



ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Διπλωματική Εργασία
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης**

***«Επιλογή Καναλιών σε περιβάλλον ευκαιριακής
πρόσβασης φάσματος»***

**Φλουρή Χαραλαμπία
Επιβλέπων: Σύρης Βασίλειος**

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2010

Πίνακας Περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ.....	5
ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ	6
ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (CAPACITY)	6
Εξασθένηση (Path loss)	7
ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ	9
ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	12
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	12
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	15
ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	21
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	22
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	23

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία υλοποίησα δύο μηχανισμούς επιλογής καναλιών για ασύρματα δίκτυα υποδομής (infrastructure), με στόχο τα σημεία πρόσβασης (Access Points – APs) του δικτύου να επιλέξουν το κανάλι στο οποίο μεγιστοποιούν τη χωρητικότητα τους (*Capacity*).

Ο πρώτος μηχανισμός ο οποίος υλοποίησα μετράει το *Capacity* που πετυχαίνει το κάθε AP εάν επιλέξει να εισέλθει σε ένα μόνο κανάλι. Το *Capacity* αυτό οφείλεται τόσο στον αριθμό των APs τα οποία θα εισέλθουν σε κάθε κανάλι όσο και στις παρεμβολές που δέχεται το κάθε κανάλι από τα γειτονικά κανάλια. Στο μοντέλο αυτό κάθε AP έχει την δυνατότητα να αλλάξει κανάλι εάν θεωρεί ότι θα πετύχει μεγαλύτερο *Capacity* κάνοντας την επιλογή αυτή. Η επιλογή του όμως αυτή έχει ένα κόστος και έτσι το AP το οποίο σκέφτεται να μεταβεί σε άλλο κανάλι, θα κάνει τη μετάβαση μόνο εάν το κανάλι αυτό είναι 10% καλύτερο από το κανάλι στο οποίο ήδη βρίσκεται.

Στο δεύτερο μηχανισμό μετράμε επίσης το *Capacity* που πετυχαίνεται σε κάθε κανάλι. Το βασικό στο μοντέλο αυτό είναι ότι το κάθε AP έχει τη δυνατότητα εκτός από ένα κανάλι να επιλέξει δύο ή και τρία συνεχόμενα. Ακόμα το AP το οποίο έχει επιλέξει ένα κανάλι θα μπορέσει εάν και μόνο εάν θεωρήσει πως πετυχαίνει καλύτερο *Capacity*, να μεταβεί σε μία δυάδα ή και τριάδα συνεχόμενων καναλιών. Το αντίστροφο βέβαια ισχύει και στην περίπτωση που το AP έχει επιλέξει μία δυάδα ή μια τριάδα καναλιών. Η επιλογή του όμως αυτή, δηλαδή η μετάβαση σε κάποιο η κάποια κανάλια έχει ένα κόστος και έτσι το AP το οποίο σκέφτεται να κάνει τη μετάβαση αυτή, θα την κάνει μόνο εάν το κανάλι αυτό ή η συνένωση καναλιών την οποία θα επιλέξει θα του προσφέρει τουλάχιστον 10% καλύτερο *Capacity* από το *Capacity* που πετυχαίνει στο κανάλι ή στα κανάλια στα οποία ήδη βρίσκεται.

Στα επόμενα κεφάλαια θα ορίσουμε το περιβάλλον εντός του οποίου αναπτύσσονται οι μηχανισμοί αυτοί. Έπειτα θα ορίσουμε περιπτώσεις, θα αναλύσουμε περισσότερο τους δύο μηχανισμούς και θα τους συγκρίνουμε μεταξύ τους ως προς το *Capacity* που επιτυγχάνεται, αλλά και όσο αφορά το πόσο γρήγορα συγκλίνει ο κάθε μηχανισμός ώστε να δούμε ποίος από τους δύο μηχανισμούς και σε ποιες περιπτώσεις είναι πιο αποτελεσματικός.

I. Εισαγωγή

Η ραγδαία ανάπτυξη και χρήση του IEEE 802.11 έχει θέσει ζητήματα όπως η ποιότητα των υπηρεσιών (QOS) , οι παρεμβολές των καναλιών (channel interference) και η διαχείρισης φορτίου (network load management). Η αύξηση των APs οδηγεί στη δημιουργία παρεμβολών μεταξύ των καναλιών καθώς και στη μείωση του συνολικού ρυθμού απόδοσης του δικτύου (throughput). Θέματα σχετικά με τις παρεμβολές εμποδίζουν την απόδοση του δικτύου.

Η εκχώρηση συχνοτήτων είναι ένα κύριο πρόβλημα στη σχεδίαση των ασύρματων δικτύων. Όλα τα APs μοιράζονται την ίδια συχνότητα. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη δημιουργία παρεμβολών οι οποίες πρέπει να ελαχιστοποιηθούν ή και να αποφευχθούν τελείως εάν βέβαια αυτό είναι εφικτό. Ένας τρόπος να γίνει αυτό είναι να γίνει η σωστή κατανομή των καναλιών στα hot spots. Στη διπλωματική αυτή υλοποίησα δύο μηχανισμούς τους οποίους περιγράψω σε επόμενα κεφάλαια και με τους μηχανισμούς αυτούς προσπάθησα να κάνω την καταλληλότερη ανάθεση καναλιών στα APs με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιώ το συνολικό throughput του δικτύου.

