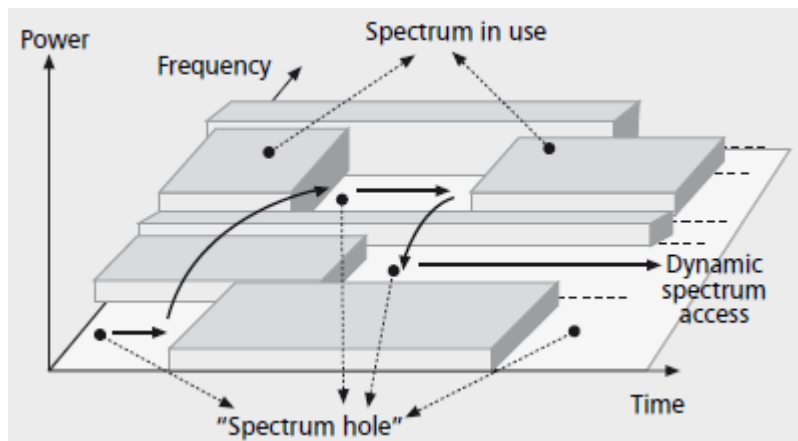
- Να καθορίσει ποιά τμήματα του φάσματος είναι ελεύθερα και διαθέσιμα
- Να επιλέξει το καλύτερο δυνατό κανάλι
- Να συντονίσει την πρόσβαση σε αυτό το κανάλι με τους άλλους δευτερεύοντες χρήστες
- Να ελευθερώσει το κανάλι όταν ένας πρωτεύων χρήστης εντοπιστεί

Αυτές οι ικανότητες μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσω λειτουργιών διαχείρισης του φάσματος που απευθύνονται σε τέσσερις κύριες διαδικασίες: α) την

ανίχνευση φάσματος, β) την επιλογή φάσματος, γ) την κατανομή φάσματος, δ) την μετακίνηση στο φάσμα.

Ως Γνωστικό Δίκτυο ορίζεται το δίκτυο εκείνο το οποίο μπορεί να μεταβάλλει τις παραμέτρους μετάδοσης του, βάσει στην αλληλεπίδραση του με το περιβάλλον. Από τον ορισμό αυτόν, μπορούν να καθοριστούν δύο κύρια χαρακτηριστικά [2]:

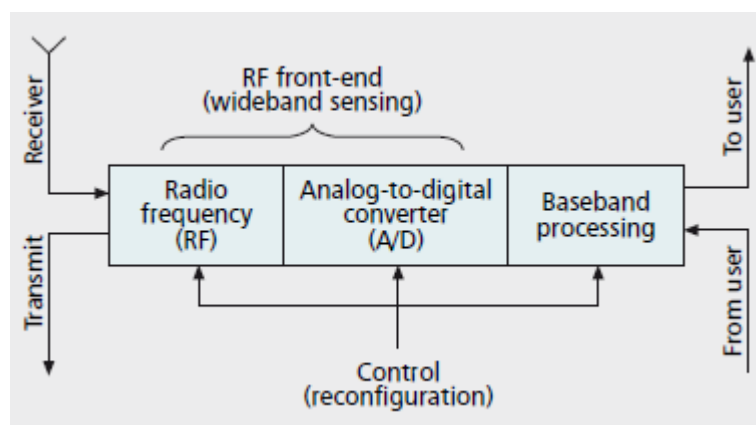
- Δυναμικότητα: Μέσω της αλληλεπίδρασης σε πραγματικό χρόνο με το περιβάλλον του δικτύου, μπορούν να καθοριστούν ποιά τμήματα του φάσματος δεν χρησιμοποιούνται σε ένα καθορισμένο χώρο ή χρόνο. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.1, το Γνωστικό Δίκτυο επιτρέπει την χρήση του προσωρινά αχρησιμοποίητου φάσματος, το οποίο ονομάζουμε κενό φάσματος (spectrum hole) ή λευκό διάστημα (white space). Επομένως, μπορεί να επιλεγεί το καλύτερο δυνατό κενό τμήμα του φάσματος, το οποίο θα εκμεταλλευτούμε χωρίς να παρεμβάλουμε στον πρωτεύοντα χρήστη.
- Επαναπροσδιορισμός: Ένα Γνωστικό Δίκτυο μπορεί να προγραμματιστεί να εκπέμπει και να λαμβάνει σε ένα πλήθος διαφορετικών συχνοτήτων και να χρησιμοποιεί διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης ανάλογα με τον σχεδιασμό του hardware. Με αυτήν την ικανότητα, για κάθε εύρος συχνοτήτων μπορούν να επιλεγούν οι καταλληλότερες παράμετροι λειτουργίας και σε περίπτωση αλλαγής της συχνότητας να επαναπροσδιοριστούν, έτσι ώστε να έχουμε την καλύτερη δυνατή χρησιμοποίηση του φάσματος.



Εικόνα 1.1. Το κενό του φάσματος

Προκειμένου να παρέχουμε αυτές τις δυνατότητες όμως, τα Γνωστικά Δίκτυα απαιτούν μία εντελώς καινούρια αρχιτεκτονική στον πομποδέκτη των ραδιοσυχνοτήτων. Τα κύρια μέρη ενός πομποδέκτη που ανήκει σε ένα Γνωστικό Δίκτυο, όπως φαίνονται και από την Εικόνα 1.2, είναι η μονάδα RF front-end, στην οποία το σήμα που λαμβάνεται ενισχύεται και μετατρέπεται από αναλογικό σε ψηφιακό και η μονάδα baseband processing, όπου το σήμα διαμορφώνεται ή

αποδιαμορφώνεται. Κάθε μονάδα από τις παραπάνω μπορεί να αλλάζει τις παραμέτρους της μέσω ενός καναλιού ελέγχου, έτσι ώστε να προσαρμόζεται πάντα στο διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Το κομμάτι το οποίο είναι καινούργιο, είναι η μονάδα RF front-end, η οποία είναι ικανή για πολλαπλή και ταυτόχρονη ανίχνευση σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Αυτή η λειτουργία σχετίζεται κυρίως με την τεχνολογία υλικού (hardware), η οποία θα πρέπει στα Γνωστικά Δίκτυα να μπορεί να συντονίζεται σε οποιοδήποτε μεγάλο τμήμα του φάσματος, όπως επίσης να είναι ικανή να εντοπίζει ένα αδύναμο σήμα μέσα από μία μεγάλη γκάμα σημάτων με διαφορετική ισχύ, ικανοποιώντας έτσι τις ανάγκες των Γνωστικών Δικτύων.



Εικόνα 1.2. Αρχιτεκτονική πομποδέκτη Γνωστικού Δικτύου

1.2.ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

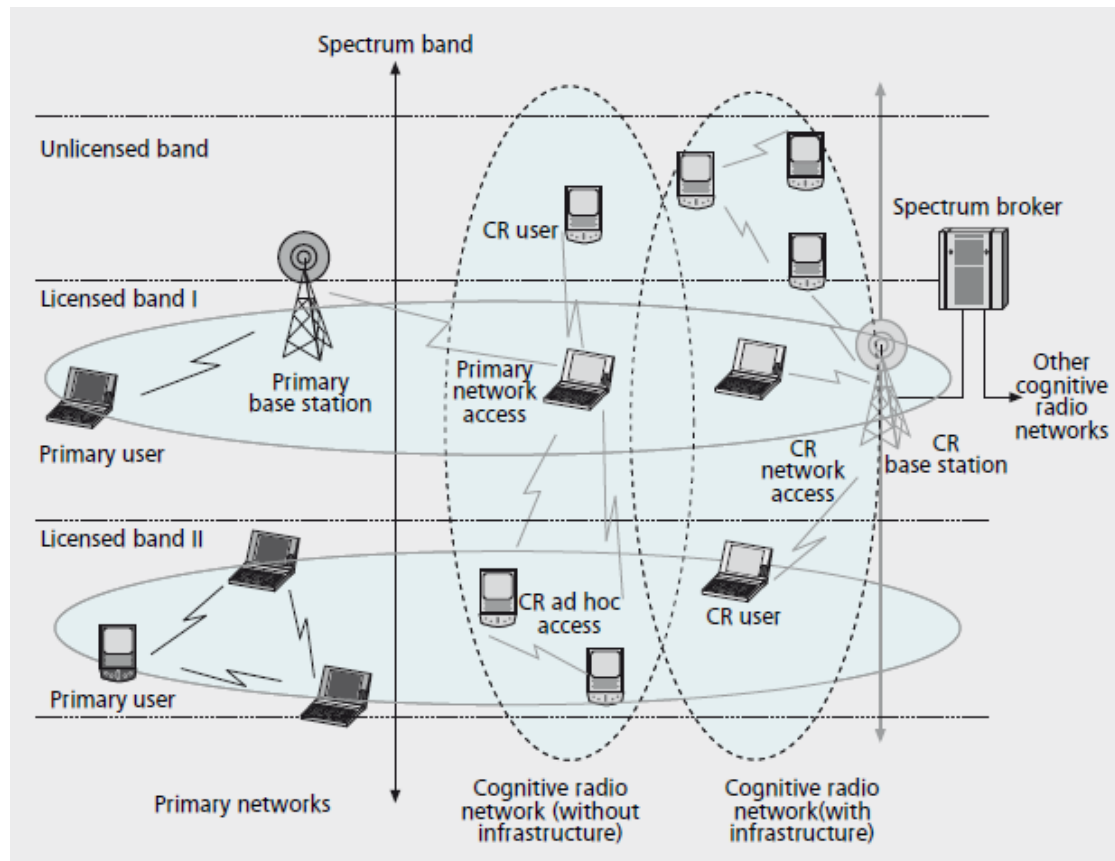
Απαραίτητη για την ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιακών πρωτοκόλλων είναι μία ουσιαστική περιγραφή της αρχιτεκτονικής του δικτύου των Γνωστικών Δικτύων, η οποία παρουσιάζεται παρακάτω.

1.2.1.Μέρη του Δικτύου

Τα μέρη του δικτύου, όπως φαίνονται και από την Εικόνα 1.3, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες: το πρωτεύον δίκτυο και το Γνωστικό (ή δευτερεύον) δίκτυο. Ως πρωτεύον δίκτυο ορίζουμε το ήδη υπάρχον δίκτυο, στο οποίο ανήκουν οι πρωτεύοντες χρήστες οι οποίοι είναι εγκεκριμένοι να λειτουργούν σε συγκεκριμένη συχνότητα με καθορισμένο εύρος. Εάν το πρωτεύον δίκτυο έχει υποδομή, τότε οι διαδικασίες προερχόμενες από πρωτεύοντες χρήστες ελέγχονται από τους πρωτεύοντες σταθμούς βάσης. Εξαιτίας της προτεραιότητας που έχουν οι πρωτεύοντες χρήστες στην πρόσβαση του φάσματος, οι λειτουργίες τους δεν θα πρέπει να επηρεάζονται από τους μη εγκεκριμένους (δευτερεύοντες) χρήστες.

Το Γνωστικό (ή δευτερεύον) δίκτυο δεν έχει άδεια να λειτουργήσει στην επιθυμητή ζώνη συχνοτήτων. Για αυτόν τον λόγο οι δευτερεύοντες χρήστες πρέπει

να είναι εφοδιασμένοι με περισσότερες ικανότητες και λειτουργίες προκειμένου να μπορέσουν να μοιραστούν το φάσμα με τους πρωτεύοντες. Το δευτερεύον δίκτυο μπορεί επίσης να περιέχει σταθμούς βάσης καθώς επίσης και spectrum brokers, οι οποίοι ελέγχουν τον διαμοιρασμό του φάσματος μεταξύ των δευτερευόντων χρηστών ή ακόμα και υποδικτύων.



Εικόνα 1.3. Αρχιτεκτονική Γνωστικού Δικτύου

1.2.2.Φασματική Ετερογενετικότητα

Οι δευτερεύοντες χρήστες έχουν την δυνατότητα πρόσβασης τόσο στο κομμάτι του φάσματος που είναι κατειλημμένο από πρωτεύοντες χρήστες, όσο και σε μέρος του φάσματος που είναι ελεύθερο και δεν έχει αποδοθεί ακόμη σε κάποια υπηρεσία. Επομένως τα είδη λειτουργίας για τα Γνωστικά Δίκτυα είναι: η λειτουργία σε κατειλημμένο φάσμα και η λειτουργία σε ελεύθερο φάσμα. Αναλυτικότερα:

- Κατειλημμένο φάσμα: Χρησιμοποιείται κυρίως από το πρωτεύον δίκτυο, επομένως τα Γνωστικά Δίκτυα στην περίπτωση αυτή εστιάζουν στον εντοπισμό των πρωτευόντων χρηστών. Η χωρητικότητα του καναλιού εξαρτάται από την παρεμβολή στους πρωτεύοντες χρήστες και επιπλέον εάν πρωτεύοντες χρήστες εμφανιστούν σε φάσμα το οποίο είναι κατειλημμένο

από δευτερεύοντες χρήστες, τότε οι δευτερεύοντες χρήστες πρέπει να εγκαταλείψουν το συγκεκριμένο κομμάτι του φάσματος και να μετακινηθούν άμεσα.

- Ελεύθερο φάσμα: Το φάσμα αυτό δεν έχει αποδοθεί κάπου, άρα οι δευτερεύοντες χρήστες έχουν ίσα δικαιώματα πρόσβασης στο φάσμα με τους υπόλοιπους χρήστες. Απαιτούνται λοιπόν έξυπνοι μέθοδοι διαμοιρασμού του φάσματος, έτσι ώστε οι δευτερεύοντες χρήστες να είναι ανταγωνιστικοί ως προς την πρόσβαση τους σε αυτό.

1.2.3.Δικτυακή Ετερογενετικότητα

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 1.3, οι δευτερεύοντες χρήστες έχουν την δυνατότητα τριών διαφορετικών τύπων πρόσβασης.

- Πρόσβαση στο Γνωστικό Δίκτυο: Οι δευτερεύοντες χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στον δικό τους σταθμό βάσης, είτε λειτουργούν σε κατειλημμένο είτε σε ελεύθερο φάσμα. Επειδή όλες οι αλληλεπιδράσεις συμβαίνουν μέσα στο δευτερεύον δίκτυο, η πολιτική που θα ακολουθήσουν για τον διαμοιρασμό του φάσματος μπορεί να είναι ανεξάρτητη από αυτήν του πρωτεύοντος δικτύου.
- Ad hoc πρόσβαση: Οι δευτερεύοντες χρήστες μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ad hoc σύνδεσης και σε κατειλημμένο και σε ελεύθερο φάσμα.
- Πρόσβαση στο πρωτεύον δίκτυο: Οι δευτερεύοντες χρήστες μπορούν να έχουν επίσης πρόσβαση στον σταθμό βάσης του πρωτεύοντος δικτύου όταν λειτουργούν σε κατειλημμένο κομμάτι του φάσματος. Αντίθετα με τους άλλους τύπους πρόσβασης, οι δευτερεύοντες χρήστες χρειάζονται ένα προσαρμόσιμο MAC πρωτόκολλο, που να επιτρέπει την μετάβαση σε πολλά πρωτεύοντα δίκτυα.

1.2.4.Πλαίσιο Διαχείρισης Φάσματος

Τα δευτερεύοντα δίκτυα εμπεριέχουν μοναδικές προκλήσεις εξαιτίας της συνύπαρξης τους με τα πρωτεύοντα δίκτυα και της ποικιλίας του απαιτούμενου QoS. Για αυτόν τον λόγο απαιτούνται νέες λειτουργίες διαχείρισης του φάσματος με τα ακόλουθα κρίσιμα σχεδιαστικά σημεία:

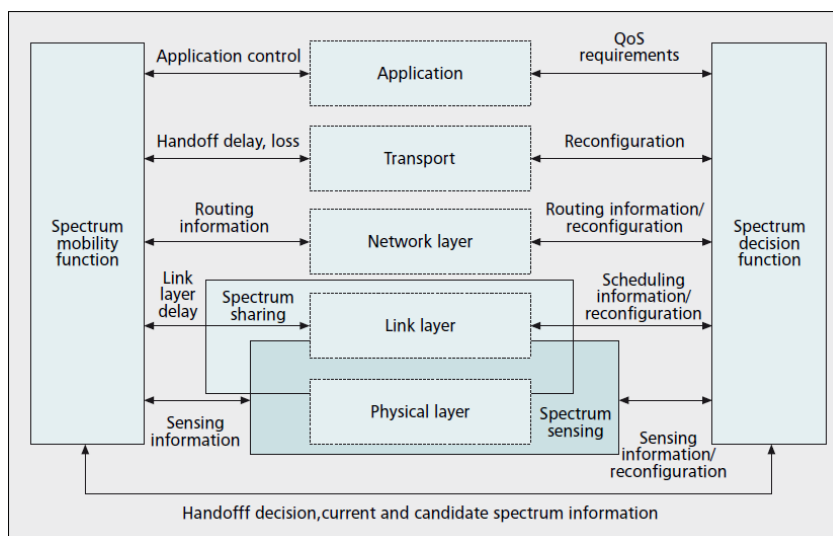
- Αποφυγή παρεμβολής: Τα Γνωστικά Δίκτυα πρέπει να αποφεύγουν την παρεμβολή με τα πρωτεύοντα δίκτυα
- Γνώση του QoS: Για να επιλεγεί η κατάλληλη φασματική περιοχή, τα Γνωστικά Δίκτυα πρέπει να υποστηρίζουν επικοινωνία βασισμένη στην γνώση του QoS, λαμβάνοντας υπ'όψιν το μεταβλητό φασματικό περιβάλλον.

- Αδιάλειπτη επικοινωνία: Τα Γνωστικά Δίκτυα πρέπει να παρέχουν συνεχή επικοινωνία ανεξαρτήτως της παρουσίας πρωτευόντων χρηστών

Για να διευθετηθούν αυτά τα κρίσιμα σημεία, ακολουθεί μία λίστα με διαφορετικές διαδικασίες που απαιτούνται για την διαχείριση του φάσματος στα Γνωστικά Δίκτυα, αποτελούμενη από τέσσερα σημαντικά βήματα:

- Ανίχνευση Φάσματος: Ένας δευτερεύων χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει μόνο ένα κενό κομμάτι του φάσματος, άρα θα πρέπει να ελέγχει το διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων, να συλλέγει τις πληροφορίες και να εντοπίζει τα κενά φάσματος.
- Επιλογή Φάσματος: Ανάλογα με την διαθεσιμότητα του φάσματος, οι δευτερεύοντες χρήστες μπορούν να καταλάβουν ένα κανάλι. Αυτό δεν εξαρτάται μόνο από την διαθεσιμότητα του φάσματος αλλά καθορίζεται επίσης από εσωτερικές (πιθανόν και εξωτερικές) πολιτικές.
- Κατανομή Φάσματος: Επειδή μπορεί να υπάρχουν πολλοί δευτερεύοντες χρήστες οι οποίοι προσπαθούν να έχουν πρόσβαση στο φάσμα, η πρόσβαση στο δευτερεύον δίκτυο πρέπει να συντονίζεται έτσι ώστε να αποφεύγεται η συνύπαρξη πολλών χρηστών στο ίδιο κομμάτι του φάσματος.
- Μετακίνηση στο Φάσμα: Οι δευτερεύοντες χρήστες είναι “επισκέπτες” στο Η/Μ φάσμα. Για αυτόν τον λόγο, όταν ένας πρωτεύων χρήστης χρειαστεί το τμήμα του φάσματος το οποίο χρησιμοποιεί ο δευτερεύων χρήστης, η επικοινωνία θα πρέπει να συνεχιστεί σε κάποιο άλλο κενό τμήμα του φάσματος.

Το πλαίσιο διαχείρισης του φάσματος για την επικοινωνία στο Γνωστικό Δίκτυο φαίνεται στην Εικόνα 1.4. Είναι φανερό από τον μεγάλο αριθμό αλληλεπιδράσεων ότι για τις λειτουργίες διαχείρισης του φάσματος απαιτείται μία διαστρωματική προσέγγιση.



1.3.ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Ένα Γνωστικό Δίκτυο σχεδιάζεται έτσι ώστε να είναι ενήμερο και ευαίσθητο στις αλλαγές του περιβάλλοντος, κάτι που κάνει την ανίχνευση φάσματος βασική ανάγκη για την υλοποίηση των Γνωστικών Δικτύων. Η ανίχνευση επιτρέπει στον δευτερεύοντα χρήστη να προσαρμοστεί στο περιβάλλον του ανιχνεύοντα κενά φάσματος χωρίς να προκαλεί παρεμβολή στο πρωτεύον δίκτυο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω μίας ανίχνευσης σε πραγματικό χρόνο, η οποία είναι ικανή να εντοπίζει ασθενή σήματα σε ένα μεγάλο εύρος ζώνης. Οι τεχνικές ανίχνευσης φάσματος μπορούν να ταξινομηθούν σε: ανίχνευση πρωτεύοντος πομπού, ανίχνευση πρωτεύοντος δέκτη και διαχείριση θερμοκρασίας παρεμβολής.

1.3.1.Ανίχνευση Πρωτεύοντος Πομπού

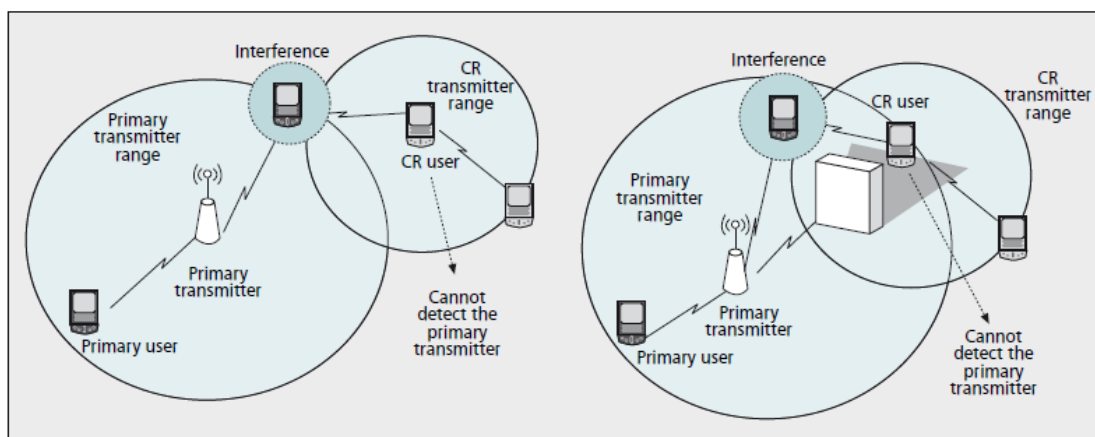
Η ανίχνευση του πομπού βασίζεται στον εντοπισμό του ασθενούς σήματος ενός πρωτεύοντα πομπού από τοπικούς παρατηρητές των δευτερευόντων χρηστών. Χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις τρόποι: ανίχνευση ταυτοποίησης φίλτρου, ανίχνευση ισχύος, ανίχνευση χαρακτηριστικών.

- Ανίχνευση ταυτοποίησης φίλτρου: Όταν οι πληροφορίες του σήματος του πρωτεύοντα χρήστη είναι γνωστές στον δευτερεύοντα χρήστη, ο καλύτερος τρόπος ανίχνευσης υπό σταθερό λευκό θόρυβο είναι η ταυτοποίηση φίλτρου. Όμως αυτός ο τρόπος εντοπισμού απαιτεί μία εκ των προτέρων γνώση των χαρακτηριστικών του σήματος του πρωτεύοντα χρήστη.
- Ανίχνευση ισχύος: Εάν ο δέκτης δεν μπορεί να συγκεντρώσει αρκετές πληροφορίες σχετικά με το σήμα του πρωτεύοντος, ο καλύτερος τρόπος ανίχνευσης είναι η ανίχνευση ισχύος. Παρόλα αυτά η απόδοση του ανιχνευτή ισχύος είναι επιρρεπής λόγω της αβεβαιότητας που εισάγει ο θόρυβος. Ακόμα, ο ανιχνευτής ισχύος συχνά κάνει λάθος εντοπισμό επειδή δεν μπορεί να ξεχωρίσει τους διαφορετικούς τύπους σήματος.
- Ανίχνευση χαρακτηριστικών: Τα διαμορφωμένα σήματα χαρακτηρίζονται από μία υπάρχουσα περιοδικότητα. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να εντοπιστεί και να αναλυθεί από μία λειτουργία φασματικής συσχέτισης. Το κύριο πλεονέκτημα της ανίχνευσης χαρακτηριστικών είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται από την αβεβαιότητα του θορύβου. Είναι όμως μία πολύπλοκη υπολογιστική μέθοδος και απαιτεί πολύ χρόνο παρατήρησης.

Εξαιτίας της έλλειψης αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πρωτευόντων με τους δευτερεύοντες χρήστες, οι τεχνικές ανίχνευσης πρωτεύοντος πομπού βασίζονται σε ασθενή σήματα που προέρχονται από τον πρωτεύοντα πομπό. Για αυτόν τον λόγο λοιπόν, οι τεχνικές αυτές από μόνες τους δεν μπορούν να αποφύγουν την παρεμβολή στους πρωτεύοντες χρήστες εξαιτίας της έλλειψης πληροφοριών του πρωτεύοντα δέκτη, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.5α. Επιπλέον, οι τεχνικές αυτές

εντοπισμού δεν μπορούν να αποτρέψουν το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού. Ένας δευτερεύων χρήστης μπορεί να έχει μία καλή απευθείας σύνδεση με έναν άλλον δευτερεύοντα χρήστη, αλλά να μην μπορεί να εντοπίσει τον πρωτεύοντα πομπό λόγω φαινομένων σκίασης όπως φαίνεται και από την Εικόνα 1.5β. Άρα είναι απαραίτητες οι πληροφορίες που έχουν συλλέξει και οι υπόλοιποι δευτερεύοντες χρήστες για μία πιο ακριβή ανίχνευση πρωτεύοντος πομπού. Αυτό ονομάζεται ανίχνευση συνεργατικότητας.

Η ανίχνευση συνεργατικότητας είναι θεωρητικά πιο ακριβής επειδή η αβεβαιότητα ενός μόνο χρήστη μπορεί να ελαττωθεί μέσω της συνεργασίας με τους υπόλοιπους. Επίσης, φαινόμενα όπως πολυδιαδρομικής διάδοσης και σκίασης μπορούν να μετριαστούν και έτσι η πιθανότητα εντοπισμού σε περιβάλλοντα με υψηλή σκίαση να βελτιωθεί. Εν τούτοις, η προσέγγιση αυτή της συνεργατικότητας προκαλεί και ανεπιθύμητες επιδράσεις σε δίκτυα με περιορισμένους πόρους οι οποίες προέρχονται από την επιπλέον κίνηση στο δίκτυο που απαιτεί η συνεργατικότητα.



Εικόνα 1.5. α) αβεβαιότητα δέκτη, β) αβεβαιότητα λόγω σκίασης

1.3.2.Ανίχνευση Πρωτεύοντος Δέκτη

Παρότι η ανίχνευση συνεργατικότητας μειώνει την πιθανότητα παρεμβολής, ο πιο αποδοτικός τρόπος να εντοπιστούν τα κενά φάσματος είναι να εντοπιστούν οι πρωτεύοντες χρήστες οι οποίοι λαμβάνουν δεδομένα εντός του επικοινωνιακού εύρους του δευτερεύοντα χρήστη. Συνήθως εκμεταλλευόμαστε την διαρροή ισχύος του τοπικού ταλαντωτή που εκπέμπεται από τον πρωτεύοντα χρήστη. Επειδή όμως το σήμα αυτό συνήθως είναι ασθενές, η υλοποίηση ενός αξιόπιστου ανιχνευτή δεν είναι εύκολη. Επί του παρόντος η μέθοδος αυτή είναι εφικτή μόνο για τους δέκτες της τηλεόρασης.

1.3.3. Διαχείριση Θερμοκρασίας Παρεμβολής

Μέχρι πρόσφατα η παρεμβολή μπορούσε να ρυθμιστεί στον πομπό μέσω της ακτινοβολούμενης ισχύς και της τοποθεσίας των πομπών. Η παρεμβολή όμως στην πραγματικότητα γίνεται στον δέκτη, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 1.5α. Επομένως, πρόσφατα ένα καινούριο μοντέλο μέτρησης της παρεμβολής, γνωστό ως θερμοκρασία παρεμβολής, παρουσιάστηκε από την FCC (Federal Communications Commission). Αυτό το μοντέλο περιορίζει την παρεμβολή στον δέκτη μέσω ενός ορίου θερμοκρασίας παρεμβολής, το οποίο είναι η ποσότητα της επιπλέον παρεμβολής που μπορεί να αντέξει ο δέκτης. Όσο οι δευτερεύοντες χρήστες δεν ξεπερνούν αυτό το όριο, μπορούν να χρησιμοποιούν το φάσμα. Παρόλο που το μοντέλο αυτό ταιριάζει περισσότερο με τον σκοπό της ανίχνευσης φάσματος, η δυσκολία αυτού εναπόκειται στον ακριβή προσδιορισμό του ορίου της θερμοκρασίας παρεμβολής

1.3.4. Προκλήσεις της Ανίχνευσης Φάσματος

Υπάρχουν αρκετές ερευνητικές προκλήσεις που πρέπει να εξεταστούν για την ανάπτυξη των τεχνικών της ανίχνευσης φάσματος:

- Μέτρηση της θερμοκρασίας παρεμβολής: Λόγω της μη επικοινωνίας μεταξύ πρωτεύοντων δικτύων με τα Γνωστικά Δίκτυα, ένας δευτερεύων χρήστης δεν μπορεί να ξέρει την ακριβή τοποθεσία ενός πρωτεύοντος δέκτη. Έτσι, απαιτούνται νέες τεχνικές ικανές να μετρήσουν ή να υπολογίσουν την θερμοκρασία παρεμβολής σε κοντινούς πρωτεύοντες δέκτες.
- Ανίχνευση φάσματος σε περιβάλλον με πολλούς χρήστες: Ένα περιβάλλον με πολλούς χρήστες, το οποίο θα αποτελείται τόσο από πρωτεύοντες όσο και από δευτερεύοντες δέκτες, κάνει πιο δύσκολη την διαδικασία εντοπισμού κενών φάσματος και υπολογισμού της παρεμβολής. Θα πρέπει λοιπόν οι διαδικασίες ανίχνευσης φάσματος να σχεδιάζονται λαμβάνοντας υπ'όψιν περιβάλλον με πολλούς χρήστες.
- Φασματική απόδοση ανίχνευσης: Η ανίχνευση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί όταν ανταλλάσσονται πακέτα. Οι δευτερεύοντες χρήστες λοιπόν θα πρέπει να σταματήσουν την ανταλλαγή πακέτων όταν κάνουν ανίχνευση, κάτι το οποίο μειώνει την αποδοτικότητα του φάσματος. Άρα η εύρεση ισορροπίας μεταξύ αποδοτικότητας του φάσματος και ακρίβειας στην ανίχνευση είναι σημαντικό ζήτημα. Ακόμα, επειδή ο χρόνος ανίχνευσης επηρεάζει άμεσα την αποδοτικότητα πρέπει να αναπτυχθούν νέοι αλγόριθμοι ανίχνευσης φάσματος οι οποίοι να ελαχιστοποιούν τον χρόνο ανίχνευσης, δοσμένης της απαιτούμενης ακρίβειας ανίχνευσης

1.4.ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Τα Γνωστικά Δίκτυα πρέπει να έχουν την δυνατότητα να αποφασίζουν ποιό είναι το καλύτερο εύρος ζώνης από τις διαθέσιμες συχνότητες του φάσματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις QoS της υπηρεσίας. Αυτός είναι ο ορισμός της επιλογής φάσματος και αποτελεί έναν σημαντικό αλλά ακόμα ανεξερευνήτο τομέα στα Γνωστικά Δίκτυα. Η επιλογή φάσματος σχετίζεται άμεσα με τα χαρακτηριστικά του καναλιού και τις λειτουργίες που διεξάγουν οι πρωτεύοντες χρήστες. Επίσης, η επιλογή φάσματος εξαρτάται και από τις δραστηριότητες των άλλων δευτερευόντων χρηστών στο δίκτυο. Η επιλογή φάσματος συνήθως αποτελείται από δύο βήματα: πρώτα χαρακτηρίζεται κάθε εύρος διαθέσιμων συχνοτήτων στο φάσμα, βάσει όχι μόνο των τοπικών παρατηρητών των δευτερευόντων χρηστών αλλά και από στατιστικά του πρωτεύοντος δικτύου. Τότε, βάσει αυτού του χαρακτηρισμού, επιλέγεται η καταλληλότερη ζώνη συχνοτήτων.

1.4.1.Χαρακτηριστικά Καναλιού στα Γνωστικά Δίκτυα

Τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων κενών φάσματος μεταβάλλονται με τον χρόνο. Για αυτόν το λόγο, κάθε κενό φάσματος θα πρέπει να χαρακτηρίζεται λαμβάνοντας υπόψιν και το χρονομεταβαλλόμενο περιβάλλον αλλά και τις φασματικές παραμέτρους όπως, η συχνότητα λειτουργίας και το εύρος ζώνης. Είναι λοιπόν απαραίτητο να ορίσουμε κάποιες παραμέτρους οι οποίες θα μπορούν να εκφράσουν μία συγκεκριμένη ζώνη του φάσματος ως εξής:

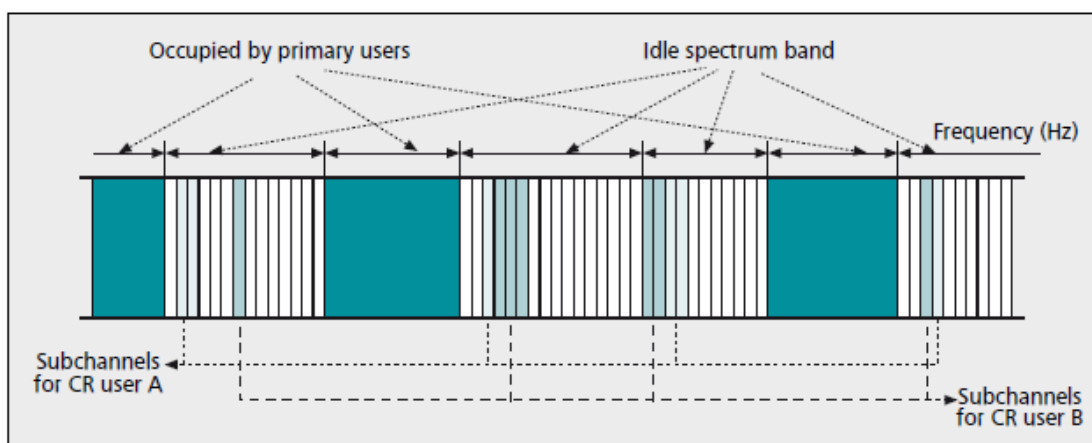
- **Παρεμβολή:** Από την ποσότητα παρεμβολής στον πρωτεύοντα χρήστη μπορεί να προέλθει η επιτρεπόμενη ισχύς που μπορεί να εκπέμψει ένας δευτερεύοντας χρήστης. Αυτό χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της χωρητικότητας του καναλιού.
- **Απώλειες:** Οι απώλειες σχετίζονται άμεσα με την απόσταση και την συχνότητα. Όσο η συχνότητα λειτουργίας αυξάνεται, αυξάνονται και οι απώλειες κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της εμβέλειας. Εάν αυξήσουμε την εκπεμπόμενη ισχύ για να αντισταθμίσουμε τις απώλειες τότε είναι πιθανό να αυξηθεί η παρεμβολή σε άλλους χρήστες.
- **Σφάλματα ασύρματης δικτύωσης:** Ανάλογα με το σχήμα διαμόρφωσης και το επίπεδο της παρεμβολής της ζώνης συχνοτήτων, ο ρυθμός λαθών του καναλιού μεταβάλλεται.
- **Καθυστέρηση στο επίπεδο ζεύξης:** Προκειμένου να χειριστούμε διαφορετικές απώλειες, σφάλματα ασύρματης δικτύωσης και παρεμβολές απαιτούνται διαφορετικά πρωτόκολλα στο επίπεδο ζεύξης για κάθε διαφορετική φασματική ζώνη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση στο επίπεδο της ζεύξης. Είναι επιθυμητό να προσδιορίσουμε τις φασματικές

ζώνες οι οποίες συνδυάζουν όλες τις παραμέτρους που αναφερθήκαμε
νωρίτερα για μεγαλύτερη ακρίβεια στην επιλογή φάσματος

1.4.2. Διαδικασία Επιλογής

Αφού χαρακτηριστούν όλες οι διαθέσιμες ζώνες φάσματος, θα πρέπει να επιλεγεί η πιο κατάλληλη, δεδομένου των απαιτήσεων QoS και των χαρακτηριστικών του φάσματος. Ανάλογα, θα πρέπει να επαναπροσδιοριστούν το εύρος ζώνης και ο τρόπος της εκπομπής. Προκειμένου να περιγράψουμε την δυναμική των Γνωστικών Δικτύων εισάγεται μία νέα μονάδα, η δραστηριότητα πρωτεύοντος χρήστη. Ορίζεται ως η πιθανότητα εμφάνισης πρωτεύοντα χρήστη κατά την διάρκεια λειτουργίας δευτερεύοντα χρήστη. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πόσο συχνά ένας πρωτεύων χρήστης εμφανίζεται στο φάσμα, αφού δεν είναι δεδομένο ότι το φάσμα θα είναι ελεύθερο σε όλη την διάρκεια λειτουργίας του δευτερεύοντα χρήστη.

Εξαιτίας της λειτουργίας των πρωτευόντων δικτύων, οι δευτερεύοντες χρήστες δεν μπορούν να έχουν ένα αξιόπιστο τηλεπικοινωνιακό κανάλι για μεγάλη χρονική διάρκεια. Επίσης, οι δευτερεύοντες χρήστες μπορεί να μην εντοπίσουν κανένα κανάλι το οποίο θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις τους. Έτσι λοιπόν, πολλαπλές και όχι συνεχόμενες ζώνες συχνοτήτων μπορούν να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα για την μετάδοση στα Γνωστικά Δίκτυα, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 1.6. Αυτή η μέθοδος μπορεί να δημιουργήσει ένα σήμα το οποίο είναι δυνατό τόσο για υψηλό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων αλλά και προστατευμένο από παρεμβολές και από την δραστηριότητα του πρωτεύοντος χρήστη. Ακόμα και αν μία από τις ζώνες συχνοτήτων καταληφθεί από πρωτεύοντα χρήστη οι υπόλοιπες ζώνες συχνοτήτων θα διατηρήσουν την μετάδοση δεδομένων.



Εικόνα 1.6. Δομή του καναλιού στην επιλογή πολλαπλού φάσματος

1.4.3. Προκλήσεις της Επιλογής Φάσματος

Για την ανάπτυξη της λειτουργίας της επιλογής φάσματος, αρκετά προβλήματα παραμένουν άλυτα:

- Μοντέλο επιλογής: Ο υπολογισμός της χωρητικότητας του φάσματος χρησιμοποιώντας τον λόγο σήμα προς θόρυβο (SNR) δεν είναι αρκετός για να χαρακτηριστεί μία φασματική ζώνη στα Γνωστικά Δίκτυα. Επίσης, οι εφαρμογές απαιτούν διαφορετικό QoS. Επομένως, ο σχεδιασμός ενός μοντέλου επιλογής φάσματος το οποίο θα προσαρμόζεται είναι ακόμα ανοιχτό πρόβλημα
- Επαναπροσδιορισμός παραμέτρων: Οι τεχνικές των Γνωστικών Δικτύων επιτρέπουν τον επαναπροσδιορισμό των παραμέτρων μετάδοσης για βέλτιστη λειτουργία σε κάθε ζώνη συχνοτήτων. Για παράδειγμα, ακόμα και αν αλλάξει το SNR, ο ρυθμός μετάδοσης και ο ρυθμός λαθών μπορούν να μείνουν αμετάβλητοι, εκμεταλλευόμενοι ένα σχήμα διαμόρφωσης το οποίο θα προσαρμόζεται αντί για μία αλλαγή στην επιλογή φάσματος.
- Επιλογή φάσματος σε ετερογενείς φασματικές ζώνες: Προς το παρόν, κάθε ζώνη συχνοτήτων προορίζεται για διαφορετικό σκοπό και κάποιες ζώνες παραμένουν απροσδιόριστες και ελεύθερες. Ένα Γνωστικό Δίκτυο λοιπόν θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να επιλέξει φάσμα και από τις κατειλημμένες και από τις ελεύθερες περιοχές του φάσματος.

1.5. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Η κοινή χρήση του ασύρματου καναλιού έχει ως προϋπόθεση τον συντονισμό των προσπαθειών μετάδοσης από τους δευτερεύοντες χρήστες. Υπό αυτήν την έννοια, ο διαμοιρασμός ή κατανομή του φάσματος περιέχει αρκετή από την λειτουργικότητα ενός πρωτοκόλλου MAC. Επιπλέον, τα μοναδικά χαρακτηριστικά των Γνωστικών Δικτύων, όπως η συνύπαρξη των δευτερευόντων χρηστών με τους πρωτεύοντες και το μεγάλο εύρος του διαθέσιμου φάσματος, έχουν ως αποτέλεσμα ουσιώδεις προκλήσεις για την κατανομή του φάσματος στα Γνωστικά Δίκτυα. Η υπάρχουσα έρευνα στην κατανομή του φάσματος έχει ως στόχο την αντιμετώπιση των προκλήσεων αυτών και μπορεί να ταξινομηθεί βάσει τεσσάρων χαρακτηριστικών τους: την αρχιτεκτονική, την συμπεριφορά στην κατανομή του φάσματος, την τεχνική πρόσβασης στο φάσμα και το πεδίο δράσης. Η πρώτη ταξινόμηση γίνεται βάσει της αρχιτεκτονικής και είναι κεντρική ή κατακεντρωμένη [3].

- Κεντρική κατανομή φάσματος: Οι διαδικασίες διαμοιρασμού και πρόσβασης στο φάσμα ελέγχονται από μία κεντρική οντότητα. Μία κατακεντρωμένη διαδικασία ανίχνευσης φάσματος μπορεί να υλοποιηθεί έτσι ώστε τα αποτελέσματα από την ανίχνευση να αποστέλλονται στην κεντρική αυτή

οντότητα και να δημιουργείται ένας χάρτης κατανομής του φάσματος. Επιπρόσθετα, η κεντρική οντότητα μπορεί να παρέχει φάσμα στους δευτερεύοντες χρήστες οι οποίοι βρίσκονται σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή και για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια. Επίσης ο ανταγωνισμός για την πρόσβαση στο φάσμα μπορεί να γίνεται μέσω ενός κεντρικού server ο οποίος θα παίρνει αποφάσεις βάσει της πολιτικής που θα του έχει οριστεί.

- Κατανεμημένη κατανομή φάσματος: Η κατανομή και η πρόσβαση στο φάσμα είναι βασισμένη σε τοπικές στρατηγικές οι οποίες εκτελούνται από κάθε κόμβο ξεχωριστά. Η κατανεμημένη αρχιτεκτονική χρησιμοποιείται επίσης και μεταξύ διαφορετικών δικτύων όπως για παράδειγμα ένας σταθμός βάσης που ανταγωνίζεται με άλλους σταθμούς βάσης προκειμένου να καταλάβει ένα κομμάτι του φάσματος, σύμφωνα με τις προδιαγραφές QoS που έχει.

Πρόσφατη έρευνα που κάνει σύγκριση μεταξύ της κεντρικής και της κατανεμημένης στρατηγικής αποκαλύπτει ότι η κατανεμημένες αρχιτεκτονικές έχουν σχεδόν την ίδια απόδοση με τις κεντρικές με κόστος όμως την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των κόμβων. Η δεύτερη κατηγοριοποίηση γίνεται βάσει της συμπεριφοράς στην κατανομή του φάσματος, όπου η πρόσβαση μπορεί να είναι συνεργατική ή μη.

- Συνεργατική κατανομή φάσματος: Η συνεργατικότητα εκμεταλλεύεται τις μετρήσεις παρεμβολής που κάνει κάθε κόμβος, έτσι ώστε να λαμβάνεται υπ' όψιν η επίδραση της επικοινωνίας του ενός κόμβου στους άλλους. Μία συνήθης τακτική που χρησιμοποιείται σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η δημιουργία ομάδων η οποία θα μοιράζεται τοπικά την πληροφορία για την παρεμβολή. Αυτή η τοπική λειτουργία παρέχει μία αποδοτική ισορροπία μεταξύ μίας πλήρους κεντρικής και μίας κατανεμημένης στρατηγικής για την κατανομή του φάσματος.
- Μη-συνεργατική κατανομή φάσματος: Μόνο ένας κόμβος λαμβάνεται υπ' όψιν σε αυτήν την περίπτωση. Επειδή η παρεμβολή στους υπόλοιπους κόμβους δεν μελετάται, οι μη συνεργατικές κατανομές μπορεί να οδηγήσουν σε μειωμένη απόδοση του φάσματος. Παρόλα αυτά η τακτική αυτή δεν απαιτεί συχνές ανταλλαγές μηνυμάτων μεταξύ των γειτονικών κόμβων όπως στην συνεργατική κατανομή φάσματος.

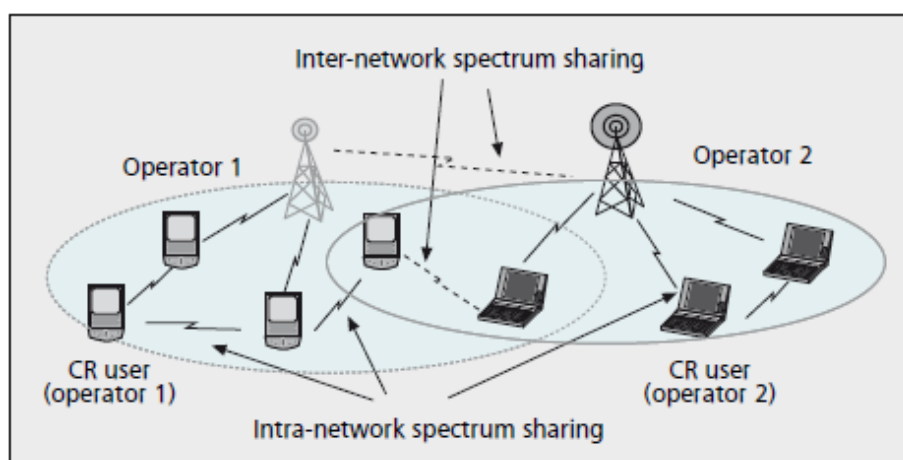
Γενικά η συνεργατική προσέγγιση έχει καλύτερα αποτελέσματα από την μη συνεργατική. Η συνεργατικότητα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων και ακόμη διατηρεί και μία δικαιοσύνη μεταξύ των χρηστών. Από την άλλη όμως, η μειωμένη απόδοση της μη συνεργατικότητας αντισταθμίζεται γενικά από την σημαντικά μειωμένη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των κόμβων

και επομένως χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Η τρίτη κατηγοριοποίηση για την κατανομή του φάσματος στα Γνωστικά Δίκτυα βασίζεται στην τεχνολογία πρόσβασης:

- Κατανομή ελεύθερου φάσματος: Οι κόμβοι έχουν πρόσβαση στο δίκτυο χρησιμοποιώντας ζώνη του φάσματος η οποία ακόμα δεν έχει χρησιμοποιηθεί από το πρωτεύον δίκτυο. Αυτό ελαχιστοποιεί την παρεμβολή του Γνωστικού Δικτύου στο πρωτεύον.
- Κατανομή κατειλημμένου φάσματος: Η λειτουργία του δευτερεύοντα χρήστη γίνεται σε φασματική περιοχή που χρησιμοποιείται από το πρωτεύον δίκτυο και θεωρείται από αυτό ως θόρυβος.

Η τεχνική του κατειλημμένου φάσματος μπορεί να εκμεταλλευτεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης με κόστος την αύξηση στην πολυπλοκότητα. Έχοντας υπόψη αυτό, καταλληλότερες για την κατανομή φάσματος στα Γνωστικά Δίκτυα θεωρούνται οι υβριδικές τεχνολογίες. Τέλος, οι τεχνικές κατανομής φάσματος εστιάζουν σε δύο ειδών λύσεις: στην κατανομή φάσματος στο εσωτερικό ενός Γνωστικού Δικτύου ή μεταξύ πολλών που συνυπάρχουν.

- Κατανομή στο εσωτερικό ενός δικτύου: Αυτή η προσέγγιση έχει ως στόχο τον διαμοιρασμό του φάσματος μεταξύ των κόμβων ενός Γνωστικού Δικτύου, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 1.7. Συνεπώς, οι δευτερεύοντες χρήστες του Γνωστικού Δικτύου προσπαθούν να κερδίσουν πρόσβαση στο φάσμα χωρίς να προκαλούν παρεμβολή στους πρωτεύοντες.
- Κατανομή μεταξύ πολλών δικτύων: Η αρχιτεκτονική των Γνωστικών Δικτύων επιτρέπει την ανάπτυξη πολλαπλών δικτύων σε γεωγραφικές περιοχές και φάσμα που επικαλύπτονται, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 1.7. Προς το παρόν, η κατανομή φάσματος μεταξύ πολλών δικτύων μας παρέχει μία ευρύτερη εικόνα της ιδέας του διαμοιρασμού του φάσματος.



Εικόνα 1.7. Κατανομή φάσματος σε ένα ή περισσότερα Γνωστικά Δίκτυα

1.5.1. Προκλήσεις της Κατανομής Φάσματος

Υπάρχουν πολλές ανοιχτές έρευνες που αφορούν στην πραγματοποίηση της αποδοτικής και συνεχής λειτουργίας των Γνωστικών Δικτύων όπως:

- Κανάλι ανατροφοδότησης: Ένα κανάλι ανατροφοδότησης διευκολύνει πολλές λειτουργίες στην κατανομή φάσματος. Επειδή όμως όταν εμφανίζεται ένας πρωτεύων χρήστης τότε πρέπει να αδειάσει το κανάλι, η υλοποίηση του καναλιού ανατροφοδότησης σε ένα σταθερό κανάλι δεν είναι πρακτική. Ακόμα, στα Γνωστικά Δίκτυα ένα κανάλι το οποίο θα είναι κοινό σε όλους τους χρήστες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τοπολογία και αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Συνεπώς, είτε θα πρέπει να βρεθούν τεχνικές περιορισμού του καναλιού ανατροφοδότησης είτε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται τοπικά κανάλια για ομάδες κόμβων.
- Δυναμικό εύρος συχνοτήτων: Λόγω της ανεξαρτησίας μεταξύ του εύρους ζώνης και της συχνότητας λειτουργίας, οι γείτονες ενός κόμβου μπορεί να αλλάξουν εάν αλλάξει η συχνότητα λειτουργίας. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει αντίστοιχη έρευνα που να αντιμετωπίζει αυτήν την σημαντική πρόκληση.
- Μονάδα φάσματος: Σχεδόν όλες οι αποφάσεις για την επιλογή και την κατανομή του φάσματος θεωρούν ένα κανάλι ως την βασική μονάδα φάσματος. Ο καθορισμός επομένως ενός καναλιού ως μονάδα φάσματος είναι σημαντικός για την ανάπτυξη των αλγορίθμων.
- Πληροφορίες θέσης: Μία σημαντική υπόθεση που κάνουμε είναι ότι ο δευτερεύων χρήστης γνωρίζει την θέση και την εκπεμπόμενη ισχύ του πρωτεύοντα χρήστη, έτσι ώστε οι υπολογισμοί για την παρεμβολή να γίνονται εύκολα. Μία τέτοια υπόθεση όμως μπορεί να μην είναι πάντα σωστή στα Γνωστικά Δίκτυα.

1.6. ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟ ΦΑΣΜΑ

Το τέταρτο βήμα στην διαχείριση του φάσματος, όπως έχουμε αναφέρει και νωρίτερα, είναι η μετακίνηση στο φάσμα. Αφού ένας δευτερεύων χρήστης δεσμεύσει το καλύτερο διαθέσιμο κομμάτι του φάσματος, υπάρχει περίπτωση να εμφανιστεί ένας πρωτεύων χρήστης πράγμα που συνεπάγεται ότι ο δευτερεύων χρήστης πρέπει να αλλάξει την συχνότητα στην οποία λειτουργεί. Αυτό ορίζουμε ως μετακίνηση στο φάσμα. Τα πρωτόκολλα των διαφόρων επιπέδων των Γνωστικών Δικτύων πρέπει να προσαρμόζονται στην συχνότητα λειτουργίας του καναλιού και να μην επηρεάζονται από την επιλογή της συχνότητας και τις αλλαγές που αυτή επιφέρει.

Κάθε φορά που ένας δευτερεύων χρήστης αλλάζει την συχνότητα λειτουργίας του, το πρωτόκολλο δικτύου ίσως να απαιτεί κάποιες τροποποιήσεις στις παραμέτρους λειτουργίας. Ο σκοπός της μετακίνησης στο φάσμα στα Γνωστικά

Δίκτυα είναι να εξασφαλίσουν ομαλή και γρήγορη μετάβαση η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα την ελάχιστη πτώση της απόδοσης κατά την διάρκεια της μετάβασης. Μία βασική απαίτηση των πρωτοκόλλων μεταφοράς στο φάσμα είναι η πληροφορία σχετικά με την χρονική διάρκεια που απαιτείτε για να γίνει η αλλαγή στην συχνότητα λειτουργίας, δηλαδή πόσο χρόνο χρειάζεται για να γίνει η μετακίνηση. Αυτή η πληροφορία μπορεί να προέλθει από έναν αλγόριθμο ανίχνευσης. Εφόσον η πληροφορία αυτή είναι διαθέσιμη, οι επικοινωνία μπορεί να διατηρηθεί με την ελάχιστη υποβάθμιση της απόδοσης.

Τα εγγενή χαρακτηριστικά των Γνωστικών Δικτύων γενούν δύο νέες έννοιες: την μετακίνηση και την αλλαγή (handoff) στο φάσμα. Μέχρι σήμερα δεν έχει γίνει κάποια ερευνητική προσπάθεια για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της αλλαγής φάσματος. Παρά το γεγονός ότι οι μηχανισμοί που έχουν ήδη διερευνηθεί στα κυψελωτά δίκτυα μπορούν να είναι η πρώτη ύλη για τα Γνωστικά Δίκτυα, υπάρχουν ακόμα ανοιχτά θέματα που πρέπει να ερευνηθούν.

1.6.1. Προκλήσεις της Μετακίνησης Φάσματος

Τα ακόλουθα είναι ανοιχτά θέματα προς έρευνα για την αποδοτική μετακίνηση στο φάσμα στα Γνωστικά Δίκτυα:

- Μετακίνηση φάσματος στο πεδίο του χρόνου: Τα Γνωστικά Δίκτυα προσαρμόζονται στο ασύρματο φάσμα βάσει των διαθέσιμων φασματικών περιοχών. Επειδή όμως τα διαθέσιμα κανάλια αλλάζουν με τον χρόνο, το να ορίσεις QoS σε αυτό το περιβάλλον είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον.
- Μετακίνηση φάσματος στον χώρο: Τα διαθέσιμα κανάλια επίσης αλλάζουν καθώς ο χρήστης μετακινείται από το ένα μέρος στο άλλο. Έτσι, η συνεχής κατανομή του φάσματος είναι τεράστια πρόκληση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

2.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

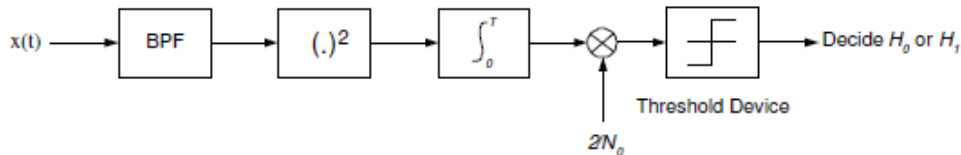
Σε αυτό το κεφάλαιο επιλέγουμε ως βασική μέθοδο ανίχνευσης την ανίχνευση ισχύος [4] αφού ο στόχος μας είναι να βρούμε το κέρδος που επιτυγχάνεται μέσω της συνεργατικότητας, χωρίς να δυσκολεύουμε την ανάλυση χρησιμοποιώντας πιο σύνθετες μεθόδους ανίχνευσης. Είναι γνωστό ότι η απόδοση του ανιχνευτή ισχύος είναι ευάλωτη στα σφάλματα της εκτίμησης της ισχύος του θορύβου. Πράγματι, για να επιτύχουμε το θεμιτό επίπεδο απόδοσης υπό συγκεκριμένη ισχύ θορύβου, ο λόγος του σήματος προς τον θόρυβο (SNR) πρέπει να υπερβαίνει ένα ορισμένο κατώφλι. Αυτό το πρόβλημα δεν θα μπορούσε να αποφευχθεί εάν αυξήσουμε τον χρόνο ανίχνευσης αφού οδηγούμαστε έτσι στην αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων ανίχνευσης όπου το SNR είναι κάτω από το κατώφλι μας. Συγκεκριμένα, όταν υπάρχει διαθέσιμη πληροφορία σχετικά με την δομή του πρωτεύοντος σήματος, ad-hoc ανιχνευτές απασχολούνται για να διευθετήσουν το πρόβλημα.