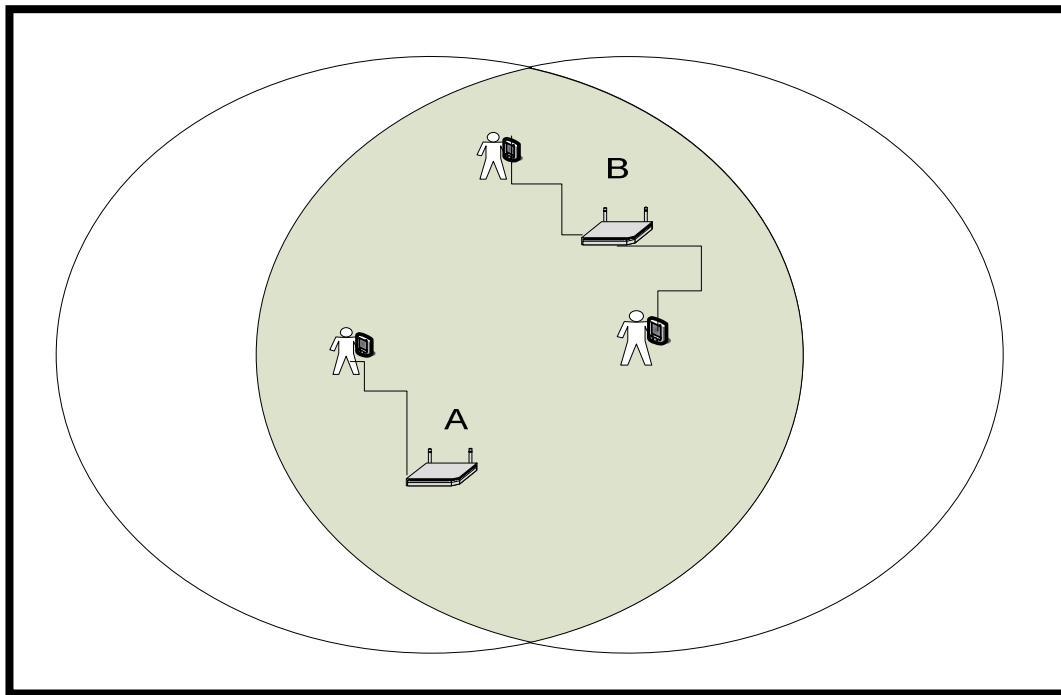
Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι οι επιδόσεις διαφέρουν ανάλογα με τον μηχανισμό που χρησιμοποίησα καθώς και με τις περιπτώσεις που όρισα.

Αρχικά έφτιαξα ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο βρίσκει τις παρεμβολές που δέχονται τα επικαλυπτόμενα κανάλια για το IEEE 802.11 WLAN σύστημα. Έπειτα υλοποίησα δύο μηχανισμούς (αλγορίθμους) οι οποίοι κατανέμουν δυναμικά τα κανάλια στα APs. Η διαφορά αυτών των δύο μηχανισμών είναι ότι ο “**Single Channel Selection**” παρέχει την δυνατότητα επιλογής ενός μόνο καναλιού ενώ ο “**Channel Bonding**” παρέχει τη δυνατότητα επιλογής έως και τριών συνεχόμενων καναλιών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται ως εξής : Στο II περιγράψω την τοπολογία, στο κεφάλαιο III περιγράψω τις βασικές έννοιες του φυσικού επιπέδου που θα μας απασχολήσουν, στο κεφάλαιο IV εξηγώ τα αποτελέσματα των πειραμάτων μου, στο κεφάλαιο V εξηγώ τον τρόπο που υλοποίησα τον προσομοιωτή, στο κεφάλαιο VI αναφέρω σχετικές δουλειές και τέλος στο VII καταλήγω στα συμπεράσματα.

II. Τοπολογία

Στην παρούσα διπλωματική εργασία υλοποίησα ένα θεωρητικό infrastructure δίκτυο το οποίο αποτελείται από ένα αριθμό από APs. Στους μηχανισμούς που υλοποίησα θεωρώ δεδομένο ότι όλα τα APs τα οποία εισέρχονται στο δίκτυο ανήκουν σε μία κοινή ακτίνα με αποτέλεσμα όλα να είναι γείτονες. Συνεπώς «όλοι ακούνε όλους». Αυτό φαίνεται και στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Infrastructure

Στους μηχανισμούς που υλοποίησα θεωρώ δεδομένο ότι το κάθε Access Point απέχει 20 μέτρα απόσταση από τον σταθμό (Client) ο οποίος έχει συνδεθεί στο συγκεκριμένο AP. Αφού λοιπόν γνωρίζω την απόσταση του κάθε Client από το AP με το οποίο είναι συνδεδεμένος, μπορώ να βρω το **Signal** (βλέπε κεφάλαιο III.A)

Τα APs που προανέφερα καλούνται να επιλέξουν ένα από τα δέκα κανάλια που είναι διαθέσιμα ή ένα αριθμό συνεχόμενων καναλιών (δύο συνεχόμενα ή και τρία συνεχόμενα). Η επιλογή τους όμως αυτή γίνεται με βάση το *Capacity* που πετυχαίνουν στο κάθε κανάλι ή στα συνεχόμενα κανάλια. Άρα παρατηρούμε ότι και στα δύο μοντέλα οι αποφάσεις του ενός AP επηρεάζουν τις αποφάσεις των άλλων APs.