Σε περιβάλλον με υψηλή σκίαση ή διαλείψεις, η ανίχνευση φάσματος παρεμποδίζεται από την αβεβαιότητα λόγω της τυχαιότητας του καναλιού. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ένα ασθενές λαμβανόμενο σήμα μπορεί να προέρχεται από ένα εξασθενημένο πρωτεύον σήμα και όχι από λευκό θόρυβο. Έτσι, ο δευτερεύων χρήστης πρέπει να είναι πιο προσεκτικός για να μην μπερδέψει μία ισχυρή διάλειψη με λευκό θόρυβο κάτι που θα οδηγήσει σε υποχρησιμοποίηση του φάσματος. Από την άλλη μεριά όμως, τα φαινόμενα διάλειψης και σκίασης μπορεί να ποικίλουν σημαντικά αναλόγως την θέση του δέκτη. Η αβεβαιότητα αυτή των διαλείψεων μπορεί να μετριαστεί εάν επιτρέψουμε σε διαφορετικούς χρήστες να μοιραστούν τα αποτελέσματα της ανίχνευσης και συνεργατικά να αποφασίσουν για την κατάσταση του καναλιού, εάν δηλαδή είναι κατειλημμένο ή όχι. Ο βασικός στόχος είναι να αναλύσουμε την επίδραση της συνεργατικότητας στην απόδοση της πρόσβασης στο φάσμα.

Συγκεκριμένα, θα δείξουμε ότι έχοντας έναν ικανό αριθμό συνεργαζόμενων χρηστών με ανεξάρτητες μεταξύ τους διαλείψεις, είναι δυνατό θεωρητικά να εντοπιστεί ένας πρωτεύων χρήστης σε αυθαίρετα χαμηλές τιμές του SNR. Επιπλέον, η συνεργατικότητα μειώνει τον χρόνο παρατήρησης και το εύρος ζώνης που απαιτείται για την ικανοποιητική ανίχνευση της κατάστασης του καναλιού, το οποίο έχει ως επακόλουθο την υψηλότερη ευκινησία και αποδοτικότητα στην διαδικασία της ανίχνευσης. Έχοντας έναν επαρκή αριθμό χρηστών, μέσω της συνεργατικότητας στην ανίχνευση είναι δυνατόν να έχουμε την επιθυμητή απόδοση υπό θόρυβο ακόμα και όταν οι χρήστες μεμονωμένα δεν ικανοποιούν τις ελάχιστες απαιτήσεις

του SNR. Η συνεργατικότητα λοιπόν, προλαμβάνει την ανάγκη να αναπτυχθούν πιο εξελιγμένοι ανιχνευτές για τέτοιες περιπτώσεις.

2.2.ΜΗ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΑΝΑΛΙ ΜΕ ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ



Εικόνα 2. 1. Μπλοκ-διάγραμμα του ανιχνευτή ισχύος

Η Εικόνα 2.1 μας δείχνει το μπλοκ-διάγραμμα ενός ανιχνευτή ισχύος. Το ζωνοπερατό φίλτρο (BPF) στην είσοδο απομακρύνει τις ανεπιθύμητες συχνότητες, επιλέγοντας την κεντρική συχνότητα, f_s , και το εύρος ζώνης W . Ακολουθεί μία συσκευή ύψωσης στο τετράγωνο έτσι ώστε να μετρήσει την λαμβανόμενη ισχύ και ένας ολοκληρωτής ο οποίος καθορίζει το διάστημα παρατήρησης T . η έξοδος του ολοκληρωτή κανονικοποιείται προς $N_0/2$, όπου N_0 είναι η μονόπλευρη πυκνότητα ισχύος του θορύβου. Τελικά, η κανονικοποιημένη έξοδος, Y , συγκρίνεται με ένα κατώφλι απόφασης, λ , και αποφασίζει εάν υπάρχει ή όχι σήμα.

Ο στόχος της ανίχνευσης φάσματος είναι να καθορίσουμε εάν το κανάλι δεν χρησιμοποιείται από τον πρωτεύοντα χρήστη. Αυτό καταλήγει σε ένα δυαδικό πρόβλημα,

$$x(t) = \begin{cases} n(t), & H_0 \text{ (ελεύθερο κανάλι)} \\ h s(t) + n(t), & H_1 \text{ (κατειλημμένο κανάλι)} \end{cases}$$

όπου $x(t)$ είναι το σήμα που λαμβάνει ο δευτερεύων χρήστης, $s(t)$ είναι το σήμα που εκπέμπει ο πρωτεύων χρήστης, $n(t)$ είναι ο αθροιστικός λευκός Gaussian θόρυβος (AWGN) και h είναι το κέρδος του καναλιού. Ο λόγος SNR ορίζεται ως $\gamma = \frac{P}{N_0 W}$ όπου P είναι η ισχύς του πρωτεύοντος σήματος που λαμβάνεται από τον δευτερεύοντα χρήστη [5].

Ένας ακόμα όρος στην ανίχνευση και πρόσβαση του φάσματος είναι η πιθανότητα εντοπισμού (P_d), η οποία καθορίζει το επίπεδο της προστασίας από την παρεμβολή στον πρωτεύοντα χρήστη ενώ η πιθανότητα εσφαλμένου εντοπισμού (P_f) είναι το ποσοστό που έχουμε λάθος ανιχνεύσει σήμα από πρωτεύοντα χρήστη ενώ υπάρχει μόνο λευκός θόρυβος. Συνεπώς, ένα λογικό κριτήριο είναι να ελαχιστοποιήσουμε την P_f ενώ παράλληλα η P_d παραμένει πάνω από ένα κατώφλι.

Προκειμένου να θέσουμε σωστά το υπόβαθρο στην συζήτηση για την συνεργατικότητα, αρχίζουμε με την ανάλυση του μεμονωμένου (μη συνεργατικού) ανιχνευτή ισχύος σε κανάλι με διαλείψεις. Για απλότητα, υποθέτουμε ότι το γινόμενο του χρόνου επί το εύρος ζώνης, TW , είναι ακέραιος αριθμός τον οποίο συμβολίζουμε με m . Η κανονικοποιημένη έξοδος του ολοκληρωτή στην Εικόνα 2.1, Y , έχει αποδειχτεί ότι ακολουθεί κεντρική κατανομή x^2 υπό H_0 και μη-κεντρική x^2 υπό H_1 με παράμετρο μη-κεντρικότητας $\frac{PT}{N_0/2}$, κάθε μία με $2m$ βαθμούς ελευθερίας. Παρατηρούμε ότι $\frac{PT}{N_0/2} = \frac{2PTW}{N_0W} = 2m\gamma$. Η συνάρτηση πυκνότητας της πιθανότητας (pdf) του Y υπό τις δύο υποθέσεις γράφεται ως εξής:

$$f_{Y|H_0}(y) = \frac{y^{m-1}e^{-y/2}}{\Gamma(m)2^m} \quad (1)$$

$$f_{Y|H_1}(y) = \frac{y^{m-1}e^{-(y+2m\gamma)/2}}{\Gamma(m)2^m} F_1\left(m, \frac{m\gamma y}{2}\right) \quad (2)$$

όπου $\Gamma(\cdot)$ είναι η συνάρτηση Γάμμα και $F_1(\cdot, \cdot)$ είναι η οριακή υπεργεωμετρική συνάρτηση.

Σε περιβάλλον χωρίς διαλείψεις όπου το κέρδος h του καναλιού είναι ντετερμινιστικό, χρησιμοποιώντας τις αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής της κεντρικής και μη κεντρικής κατανομής x^2 οι πιθανότητες εντοπισμού, P_d , και εσφαλμένου εντοπισμού, P_f , [6] μπορούν να γραφούν ως εξής:

$$P_d = P\{Y > \lambda | H_1\} = Q_m(\sqrt{2m\gamma}, \sqrt{\lambda}) \quad (3)$$

$$P_f = P\{Y > \lambda | H_0\} = \frac{\Gamma(m, \lambda/2)}{\Gamma(m)} \triangleq G_m(\lambda) \quad (4)$$

όπου $\Gamma(a, b) = \int_b^\infty t^{a-1}e^{-t} dt$ είναι η ατελής συνάρτηση Γάμμα και $Q_m(\cdot, \cdot)$ είναι η γενικευμένη συνάρτηση Marcum Q η οποία ορίζεται ως εξής:

$$Q_m(a, b) = \int_b^\infty \frac{x^m}{a^{m-1}} e^{-\frac{x^2+a^2}{2}} I_{m-1}(ax) dx$$

όπου $I_{m-1}(\cdot)$ είναι η τροποποιημένη συνάρτηση Bessel $m-1$ τάξης πρώτου είδους.

Συνδυάζοντας τις συναρτήσεις (3) και (4) η πιθανότητα εντοπισμού σχετίζεται με την πιθανότητα εσφαλμένου εντοπισμού μέσω της σχέσης

$$P_d = Q_m(\sqrt{2m\gamma}, \sqrt{G_m^{-1}(P_f)}). \quad (5)$$

Η σημαντική εξισορρόπηση μεταξύ της $P_m = 1 - P_d$ (η πιθανότητα μη εντοπισμού) και της P_f δημιουργεί διάφορες επιπλοκές στα Γνωστικά Δίκτυα όσον αφορά στην πρόσβαση του φάσματος. Μία υψηλή πιθανότητα μη εντοπισμού P_m έχει ως αποτέλεσμα να χάνουμε την παρουσία του πρωτεύοντος χρήστη, το οποίο με την

σειρά του καταλήγει σε μεγάλη παρεμβολή από τον δευτερεύοντα προς τον πρωτεύοντα χρήστη. Από την άλλη μεριά όμως, μία υψηλή πιθανότητα εσφαλμένου εντοπισμού P_f αναπόφευκτα καταλήγει σε χαμηλή χρησιμοποίηση του φάσματος, αφού τα λάθη αυτά αυξάνουν τον αριθμό των χαμένων ευκαιριών για πρόσβαση στο φάσμα.

Όπως αναμενόταν, η P_f είναι ανεξάρτητη του γ , αφού υπό H_0 δεν υπάρχει πρωτεύον σήμα. Όμως όταν το κέρδος του καναλιού h μεταβάλλεται εξαιτίας της σκίασης και των διαλείψεων, η σχέση (3) μας δίνει την πιθανότητα εντοπισμού βάσει του στιγμιαίου SNR, γ . Σε αυτήν την περίπτωση η μέση πιθανότητα εντοπισμού (η οποία συμβολίζεται επίσης P_d) μπορεί να προκύψει εάν υπολογίσουμε τον μέσο όρο της σχέσης (3) ως προς τα στατιστικά των διαλείψεων,

$$\begin{aligned} P_d &= \int_{\gamma} Q_m(\sqrt{2m\gamma x}, \sqrt{\lambda}) f_{\gamma}(x) dx \\ &= \int_{\gamma} Q_m(\sqrt{2m\gamma x}, \sqrt{G_m^{-1}(P_f)}) f_{\gamma}(x) dx \end{aligned} \quad (6)$$

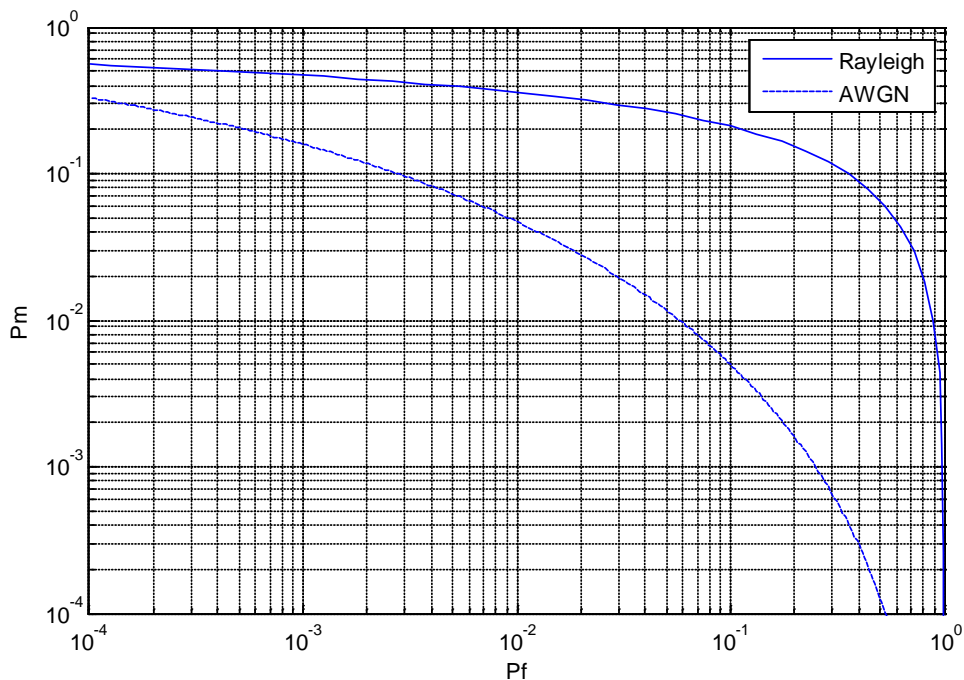
όπου $f_{\gamma}(x)$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (pdf) του SNR με διαλείψεις. Η απόδοση του ανιχνευτή ισχύος για διάφορες τιμές του μέσου SNR και m χαρακτηρίζεται από τις συμπληρωματικές καμπύλες ROC (χαρακτηριστικά λειτουργίας δέκτη), όπου έχουν στον οριζόντιο άξονα την πιθανότητα P_f και στον κατακόρυφο την P_d .

2.2.1. Διαλείψεις Rayleigh

Σε Rayleigh διαλείψεις το γ έχει εκθετική κατανομή. Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να αποκτήσουμε μετά από σύνθετες πράξεις μία κλειστή έκφραση για την P_d αντικαθιστώντας την $f_{\gamma}(x)$ στην σχέση (6),

$$P_d = \frac{\Gamma(m-1, \frac{\lambda}{2})}{\Gamma(m-1)} + e^{-\frac{\lambda}{2(1+m\bar{\gamma})}} \left(1 + \frac{1}{m\bar{\gamma}}\right)^{m-1} \times \left[1 - \frac{\Gamma(m-1, \frac{\lambda m \bar{\gamma}}{2(1+m\bar{\gamma})})}{\Gamma(m-1)}\right] \quad (7)$$

όπου $\bar{\gamma}$ είναι το μέσο SNR. Η Εικόνα 2.2α μας δείχνει τις συμπληρωματικές καμπύλες ROC στα σενάρια AWGN και Rayleigh διαλείψεων. Το $\bar{\gamma}$ και το m υποθέτουμε ότι είναι 5dB και 5 αντίστοιχα. Η καμπύλη AWGN σχεδιάζεται για σύγκριση. Παρατηρούμε ότι σε διαλείψεις Rayleigh έχουμε μία σημαντική πτώση της απόδοσης του ανιχνευτή ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, επιτυγχάνοντας $P_m < 10^{-2}$ συνεπάγεται πιθανότητα εσφαλμένου εντοπισμού P_f μεγαλύτερη από 0.9, το οποίο σημαίνει υποχρησιμοποίηση του φάσματος.



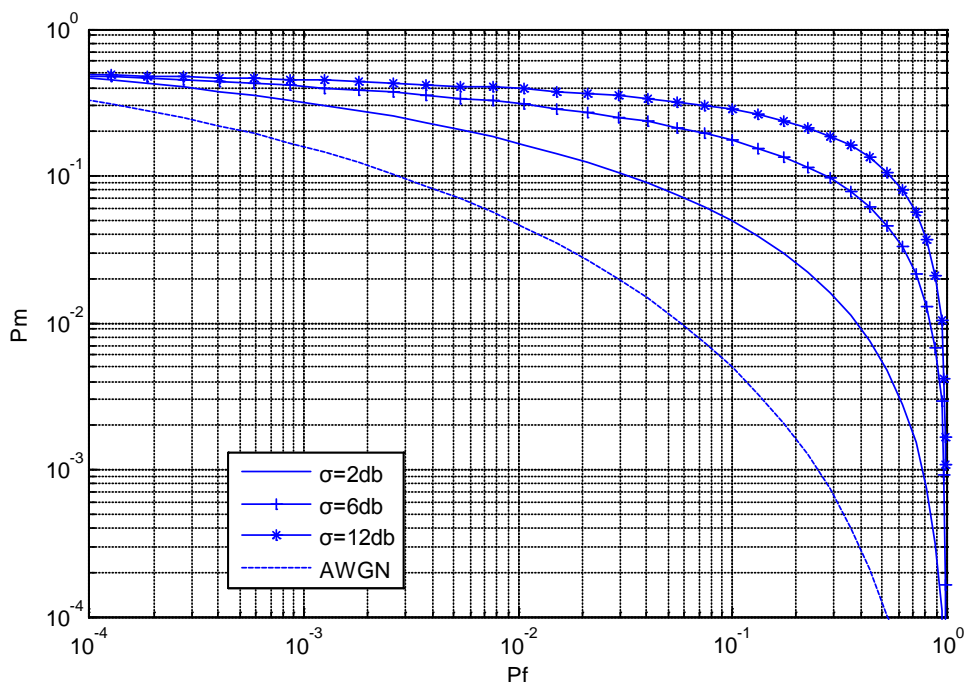
Εικόνα 2. 2. Συμπληρωματικές καμπύλες ROC σε Rayleigh διαλείψεις

2.2.2. Λογαριθμοκανονική Σκίαση

Από εμπειρικές μετρήσεις προκύπτει ότι οι διακυμάνσεις μεσαίας κλίμακας της λαμβανόμενης ισχύς, όταν παρουσιάζονται σε dB, ακολουθούν κανονική κατανομή. Με άλλα λόγια, το γραμμικό κέρδος καναλιού μπορεί να μοντελοποιηθεί από μία λογαριθμοκανονική τυχαία μεταβλητή, e^X , όπου X μία Gaussian τυχαία μεταβλητή με 0 αριθμητικό μέσο και διασπορά σ^2 . Η λογαριθμοκανονική σκίαση συνήθως μετριέται σε μονάδες dB τυπικής απόκλισης (dB-spread), σ_{dB} , η οποία συνδέεται με την τυπική απόκλιση σ μέσω της σχέσης:

$$\sigma = 0.1 \log_e(10^{\sigma_{dB}}).$$

Όταν το γ είναι κατανεμημένο λογαριθμοκανονικά εξαιτίας της σκίασης, η σχέση (6) μπορεί να υπολογιστεί αριθμητικά. Η Εικόνα 2.3 δείχνει τις συμπληρωματικές καμπύλες ROC για τρία διαφορετικά σ_{dB} . Το μέσο SNR, $\bar{\gamma}$ και το m υποθέτουμε ότι είναι 5dB και 5 αντίστοιχα. Η καμπύλη AWGN σχεδιάζεται για σύγκριση.



Εικόνα 2. 3. Συμπληρωματικές καμπύλες ROC σε λογαριθμοκανονική σκίαση για διάφορα dB-spread

Συγκρίνοντας την καμπύλη AWGN με τις καμπύλες σε σκίαση, παρατηρούμε ότι η ανίχνευση φάσματος είναι πιο δύσκολη σε περιβάλλον με σκίαση. Επίσης, όσο η σκίαση γίνεται πιο έντονη (αυξάνεται το dB-spread), τόσο υποβαθμίζεται η απόδοση του ανιχνευτή ισχύος. Όπως φαίνεται από τις Εικόνες 2.2 και 2.3, ο ανιχνευτής ισχύος δέχεται σημαντικές απώλειες στην απόδοση του σε περιβάλλον με διαλείψεις ή σκίαση.

2.3. ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΑΝΑΛΙ ΜΕ ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ

Μέχρι τώρα έχουμε ποσοτικοποιήσει την αρνητική επίδραση των διαλείψεων στην πρόσβαση του φάσματος υπό την έννοια της αυξανόμενης πιθανότητας P_f (περισσότερες χαμένες ευκαιρίες πρόσβασης) όταν έχουμε σταθερή P_d (σταθερό επίπεδο προστασίας από παρεμβολή). Με σκοπό να βελτιώσουμε την ανίχνευση φάσματος υπό την παρουσία διαλείψεων, επιτρέπουμε σε διάφορους δευτερεύοντες χρήστες να συνεργαστούν μοιράζοντας τις πληροφορίες τους. Αυτό επιτυγχάνεται όταν κάθε ένας μοιράζεται την μετρούμενη ισχύ, Y , ή μία συνάρτηση αυτής, με έναν κεντρικό χρήστη ή διαχειριστή. Αυτός, βασισμένος στις μετρήσεις που έχει συλλέξει, παίρνει την τελική απόφαση της κατάστασης του καναλιού και την στέλνει πίσω σε όλους.

Συμβολίζουμε με n τον αριθμό των χρηστών οι οποίοι θα συνεργαστούν. Για απλότητα θεωρούμε ότι η πληροφορία που λαμβάνεται από τον κεντρικό χρήστη δεν έχει σφάλματα. Υποθέτουμε επίσης ότι όλοι οι n χρήστες υπόκεινται σε ανεξάρτητες διαλείψεις ή σκιάσεις με τον ίδιο μέσο SNR. Ένα βασικό συμπέρασμα

στα δυαδικά προβλήματα είναι ότι: όταν οι μετρήσεις των διάφορων ανιχνευτών είναι υπό όρους ανεξάρτητες, όπως στην περίπτωση μας, η βέλτιστη τεχνική απόφασης για μεμονωμένους χρήστες είναι η LRT (likelihood ratio test). Επιπλέον κάθε ένας έχει διαφορετικό βέλτιστο κατώφλι και είναι γενικά δύσκολο να το ορίσεις. Επειδή όμως η εφαρμογή του LRT σε περιβάλλον με διαλείψεις απαιτεί εκτίμηση του καναλιού, δηλαδή αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος, υποθέτουμε ότι όλοι οι χρήστες έχουν ανιχνευτή ισχύος αντί για LRT και χρησιμοποιούν το ίδιο κατώφλι απόφασης, λ . Μπορεί αυτές οι παραδοχές να μην τελειοποιούν το σύστημα μας αλλά διευκολύνουν την ανάλυση μας και την πρακτική εφαρμογή.

Στην συνέχεια θα θεωρήσουμε δύο περιπτώσεις για τον τρόπο διαμοιρασμού της μετρούμενης ισχύος. Πρώτα θεωρούμε ότι ο κεντρικός χρήστης έχει πλήρης γνώση κάθε μεμονωμένης μέτρησης (soft decision). Η μετρούμενη ισχύς Y πρέπει να κβαντιστεί χρησιμοποιώντας έναν επαρκή αριθμό από bits πριν αποσταλεί στον κεντρικό χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν, για να έχει ακριβή αντίγραφα των μετρήσεων, απαιτείται η αποστολή πολλών bit και στην πράξη σπαταλάμε το φάσμα. Μία πιο θεμιτή επιλογή υπό αυτήν την άποψη, είναι ο κάθε χρήστης να στέλνει μόνο το τελευταίο bit της απόφασης του (hard decision) δηλαδή H_0 ή H_1 στον κεντρικό χρήστη.

2.3.1. Soft Decision

Είναι γνωστό ότι μεταξύ των διάφορων τεχνικών γραμμικού συνδυασμού, ο MRC (Maximal-Ratio Combining) έχει την καλύτερη απόδοση. Απαιτεί όμως τον υπολογισμό του κέρδους του καναλιού με διαλείψεις για κάθε ξεχωριστό χρήστη στην περίπτωση μας. Από την άλλη, ο EGC (Equal-Gain Combining) αποδίδει ελάχιστα κατώτερα από τον MRC και δεν απαιτεί τον υπολογισμό του κέρδους. Με τον EGC, ο κεντρικός χρήστης επιλέγει μεταξύ H_0 και H_1 συγκρίνοντας το άθροισμα των μετρούμενων ισχύων με ένα κατώφλι. Η απόφαση είναι λοιπόν,

$$Y_0 \triangleq \sum_{i=1}^n Y_i \quad (8)$$

Το άθροισμα n ανεξάρτητων τυχαίων x^2 μεταβλητών είναι μία άλλη x^2 μεταβλητή με βαθμό ελευθερίας και παράμετρο μη κεντρικότητας ίσο με το άθροισμα των βαθμών ελευθερίας και τις παραμέτρους μη κεντρικότητας των n μεταβλητών, αντίστοιχα. Επομένως, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (pdf) της συνδυαστικής εξόδου για κάθε υπόθεση δίνεται από τις σχέσεις:

$$f_{Y|H_0}(y) = \frac{y^{nm-1} e^{-y/2}}{\Gamma(nm) 2^{nm}} \quad (9)$$

$$f_{Y|H_1}(y) = \frac{y^{m-1} e^{-(y+2m \sum_{i=1}^n \gamma_i)/2}}{\Gamma(nm) 2^{nm}} F_1 \left(nm, \frac{m \gamma \sum_{i=1}^n \gamma_i}{2} \right) \quad (10)$$

Άρα η πιθανότητα εντοπισμού και η πιθανότητα εσφαλμένου εντοπισμού δίνονται από:

$$Q_d = P\{Y_0 > \lambda | H_1, \gamma_1 = l_1, \dots, \gamma_n = l_n\} = Q_{nm}(\sqrt{2m \sum_{i=1}^n l_i}, \sqrt{\lambda}) \quad (11)$$

$$Q_f = P\{Y_0 > \lambda | H_0\} = \frac{\Gamma(nm, \lambda/2)}{\Gamma(nm)} \quad (12)$$

όπου έχουμε χρησιμοποιήσει τα σύμβολα Q_d και Q_f για να διαφοροποιήσουμε τις σχετικές ποσότητες από τις αντίστοιχες μεμονωμένου χρήστη (μη συνεργατικές) αλλά σε καμία περίπτωση να μην μπερδεύονται με την συνάρτηση Marcum Q, $Q_m(\cdot, \cdot)$. Η μέση πιθανότητα εντοπισμού απορρέει από την σχέση (11) αν την αποσυσχετίσουμε από τα γ_i . Παρατηρούμε ότι η πιθανότητα Q_d είναι συνάρτηση μόνο του $\gamma_0 = \sum_{i=1}^n \gamma_i$ και μπορούμε να γράψουμε,

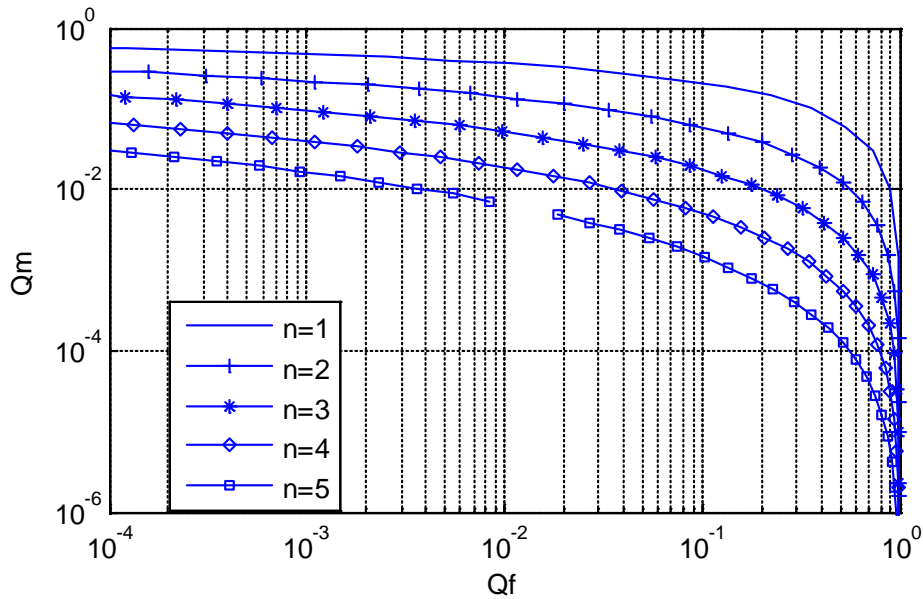
$$Q_d = \int_{\gamma_0} Q_{nm}(\sqrt{2mx}, \sqrt{\lambda}) f_{\gamma_0}(x) dx \quad (13)$$

όπου, με κατάχρηση του συμβολισμού, το Q_d συμβολίζει επίσης την μέση πιθανότητα εντοπισμού. Σε Rayleigh διαλείψεις, το γ_0 είναι το άθροισμα n ανεξάρτητων εκθετικά κατανομημένων τυχαίων μεταβλητών και μπορούμε εύκολα να δείξουμε ότι ακολουθεί κατανομή Γάμμα,

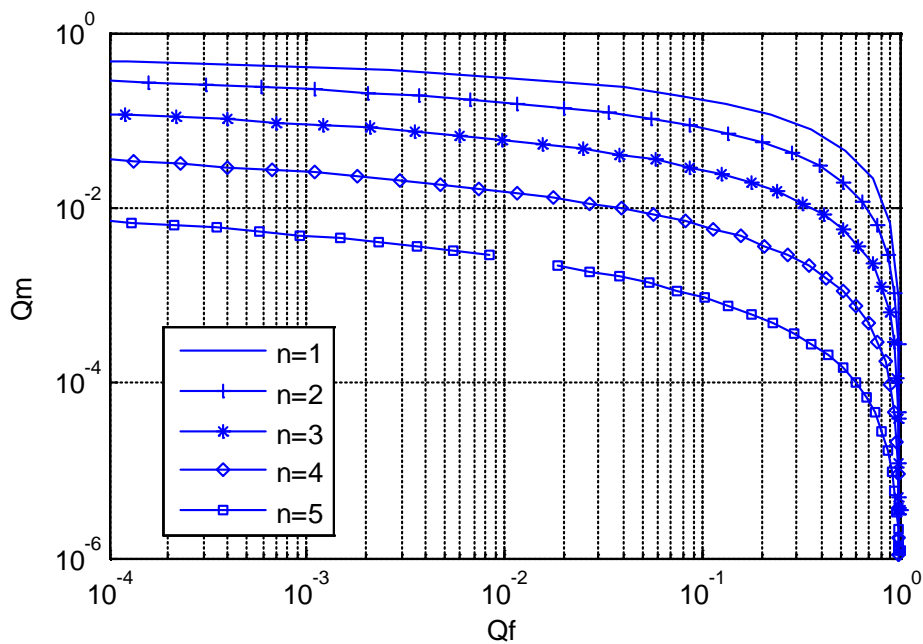
$$f_{\gamma_0}(x) = \frac{x^{n-1} e^{-x/\bar{\gamma}}}{(n-1)! \bar{\gamma}^n}. \quad (14)$$

Αντικαθιστώντας την $f_{\gamma_0}(x)$ από την σχέση (14) στην (13) και μετά από πράξεις μπορεί να προκύψει μία κλειστή έκφραση για την Q_d για να χρησιμοποιηθεί στην εξαγωγή των καμπυλών ROC.