Πιο συγκεκριμένα εάν τα APs του σχήματος 1 επιλέξουν το ίδιο κανάλι, επειδή είναι γείτονες, εκτός από τον θερμικό θόρυβο θα προστεθεί ένας επιπλέον θόρυβος

λόγω των παρεμβολών που ασκεί το ένα Access Point στο άλλο.

III. Μοντέλο Φυσικού Επιπέδου

Το φυσικό επίπεδο ασχολείται με την μετατροπή των ψηφιακών δεδομένων (εικόνα, βίντεο, ήχος, ...) σε κατάλληλα ηλεκτρομαγνητικά σήματα (ή κύματα) και την μετάδοση των σημάτων αυτών διαμέσου μιας σύνδεσης ή ενός καναλιού.

Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα υπόκεινται σε παραμορφώσεις και αλλοιώσεις με αποτέλεσμα ο παραλήπτης να τα μεταφράζει με λανθασμένο τρόπο. Οι αλλοιώσεις αυτές οφείλονται: I. Στο μέσο μετάδοσης, II. Στην ταχύτητα μετάδοσης και, III. Στην απόσταση μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη.

Σημαντικές μελέτες έχουν γίνει στο επίπεδο αυτό. Οι μελέτες αυτές σχετίζονται με τη χωρητικότητα του καναλιού καθώς και με την εξασθένηση που δέχεται στο σήμα ώσπου να φτάσει στον παραλήπτη.

A. Χωρητικότητα (Capacity)

Στην επιστήμη των υπολογιστών και στη θεωρία της πληροφορίας, χωρητικότητα ενός καναλιού, είναι ο μεγαλύτερος δυνατός ρυθμός (σε bits/sec.) με τον οποίο μπορεί να διαβιβασθεί αξιόπιστα η πληροφορία πάνω από ένα κανάλι επικοινωνίας.

Η θεωρία της πληροφορίας, που αναπτύχθηκε από τον Claude E. Shannon κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, ορίζει την έννοια της χωρητικότητας του καναλιού και παρέχει ένα μαθηματικό μοντέλο με το οποίο κάποιος μπορεί να υπολογίσει τη χωρητικότητα αυτή (*Channel Capacity*). [2]

Η χωρητικότητα του καναλιού επηρεάζεται τόσο από τη συχνότητα όσο και από τον θόρυβο.

Σύμφωνα με τον Claude E. Shannon, το Channel Capacity υπολογίζεται από τον τύπο:

$$C = B * \log_2 (1+S/N)$$

Όπου C είναι η χωρητικότητα του καναλιού (**Channel Capacity**) σε bits/s , B είναι το Bandwidth του καναλιού σε Hz, S είναι η ισχύς του σήματος (**Signal Power**) και N είναι ο θόρυβος.

Η χωρητικότητα του καναλιού βελτιώνεται καθώς αυξάνεται το διαθέσιμο Bandwidth και το S/N. Επιπλέον το S/N δείχνει το πόσο μπορεί να διαβρωθεί η ισχύς του σήματος από τον θόρυβο.

Ως αναφορά τον θόρυβο, η πιο διαδεδομένη πηγή θορύβου είναι ο θερμικός ο οποίος απορρέει από την θερμική κίνηση φορέων ηλεκτρικού φορτίου. Ο θόρυβος αυτός είναι γνωστός και ως **θόρυβος Johnson** ή **θόρυβος Nyquist** και δίνεται από την εξίσωση

$$N_{\text{thermal}} = kTB$$

Όπου N είναι ο θερμικός θόρυβος σε Watt, k είναι η σταθερά Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$) σε J/K, B είναι το Bandwidth σε Hz και T είναι η θερμοκρασία σε K. [1]

Εκτός όμως από τον θερμικό θόρυβο, στον υπολογισμό του συνολικού θορύβου, πρέπει να λάβουμε υπόψη και τις παρεμβολές που δέχεται το κανάλι από τα γειτονικά κανάλια. Ο τύπος για τον υπολογισμό του συνολικού θορύβου είναι :

$$N_i = N_{\text{thermal}} + \sum_{j=1}^n (P_{t_j} + PL_j + q_{i,j})$$

✱ $j \neq i$ σε Watt, όπου P_{t_j} είναι η ισχύς εκπομπής σε dB, PL_j είναι η ισχύς εξασθένησης σε dB και q είναι ο συντελεστής παρεμβολών σε dB. [3]

Επιπλέον για τον υπολογισμό του σήματος (Signal) χρησιμοποιώ τον τύπο όπου P_t είναι η ισχύς $S = P_t - PL$ εκπομπής σε dB (τη θεωρώ σταθερή και ίση με 20 dB) και PL είναι η εξασθένιση, την οποία περιγράφω στην επόμενη υποενότητα.