Σε λογαριθμοκανονική σκίαση οι καμπύλες ROC υπολογίζονται αριθμητικά. Οι Εικόνες 2.4 και 2.5 δείχνουν αυτές τις καμπύλες σε διαλείψεις Rayleigh και σε λογαριθμοκανονική σκίαση ($\sigma_{dB} = 6dB$), αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι για δεδομένη πιθανότητα προστασίας από παρεμβολές (Q_d), η συνεργατικότητα καταλήγει σε σημαντικά χαμηλότερη πιθανότητα εσφαλμένου εντοπισμού (Q_f). Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε θεωρήσει $\bar{\gamma} = 5dB$ και $m = 5$.



Εικόνα 2. 4. Καμπύλες ROC σε Rayleigh διαλείψεις



Εικόνα 2. 5. Καμπύλες ROC σε Rayleigh διαλείψεις

2.3.2.Hard Decision

Ποσοτικοποιώντας την απόδοση της συνεργατικότητας, έχουμε θεωρήσει ότι ο κεντρικός χρήστης ξέρει ακριβώς τις μετρούμενες ισχύς. Για να πετύχουμε όμως την βέλτιστη αυτή απόδοση πρέπει να στείλουμε στον κεντρικό χρήστη έναν μεγάλο όγκο δεδομένων, κάτι που θα δημιουργήσει άσκοπη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των χρηστών, όπως ήδη έχουμε πει. Για να ελαχιστοποιήσουμε αυτήν την κίνηση, θεωρούμε ότι οι χρήστες στέλνουν μόνο 1 bit πληροφορίας (H_0 ή H_1) αντί για

ολόκληρη την μέτρηση. Με u_i θα συμβολίσουμε την απόφαση του κάθε χρήστη ως εξής:

$$u_i = \begin{cases} 0, & H_0 \text{ εάν } y_i < \lambda \\ 1, & H_1 \text{ εάν } y_i > \lambda \end{cases} \quad i = 1, \dots, n$$

Όταν οι μεμονωμένες μετρήσεις είναι αμοιβαία ανεξάρτητες μπορούμε να δείξουμε ότι το κριτήριο Neyman-Pearson οδηγεί στον ακόλουθο συνδυαστικό κανόνα:

$$\sum_{i=1}^n u_i \log_e \left[\frac{P_{d_i}(1-P_{f_i})}{(1-P_{d_i})P_{f_i}} \right] \geq \Lambda \quad (15)$$

όπου P_{d_i} και P_{f_i} είναι οι ατομικές πιθανότητες εντοπισμού και εσφαλμένου εντοπισμού του κάθε χρήστη. Ο κεντρικός χρήστης παίρνει την απόφαση του συγκρίνοντας τον σταθμισμένο μέσο όρο των ατομικών μετρήσεων με ένα κατώφλι, δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στις πιο αξιόπιστες μετρήσεις. Για να απλοποιήσουμε την υλοποίηση, θεωρούμε ότι όλοι οι χρήστες έχουν το ίδιο κατώφλι απόφασης, λ . Όπως και προηγουμένως, υποθέτουμε ότι όλοι οι συνεργαζόμενοι χρήστες υπόκεινται στα ίδια φαινόμενα path-loss ($\bar{\gamma}_i = \bar{\gamma}$, $i = 1, \dots, n$). Υπό αυτές τις συνθήκες, οι διαφορετικοί χρήστες έχουν ίσες πιθανότητες εντοπισμού και εσφαλμένου εντοπισμού ($P_{d_i} = P_d, P_{f_i} = P_f, i = 1, \dots, n$), το οποίο με την σειρά του καταλήγει σε ίσες βαρύτητες μεταξύ των μετρήσεων στην σχέση (15). Έτσι, με βάση το επιλεγμένο κατώφλι Λ , ο κεντρικός χρήστης βάζει σε εφαρμογή τον κανόνα $k - out - of - n$ και αποφασίζει ότι το κανάλι βρίσκεται στην κατάσταση H_1 εάν k ή περισσότερες μεμονωμένες μετρήσεις είναι ίσες με 1, διαφορετικά η απόφαση είναι H_0 .

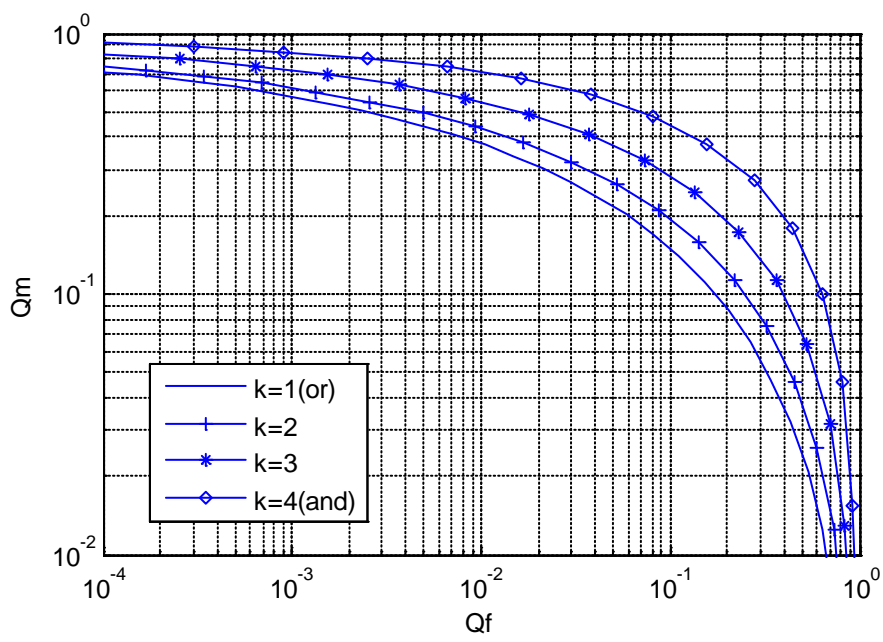
Η μέση πιθανότητα εντοπισμού και εσφαλμένου εντοπισμού για τον κανόνα $k - out - of - n$ σχετίζονται με τις αντίστοιχες πιθανότητες μεμονωμένου χρήστη μέσω των παρακάτω σχέσεων:

$$Q_d = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} P_d^i (1 - P_d)^{n-i} \quad (16)$$

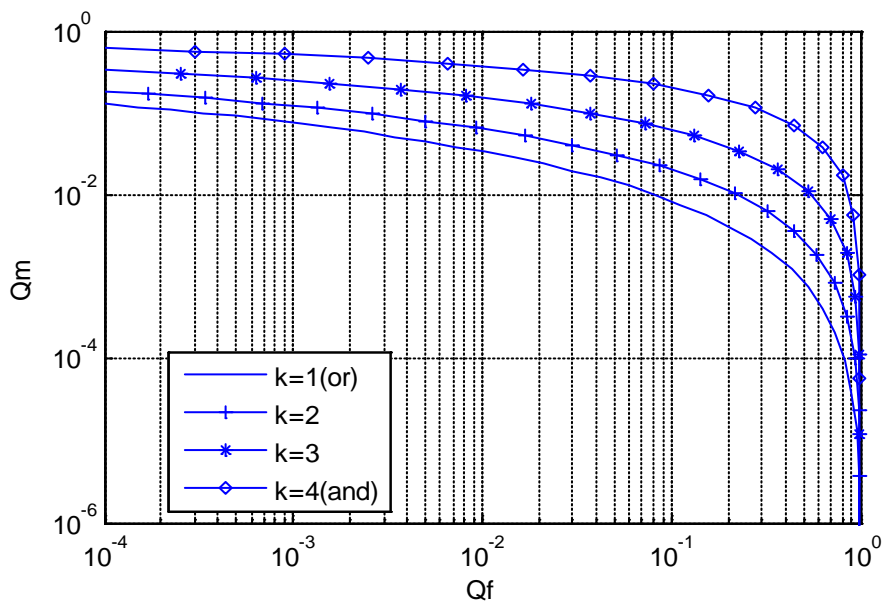
$$Q_f = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} P_f^i (1 - P_f)^{n-i} \quad (17)$$

όπου P_d και P_f είναι οι μεμονωμένες πιθανότητες εντοπισμού και εσφαλμένου εντοπισμού όπως ορίζονται από τις σχέσεις (6) και (4) αντίστοιχα. Οι καμπύλες ROC για διάφορες τιμές του κανόνα $k - out - of - n$ σε διαλείψεις Rayleigh παρουσιάζονται στις Εικόνες 2.6α-δ. Αυτές, μαζί και με άλλα αποτελέσματα μέσω προσομοιώσεων, δείχνουν ότι για πολλές περιπτώσεις πρακτικού ενδιαφέροντος, ο κανόνας $1 - out - of - n$ (ή διαφορετικά OR) έχει τα καλύτερα αποτελέσματα. Επομένως, ο κεντρικός χρήστης θα πρέπει να χαρακτηρίζει κατελημμένο το κανάλι εάν οποιοσδήποτε δευτερεύων χρήστης εντοπίσει πρωτεύον σήμα. Πρέπει να

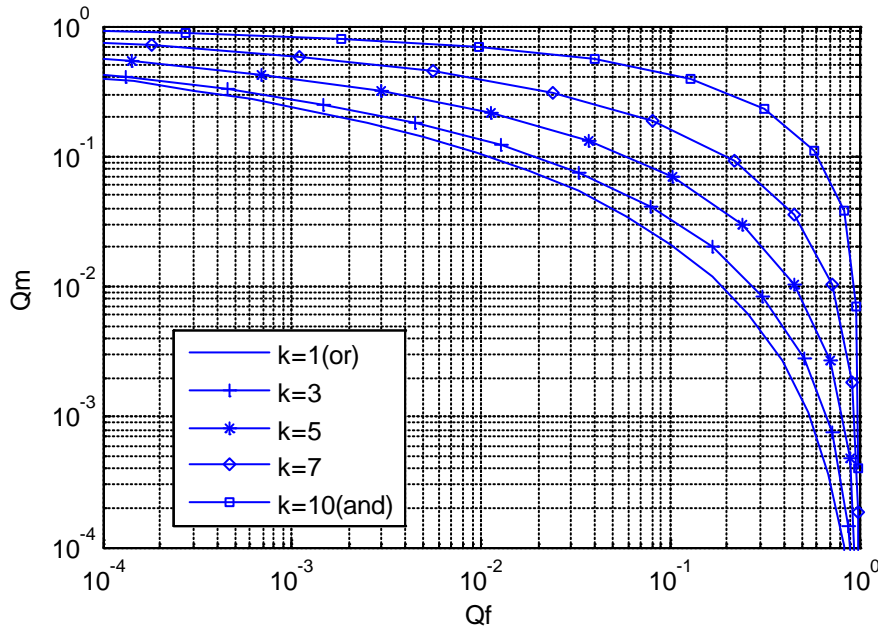
επισημάνουμε εδώ ότι ο κανόνας OR δεν είναι πάντα ο καλύτερος αλλά αναλόγως την περίπτωση πρέπει να καθορίζεται ο βέλτιστος $k - out - of - n$ κανόνας.



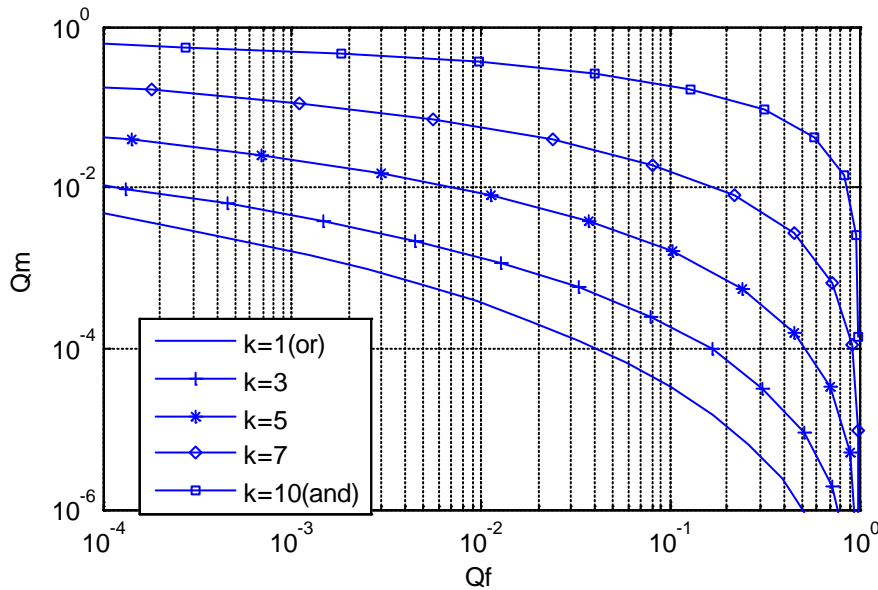
Εικόνα 2. 6α. ROC καμπύλες για διάφορους k -out of- n κανόνες σε διαλείψεις Rayleigh με $m=5$, $n=4$, $\gamma=0$ dB



Εικόνα 2. 6β. ROC καμπύλες για διάφορους k -out of- n κανόνες σε διαλείψεις Rayleigh με $m=5$, $n=4$, $\gamma=5$ dB

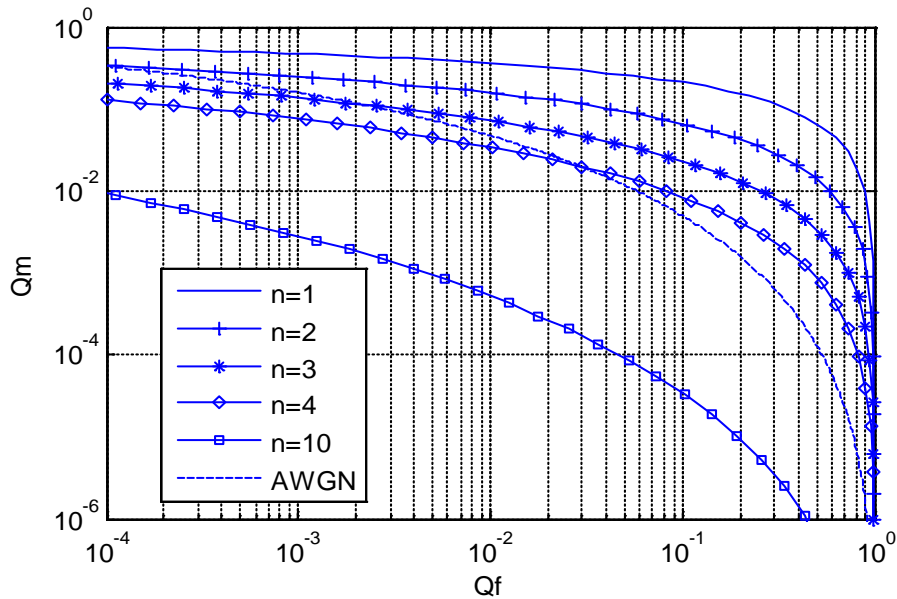


Εικόνα 2. 6γ. ROC καμπύλες για διάφορους k-out of-n κανόνες σε διαλείψεις Rayleigh με $m=5$, $n=10$, $\gamma=0dB$

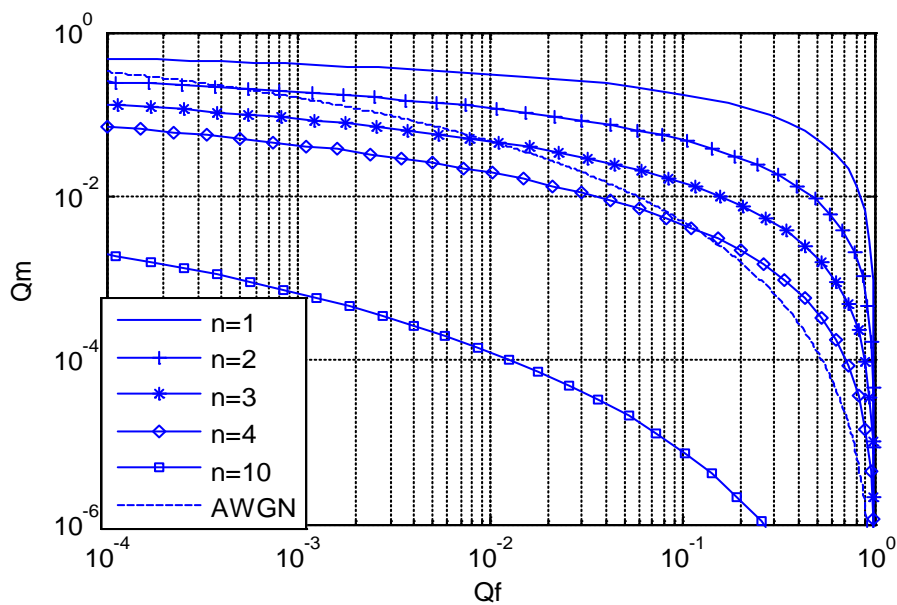


Εικόνα 2. 6δ. ROC καμπύλες για διάφορους k-out of-n κανόνες σε διαλείψεις Rayleigh με $m=5$, $n=10$, $\gamma=5dB$

Η Εικόνα 2.7α και 2.7β δείχνουν τις ROC καμπύλες για τον κανόνα OR για διάφορες τιμές των συνεργαζόμενων χρηστών σε διαλείψεις Rayleigh και λογαριθμοκανονική σκίαση ($\sigma_{dB} = 6dB$). Όπως προηγουμένως, $\bar{\gamma} = 5dB$ και $m = 5$. Και στις δύο περιπτώσεις η καμπύλη AWGN (χωρίς διαλείψεις) παρουσιάζεται για σύγκριση.



Εικόνα 2. 7α. Καμπύλες ROC για τον κανόνα OR σε Rayleigh διαλείψεις



Εικόνα 2. 7β. Καμπύλες ROC για τον κανόνα OR σε λογαριθμοκανονική σκίαση

Όπως φαίνεται σε αυτές τις εικόνες, η συνεργατικότητα των δευτερευόντων χρηστών ακυρώνει την αρνητική επίδραση της σκίασης και των διαλείψεων αποτελεσματικά. Ακόμα, όσο αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών n , η τεχνική της συνεργατικότητας υπερνικά ακόμα και την μεμονωμένη ανίχνευση ($n = 1$) σε περιβάλλον χωρίς διαλείψεις (AWGN). Αυτό συμβαίνει γιατί όταν υπάρχουν περισσότεροι δευτερεύοντες χρήστες υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να εντοπιστεί ένας πρωτεύων χρήστης με SNR αρκετά υψηλότερα από το κατώφλι. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι εάν χειριστούμε κατάλληλα ένα κανάλι με διαλείψεις, τότε είναι προς όφελος μας για την πρόσβαση στο φάσμα.

Συγκρίνοντας τις Εικόνες 2.4 και 2.5 με τις Εικόνες 2.7 για τον ίδιο αριθμό χρηστών n , υπάρχει μία πτώση της απόδοσης του hard-decision με τον κανόνα OR σε σχέση με το soft-decision. Παρόλα αυτά το hard-decision είναι καλύτερη επιλογή εξαιτίας της σημαντικά χαμηλότερης ανταλλαγής πακέτων που απαιτεί. Αυτό γίνεται ακόμα πιο σημαντικό όταν έχουμε να κάνουμε με χρήστες οι οποίοι επιλέγουν αν θέλουν να συμμετάσχουν σε μία τεχνική συνεργατικότητας. Σε αυτήν την περίπτωση οι χρήστες θα είναι πιο πρόθυμοι να συμμετάσχουν εάν γνωρίζουν ότι δεν πρόκειται να καταναλώσουν σημαντικούς πόρους για την συνεργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ MATLAB

Τα παραπάνω διαγράμματα ROC προέκυψαν από την απεικόνιση των σχέσεων που εκφράζουν τις πιθανότητες P_d και P_f σε διάφορες περιπτώσεις. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η προσομοίωση που έγινε στο πρόγραμμα MATLAB χωρίς την χρήση καμίας δοσμένης σχέσης. Στην περίπτωση μας θα προσομοιώσουμε ένα περιβάλλον στο οποίο θα συνυπάρχουν πρωτεύοντες και δευτερεύοντες χρήστες, οι οποίοι θα δημιουργούν ad-hoc δίκτυα για την μεταξύ τους επικοινωνία. Σκοπός μας είναι να μελετήσουμε την πιθανότητα παρεμβολής (P_m) των δευτερευόντων χρηστών στους πρωτεύοντες. Θα υλοποιηθούν διάφορα σενάρια συνεργατικότητας αλλά και μη συνεργατικότητας για την ανίχνευση του πρωτεύοντα χρήστη.

3.1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΔΙΕΥΚΡΙΝΗΣΕΙΣ

Θεωρούμε ότι το περιβάλλον μας είναι χωρίς διαλείψεις και εφαρμόζουμε την απόσβεση ελευθέρου χώρου (F.S.L). Καθορίζουμε τις διαστάσεις της περιοχής, την οποία θεωρούμε τετράγωνο, δηλαδή το μήκος και το πλάτος της. Επίσης ορίζουμε το πλήθος των χρηστών οι οποίοι θα βρίσκονται εντός της περιοχής, τόσο πρωτεύοντες όσο και δευτερεύοντες αλλά και την πιθανότητα λειτουργίας τους, η οποία είναι διαφορετική για τους πρωτεύοντες και για τους δευτερεύοντες χρήστες. Ακόμη καθορίζουμε την ισχύ εκπομπής των συσκευών που έχουν οι χρήστες [7], θεωρώντας ότι είναι η ίδια για όλους και ότι οι κεραίες τους δεν έχουν κέρδος. Ορίζουμε επίσης την συχνότητα λειτουργίας των πομποδεκτών και την ισχύ του θορύβου, την οποία επίσης την θεωρούμε ίδια σε όλη την περιοχή μας. Όσον αφορά στην δημιουργία των ζεύξεων μεταξύ των χρηστών, ορίζουμε το κατώτατο όριο του SNR το οποίο απαιτείται για την δημιουργία μίας ζεύξης, το οποίο είναι κοινό για όλους τους χρήστες. Σχετικά με την λειτουργία των δευτερευόντων χρηστών ορίζουμε το όριο λ του ανιχνευτή ισχύος τους, τότε δηλαδή θα θεωρούν ότι έχουν εντοπίσει πρωτεύοντα χρήστη, και τέλος ορίζουμε εάν η ανίχνευση και η απόφαση λειτουργίας των δευτερευόντων χρηστών θα είναι συνεργατική ή όχι και ποιός $k - out - of - n$ κανόνας θα εφαρμοστεί. Υλοποιούμε δηλαδή την περίπτωση του hard decision.

Αρχικά τοποθετούμε τους πρωτεύοντες χρήστες τυχαία στην περιοχή χρησιμοποιώντας την συνάρτηση *rand* του MATLAB. Στην συνέχεια υπολογίζεται η μεταξύ τους απόσταση, ο λόγος SNR προκειμένου να δημιουργηθούν οι μεταξύ τους ζεύξεις και το πλήθος των χρηστών οι οποίοι έχουν σχηματίσει το μέγιστο ad-hoc δίκτυο. Με τον ίδιο τρόπο τοποθετούνται και οι δευτερεύοντες χρήστες. Αυτοί στην συνέχεια κάνουν την ανίχνευση και με βάση την μετρούμενη ισχύ και την στρατηγική που ακολουθείται αποφασίζουν εάν θα εκπέμψουν ή όχι. Εάν εκπέμψουν δημιουργούν τότε τις δικές τους ζεύξεις και δίκτυο αντίστοιχα με τους

πρωτεύοντες. Τότε γίνεται επανέλεγχος στις ζεύξεις των πρωτευόντων και υπολογίζεται πλέον ο λόγος SINR (signal to interference ratio) εξαιτίας της παρεμβολής που δημιουργούν οι δευτερεύοντες. Εάν χαθεί έστω και μία ζεύξη μεταξύ πρωτευόντων χρηστών τότε θεωρούμε ότι έχουμε περίπτωση παρεμβολής.

3.2.ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Θα εκτελέσουμε την προσομοίωση για διάφορες τιμές και συνδυασμούς των παραμέτρων έτσι ώστε να αποκτήσουμε μία πιο σφαιρική εικόνα και να μπορούμε να καταλήξουμε σε ασφαλή συμπεράσματα. Για κάθε περίπτωση θα παρουσιάσουμε τις αντίστοιχες εικόνες και γραφήματα. Στην εικόνα που παρουσιάζει την περιοχή με τους χρήστες καθώς και τις ζεύξεις και τα δίκτυα που δημιουργούν οι πρωτεύοντες χρήστες απεικονίζονται με μπλε χρώμα ενώ οι δευτερεύοντες με κόκκινο. Όσοι λειτουργούν εμφανίζονται ως κουκίδα ενώ όσοι δεν λειτουργούν ως κύκλος. Να αναφέρουμε εδώ ότι οι δευτερεύοντες χρήστες που δεν λειτουργούν (δεν θέλουν να εκπέμψουν) συνεισφέρουν παρόλα αυτά στην διαδικασία της ανίχνευσης πρωτευόντων χρηστών. Οι δευτερεύοντες (κόκκινοι) χρήστες που είναι ενεργοί αλλά δεν εκπέμπουν τελικά λόγω της ύπαρξης πρωτεύοντος (μπλε) χρήστη απεικονίζονται με παχύ κύκλο, ενώ όσοι από τους δευτερεύοντες έχουν εντοπίσει πρωτεύοντα χρήστη εμφανίζονται στην εικόνα με δεύτερο ομόκεντρο κύκλο μεγαλύτερης ακτίνας. Όταν υπάρχει ζεύξη μεταξύ χρηστών εμφανίζεται γραμμή αντίστοιχου χρώματος, ενώ όταν η ζεύξη των πρωτευόντων χαθεί λόγω παρεμβολής από τους δευτερεύοντες τότε η γραμμή γίνεται διακεκομμένη. Στον τίτλο της εικόνας αναγράφεται εάν υπάρχει τελικά ή όχι παρεμβολή. Δίπλα από την εικόνα που απεικονίζεται η περιοχή με τους χρήστες έχουμε ένα διάγραμμα στο οποίο φαίνεται το επίπεδο του SNR το οποίο έχει ανιχνεύσει κάθε δευτερεύων χρήστης. Με την κόκκινη οριζόντια γραμμή συμβολίζουμε το όριο λ του ανιχνευτή και επίσης αναγράφεται και ο $k - out - of - n$ κανόνας που εφαρμόσαμε.