B. Εξασθένιση (Path loss)

Η **εξασθένιση** (attenuation) του σήματος ορίζεται ως η μείωση της ισχύος του σήματος καθώς αυτό μεταδίδεται μέσα από κάποιο μέσο μετάδοσης (μέσα από κάποιο κανάλι), και είναι ανάλογη της απόστασης. Αυτό σημαίνει πως όσο πιο μακριά ταξιδεύει το σήμα μέσα από κάποιο καλώδιο ή μέσα από κάποιο κανάλι, τόσο πιο

μεγάλη είναι και η μείωση της ισχύς του σήματος, δηλαδή τόσο περισσότερο εξασθενεί το σήμα. Επιπλέον, όσο πιο μεγάλη είναι η συχνότητα του μεταδιδόμενου σήματος, τόσο μεγαλύτερη είναι και η εξασθένηση που θα επέλθει.

Στα ασύρματα δίκτυα η εξασθένηση παίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό των επικαλυπτόμενων καναλιών. Γνωρίζοντας το Path loss μπορούμε να βρούμε το SNR καθώς και την ισχύς μετάδοσης του αποστολέα.

Η εξασθένηση του σήματος εξαρτάται και από τον χώρο στον οποίο βρισκόμαστε. Αν για παράδειγμα βρισκόμαστε σε ένα εσωτερικό χώρο πχ κάποιο κτήριο κατασκευασμένο από τσιμέντο, τότε σήμα θα εξασθενίσει κατά 4 dB ενώ αν βρισκόμαστε σε ένα χώρο κατασκευασμένο από ξύλο, τότε το σήμα θα εξασθενήσει κατά 6 dB.

Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την εξασθένηση είναι το *Multipath Fading*. Αυτό οφείλεται στο ότι στις ασύρματες τεχνολογίες, για να φτάσει το σήμα (η πληροφορία) από τον αποστολέα στον παραλήπτη, πρέπει στις περισσότερες περιπτώσεις να περάσει από ενδιάμεσους χρήστες κάνοντας έτσι πολλά άλματα.

Για να υπολογίσω την εξασθένηση χρησιμοποιώ τον τύπο :

$$\text{Path loss} = \alpha * 10 * \log_{10}(4 * \pi * D / \lambda)$$

όπου α είναι ο συντελεστής εξασθένησης, λ είναι το μήκος κύματος και D είναι η απόσταση ανάμεσα στον αποστολέα και στον παραλήπτη.

IV. Υλοποίηση Προσομοιωτή

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, υλοποίησα δύο μηχανισμούς. Ο πρώτος μηχανισμός ονομάζεται **“Single Channel Selection”** ενώ το δεύτερο το ονομάζεται **“Channel Bonding”**. Και οι δύο μηχανισμοί έχουν ως βασικό τους στόχο την επιλογή του καταλληλότερου καναλιού από το κάθε AP.

Αναλυτικότερα στον μηχανισμό **“Single Channel Selection”**, το σύστημα υπολογίζει τυχαία τις συντεταγμένες του κάθε AP. Έπειτα για κάθε AP υπολογίζονται τυχαία οι συντεταγμένες των γειτόνων του και με βάση το πυθαγόρειο θεώρημα βρίσκεται η απόσταση που απέχει το ένα AP από το άλλο. Και στους δύο μηχανισμούς όλα τα APs είναι γείτονες μεταξύ τους. Στη συνέχεια εξετάζεται τι γίνεται εάν το AP εισέλθει σε κάποιο κανάλι. Στον μηχανισμό αυτόν το κάθε AP μπορεί να χρησιμοποιήσει μόνο ένα κανάλι σε κάθε Round. Έπειτα υπολογίζονται οι παρεμβολές που προκαλούνται από τις μεταδόσεις των neighbors οι οποίοι βρίσκονται σε γειτονικά κανάλια εάν υποθέσω ότι όλοι οι neighbors εκπέμπουν ταυτόχρονα. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο θόρυβος. Ακόμα και αν όλα τα κανάλια είναι άδεια, υπάρχει ο θερμικός θόρυβος ο οποίος βρίσκεται από τον τύπο $N=KTB$, όπου K είναι η σταθερά Boltzmann ($= 1.3803 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$), $T= 290^\circ\text{K}$ και $B= 22 \text{ GHz}$ όπως φαίνεται στο [1]. Έπειτα ελέγχεται εάν ο neighbor βρίσκεται σε κάποιο κανάλι ώστε να υπολογιστούν οι παρεμβολές που προκαλεί στα γειτονικά κανάλια. Στην περίπτωση που ο neighbor βρίσκεται σε κάποιο κανάλι τότε εξετάζονται τέσσερις περιπτώσεις. Η πρώτη περίπτωση είναι εάν το AP βρίσκεται στο ίδιο κανάλι με τον εκάστοτε neighbor, οπότε εκεί υπάρχει ένας συντελεστής παρεμβολών $q=0 \text{ dB}$. Η δεύτερη περίπτωση είναι όταν το AP απέχει ένα κανάλι με τον neighbor οπότε $q= -22.04 \text{ dB}$, η τρίτη περίπτωση είναι όταν απέχει 2 κανάλια οπότε $q=-22.04 \text{ dB}$ και η τέταρτη είναι όταν απέχει 3 κανάλια οπότε $q=-39.67$, όπως φαίνεται στο [3]. Αφού λοιπόν βρεθεί το q , υπολογίζεται το path loss σε dBm με βάση τον τύπο $PL = a \cdot 10 \cdot \log_{10} (4 \cdot \pi \cdot \text{dst} / \lambda)$, όπου a είναι ο συντελεστής εξασθένησης, $\pi = 3.14$, dst είναι η απόσταση που απέχει το AP από τον neighbor που εξετάζεται και λ είναι το μήκος κύματος ($\lambda = 0,123$) [1]. Στη συνέχεια μετατρέπεται το path loss σε mW και υπολογίζεται ο θόρυβος που προκαλείται στο κάθε κανάλι από τον κάθε neighbor.