3.2.1.Σενάριο 1^ο

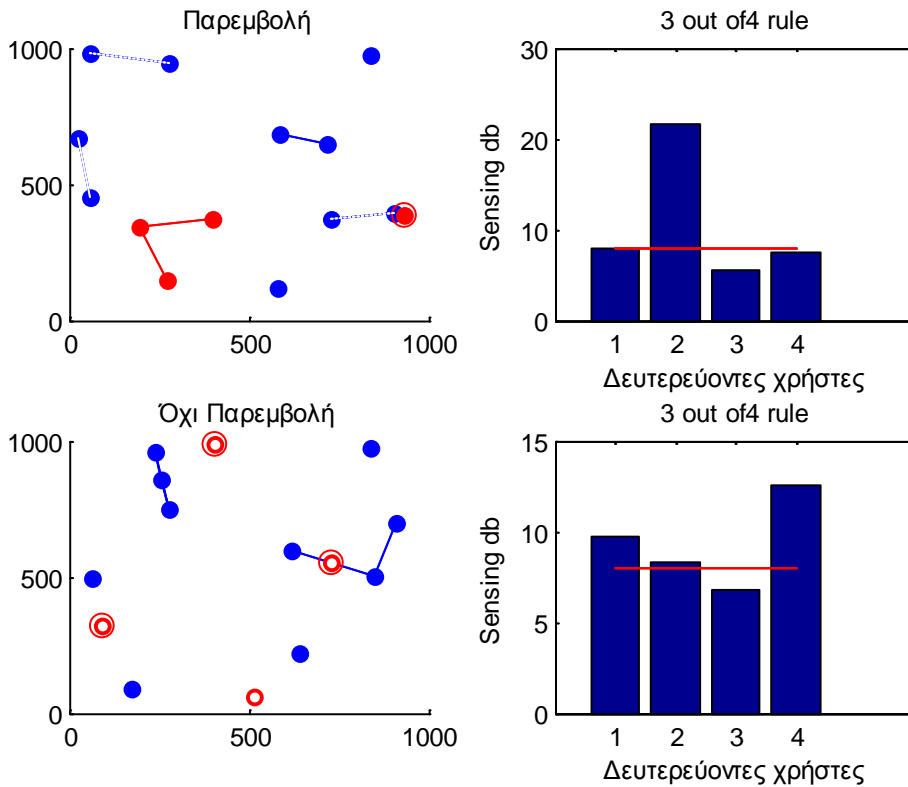
Ορίζουμε τις παραμέτρους που προαναφέραμε για την εκτέλεση της προσομοίωσης ως εξής:

Μήκος περιοχής	1000 μέτρα
Πλάτος περιοχής	1000 μέτρα
Πλήθος πρωτευόντων χρηστών	10
Πλήθος δευτερευόντων χρηστών	4
Πιθανότητα λειτουργίας πρωτευόντων	100%
Πιθανότητα λειτουργίας δευτερευόντων	100%
Συχνότητα λειτουργίας	2400 MHz
Ισχύς εκπομπής	10 dBm

Ισχύς θορύβου	-80 dBm
Κατώτατο όριο SNR για δημιουργία ζεύξης	2dB
Όριο ανιχνευτή ισχύος λ	8dB
$k - out - of - n$	3

Στην Εικόνα 3.1 που ακολουθεί παρατηρούμε δύο εκτελέσεις αυτής της περίπτωσης. Στην πρώτη από αυτές μόνο ένας από τους δευτερεύοντες χρήστες εντοπίζει την ύπαρξη πρωτεύοντα χρήστη και όπως βλέπουμε από την αριστερή εικόνα είναι αυτός με τον διπλό κύκλο. Αυτό το καταλαβαίνουμε και από το διάγραμμα όπου βλέπουμε ότι μόνο ένας (ο No2) έχει ξεπεράσει την κόκκινη γραμμή (λ) άρα και έχει εντοπίσει πρωτεύοντα χρήστη. Όντως αυτός ο χρήστης είναι πολύ κοντά με πρωτεύοντα χρήστη, όπως φαίνεται και από την αριστερή εικόνα. Επειδή όμως ο κανόνας είναι 3-out-of-4 (απαιτούνται δηλαδή τουλάχιστον τρεις χρήστες για να αποφασίσουν ότι δεν θα εκπέμψουν) και εδώ μόνο ένας εντοπίζει πρωτεύον σήμα τότε αποφασίζουν ότι όλοι θα εκπέμψουν. Για αυτόν τον λόγο παρουσιάζονται ως κουκίδες. Έτσι οι τρεις από τους δευτερεύοντες κάνουν δίκτυο, όπως φαίνεται και από τις γραμμές που τους ενώνουν, ενώ παράλληλα διακόπτουν την ζεύξη κάποιων πρωτευόντων χρηστών (διακεκομμένη γραμμή) άρα υπάρχει περίπτωση παρεμβολής.

Στην δεύτερη εκτέλεση της προσομοίωσης ο αριθμός των δευτερευόντων που εντοπίζουν είναι 3 (όπως φαίνεται και από το διάγραμμα είναι οι No1, No2, No4), ικανοποιείται ο κανόνας 3-out-of-4 άρα αποφασίζουν ότι δεν θα εκπέμψουν. Έτσι λοιπόν καμία ζεύξη πρωτεύοντα δεν διακόπτεται άρα δεν έχουμε περίπτωση παρεμβολής.

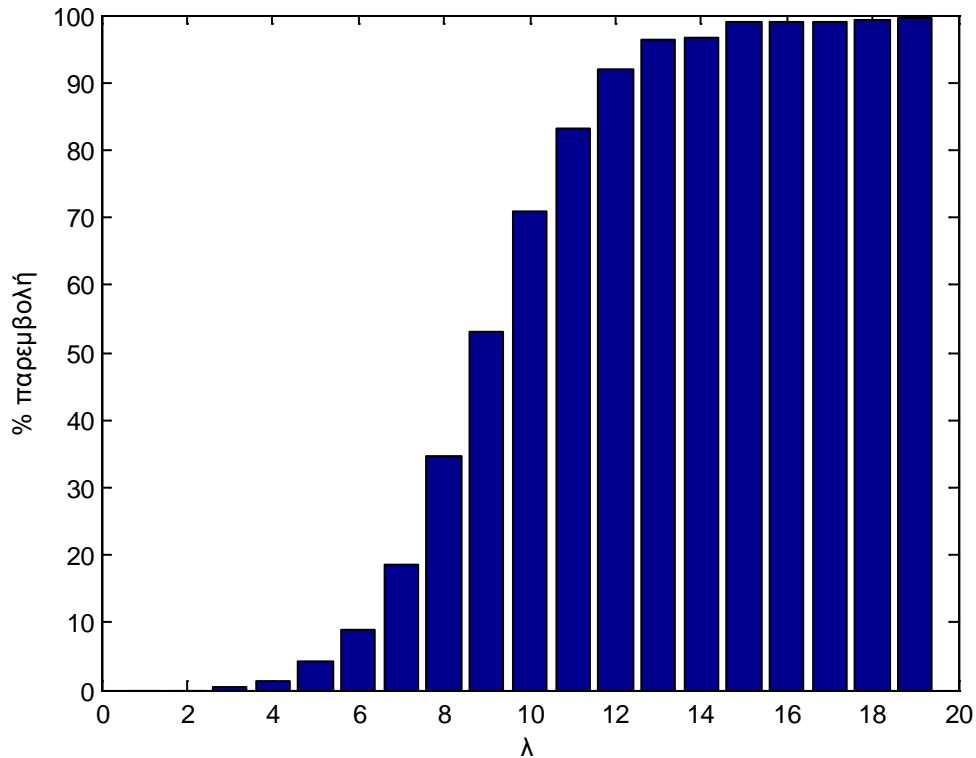


Εικόνα 3. 1. Δύο διαφορετικές εκτελέσεις της προσομοίωσης. Αριστερά οι περιοχές με τους χρήστες και δεξιά τα διαγράμματα με την ανίχνευση ισχύος.

	ενεργός πρωτεύων
	ενεργός δευτερεύων
	ανενεργός δευτερεύων
	ενεργός δευτερεύων ο οποίος έχει εντοπίσει πρωτεύοντα
	ανενεργός δευτερεύων ο οποίος έχει εντοπίσει πρωτεύοντα
	ζεύξη μεταξύ πρωτευόντων
	ζεύξη μεταξύ πρωτευόντων που διακόπηκε
	ζεύξη μεταξύ δευτερευόντων

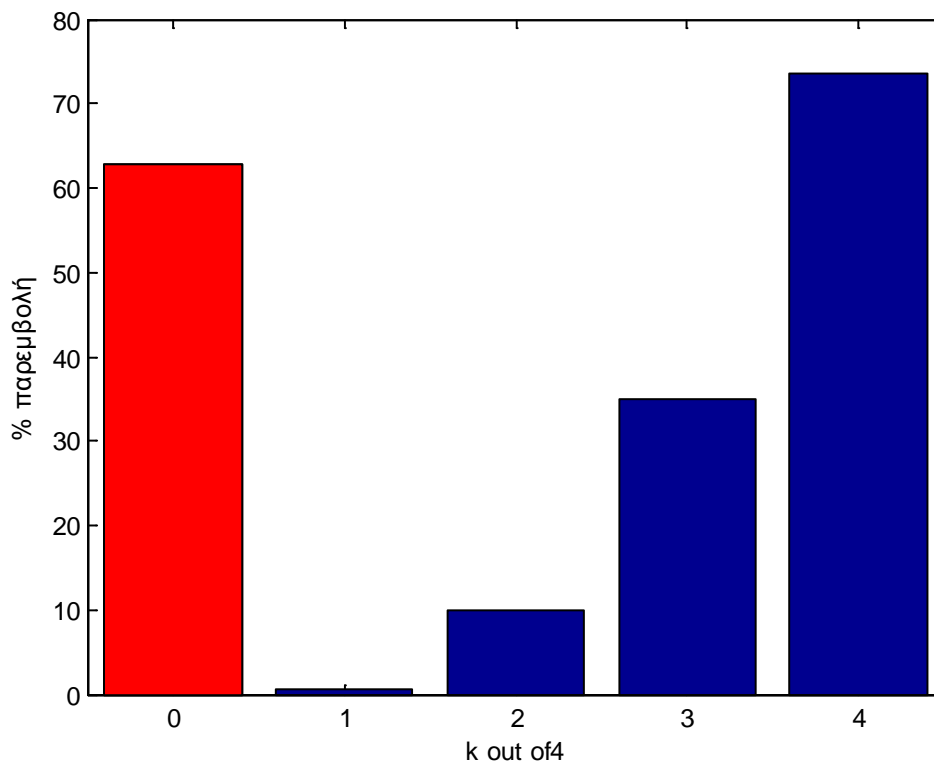
Στην συνέχεια μεταβάλλουμε αρχικά το όριο λ του ανιχνευτή από 1 έως 19 κρατώντας σταθερό τον κανόνα 3-out of-4 και ακολούθως τον κανόνα $k - out - of - n$ από 0 έως 4 (όπου 0 η περίπτωση της μη συνεργατικότητας) έχοντας σταθερό το κατώφλι του ανιχνευτή ισχύος στα 8dB και εκτελέσαμε την προσομοίωση 10.000 φορές για κάθε περίπτωση. Στόχος μας είναι να πάρουμε τα γραφήματα που μας δείχνουν την εξάρτηση της πιθανότητας παρεμβολής από το κατώφλι λ και από τον κανόνα $k - out - of - n$. Στην Εικόνα 3.2 παρατηρούμε την αύξηση της πιθανότητας παρεμβολής όσο αυξάνει το κατώφλι λ του ανιχνευτή ισχύος υπό τον κανόνα 3-out of-4 η οποία φτάνει μέχρι τα επίπεδα του 99%. Ένα

τέτοιο αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο αφού γνωρίζουμε ότι με την αύξηση του λ συνεπάγεται αύξηση και της πιθανότητας παρεμβολής.



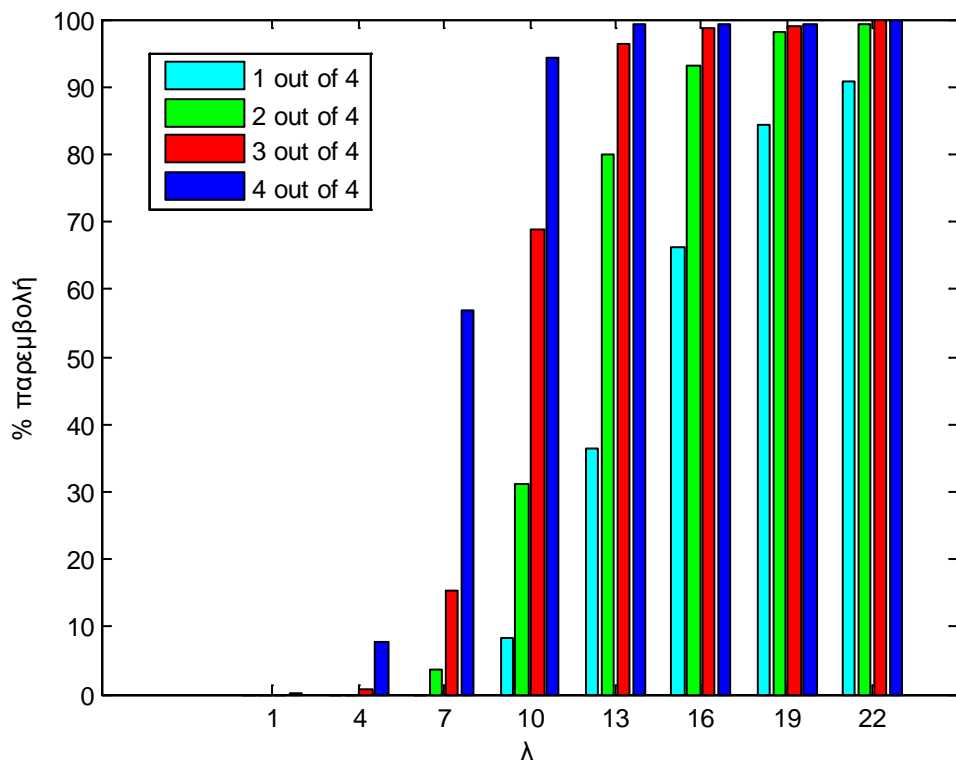
Εικόνα 3. 2 Σχέση πιθανότητας παρεμβολής – κατωφλίου ανιχνευτή ισχύος. 3-out of-4 rule

Στην Εικόνα 3.3 παρουσιάζεται η σχέση της πιθανότητας παρεμβολής με τον $k - out - of - n$ κανόνα, έχοντας σταθερό κατώφλι στον ανιχνευτή ισχύος 8dB. Παρατηρούμε ότι όσο τείνουμε προς τον κανόνα 1-out of-4 (OR) η πιθανότητα παρεμβολής μειώνεται αισθητά και ακόμη ότι η περίπτωση συνεργατικότητας 4-out of-4 (AND) έχει χειρότερα αποτελέσματα από την περίπτωση της μη συνεργατικότητας, το οποίο είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον. Βλέπουμε λοιπόν ότι ακόμη και με συνεργατικότητα, όταν εφαρμόσουμε έναν τόσο αυστηρό (ως προς τους πρωτεύοντες χρήστες) κανόνα θα αυξήσω την πιθανότητα παρεμβολής. Αντίθετα παρατηρούμε σε πόσο χαμηλά επίπεδα παρεμβολής κινούμαστε στην περίπτωση του 1-out of-4 (OR).

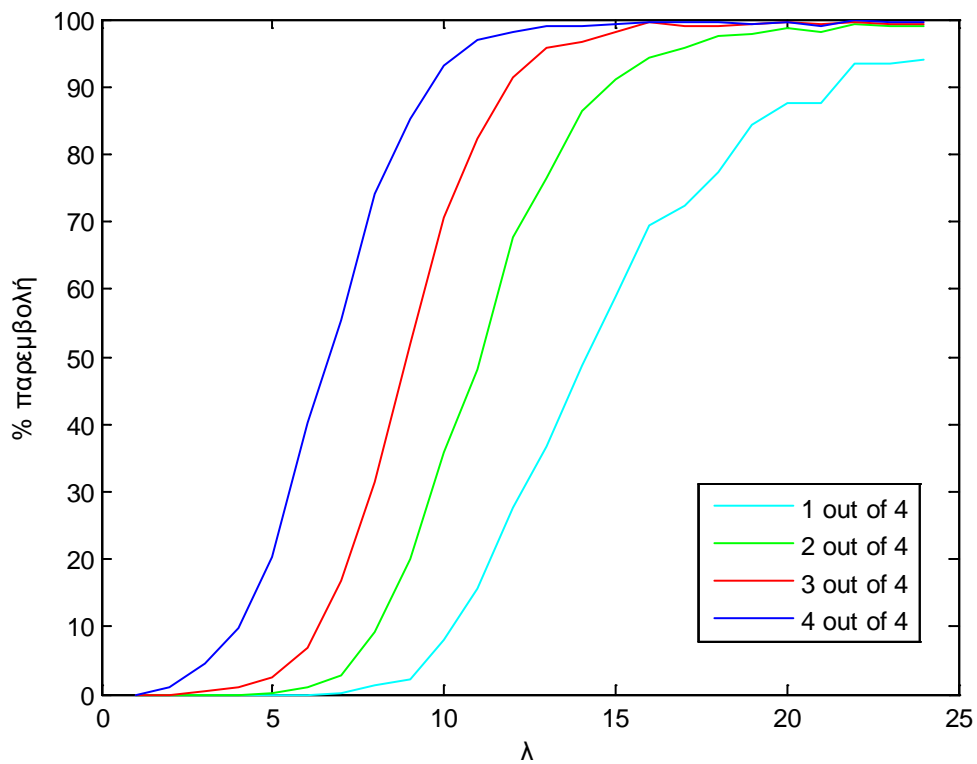


Εικόνα 3. 3. Σχέση πιθανότητας παρεμβολής - k-out of-4 rule. $\lambda=8\text{dB}$ (0=μη συνεργατικότητα)

Στην συνέχεια μεταβάλλουμε ταυτόχρονα το όριο λ του ανιχνευτή από 1 έως 24 και τον κανόνα $k - out - of - n$ από 1 έως 4 για να πάρουμε ένα γράφημα το οποίο να παρουσιάζει την σχέση της πιθανότητας παρεμβολής με το λ και το k παράλληλα. Στις Εικόνες 3.4 και 3.5 που ακολουθούν παρατηρούμε ότι για κάθε κατώφλι λ η πιθανότητα παρεμβολής αυξάνεται όσο αυξάνεται το k και ακόμη ότι για κάθε k η πιθανότητα παρεμβολής αυξάνεται όσο αυξάνεται το λ . Επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε πόσο πιο γρήγορα κινείται ο κανόνας AND σε υψηλά ποσοστά παρεμβολής σε σχέση με τον OR.



Εικόνα 3. 4 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για k=1,2,3,4



Εικόνα 3. 5 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για k=1,2,3,4

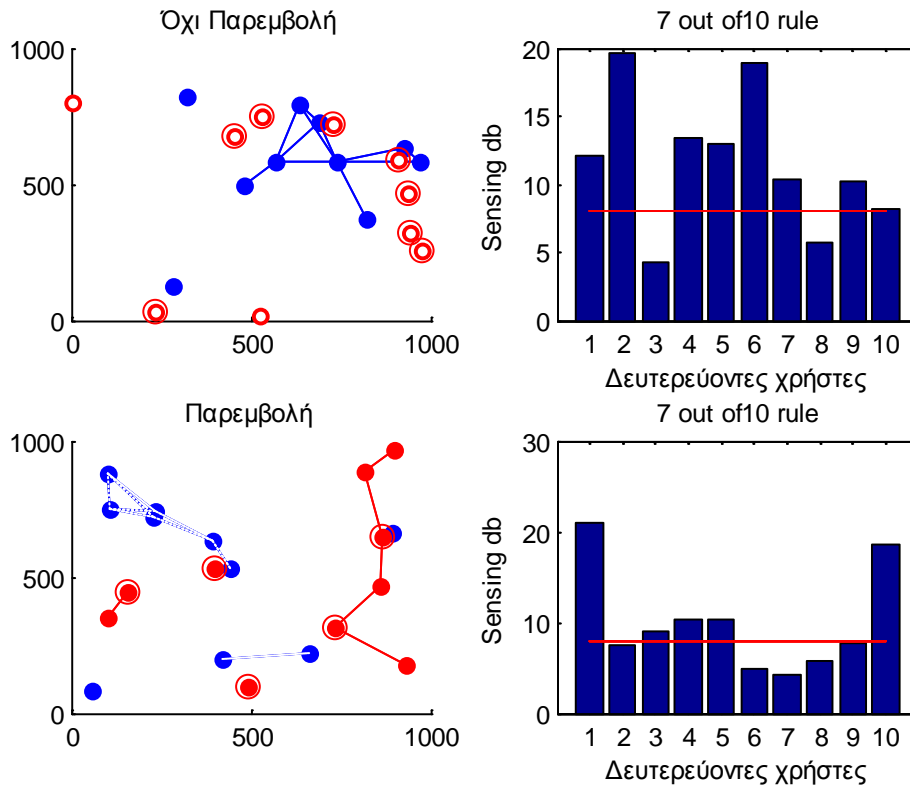
3.2.2.Σενάριο 2^ο

Αυτήν την φορά θα αλλάξουμε το πλήθος των δευτερευόντων χρηστών από 4 σε 10. Οι παράμετροι λοιπόν θα είναι οι εξής:

Μήκος περιοχής	1000 μέτρα
Πλάτος περιοχής	1000 μέτρα
Πλήθος πρωτευόντων χρηστών	10
Πλήθος δευτερευόντων χρηστών	10
Πιθανότητα λειτουργίας πρωτευόντων	100%
Πιθανότητα λειτουργίας δευτερευόντων	100%
Συχνότητα λειτουργίας	2400 MHz
Ισχύς εκπομπής	10 dBm
Ισχύς θορύβου	-80 dBm
Κατώτατο όριο SNR για δημιουργία ζεύξης	2dB
Όριο ανιχνευτή ισχύος λ	8dB
$k - out - of - n$	7

Η Εικόνα 3.6 απεικονίζει δύο εκτελέσεις της προσομοίωσης. Στην πρώτη εκτέλεση έχουμε λειτουργία των πρωτευόντων χρηστών χωρίς παρεμβολή. Αυτό συμβαίνει γιατί 8 από τους 10 δευτερεύοντες χρήστες έχουν ανιχνεύσει την παρουσία των πρωτευόντων, ο κανόνας είναι 7-out of-10 άρα οι δευτερεύοντες δεν εκπέμπουν. Τόσο η αριστερή απεικόνιση όσο και το δεξί γράφημα μας βοηθάνε να το καταλάβουμε.

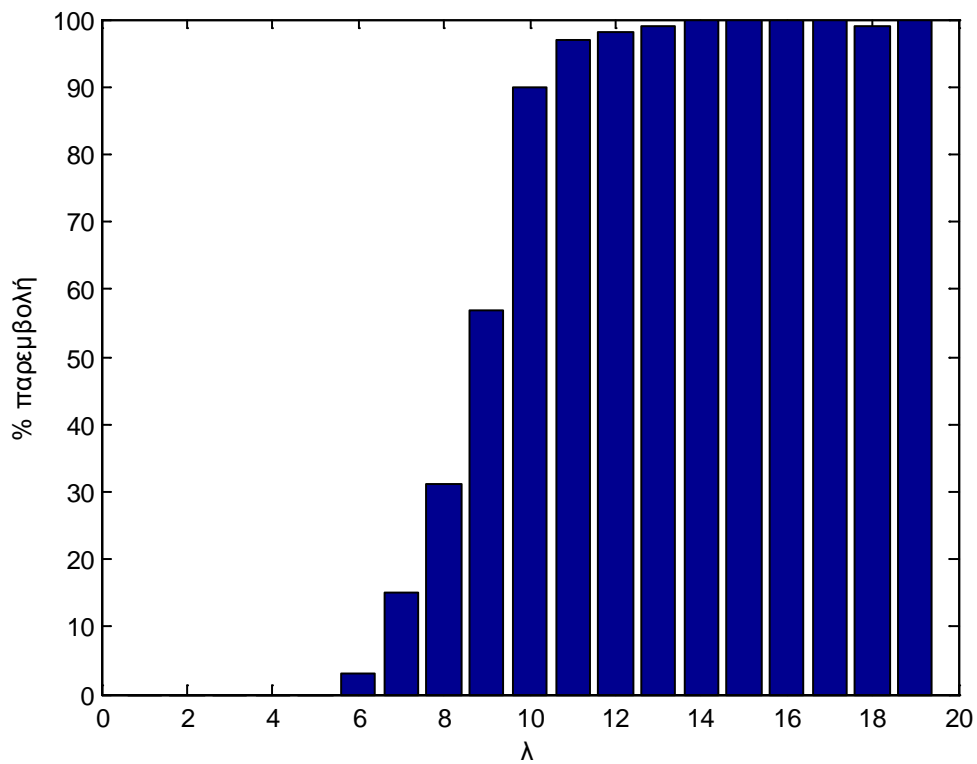
Στην δεύτερη εκτέλεση έχουμε περίπτωση παρεμβολής αφού μόνο 5 από τους 10 έχουν εντοπίσει τους πρωτεύοντες, άρα η απόφαση που παίρνουν οι δευτερεύοντες χρήστες είναι να εκπέμπουν. Μπορούμε να δούμε τις διακεκομμένες γραμμές μεταξύ των πρωτευόντων χρηστών, πράγμα που σημαίνει ότι έχει διακοπή η επικοινωνία τους.



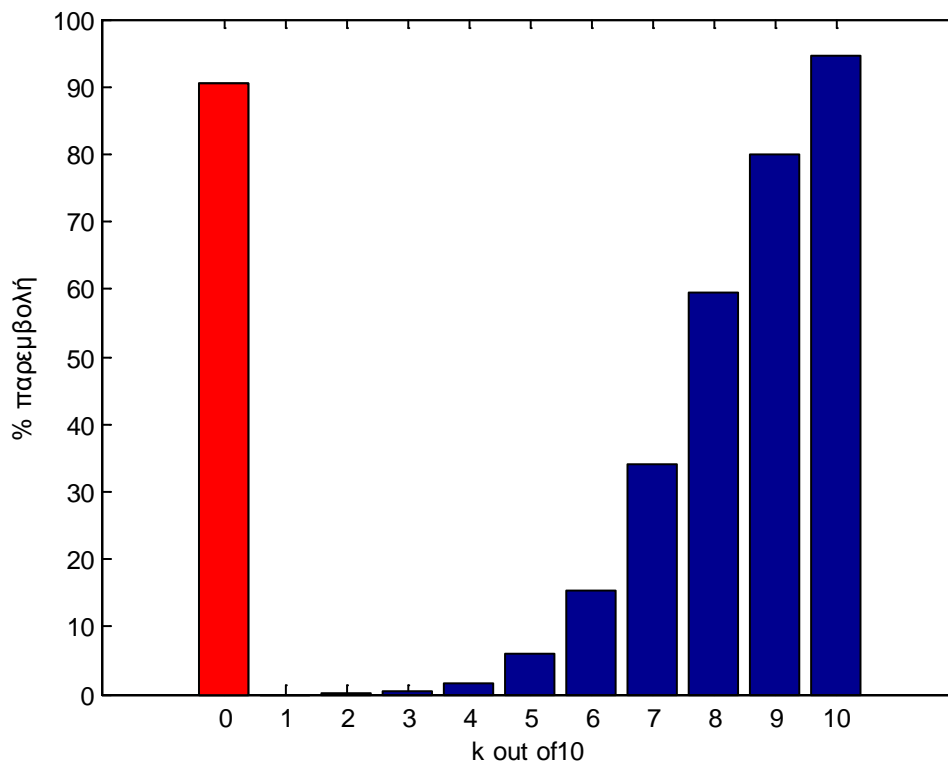
Εικόνα 3. 6 Δύο διαφορετικές εκτελέσεις της προσομοίωσης. Αριστερά οι περιοχές με τους χρήστες και δεξιά τα διαγράμματα με την ανίχνευση ισχύος.

	ενεργός πρωτεύων
	ενεργός δευτερεύων
	ανενεργός δευτερεύων
	ενεργός δευτερεύων ο οποίος έχει εντοπίσει πρωτεύοντα
	ανενεργός δευτερεύων ο οποίος έχει εντοπίσει πρωτεύοντα
	ζεύξη μεταξύ πρωτευόντων
	ζεύξη μεταξύ πρωτευόντων που διακόπηκε
	ζεύξη μεταξύ δευτερευόντων

Παρουσιάζουμε στην συνέχεια αντίστοιχα γραφήματα με την προηγούμενη περίπτωση. Μεταβάλλουμε αρχικά το όριο λ του ανιχνευτή από 1 έως 19 διατηρώντας σταθερό τον κανόνα 7-out of-10 και ακολούθως τον κανόνα $k - out - of - n$ από 0 έως 4 (όπου 0 η περίπτωση της μη συνεργατικότητας) έχοντας σταθερό κατώφλι ανιχνευτή στα 8dB και εκτελέσαμε την προσομοίωση 10.000 φορές για κάθε περίπτωση. Από τις Εικόνες 3.7 και 3.8 εξάγουμε τα ίδια συμπεράσματα με την Περίπτωση 1^η. Δηλαδή ότι με την αύξηση του ορίου συνεπάγεται αύξηση της παρεμβολής και όμοια με την αύξηση του κανόνα $k - out - of - n$ έχουμε πάλι αύξηση της παρεμβολής.

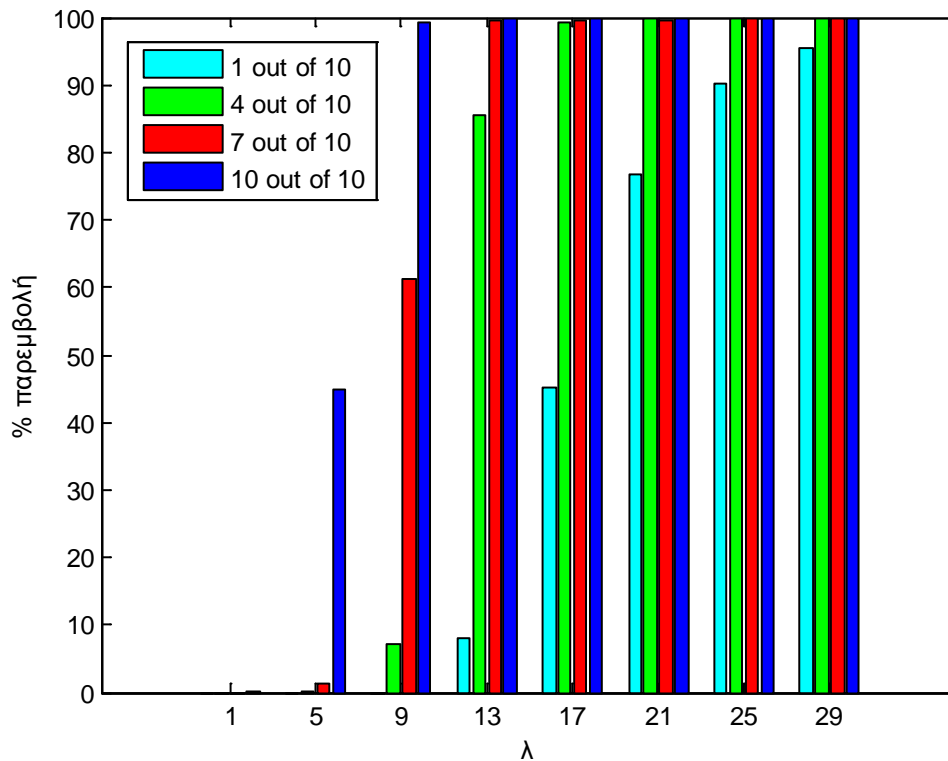


Εικόνα 3. 7 Σχέση πιθανότητας παρεμβολής – κατωφλίου ανιχνευτή ισχύος, 7-out of-10 rule

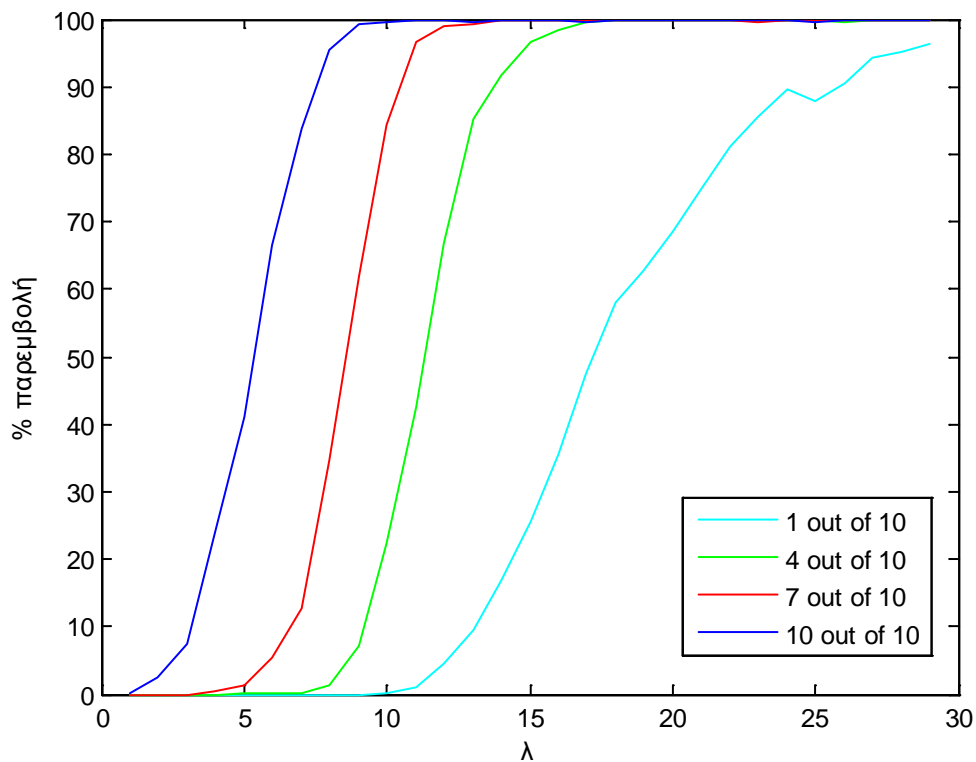


Εικόνα 3. 8 . Σχέση πιθανότητας παρεμβολής - k-out of-10 rule. λ=8dB (0=μη συνεργατικότητα)

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις (Εικόνες 3.9, 3.10) που δείχνουν ταυτόχρονα την μεταβολή του κατωφλίου λ από 1 έως 29dB και του k στις τιμές 1, 4, 7, 10. Βλέπουμε λοιπόν από τις εικόνες την αύξηση που δέχεται η πιθανότητα παρεμβολής όσο το όριο λ αυξάνεται, ανεξαρτήτως της τιμής του k . Επίσης, αύξηση παρεμβολής έχουμε με την αύξηση του k για κάθε τιμή του ορίου λ . Βλέπουμε ξανά την μεγάλη διαφορά στην κλίση της γραφικής παράστασης μεταξύ των περιπτώσεων 1-out of-10 (OR) και 10-out of-10 (AND).



Εικόνα 3. 9 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για $k=1,4,7,10$



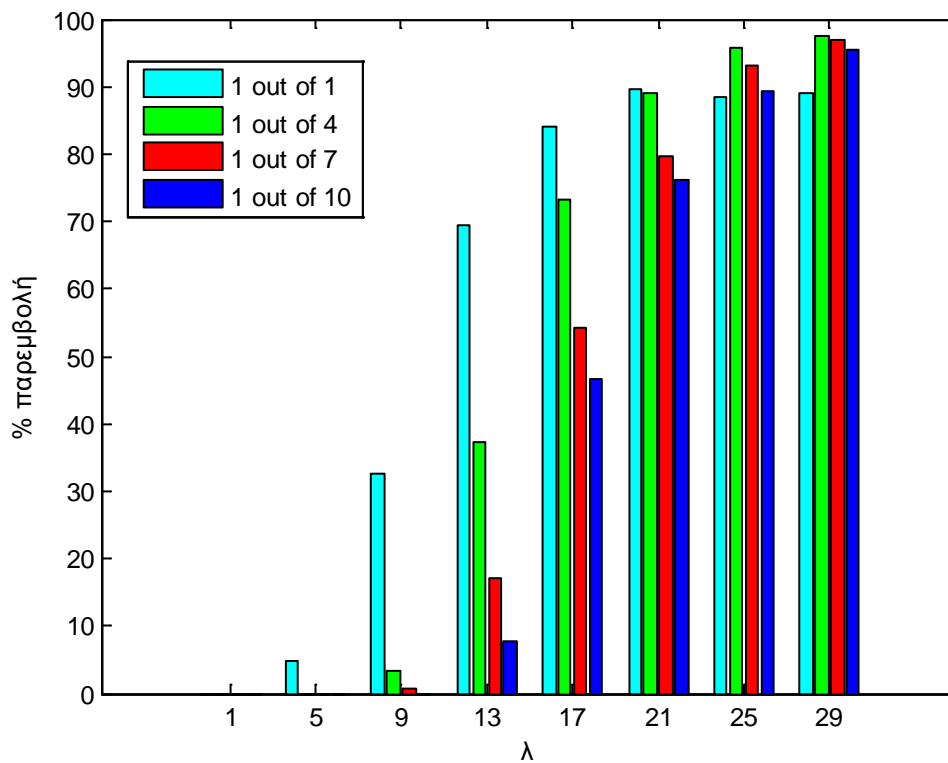
Εικόνα 3. 9 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για $k=1,4,7,10$

3.2.3.Σενάριο 3^ο

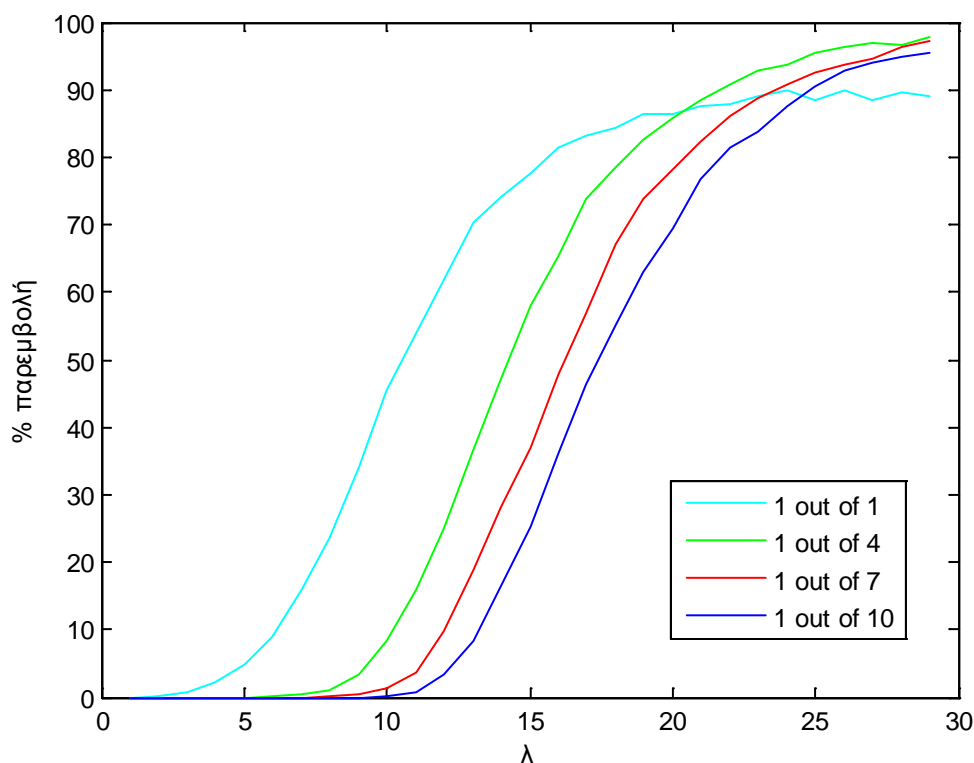
Σε αυτήν την περίπτωση θα εξάγουμε γραφικές παραστάσεις μόνο για την περίπτωση 1-out of-n (OR) για διάφορες τιμές του n, παρατηρώντας τα ποσοστά της παρεμβολής που επιτυγχάνονται συναρτήσει του λ . Διατηρούμε το πλήθος των πρωτευόντων χρηστών και τις υπόλοιπες παραμέτρους ως εξής:

Μήκος περιοχής	1000 μέτρα
Πλάτος περιοχής	1000 μέτρα
Πλήθος πρωτευόντων χρηστών	10
Πλήθος δευτερευόντων χρηστών	$n (=1,4,7,10)$
Πιθανότητα λειτουργίας πρωτευόντων	100%
Πιθανότητα λειτουργίας δευτερευόντων	100%
Συχνότητα λειτουργίας	2400 MHz
Ισχύς εκπομπής	10 dBm
Ισχύς θορύβου	-80 dBm
Κατώτατο όριο SNR για δημιουργία ζεύξης	2dB
Όριο ανιχνευτή ισχύος λ	λ (1-29)
$k - out - of - n$	1 (OR)

Στις Εικόνες 3.11 και 3.12 που ακολουθούν παρατηρούμε ότι με τον κανόνα 1-out of-n (OR) πετυχαίνουμε αρκετά μειωμένα ποσοστά παρεμβολής για όσους περισσότερους χρήστες συνεργάζονται. Βλέπουμε για παράδειγμα ότι για τιμή κατωφλίου $\lambda=12\text{dB}$ και $n=10$ δευτερεύοντες χρήστες το ποσοστό παρεμβολής είναι περίπου στο 2% ενώ για $n=7$ το ποσοστό βρίσκεται περί το 10%, για $n=4$ ανεβαίνει στο 20% και για $n=1$ εκτινάσσεται περίπου στο 60%. Παρατηρούμε παρόλα αυτά ακόμα ότι για τιμές του λ μεγαλύτερες από 20dB η περίπτωση $n=1$ έχει μειωμένα ποσοστά παρεμβολής από τις άλλες τιμές του n . Αυτό είναι λογικό γιατί 1 μόνο χρήστης όταν λειτουργεί έχει λιγότερες πιθανότητες να παρεμβάλει κάποιον πρωτεύοντα σε σχέση με 4, 7 ή 10 δευτερεύοντες, εφόσον το κατώφλι λ είναι τόσο ψηλά που είναι σχεδόν σίγουρο ότι όλοι οι χρήστες θα εκπέμψουν.



Εικόνα 3. 10 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για $n=1,4,7,10$



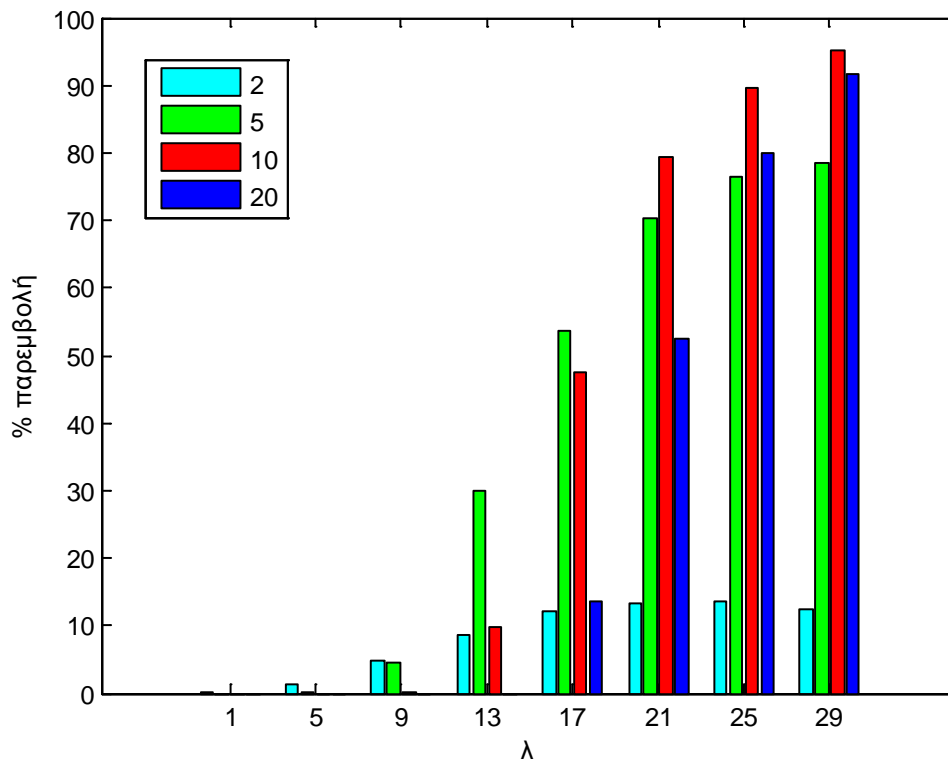
Εικόνα 3. 11 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για $n=1,4,7,10$

3.2.4.Σενάριο 4^ο

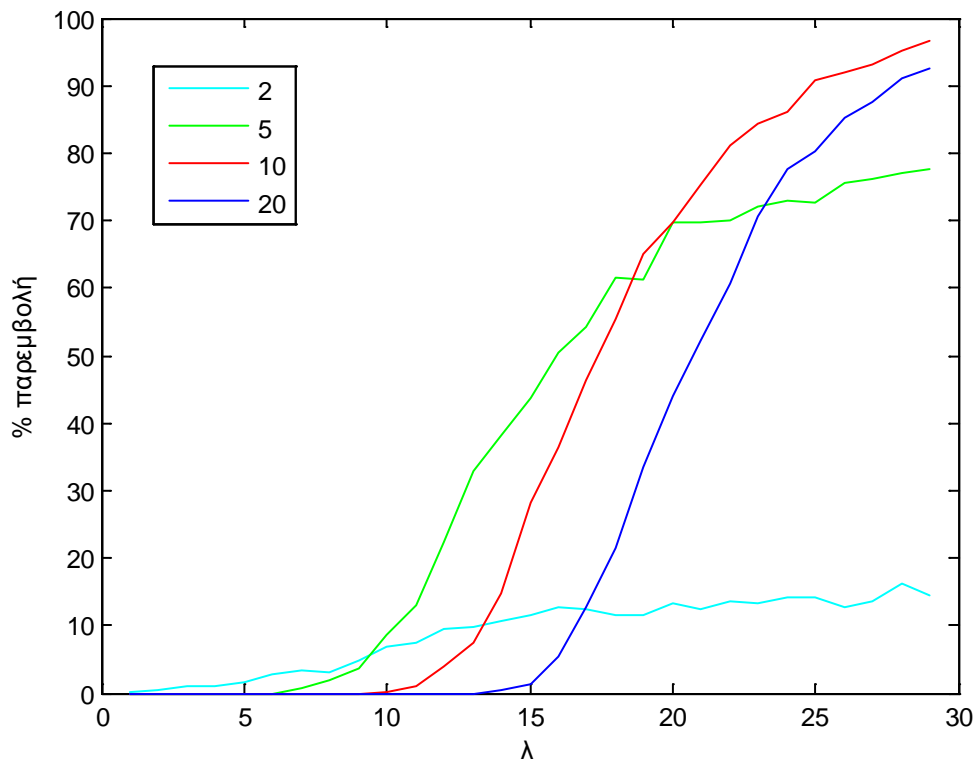
Τώρα θα δοκιμάσουμε να μεταβάλλουμε το πλήθος των πρωτευόντων χρηστών έχοντας σταθερό πλήθος δευτερευόντων και εφαρμόζοντας πάντα τον κανόνα 1-out of-10 (OR). Θα λάβουμε τις γραφικές παραστάσεις της πιθανότητας παρεμβολής συναρτήσει του λ . Οι παράμετροι λοιπόν θα έχουν ως εξής:

Μήκος περιοχής	1000 μέτρα
Πλάτος περιοχής	1000 μέτρα
Πλήθος πρωτευόντων χρηστών	$m(=2,5,10,20)$
Πλήθος δευτερευόντων χρηστών	10
Πιθανότητα λειτουργίας πρωτευόντων	100%
Πιθανότητα λειτουργίας δευτερευόντων	100%
Συχνότητα λειτουργίας	2400 MHz
Ισχύς εκπομπής	10 dBm
Ισχύς θορύβου	-80 dBm
Κατώτατο όριο SNR για δημιουργία ζεύξης	2dB
Όριο ανιχνευτή ισχύος λ	λ (1-29)
$k - out - of - n$	1-out of-10 (OR)

Τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα ενδιαφέροντα. Από τις Εικόνες 3.13 και 3.14 παρατηρούμε ότι έχουμε άλλη συμπεριφορά στις χαμηλές τιμές του ορίου λ και άλλη όσο το όριο αυξάνεται. Βλέπουμε λοιπόν ότι για τα μικρά λ , η αύξηση του πλήθους των πρωτευόντων χρηστών σημαίνει και μείωση της πιθανότητας παρεμβολής. Χαρακτηριστικά, για $\lambda = 10dB$ στην περίπτωση των 10 πρωτευόντων χρηστών είμαστε ακόμα κοντά στο 0%. Αντίθετα για υψηλότερες τιμές του λ παρατηρούμε ότι καλύτερα ποσοστά παρεμβολής πετυχαίνουμε όταν υπάρχουν λίγοι πρωτεύοντες χρήστες. Για παράδειγμα στο $\lambda = 25dB$, για 2 πρωτεύοντες έχουμε πιθανότητα παρεμβολής περίπου 20% ενώ για 10 πρωτεύοντες το ποσοστό φτάνει πάνω από το 90%. Εάν θέλαμε να δώσουμε μία εξήγηση σε αυτό θα ήταν ότι στις χαμηλές τιμές κατωφλίου λ οι πολλοί χρήστες εντοπίζονται πιο εύκολα από τους δευτερεύοντες χρήστες και έτσι όσοι περισσότεροι είναι οι πρωτεύοντες τόσο περισσότερες πιθανότητες υπάρχουν να εντοπιστούν και να μην προκληθεί παρεμβολή. Σε υψηλές όμως τιμές του λ , η ανίχνευση των πρωτευόντων είναι πολύ δυσκολότερη. Άρα είναι πολύ πιθανό οι δευτερεύοντες να εκπέμψουν. Σε αυτήν την περίπτωση είναι πολύ πιο εύκολο να διακόψεις μία από τις ζεύξεις των πολλών πρωτευόντων και να προκαλέσεις παρεμβολή παρά από λίγους πρωτεύοντες οι οποίοι μπορεί να μην έχουν καν ζεύξη μεταξύ τους. Έτσι λοιπόν εξηγείται αυτή η αλλαγή στην συμπεριφορά των καμπυλών.



Εικόνα 3. 123 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για 2,5,10,20 πρωτεύοντες χρήστες

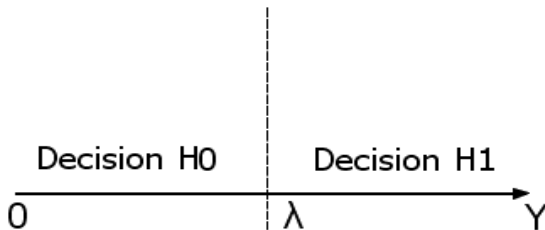


Εικόνα 3. 134 Πιθανότητα παρεμβολής συναρτήσει του κατωφλίου λ για 2,5,10,20 πρωτεύοντες χρήστες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΤΡΙΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ

4.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανίχνευση φάσματος, όπως έχουμε ήδη δει μέχρι τώρα, είναι από τους βασικότερους συντελεστές λειτουργίας των Γνωστικών Δικτύων. Είναι λοιπόν φανερό ότι απαιτεί και την ανάλογη προσοχή και μελέτη αφού η σωστή ανίχνευση του φάσματος συμβάλει κατά πολύ στην σωστή λειτουργία του Γνωστικού Δικτύου στο σύνολο του. Ένα από τα κομμάτια της ανίχνευσης είναι και η σχεδίαση του ανιχνευτή ισχύος που χρησιμοποιούν οι δευτερεύοντες χρήστες. Μέχρι τώρα είδαμε τον ανιχνευτή ισχύος να έχει ένα κατώφλι λ και να συγκρίνει την μετρούμενη ισχύ Y με αυτό, αποφασίζοντας έτσι για την ύπαρξη ή όχι πρωτεύοντα χρήστη [8]. Αυτός ο ανιχνευτής απεικονίζεται στην Εικόνα 4.1, όπου H_0 είναι η απόφαση ότι δεν υπάρχει χρήστης και H_1 ότι υπάρχει.

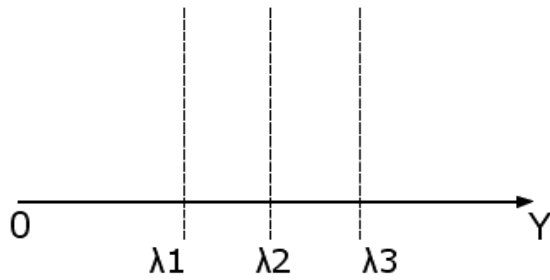


Εικόνα 4. 1. Ανιχνευτής ισχύος με ένα κατώφλι λ

Σε καταστάσεις συνεργατικότητας είναι γνωστό ότι κάθε χρήστης αποστέλλει την απόφαση του σε έναν κεντρικό χρήστη προκειμένου αυτός να πάρει την τελική απόφαση. Όταν υλοποιείται η τακτική του hard-decision, όπως έχουμε πει και σε προηγούμενο κεφάλαιο, απαιτείται η αποστολή 1 μόνο bit δηλαδή 0 ή 1 αναλόγως την μέτρηση που έχει κάνει ο χρήστης. Αντίθετα είδαμε ότι στο soft-decision τα bit που απαιτούνται για να σταλεί η ακριβής μέτρηση είναι αρκετά και η σπατάλη που γίνεται στο φάσμα είναι μεγάλη. Παρά την μεγαλύτερη ακρίβεια και την εγκυρότερη απόφαση που συνεπάγεται το soft-decision, δεν είμαστε διατεθειμένοι να κάνουμε αυτό το trade-off. Οι δύο αυτές τακτικές όμως δεν είναι οι μοναδικές. Μπορούμε να σχεδιάσουμε έναν ανιχνευτή ο οποίος να στέλνει 1 ακόμη bit, αλλά να αυξάνει την ακρίβεια του και να βελτιώνει την πιθανότητα παρεμβολής τόσο ώστε να είμαστε διατεθειμένοι να ανεχτούμε την αποστολή 2 bit από κάθε χρήστη.

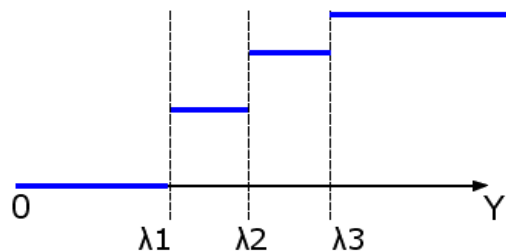
4.2.ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Τα 2 bit μας δίνουν την δυνατότητα να χωρίσουμε τον ανιχνευτή σε 4 περιοχές όπως φαίνεται από την Εικόνα 4.2, να χρησιμοποιήσουμε δηλαδή 3 κατώφλια.



Εικόνα 4. 2. Ανιχνευτής ισχύος με τρία κατώφλια $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$

Οι περιοχές που έχει πλέον ο ανιχνευτής είναι $Y \leq \lambda_1$, $\lambda_1 < Y \leq \lambda_2$, $\lambda_2 < Y \leq \lambda_3$ και $Y > \lambda_3$. Ο δευτερεύων χρήστης λοιπόν με την αποστολή 2 bit μπορεί να καθορίσει 1 από αυτές τις περιοχές μέτρησης. Ο κεντρικός χρήστης που θα λάβει αυτές τις μετρήσεις πρέπει να τις διαχειριστεί αναλόγως. Πρέπει δηλαδή οι μετρήσεις μίας περιοχής να χειριστούν διαφορετικά από μίας άλλης διαφορετικά η αποστολή των 2 bit δεν θα έχει αξία. Ο κεντρικός χρήστης λοιπόν, ο οποίος εφαρμόζει τον κανόνα $k - out - of - n$, θα ορίσει διαφορετική βαρύτητα για κάθε μία από τις περιοχές μετρήσεων. Με αυτόν τον τρόπο κάθε δευτερεύων χρήστης δεν θα συνεισφέρει μόνο με 0 ή 1 στον κανόνα $k - out - of - n$ αλλά η «ψήφος» του θα πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή όπως αυτός οριστεί από τον κεντρικό χρήστη. Η Εικόνα 4.3 μας δείχνει ένα παράδειγμα αυτού που μόλις αναφέραμε.



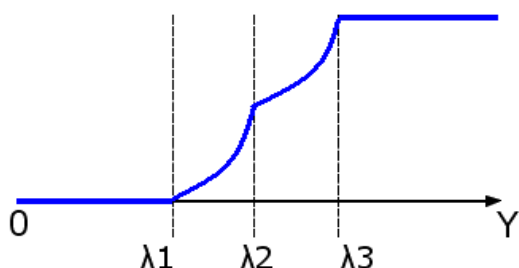
Εικόνα 4. 3. Εισαγωγή συντελεστών στις περιοχές μέτρησης

Με την μπλε γραμμή απεικονίζουμε τον συντελεστή για κάθε μία από τις 4 περιοχές μέτρησης του ανιχνευτή ισχύος. Για παράδειγμα ο συντελεστής της περιοχής $0 - \lambda_1$ είναι 0 και της περιοχής $\lambda_3 - \infty$ είναι 1 (θεωρούμε δηλαδή ότι δεν υπάρχει και ότι υπάρχει πρωτεύων χρήστης αντίστοιχα), ενώ για τις περιοχές $\lambda_1 - \lambda_2$ και $\lambda_2 - \lambda_3$ θα μπορούσε να είναι 0.4 και 0.7 αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι εάν κάποιος χρήστης κάνει μία μέτρηση στην περιοχή $\lambda_1 - \lambda_2$ δεν είναι σίγουρο ότι δεν υπάρχει χρήστης και θα συμβάλει στον $k - out - of - n$ κανόνα με 0.4 και εάν η μέτρηση ήταν στην περιοχή $\lambda_2 - \lambda_3$ δεν θεωρούμε σίγουρο ότι έχει εντοπιστεί χρήστης αλλά παρόλα αυτά το k θα αυξηθεί κατά 0.7. Έτσι λοιπόν, εάν ο κανόνας ήταν 1-out of-n και πάρουμε μία μέτρηση στην περιοχή $\lambda_1 - \lambda_2$ και άλλη μία στην περιοχή $\lambda_2 - \lambda_3$ τότε το άθροισμα θα είναι $0.4 + 0.7 = 1.1$ άρα θα αποφασιστεί ότι έχει εντοπιστεί πρωτεύων χρήστης, ενώ αν παίρναμε δύο μετρήσεις στην περιοχή $\lambda_1 - \lambda_2$

το άθροισμα θα είναι $0.4+0.4=0.8$ άρα θα αποφασιστεί ότι δεν υπάρχει πρωτεύων χρήστης. Με αυτόν τον τρόπο η μετάβαση από την μη ύπαρξη στην ύπαρξη πρωτεύοντος χρήστη γίνεται ομαλότερα.