Έτσι το noise υπολογίζεται από τον τύπο $N = (P_t + P_L + q)$ σε dB [1] όπου P_t είναι η ισχύς μετάδοσης σε dB. Στα πειράματα μου την ισχύ αυτή τη θεωρώ σταθερή και ίση με 20dB. Έπειτα μετατρέπω το Noise σε mW και προσθέτω στον τελικό θόρυβο και τον θερμικό θόρυβο. Αφού βρεθούν οι παρεμβολές που ασκούνται στα κανάλια από τους γείτονες, τότε υπολογίζεται το *Channel Capacity* σύμφωνα με τον τύπο, $C = B \log_2 (1 + S/N)$ όπου $S = 10^{(P_t - P)/10}$ σε mW [1]. Αφού τελειώσω με τον υπολογισμό του Capacity του κάθε καναλιού, και πριν προχωρήσω στον υπολογισμό του Capacity για το επόμενο AP, το σύστημα μου αποφασίζει να επιλέξει το κανάλι με το μεγαλύτερο Capacity. Στη συνέχεια προχωράει στο επόμενο AP. Όταν όλα τα APs εισέλθουν σε κάποιο κανάλι τότε υπολογίζεται το τελικό *Capacity* του κάθε καναλιού.

Ο μηχανισμός αυτός εκτελείται 20 Runs και κάθε Run εκτελείται 20 Rounds. Αυτό σημαίνει ότι για το Run 1, ο μηχανισμός “**Single Channel Selection**” εκτελείται 20 Rounds, όπου σε κάθε Round οι συντεταγμένες τόσο των APs όσο και των neighbors είναι σταθερές. Αυτό που αλλάζει από Round σε Round είναι η επιλογή του καναλιού από το κάθε AP. Έτσι από τον Round 1 μέχρι και τον Round 20, το κάθε AP έχει το δικαίωμα να επιλέξει ένα διαφορετικό κανάλι αρκεί το *Capacity* που θα πετύχει διαλέγοντας το κανάλι αυτό να είναι 10% καλύτερο από το *Capacity* του καναλιού στο οποίο βρίσκεται. Έπειτα ο μηχανισμός εκτελείται από την αρχή, κάνοντας ξανά όλες τις διαδικασίες που προανέφερα και βγάζοντας νέα αποτελέσματα. Αυτό γίνεται 20 φορές.

Ο δεύτερος μηχανισμός που υλοποίησα, το “**Channel Bonding**”, είναι παρόμοιος με το πρώτο με τη βασική διαφορά ότι τα APs έχουν την δυνατότητα να επιλέξουν μέχρι και 3 συνεχόμενα κανάλια. Αυτό που διαφέρει σε σχέση με το προηγούμενο είναι ο υπολογισμός του *Capacity* του κάθε καναλιού καθώς και ο υπολογισμός των παρεμβολών. Αρχικά υπολογίζεται το Capacity που πετυχαίνει το κάθε AP εάν επιλέξει ένα κανάλι. Στην πρώτη περίπτωση, το Capacity και οι παρεμβολές υπολογίζονται σύμφωνα με όσα είπαμε παραπάνω. Έπειτα εξετάζεται η περίπτωση όπου το AP επιλέξει δύο συνεχόμενα κανάλια. Στην περίπτωση αυτή, οι παρεμβολές είναι περισσότερες καθώς πρέπει να υπολογιστούν οι παρεμβολές που ασκούνται στο κάθε κανάλι ξεχωριστά και να βρεθεί τον συνολικό noise που προκαλείται στο ζεύγος αυτό. Όμως επειδή κάνω συνένωση δύο καναλιών το *Bandwidth* διπλασιάζεται. Στην τρίτη περίπτωση το κάθε AP έχει δικαίωμα να επιλέξει

ανάμεσα σε τρία συνεχόμενα κανάλια. Οι παρεμβολές και σε αυτή την περίπτωση είναι αρκετά αυξημένες αφού το AP θα πρέπει να υπολογίσει το σύνολο των παρεμβολών που δέχεται το κάθε κανάλι ξεχωριστά. Όμως επειδή κάνω συνένωση τριών συνεχόμενων καναλιών, το *Bandwidth* τριπλασιάζεται. Μετά το τέλος του υπολογισμού της κάθε περίπτωσης το AP επιλέγει το κανάλι με το μεγαλύτερο *Capacity*, εάν αναφερόμαστε στην πρώτη περίπτωση ή την δυάδα καναλιών εάν αναφερόμαστε στην δεύτερη περίπτωση ή την τριάδα καναλιών εάν αναφερόμαστε στην τρίτη. Έπειτα το AP συγκρίνει αυτές τις τρεις περιπτώσεις και επιλέγει το κανάλι ή τον συνδυασμό που του δίνει το μεγαλύτερο *Capacity*. Αφού λοιπόν όλα τα APs εισέλθουν σε κάποιο κανάλι ή σε συνδυασμό καναλιών, υπολογίζεται το τελικό το *Capacity* του κάθε καναλιού.