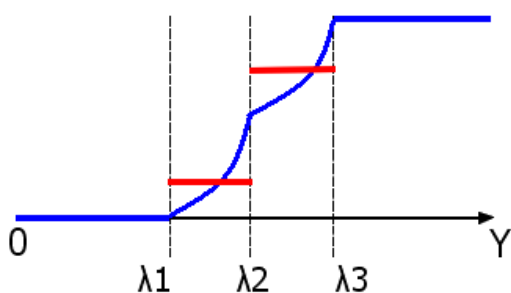
4.2.1.Υβριδικός Ανιχνευτής Ισχύος

Η σχεδίαση του ανιχνευτή θα μπορούσε να είναι τέτοια η οποία θα του επέτρεπε να λειτουργεί τόσο με soft αλλά και με hard-decision. Θα μπορεί δηλαδή να προσαρμόζεται ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας. Η Εικόνα 4.4 μας δείχνει πως θα μπορούσε να είναι ένας τέτοιος ανιχνευτής στην περίπτωση soft-decision.



Εικόνα 4. 4. Σχεδιασμός του ανιχνευτή στην περίπτωση του soft-decision

Οι συντελεστές σε κάθε περιοχή μέτρησης ακολουθούν μία συνάρτηση η οποία θα ικανοποιεί τα δικά μας κριτήρια και θα υλοποιεί τους στόχους μας. Η συνάρτηση αυτή μπορεί να είναι γραμμική, εκθετική ή οτιδήποτε άλλο καλύπτει τις εκάστοτε ανάγκες μας και την στρατηγική που ακολουθούμε. Στην περίπτωση του soft-decision ο ανιχνευτής θα λειτουργεί όπως ακριβώς φαίνεται και στην Εικόνα 4.4 ενώ στην περίπτωση του hard-decision ο ανιχνευτής θα μετατρέπεται όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.5.



Εικόνα 4. 5. Μετατροπή του ανιχνευτή για λειτουργία από soft σε hard-decision

Υπολογίζεται δηλαδή ένας μέσος όρος στις περιοχές που δεν είχαν σταθερό συντελεστή και αντικαθιστά την συνάρτηση των συντελεστών με έναν σταθερό συντελεστή για όλοι την περιοχή μέτρησης. Παρά το γεγονός ότι το soft-decision δεν συνιστάται, όπου είναι δυνατή η χρήση του ένας τέτοιος ανιχνευτής ο οποίος μπορεί να αλλάζει την λειτουργία του θα έχει καλύτερα αποτελέσματα στην

διαδικασία ανίχνευσης, επιφέροντας χαμηλότερα ποσοστά παρεμβολής που είναι και ο απώτερος σκοπός μας.

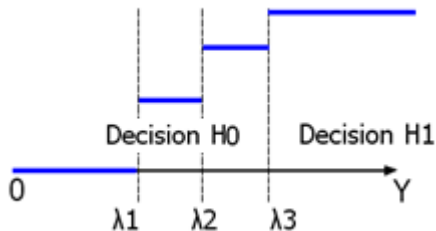
4.3. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η μετάβαση από τον ανιχνευτή ισχύος με ένα κατώφλι σε αυτόν με τρία κατώφλια σημαίνει όπως γίνεται εύκολα κατανοητό την εισαγωγή δύο επιπλέον κατωφλίων. Η επιλογή της θέσης των επιπλέον αυτών κατωφλίων καθώς επίσης και των συντελεστών που θα ορίσουμε στις περιοχές που προκύπτουν γίνεται ακλουθώντας κάποια στρατηγική. Η κυριότερη απόφαση που έχουμε να πάρουμε είναι εάν θέλουμε να προστατέψουμε ακόμα περισσότερο τον πρωτεύοντα χρήστη, να λειτουργήσουμε δηλαδή «ηθικά», ή να δώσουμε μεγαλύτερη ανοχή στον δευτερεύοντα χρήστη, λειτουργώντας με αυτόν τον τρόπο «εγωιστικά». Όπως θα διαπιστώσουμε και από την ανάλυση μας, ένας «ηθικός» ανιχνευτής αναμένουμε να έχει μειωμένα ποσοστά παρεμβολής ενώ το αντίθετο ισχύει για έναν «εγωιστικό» ανιχνευτή.

4.3.1. Θέσεις των Κατωφλίων

Η θέσεις που θα τοποθετηθούν τα νέα κατώφλια σε σχέση με το αρχικό έχουν μεγάλη σημασία και αλλάζουν κάθε φορά τον χαρακτήρα του ανιχνευτή. Οι πιθανοί συνδυασμοί είναι τρεις:

A) Αριστερά του αρχικού κατωφλίου-«Ηθικός» (Εικόνα 4.6α)

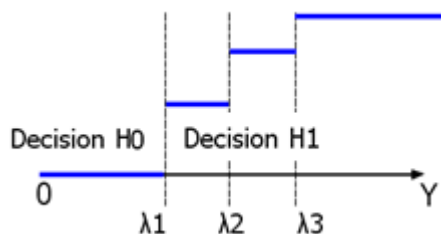


Εικόνα 4. 6α. Τα νέα κατώφλια λ_1 και λ_2 τοποθετούνται δεξιά του αρχικού λ_3 . «Ηθικός» ανιχνευτής

Τα νέα κατώφλια λ_1 και λ_2 έχουν τοποθετηθεί αριστερά του αρχικού λ_3 . Αυτό σημαίνει ότι ο ανιχνευτής κάνει πιο εύκολο τον εντοπισμό του πρωτεύοντα χρήστη, αφού οι μετρήσεις που θα βρίσκονται στις νέες περιοχές δεν θα είναι πλέον μετρήσεις μη εντοπισμού αλλά θα προσμετρούνται και αυτές αναλόγως με τον συντελεστή τους στο άθροισμα του k για τον κανόνα $k - out - of - n$. Για παράδειγμα εάν εφαρμόζουμε το 1-out of-n και η περιοχή $\lambda_2 - \lambda_3$ έχει συντελεστή 0.5, τότε με δύο μετρήσεις σε αυτήν την περιοχή οι δευτερεύοντες δεν θα εκπέμπουν, ενώ προηγουμένως οι μετρήσεις αυτές θα αγνοούταν και οι δευτερεύοντες θα εξέπεμπαν. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι με αυτόν τον τρόπο

προστατεύουμε ακόμη περισσότερο τον πρωτεύοντα χρήστη, λειτουργούμε επομένως «ηθικά».

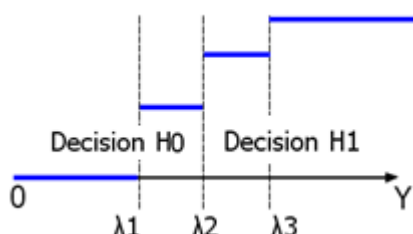
Β) Δεξιά του αρχικού κατωφλίου-«Εγωιστικός» (Εικόνα 4.6β)



Εικόνα 4. 6β. Τα νέα κατώφλια λ_2 και λ_3 τοποθετούνται δεξιά του αρχικού λ_1 . «Εγωιστικός» ανιχνευτής

Βλέπουμε ότι τα νέα κατώφλια είναι τα λ_2 και λ_3 . Το γεγονός ότι έχουν τοποθετηθεί δεξιότερα του αρχικού λ_1 σημαίνει ότι ο ανιχνευτής πλέον λειτουργεί ευνοώντας την λειτουργία του δευτερεύοντα χρήστη. Αυτό συμβαίνει γιατί ενώ προηγουμένως η περιοχή αυτή ήταν απόφασης H_1 , δηλαδή ότι υπάρχει πρωτεύων χρήστης, τώρα τμήματα αυτής της περιοχής χάνουν την «αξία» που είχαν και ενώ προσέδιδαν 1 μονάδα στον κανόνα $k - out - of - n$ τώρα έχουν μικρότερη «αξία». Γίνεται λοιπόν δυσκολότερο να εντοπιστεί ο πρωτεύων χρήστης, άρα λειτουργούμε «εγωιστικά».

Γ) Εκατέρωθεν του αρχικού κατωφλίου (Εικόνα 4.6γ)



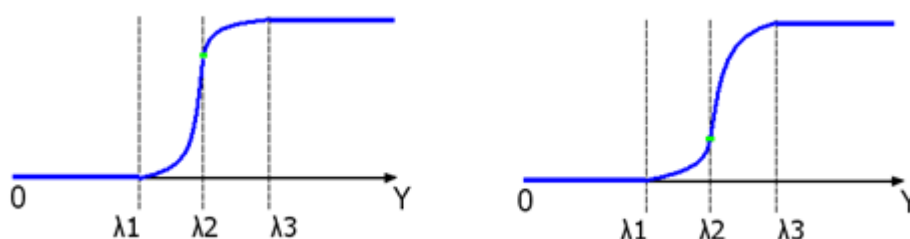
Εικόνα 4. 6γ. Τα νέα κατώφλια λ_1 και λ_3 τοποθετούνται εκατέρωθεν του αρχικού λ_2 .

Σε αυτήν την περίπτωση όπου τα νέα κατώφλια λ_1 και λ_3 τοποθετούνται εκατέρωθεν του αρχικού λ_2 , ο ανιχνευτής δεν μπορεί να χαρακτηριστεί κάπως. Αυτή η περίπτωση είναι μία μετριοπαθής επιλογή και αυτό που κάνει επί της ουσίας είναι να μην στηρίζεται τόσο σε μετρήσεις που βρίσκονται κοντά στο αρχικό όριο λ_2 . Για παράδειγμα εάν έχουμε τον κανόνα 1-out of-n και όλες οι μετρήσεις βρίσκονται στην περιοχή 0- λ_1 και μόνο μία λίγο πάνω από το αρχικό όριο λ_2 , δηλαδή στην περιοχή λ_2 - λ_3 , τότε η απόφαση θα είναι ότι δεν υπάρχει πρωτεύων χρήστης. Με το ένα κατώφλι η απόφαση θα ήταν ότι έχει εντοπιστεί πρωτεύων χρήστης, μόνο και μόνο από μία μέτρηση η οποία βρίσκεται οριακά πάνω από το κατώφλι απόφασης. Αντίστοιχα εάν είχαμε αρκετές μετρήσεις στην περιοχή λ_1 - λ_2 , λίγο κάτω από το όριο λ_2 δηλαδή, και καμία πάνω από το όριο λ_2 , τότε η απόφαση

θα είναι ότι έχει εντοπιστεί πρωτεύων χρήστης. Δίνουμε λοιπόν ιδιαίτερη προσοχή με αυτόν τον τρόπο στην περίπτωση όπου έχουμε μία μόνο μέτρηση λίγο πάνω από το αρχικό κατώφλι λ_2 ή πολλές μετρήσεις λίγο κάτω από το αρχικό κατώφλι λ_2 . Εκλογικεύουμε έτσι σε κάποιον βαθμό την απόφαση του κεντρικού χρήστη.

4.3.2. Συντελεστές

Από την ανάλυση που έχει γίνει μέχρι τώρα μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητό ότι ο καθορισμός των συντελεστών στις περιοχές μέτρησης μπορεί να χαρακτηρίσει έναν ανιχνευτή «ηθικό» ή «εγωιστικό». Προφανώς όταν οι συντελεστές αυτοί είναι αυξημένοι και τείνουν στο 1 τότε ο ανιχνευτής είναι «ηθικός», ενώ όταν βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα είναι «εγωιστικός». Στην πρώτη περίπτωση οι μετρήσεις θα έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα άρα αυξάνουν την πιθανότητα εντοπισμού πρωτεύοντα χρήστη, ενώ όταν οι συντελεστές είναι χαμηλοί αποτρέπουν τον εντοπισμό του. Αυτό ισχύει ανεξάρτητα από την στρατηγική που ακολουθήθηκε για την τοποθέτηση των κατωφλίων. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην Εικόνα 4.7.

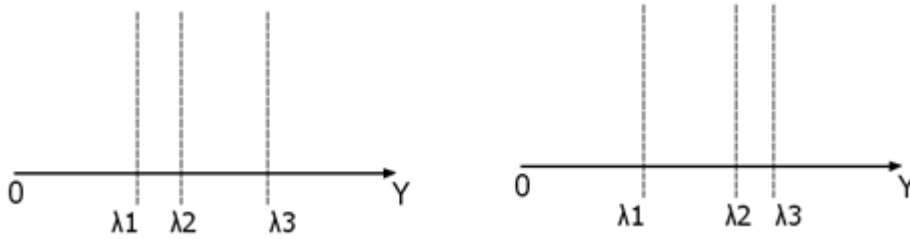


Εικόνα 4. 7. Ανιχνευτές ισχύος με διαφορετική πολιτική στον καθορισμό των συντελεστών

Βλέπουμε ότι ο αριστερός ανιχνευτής έχει πιο αυξημένες τιμές συντελεστών σε σχέση με τον δεξί. Αυτό χαρακτηρίζει τον αριστερό ανιχνευτή πιο «ηθικό» ή αντίστοιχα τον δεξί πιο «εγωιστικό». (Οι συγκεκριμένοι ανιχνευτές είναι σχεδιασμένοι για λειτουργία soft-decision).

4.3.3. Απόσταση Κατωφλίων

Μία άλλη παράμετρος η οποία μας δίνει πολλές επιλογές και σε συνδυασμό με τις προηγούμενες φτιάχνει πάρα πολλούς σχεδιαστικούς συνδυασμούς είναι η απόσταση των κατωφλίων μεταξύ τους. Καταλαβαίνουμε ότι οι περιοχές λ_1 - λ_2 και λ_2 - λ_3 μπορούν να διευρυνθούν ή να συρρικνωθούν κατά βούληση. Κάτι τέτοιο σε συνδυασμό και με την θέση τους (όπως αναφέρουμε στην παράγραφο 4.3.1) μπορούν να χαρακτηρίσουν έναν ανιχνευτή περισσότερο ή λιγότερο «ηθικό» ή «εγωιστικό» αναλόγως την περίπτωση. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην Εικόνα 4.8.



Εικόνα 4. 8. Ανιχνευτές ισχύος με διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ των κατωφλίων

Εάν θεωρήσουμε ότι τα κατώφλια λ_1 , λ_3 είναι σε σταθερά σημεία και μεταβάλλουμε μόνο την θέση του λ_2 , μπορούμε να καταλάβουμε ότι ο ανιχνευτής στα αριστερά είναι πιο «ηθικός» και ο δεξιά πιο «εγωιστικός». Αυτό συμβαίνει γιατί ο πρώτος αυξάνει την περιοχή με τον υψηλότερο συντελεστή (είναι πάντα η περιοχή λ_2 - λ_3) και μειώνει την περιοχή με τον μικρότερο συντελεστή, άρα είναι πιο πιθανό να γίνει εντοπισμός του πρωτεύοντα χρήστη.

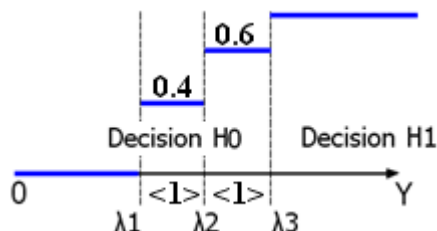
Συνολικά λοιπόν, ο κατάλληλος συνδυασμός των τριών αυτών παραμέτρων (θέση κατωφλίων, συντελεστές περιοχών, απόσταση κατωφλίων) μπορεί να δημιουργήσει τον επιθυμητό ανιχνευτή ισχύος ο οποίος θα ακολουθεί την στρατηγική μας, επιφέροντας έτσι τα επιθυμητά αποτελέσματα.

4.4.ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΤΡΙΩΝ ΚΑΤΩΦΛΙΩΝ

Προκειμένου να ελέγξουμε την απόδοση του ανιχνευτή με τα 3 κατώφλια και να την συγκρίνουμε με αυτήν του ενός κατωφλίου, θα εκτελέσουμε προσομοιώσεις τοποθετώντας παράλληλα με τον απλό ανιχνευτή ενός κατωφλίου και τρεις με τρία κατώφλια οι οποίοι είναι οι εξής:

α.«Ηθικός» Ανιχνευτής

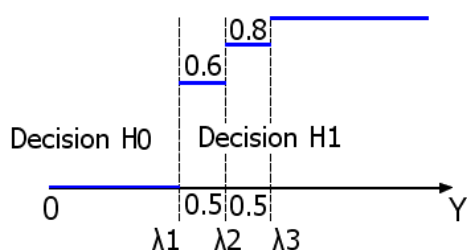
Ο πρώτος ανιχνευτής που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι ένα «ηθικός» ανιχνευτής ο οποίος έχει και τα δύο επιπλέον κατώφλια αριστερά του αρχικού (παρ. 4.3.1Α, Εικ.4.6α), απόσταση μεταξύ των κατωφλίων 1dB και τιμές των συντελεστών 0.4 και 0.6 αντίστοιχα. Ο ανιχνευτής αυτός παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.9.



Εικόνα 4. 9. «Ηθικός» ανιχνευτής ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση

β. «Εγλωιστικός» Ανιχνευτής

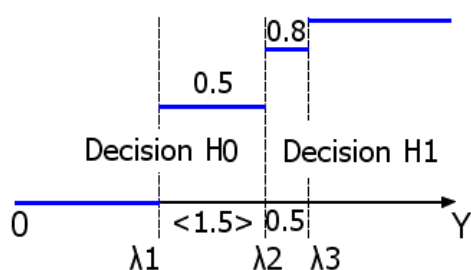
Δεύτερο θα χρησιμοποιήσουμε έναν «εγλωιστικό» ανιχνευτής ισχύος ο οποίος θα έχει και τα δύο επιπλέον κατώφλια δεξιά του αρχικού (παρ. 4.3.1B, Εικ.4.6β), απόσταση μεταξύ των κατωφλίων 0.5dB και τιμές των συντελεστών 0.6 και 0.8 αντίστοιχα. Ο ανιχνευτής αυτός παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.10.



Εικόνα 4. 10. «Εγλωιστικός» ανιχνευτής ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση

γ. «Μετριοπαθής» Ανιχνευτής

Τέλος θα χρησιμοποιήσουμε το είδος του ανιχνευτή που παρουσιάσαμε στην παρ. 4.3.1Γ, Εικ.4.6γ. Τα δύο επιπλέον κατώφλια βρίσκονται εκατέρωθεν του αρχικού, η απόσταση μεταξύ των κατωφλίων είναι 0.5 και 1.5dB και τιμές των συντελεστών 0.5 και 0.8 αντίστοιχα. Ο ανιχνευτής αυτός παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.11.



Εικόνα 4. 11 <Μετριοπαθής> ανιχνευτής ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση

4.4.1.Σενάριο 1^ο

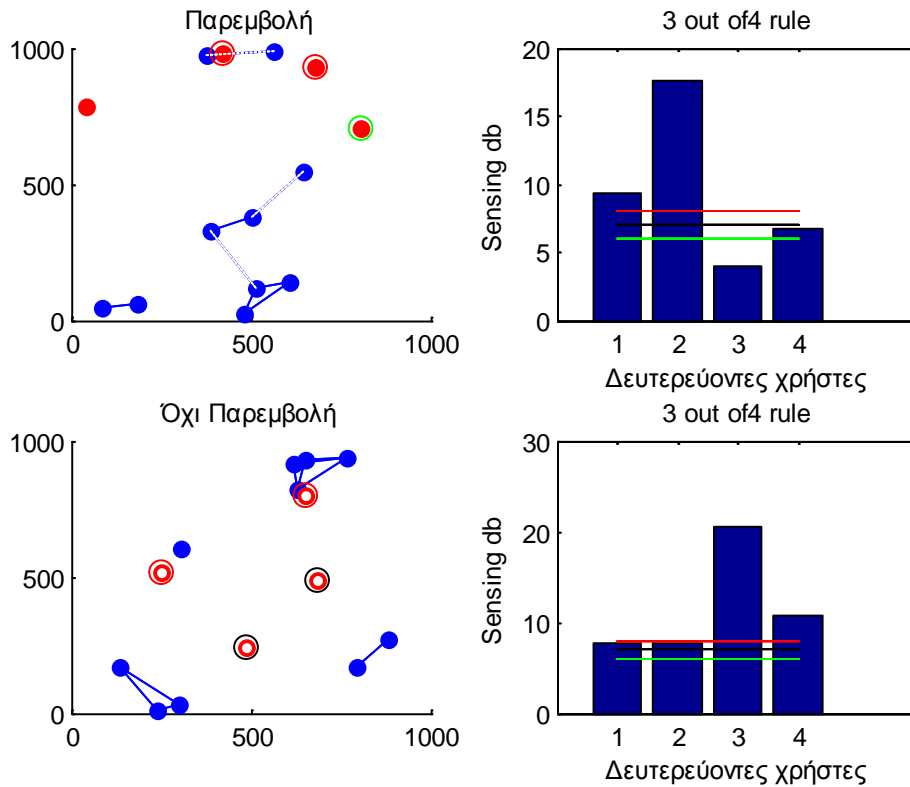
Μήκος περιοχής	1000 μέτρα
Πλάτος περιοχής	1000 μέτρα
Πλήθος πρωτευόντων χρηστών	10
Πλήθος δευτερευόντων χρηστών	4
Πιθανότητα λειτουργίας πρωτευόντων	100%
Πιθανότητα λειτουργίας δευτερευόντων	100%
Συχνότητα λειτουργίας	2400 MHz
Ισχύς εκπομπής	10 dBm

Ισχύς θορύβου	-80 dBm
Κατώτατο όριο SNR για δημιουργία ζεύξης	2dB
Όριο ανιχνευτή ισχύος λ	8dB
$k - out - of - n$	3

4.4.1.1. Εκτέλεση με χρήση του «Ηθικού» Ανιχνευτή

Στην Εικόνα 4.12 που ακολουθεί φαίνονται δύο εκτελέσεις της προσομοίωσης σύμφωνα με τις παραμέτρους που ορίσαμε αμέσως πριν. Οι δευτερεύοντες χρήστες οι οποίοι έχουν δεύτερο μαύρο κύκλο έχουν κάνει μέτρηση η οποία βρίσκεται στην περιοχή με συντελεστή 0.6 ενώ αυτοί με τον πράσινο στην περιοχή με συντελεστή 0.4. Ακόμη στα δεξιά έχουν προστεθεί τα δύο νέα κατώφλια με τα αντίστοιχα χρώματα. Στην πρώτη εκτέλεση λοιπόν βλέπουμε ότι δύο χρήστες έχουν εντοπίσει πρωτεύων χρήστη με μέτρηση που ξεπερνάει το αρχικό κατώφλι (με τον κόκκινο ομόκεντρο κύκλο), ενώ ένας έχει βρεθεί στην περιοχή όπου ο συντελεστής είναι 0.4. Συνολικά το άθροισμα τους είναι $1+1+0.4=2.4$, το οποίο είναι μικρότερο του 3-out of-4 άρα οι δευτερεύοντες θα εκπέμψουν και θα παρεμβάλουν στους πρωτεύοντες χρήστες.

Στην δεύτερη εκτέλεση θα παρατηρήσουμε την χρησιμότητα του νέου ανιχνευτή. Έχουμε δύο χρήστες οι οποίοι έχουν εντοπίσει πρωτεύων χρήστη και δύο ακόμα οι οποίοι βρίσκονται στην περιοχή με συντελεστή 0.6. Το άθροισμα τους λοιπόν θα είναι $1+1+0.6+0.6=3.2$ το οποίο είναι μεγαλύτερο του 3-out of-4 άρα οι δευτερεύοντες δεν θα εκπέμψουν και δεν θα παρεμβάλουν στους πρωτεύοντες χρήστες. Στην περίπτωση του ανιχνευτή με ένα κατώφλι θα υπήρχε παρεμβολή ενώ τώρα όχι.



Εικόνα 4. 10. Δύο διαφορετικές εκτελέσεις της προσομοίωσης με τον «ηθικό» ανιχνευτή. Στα αριστερά οι περιοχές με τους χρήστες και στα δεξιά τα διαγράμματα με την ανίχνευση ισχύος.

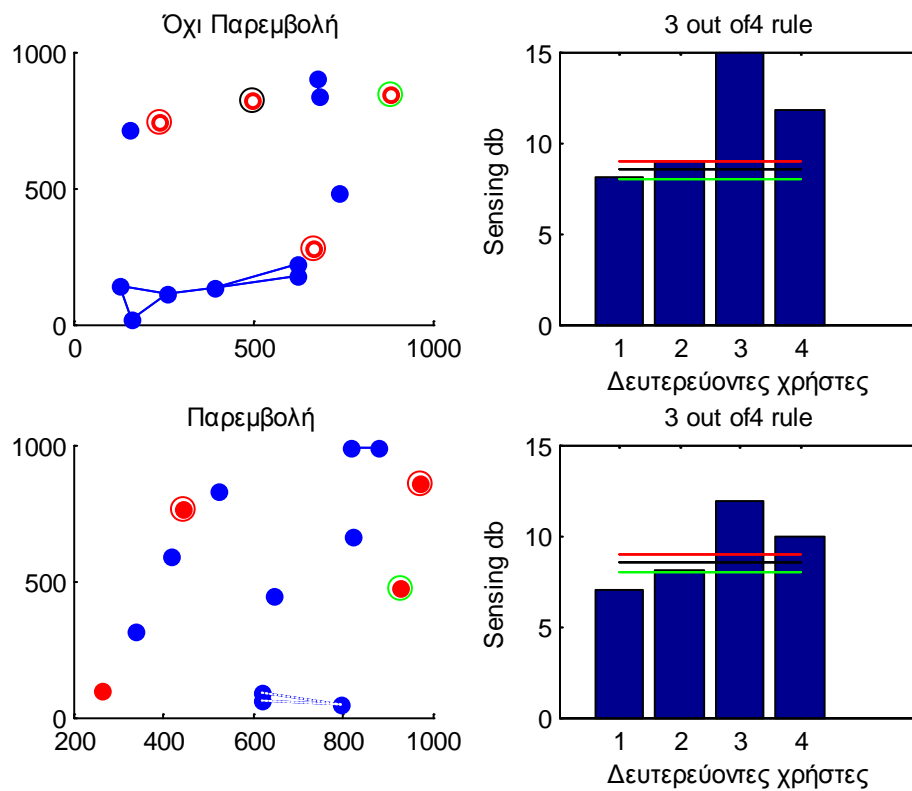
	Εντοπισμός πρωτεύοντα με συντελεστή 1		αρχικό κατώφλι
	Εντοπισμός πρωτεύοντα με συντελεστή 0.6		επιπλέον κατώφλι
	Εντοπισμός πρωτεύοντα με συντελεστή 0.4		επιπλέον κατώφλι

4.4.1.2. Εκτέλεση με χρήση του «Εγωιστικού» Ανιχνευτή

Στην Εικόνα 4.13 που ακολουθεί φαίνονται δύο εκτελέσεις της προσομοίωσης σύμφωνα με τις προηγούμενες παραμέτρους. Οι δευτερεύοντες χρήστες οι οποίοι έχουν δεύτερο μαύρο κύκλο έχουν κάνει μέτρηση η οποία βρίσκεται στην περιοχή με συντελεστή 0.8 ενώ αυτοί με τον πράσινο στην περιοχή με συντελεστή 0.6. Ακόμη στα δεξιά έχουν προστεθεί τα δύο νέα κατώφλια με τα αντίστοιχα χρώματα. Το αρχικό μας κατώφλι είναι το πράσινο. Στην πρώτη εκτέλεση λοιπόν βλέπουμε ότι δύο χρήστες έχουν εντοπίσει πρωτεύων χρήστη με μέτρηση που ξεπερνάει το ανώτερο κατώφλι (με τον κόκκινο ομόκεντρο κύκλο), ενώ ένας έχει βρεθεί στην περιοχή όπου ο συντελεστής είναι 0.8 και ένας στην περιοχή με συντελεστή 0.6. Συνολικά το άθροισμα τους είναι $1+1+0.8+0.6=3.4$, το οποίο ικανοποιεί την συνθήκη του 3-out of-4 άρα οι δευτερεύοντες δεν θα εκπέμψουν και

άρα δεν θα παρεμβάλουν στους πρωτεύοντες χρήστες. Σε αυτήν την περίπτωση τα επιπλέον κατώφλια δεν αλλάζουν το αποτέλεσμα της απόφασης.

Στην δεύτερη εκτέλεση έχουμε δύο χρήστες οι οποίοι έχουν εντοπίσει πρωτεύον χρήστη στην περιοχή με συντελεστή 1 και έναν ακόμα ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή με συντελεστή 0.6. Το άθροισμα τους λοιπόν θα είναι $1+1+0.6=2.6$ το οποίο είναι μικρότερο του 3-out of-4 άρα οι δευτερεύοντες θα εκπέμπουν και θα παρεμβάλουν στους πρωτεύοντες χρήστες. Εδώ φαίνεται ότι τα επιπλέον κατώφλια έχουν επηρεάσει το αποτέλεσμα της απόφασης, καθώς εάν δεν υπήρχαν θα είχαμε τρεις χρήστες στην περιοχή με συντελεστή 1 άρα δεν θα λειτουργούσαν οι δευτερεύοντες χρήστες. Εδώ λοιπόν έχουμε μία περίπτωση που αυξάνει το ποσοστό παρεμβολής.