Βασική ομοιότητα του μηχανισμού “**Channel Bonding**” με τον προηγούμενο είναι ότι και αυτός εκτελείται 20 Runs και κάθε Run τρέχει 20 Rounds. Τα Rounds και τα Runs κάνουν ότι και στο προηγούμενο πρόγραμμα. Μια διαφορά των δύο αυτών μηχανισμών είναι ότι ενώ και στους δύο τα APs αλλάζουν κανάλι μόνο εάν το κανάλι που σκέφτονται να επιλέξουν είναι 10% καλύτερο από το προηγούμενο στο “**Channel Bonding**” μπορούν να επιλέξουν να μεταβούν από ένα συνδυασμό καναλιών σε ένα μόνο κανάλι ή και το αντίστροφο, πράγμα το οποίο δεν είναι εφικτό στο “**Single Channel Selection**”.

V. Αποτίμηση Απόδοσης

Στην ενότητα αυτή μελετάμε τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση των μηχανισμών που περιγράφονται παραπάνω καθώς επίσης και των αποτελεσμάτων που πήρα από τα πειράματα μου.

A. Μεθοδολογία

Στα πειράματα μου μελέτησα οχτώ περιπτώσεις. Οι περιπτώσεις αυτές κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον αριθμό των APs τα οποία θα εισέλθουν στο δίκτυο (11 ή 20), τον συντελεστή εξασθένησης καθώς και με το αν τα APs θα επιλέξουν ένα ή πολλαπλά κανάλια.

Οι περιπτώσεις αυτές είναι οι εξής :

ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙ Σ	α (Συντελεστής εξασθένησης)	# APs	Single Channel Selection	Channel Bonding
Περίπτωση 1	2	20	√	-
Περίπτωση 2	2	11	√	-
Περίπτωση 3	2	11	-	√
Περίπτωση 4	2	20	-	√
Περίπτωση 5	3	20	√	-
Περίπτωση 6	3	11	√	-
Περίπτωση 7	3	20	-	√
Περίπτωση 8	3	11	-	√

Πίνακας 1 : Διαίρεση Περιπτώσεων

Περίπτωση 1

Στην περίπτωση αυτή εισέρχονται στο δίκτυο **20 APs**. Τα APs αυτά εισέρχονται

ταυτόχρονα και οι συντεταγμένες τους είναι τυχαίες. Επίσης όλα αυτά τα APs είναι γείτονες μεταξύ τους. Το κάθε AP *επιλέγει ένα κανάλι* ανάμεσα σε μία γκάμα δέκα καναλιών. Η επιλογή αυτή στηρίζεται στο *Capacity* που πετυχαίνει το κάθε AP σε κάθε κανάλι. Το *Capacity* αυτό βρίσκεται από το νόμο του Shannon και επηρεάζεται ιδιαίτερα από τις παρεμβολές που δέχεται από τα γειτονικά κανάλια. Ο **συντελεστής εξασθένησης** στο μοντέλο αυτό είναι **2**.

Αφού επιλέξουν όλα τα APs κανάλι, έχουν το δικαίωμα μεταβούν σε κάποιο άλλο. Υπάρχει βέβαια ένας περιορισμός στην αλλαγή καναλιού. Ο περιορισμός αυτός λέει πως το κάθε AP μπορεί να αλλάξει κανάλι μόνο εάν η μετάβαση αυτή του προσφέρει τουλάχιστον 10% μεγαλύτερο *Capacity* σε σχέση με το *Capacity* που έχει πετύχει στο κανάλι στο οποίο βρίσκεται. Επιπλέον πρέπει να τονιστεί ότι οι χρήστες δεν επιλέγουν ταυτόχρονα κανάλι αλλά το επιλέγουν ο ένας μετά τον άλλο.

Περίπτωση 2

Η περίπτωση αυτή αποτελείται από **11 APs** τα οποία εισέρχονται στο δίκτυο ταυτόχρονα. Οι συντεταγμένες των APs αυτών είναι τυχαίες. Όλα τα APs είναι γείτονες μεταξύ τους. Το κάθε AP *επιλέγει ένα κανάλι* ανάμεσα σε μία γκάμα δέκα καναλιών. Η επιλογή αυτή στηρίζεται στο *capacity* που πετυχαίνει στο κάθε κανάλι. Το *capacity* αυτό βρίσκεται από το νόμο του Shannon και επηρεάζεται ιδιαίτερα από τις παρεμβολές που δέχεται από τους γειτονικά κανάλια. Ο **συντελεστής εξασθένησης** στο μοντέλο αυτό είναι **2**.

Αφού επιλέξουν τα APs κανάλι, έχουν το δικαίωμα μεταβούν σε κάποιο άλλο. Υπάρχει βέβαια ένας περιορισμός στην αλλαγή καναλιού. Ο περιορισμός αυτός λέει πως το κάθε AP μπορεί να αλλάξει κανάλι μόνο εάν η μετάβαση αυτή του προσφέρει τουλάχιστον 10% μεγαλύτερο *Capacity* σε σχέση με το *Capacity* που έχει πετύχει στο κανάλι στο οποίο βρίσκεται. Επιπλέον πρέπει να τονιστεί ότι τα APs δεν επιλέγουν ταυτόχρονα κανάλι αλλά το επιλέγουν το ένα μετά τον άλλο.

Περίπτωση 3

Η περίπτωση αυτή αποτελείται από **11 APs** τα οποία εισέρχονται στο δίκτυο ταυτόχρονα. Οι συντεταγμένες των APs αυτών είναι τυχαίες. Στο μοντέλο αυτό ισχύει περίπου ότι και στα δύο προηγούμενα με την διαφορά ότι το κάθε AP *επιλέγει ένα,*

δύο ή και τρία συνεχόμενα κανάλια ανάμεσα σε μία γκάμα δέκα καναλιών. Η επιλογή αυτή στηρίζεται στο *capacity* που πετυχαίνει στο κάθε κανάλι ή στην ομάδα καναλιών. Το *capacity* αυτό βρίσκεται από το νόμο του Shannon και επηρεάζεται ιδιαίτερα από τις παρεμβολές που δέχεται από τα γειτονικά κανάλια. Ο *συντελεστής εξασθένησης* στο μοντέλο αυτό είναι **2**.

Αφού επιλέξουν όλα τα APs κανάλι, έχουν το δικαίωμα να μεταβούν σε ένα κανάλι ή και σε δύο ή τρία συνεχόμενα κανάλια. Και στο μοντέλο αυτό όπως και στα προηγούμενα υπάρχει ο περιορισμός της αλλαγής καναλιού. Δηλαδή ο περιορισμός αυτός λέει πως το AP μπορεί να μεταβεί σε ένα ή σε περισσότερα κανάλια(δύο ή τρία συνεχόμενα) μόνο εάν η μετάβαση αυτή του προσφέρει τουλάχιστον 10% μεγαλύτερο Capacity σε σχέση με το Capacity που έχει πετύχει στο κανάλι στο οποίο βρίσκεται.

Περίπτωση 4

Στη περίπτωση αυτή ισχύει ότι ακριβώς ισχύει και στη Περίπτωση 3, με τη διαφορά ότι τα APs είναι **20 αντί για 11**. Ο συντελεστής όμως εξασθένησης καθώς και ο τρόπος της επιλογής καναλιών παραμένουν ίδιοι.

Περίπτωση 5

Η περίπτωση αυτή αποτελείται από **20 APs** τα οποία εισέρχονται στο δίκτυο ταυτόχρονα. Οι συντεταγμένες των APs είναι τυχαίες. Στην περίπτωση αυτή ισχύει ακριβώς ότι και στη Περίπτωση 1 με τη διαφορά ότι ο *συντελεστής εξασθένησης* στην δεδομένη περίπτωση είναι **3**.

Περίπτωση 6

Στη περίπτωση αυτή εισέρχονται ταυτόχρονα στο δίκτυο **11 APs**. Ο *συντελεστής εξασθένησης* εδώ είναι **3**. Το κάθε AP έχει δικαίωμα επιλογής ενός **μόνο καναλιού** αλλά μπορεί να αλλάξει κανάλι μόλις και τα υπόλοιπα APs επιλέξουν κανάλι.

Περίπτωση 7

Η περίπτωση αυτή αποτελείται από **20 APs** τα οποία εισέρχονται στο δίκτυο ταυτόχρονα. Ο *συντελεστής εξασθένησης* είναι **3**. Τα APs έχουν δικαίωμα επιλογής

είτε ενός είτε πολλαπλών καναλιών.

Περίπτωση 8

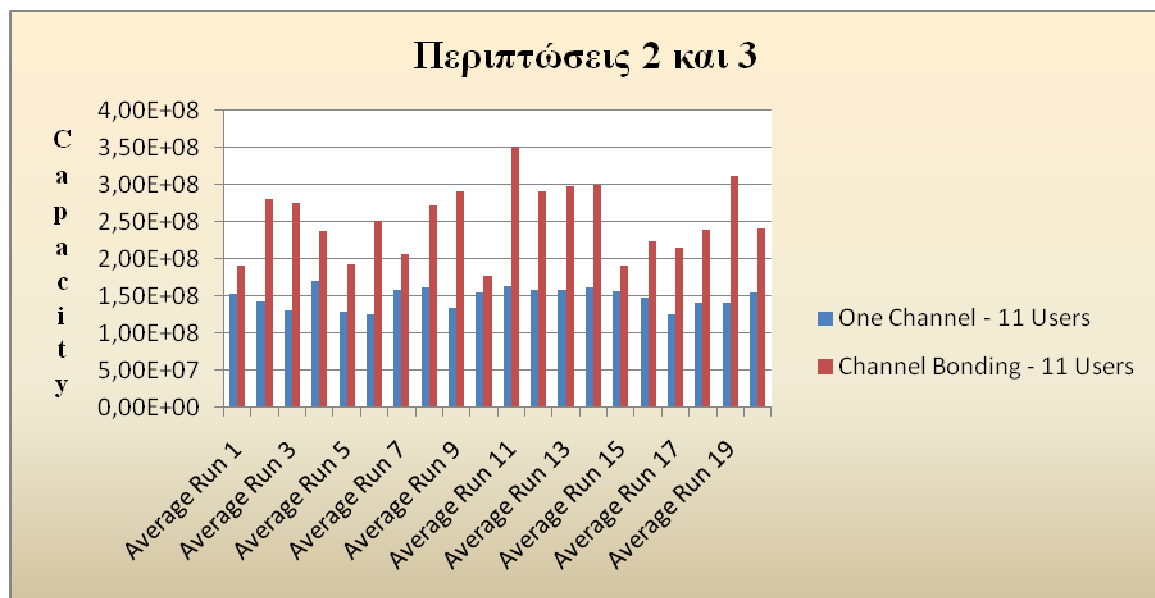
Η μόνη διαφορά με την Περίπτωση 7 είναι ότι σε αυτή τα APs είναι λιγότερα (11 APs).