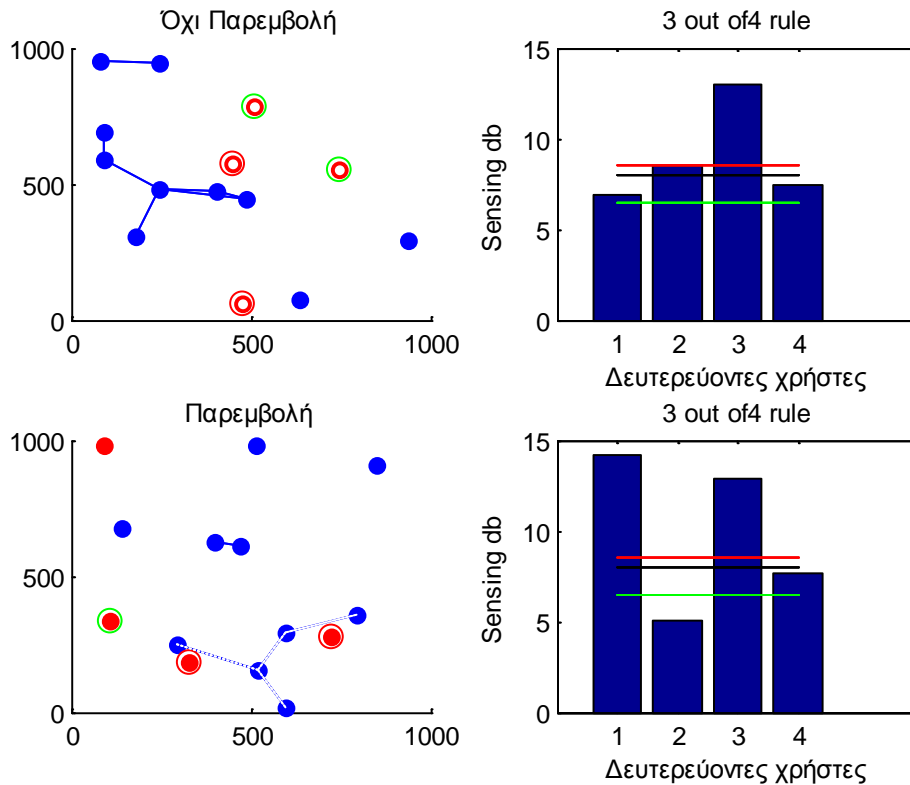
Εικόνα 4. 11 Δύο διαφορετικές εκτελέσεις της προσομοίωσης με τον «εγωιστικό» ανιχνευτή. Στα αριστερά οι περιοχές με τους χρήστες και στα δεξιά τα διαγράμματα με την ανίχνευση ισχύος.

	Εντοπισμός πρωτεύοντα με συντελεστή 1		επιπλέον κατώφλι
	Εντοπισμός πρωτεύοντα με συντελεστή 0.8		επιπλέον κατώφλι
	Εντοπισμός πρωτεύοντα με συντελεστή 0.6		αρχικό κατώφλι

4.4.1.3. Εκτέλεση με χρήση του «Μετριοπαθή» Ανιχνευτή

Στην Εικόνα 4.14 που ακολουθεί φαίνονται δύο εκτελέσεις της προσομοίωσης σύμφωνα με τις παραπάνω παραμέτρους. Οι δευτερεύοντες χρήστες οι οποίοι έχουν δεύτερο μαύρο κύκλο έχουν κάνει μέτρηση η οποία βρίσκεται στην περιοχή με συντελεστή 0.8 ενώ αυτοί με τον πράσινο στην περιοχή με συντελεστή 0.5. Ακόμη στα δεξιά έχουν προστεθεί τα δύο νέα κατώφλια με τα αντίστοιχα χρώματα. Το αρχικό μας κατώφλι είναι το μαύρο. Στην πρώτη εκτέλεση λοιπόν βλέπουμε ότι δύο χρήστες έχουν εντοπίσει πρωτεύων χρήστη με μέτρηση που ξεπερνάει το ανώτερο κατώφλι (με τον κόκκινο ομόκεντρο κύκλο), ενώ δύο έχουν βρεθεί στην περιοχή όπου ο συντελεστής είναι 0.5. Συνολικά το άθροισμα τους είναι $1+1+0.5+0.5=3$, το οποίο ικανοποιεί την συνθήκη του 3-out of-4 άρα οι δευτερεύοντες δεν θα εκπέμψουν και άρα δεν θα παρεμβάλουν στους πρωτεύοντες χρήστες. Εάν δεν υπήρχαν τα επιπλέον κατώφλια αλλά υπήρχε μόνο το αρχικό τότε θα είχαμε δύο χρήστες με μετρούμενη ισχύ πάνω από το όριο μας άρα η συνθήκη του 3-out of-4 δεν θα ικανοποιούταν και πιθανόν να είχαμε παρεμβολή στους πρωτεύοντες χρήστες.

Στην δεύτερη εκτέλεση έχουμε δύο χρήστες οι οποίοι έχουν εντοπίσει πρωτεύων χρήστη στην περιοχή με συντελεστή 1 και έναν ακόμα ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή με συντελεστή 0.5. Το άθροισμα τους λοιπόν θα είναι $1+1+0.5=2.5$ το οποίο είναι μικρότερο του 3-out of-4 άρα οι δευτερεύοντες θα εκπέμψουν και θα παρεμβάλουν στους πρωτεύοντες χρήστες. Σε αυτήν την περίπτωση τα επιπλέον κατώφλια δεν αλλάζουν το αποτέλεσμα της απόφασης.

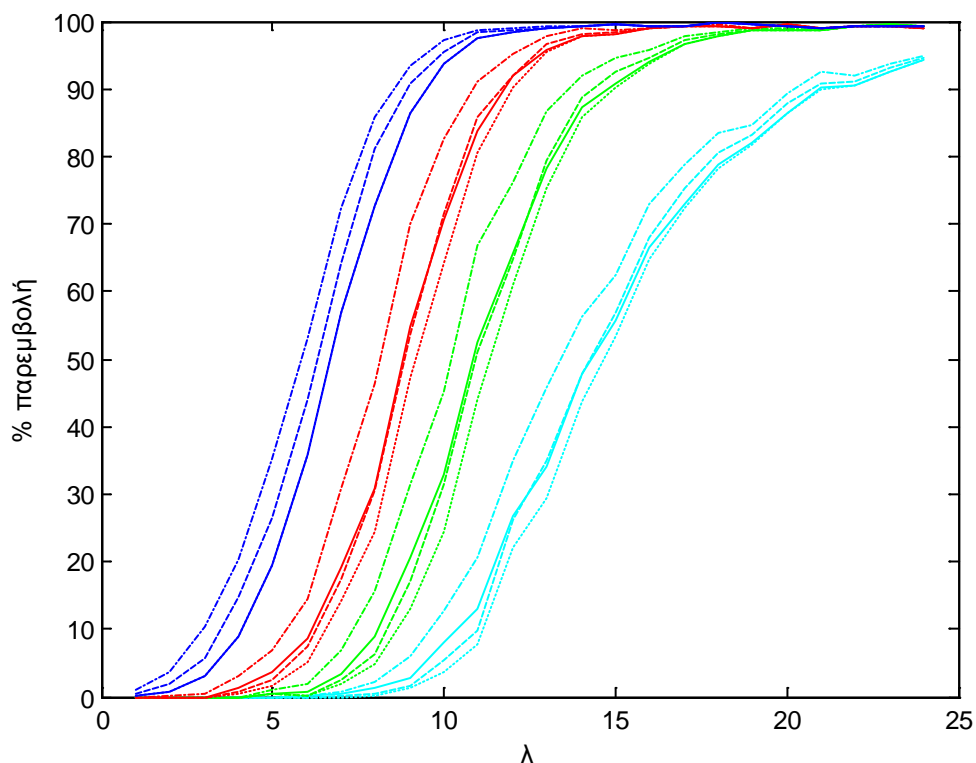


Εικόνα 4. 14 Δύο διαφορετικές εκτελέσεις της προσομοίωσης με τον «μετριοπαθή» ανιχνευτή. Στα αριστερά οι περιοχές με τους χρήστες και στα δεξιά τα διαγράμματα με την ανίχνευση ισχύος.

	Εντοπισμός πρωτεύοντα με συντελεστή 1		επιπλέον κατώφλι
	Εντοπισμός πρωτεύοντα με συντελεστή 0.8		αρχικό κατώφλι
	Εντοπισμός πρωτεύοντα με συντελεστή 0.5		επιπλέον κατώφλι

Στην συνέχεια ακολουθεί το γράφημα (Εικόνα 4.15) το οποίο παρουσιάζει την πιθανότητα παρεμβολής και των τεσσάρων ανιχνευτών (με 1 και με 3 κατώφλια) συναρτήσει του λ και του $k - out - of - n$ για λ από 1 έως 24dB και για k από 1 έως 4. Παρατηρούμε την βελτίωση που υπάρχει με τον «ηθικό» ανιχνευτή κυρίως στις μεσαίες και μικρότερες τιμές του ορίου λ η οποία σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνά το 5%. Παρατηρούμε επίσης ότι δεν υπάρχει καθόλου βελτίωση στην περίπτωση 4-out of-4. Αυτό συμβαίνει σε όλες τις περιπτώσεις n-out of-n (AND) λόγω του σχεδιασμού του ανιχνευτή. Η βελτίωση αυτή της πιθανότητας παρεμβολής ήταν αναμενόμενη αφού όπως είπαμε χρησιμοποιήσαμε «ηθικό» ανιχνευτή ισχύος. Αντίστοιχα παρατηρούμε σε όλες τις περιπτώσεις την αύξηση της πιθανότητας παρεμβολής με την χρήση του «εγωιστικού» ανιχνευτή, η οποία μπορεί να φτάσει και το επίπεδο του 10%. Για τον «Μετριοπαθή ανιχνευτή» παρατηρούμε ότι υπάρχουν τόσο μειώσεις όσο και αυξήσεις στην πιθανότητα παρεμβολής. Ειδικότερα, για τις χαμηλές τιμές του k και του λ υπάρχει βελτίωση, ενώ στις υψηλότερες τιμές η πιθανότητα χειροτερεύει. Παρατηρούμε επίσης ότι

στην περίπτωση 4-out of-4 έχουμε μόνο αύξηση του ποσοστού της παρεμβολής. Αυτό συμβαίνει σε όλες τις περιπτώσεις n-out of-n (AND). Δεν μπορούμε επομένως να βγάλουμε ένα γενικό συμπέρασμα για τον ανιχνευτή αυτού του τύπου, αλλά μόνο να δούμε τι αποτελέσματα έχει στις τιμές που μας ενδιαφέρουν.



Εικόνα 4. 12 Πιθανότητα παρεμβολής με ανιχνευτές ενός και τριών κατωφλίων για το 1^ο σενάριο

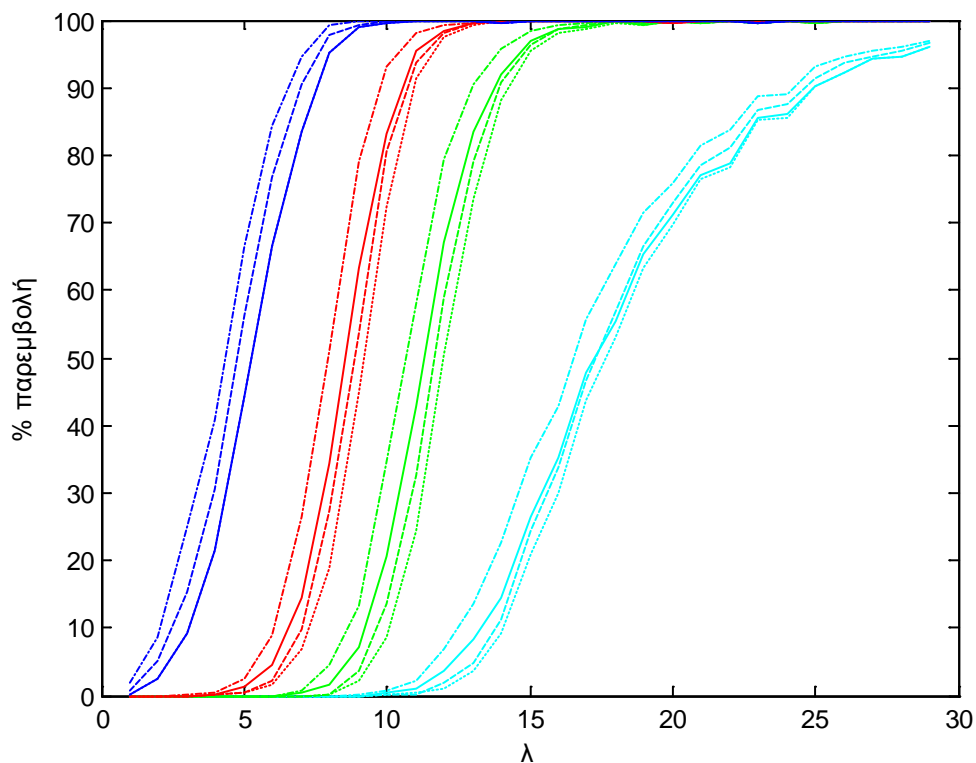
—	Ανιχνευτής ενός κατωφλίου	—	4 out of 4 (AND)
-----	"Ηθικός" ανιχνευτής	—	3 out of 4
- - - -	"Εγλωιστικός" ανιχνευτής	—	2 out of 4
— —	"Μετριοπαθής" ανιχνευτής	—	1 out of 4 (OR)

4.4.2.Σενάριο 2^ο

Μήκος περιοχής	1000 μέτρα
Πλάτος περιοχής	1000 μέτρα
Πλήθος πρωτευόντων χρηστών	10
Πλήθος δευτερευόντων χρηστών	10
Πιθανότητα λειτουργίας πρωτευόντων	100%
Πιθανότητα λειτουργίας δευτερευόντων	100%

Συχνότητα λειτουργίας	2400 MHz
Ισχύς εκπομπής	10 dBm
Ισχύς θορύβου	-80 dBm
Κατώτατο όριο SNR για δημιουργία ζεύξης	2dB
Όριο ανιχνευτή ισχύος λ	λ (1-29)
$k - out - of - n$	k (=1,4,7,10)

Ακολουθεί η Εικόνα 4.16 η οποία παρουσιάζει την πιθανότητα παρεμβολής και των τεσσάρων ανιχνευτών (με 1 και με 3 κατώφλια) συναρτήσει του λ και του $k - out - of - n$ για λ από 1 έως 29dB και για $k=1,4,7,10$. Παρατηρούμε ξανά την βελτίωση που υπάρχει με τον «ηθικό» ανιχνευτή κυρίως στις μεσαίες και μικρότερες τιμές του ορίου λ η οποία σε αυτήν την περίπτωση των 10 δευτερευόντων χρηστών είναι ακόμη μεγαλύτερη από την προηγούμενη με 4 δευτερεύοντες χρήστες. Για τον «εγωιστικό» ανιχνευτή έχουμε αυξημένες πιθανότητες παρεμβολής, όπως αναμενόταν, αντίστοιχα με την προηγούμενη περίπτωση. Τέλος, όσον αφορά στον «μετριοπαθή» ανιχνευτή βλέπουμε ότι υπάρχει μείωση της πιθανότητας για $k=4,7$, αναμενόμενη αύξηση για $k=10$ (AND), ενώ στην περίπτωση OR έχουμε μείωση στις χαμηλές τιμές του λ και αύξηση στις υψηλότερες.



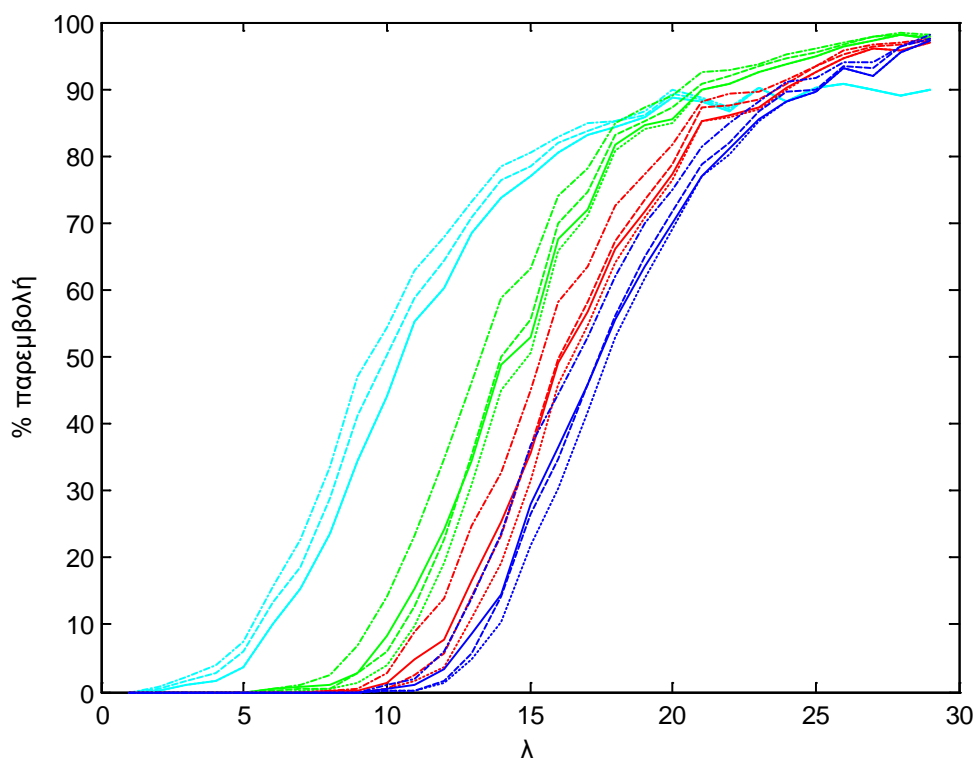
Εικόνα 4. 16 Πιθανότητα παρεμβολής με ανιχνευτές ενός και τριών κατωφλίων για το 2^ο σενάριο

————	Ανιχνευτής ενός κατωφλίου	————	10 out of 10 (AND)
-----	"Ηθικός" ανιχνευτής	————	7 out of 10
- - - .	"Εγωιστικός" ανιχνευτής	————	4 out of 10
— —	"Μετριοπαθής" ανιχνευτής	————	1 out of 10 (OR)

4.4.3.Σενάριο 3^ο

Μήκος περιοχής	1000 μέτρα
Πλάτος περιοχής	1000 μέτρα
Πλήθος πρωτευόντων χρηστών	10
Πλήθος δευτερευόντων χρηστών	n (=1,4,7,10)
Πιθανότητα λειτουργίας πρωτευόντων	100%
Πιθανότητα λειτουργίας δευτερευόντων	100%
Συχνότητα λειτουργίας	2400 MHz
Ισχύς εκπομπής	10 dBm
Ισχύς θορύβου	-80 dBm
Κατώτατο όριο SNR για δημιουργία ζεύξης	2dB
Όριο ανιχνευτή ισχύος λ	λ (1-29)
<i>k – out – of – n</i>	1 (OR)

Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε σταθερό πλήθος πρωτευόντων χρηστών και μεταβλητό πλήθος δευτερευόντων n (=1,4,7,10). Εξετάζουμε την περίπτωση OR μεταβάλλοντας το όριο του ανιχνευτή ισχύος λ (1-29). Λαμβάνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα (Εικ.4.17) και συμπεραίνουμε ότι η βελτίωση της απόδοσης για τον «ηθικό» ανιχνευτή είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται το πλήθος των δευτερευόντων χρηστών. Αντίστοιχα, η πιθανότητα αυξάνεται με την αύξηση των δευτερευόντων χρηστών όταν χρησιμοποιούμε «εγωιστικό» ανιχνευτή. Για τον «μετριοπαθή» ανιχνευτή εξακολουθεί να ισχύει ότι παρουσιάζεται μείωση της πιθανότητας για τα μικρά λ και αύξηση της για τα μεγάλα όρια κατωφλίου λ.



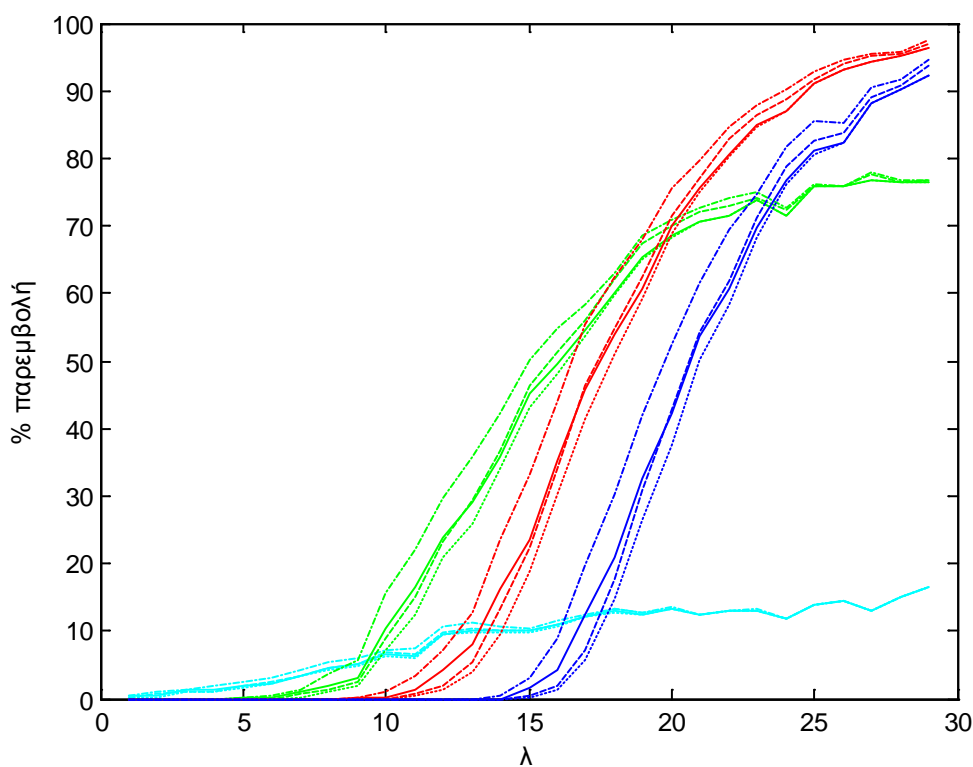
Εικόνα 4. 13 Πιθανότητα παρεμβολής με ανιχνευτές ενός και τριών κατωφλίων για το 3^ο σενάριο

—	Ανιχνευτής ενός κατωφλίου	—	1 out of 10
-----	"Ηθικός" ανιχνευτής	—	1 out of 7
- - - -	"Εγωιστικός" ανιχνευτής	—	1 out of 4
— —	"Μετριοπαθής" ανιχνευτής	—	1 out of 1

4.4.4.Σενάριο 4^ο

Μήκος περιοχής	1000 μέτρα
Πλάτος περιοχής	1000 μέτρα
Πλήθος πρωτευόντων χρηστών	$m(=2,5,10,20)$
Πλήθος δευτερευόντων χρηστών	10
Πιθανότητα λειτουργίας πρωτευόντων	100%
Πιθανότητα λειτουργίας δευτερευόντων	100%
Συχνότητα λειτουργίας	2400 MHz
Ισχύς εκπομπής	10 dBm
Ισχύς θορύβου	-80 dBm
Κατώτατο όριο SNR για δημιουργία ζεύξης	2dB
Όριο ανιχνευτή ισχύος λ	λ (1-29)
$k - out - of - n$	1-out of-10 (OR)

Σε αυτήν την περίπτωση θεωρούμε δεδομένο το πλήθος των δευτερευόντων χρηστών και μεταβάλλουμε το πλήθος των πρωτεύοντων $m(=2,5,10,20)$. Παραμένουμε στην περίπτωση OR και μεταβάλλουμε το όριο του ανιχνευτή ισχύος λ (1-29). Η Εικόνα 4.18 μας δείχνει ότι με την χρήση του «ηθικού» ανιχνευτή υπάρχει βελτίωση της πιθανότητας παρεμβολής η οποία γίνεται ακόμα πιο έντονη στις χαμηλές τιμές του ορίου λ . Ο «εγωιστικός» ανιχνευτής παρουσιάζει αύξηση του ποσοστού κυρίως στις χαμηλές και μεσαίες τιμές, ενώ ο «μετριοπαθής» ανιχνευτής συμπεριφέρεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, δηλαδή υπάρχει μία μικρή μείωση της πιθανότητας για τις μικρές τιμές του ορίου λ και μία μικρή αύξηση για τις μεγαλύτερες τιμές. Τέλος, χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι για δύο πρωτεύοντες χρήστες οι μεταβολές στην πιθανότητα παρεμβολής είναι απειροελάχιστες με οποιονδήποτε ανιχνευτή.



Εικόνα 4. 14 Πιθανότητα παρεμβολής με ανιχνευτές ενός και τριών κατωφλίων για το 4^ο σενάριο

—	Ανιχνευτής ενός κατωφλίου	—	20 πρωτεύοντες
.....	"Ηθικός" ανιχνευτής	—	10 πρωτεύοντες
- - -	"Εγωιστικός" ανιχνευτής	—	5 πρωτεύοντες
- - -	"Μετριοπαθής" ανιχνευτής	—	2 πρωτεύοντες

4.5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΣΤΟΥΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΤΡΙΑ ΚΑΤΩΦΛΙΑ

Μετά και από την εκτέλεση των προσομοιώσεων είμαστε σε μία πιο ασφαλή θέση για να εξάγουμε συμπεράσματα. Είδαμε λοιπόν την επίδραση που έχουν, οι συγκεκριμένοι ανιχνευτές ισχύος με τρία κατώφλια που χρησιμοποιήσαμε, στην πιθανότητα παρεμβολής στους πρωτεύοντες χρήστες, όπως εμείς την έχουμε ορίσει. Ειδικότερα είδαμε την αύξηση της πιθανότητας όταν χρησιμοποιήσαμε τον "εγωιστικό" ανιχνευτή, την μείωση της με την χρήση του "ηθικού" ανιχνευτή και την διαφορετική συμπεριφορά που είχε ο "μετριοπαθής" ανιχνευτής αναλόγως με τις παραμέτρους της εκτέλεσης.

Η έννοια του "καλύτερου" ανιχνευτή από τους τρεις δεν μπορεί να υπάρξει. Και αυτό επειδή καλύτερος είναι αυτός που εξυπηρετεί σε κάθε περίπτωση τις ανάγκες μας. Η ανάγκη λοιπόν για πιο αξιόπιστη προστασία των πρωτευόντων χρηστών και καλύτερη διατήρηση του QoS τους, θα μας οδηγήσει στην επιλογή του "ηθικού" ανιχνευτή. Απ' την άλλη, εάν θέλουμε να βελτιώσουμε την πιθανότητα λειτουργίας των δευτερευόντων χρηστών, χωρίς να μας ενδιαφέρει η επίπτωση στην επικοινωνία των πρωτευόντων, τότε επιλέγουμε τον "εγωιστικό" ανιχνευτή ισχύος. Εάν τίποτα από τα δύο προαναφερθέντα δεν είναι στα σχέδια μας, δηλαδή δεν μας ενδιαφέρει να δώσουμε προτεραιότητα σε κανέναν, τότε προτείνεται η χρήση του "μετριοπαθή" ανιχνευτή. Γιατί με αυτόν τον τρόπο θα χειριστούμε με μεγαλύτερη προσοχή τις οριακές μετρήσεις που υπάρχουν και έτσι θα εκλογικεύσουμε ακόμη περισσότερο την απόφαση που θα πάρουν οι δευτερεύοντες χρήστες για την λειτουργία τους.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran and Shantidev Mohanty, "A Survey on Spectrum Management in Cognitive Radio Networks", Georgia Institute of Technology, IEEE Communications Magazine, April 2008
- [2] Simon Haykin, "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 23, No. 2, February 2005
- [3] Kaushik R. Chowdhury and Ian F. Akyildiz, "Cognitive Wireless Mesh Networks with Dynamic Spectrum Access", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 26, January 2008
- [4] Harry Urkowitz, "Energy Detection of Unknown Deterministic Signals", Proceedings of the IEEE, Vol. 55, No 4, April 1967
- [5] Amir Ghasemi and Elvino S. Sousa, "Opportunistic Spectrum Access in Fading Channels Through Collaborative Sensing", Electrical and Computer Engineering Department University of Toronto, Journal of Communications, Vol. 2, No. 2, March 2007
- [6] Fadel F. Digham, Mohamed-Slim Alouini and Marvin K. Simon, "On the Energy Detection of Unknown Signals over Fading Channels", Department of Electrical and Computer Engineering University of Minneapolis, IEEE 2003
- [7] Yan Chen, Guanding Yu, Zhaoyang Zhang, Hsiao-Hwa Chen and Peiliang Qiu, "On Cognitive Radio Networks with Opportunistic Power Control Strategies in Fading Channels", IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 7, No. 7, July 2008
- [8] Chunhua Sun, Wei Zhang and Khaled Ben Letaief, "Cooperative Spectrum Sensing for Cognitive Radios under Bandwidth Constraints", IEEE Department of Electronic and Computer Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology Kowloon, Hong Kong, 2007