Όπως φαίνεται λοιπόν από τα μοντέλα που περιέγραψα παραπάνω, στα πειράματά μου μελέτησα την συμπεριφορά του συστήματος όταν αυξήσω τον αριθμό των χρηστών (από 11 σε 20), καθώς επίσης και όταν άλλαξα τον συντελεστή εξασθένησης από 2 σε 3.

Στη συνέχεια θα δείξω γραφικά τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών, θα συγκρίνω τα αποτελέσματα αυτά και θα εξηγήσω τους λόγους για τους οποίους το σύστημα είχε την αναμενόμενη συμπεριφορά.

B. Αποτελέσματα

Στο επόμενο σχήμα απεικονίζονται τα αποτελέσματα από τις *Περιπτώσεις 2 και 3*. Συγκεκριμένα βλέπουμε το Average Capacity όλων των APs σε κάθε εκτέλεση του πειράματος.

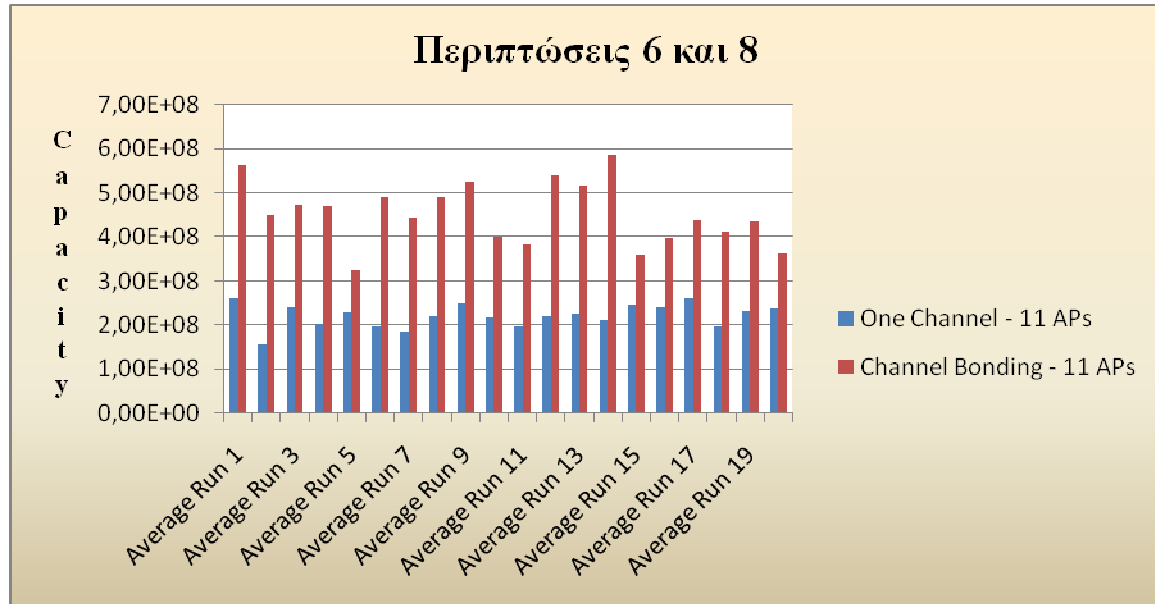


Σχήμα 2 : Average Capacity of each Run, $a=2$

Το παραπάνω πείραμα εκτελέστηκε 20 φορές (20 Runs), για 11 APs και σε κάθε Run άλλαζαν οι συντεταγμένες των APs, άρα και το Average Capacity όλων των APs. Επιπλέον σε κάθε Run άλλαζαν και οι προτιμήσεις των χρηστών οι οποίες

αφορούσαν την επιλογή ενός ή περισσότερων καναλιών.

Από τα παραπάνω λοιπόν συμπεραίνουμε πως στην περίπτωση των 11 APs το Average Capacity όλων των APs σε κάθε Run είναι περίπου 150 Mbps με την τεχνική της επιλογής ενός μόνο καναλιού ενώ με την τεχνική των πολλαπλών καναλιών το Average Capacity όλων των APs σε κάθε Run φτάνει περίπου τα 350 Mbps.



Σχήμα 3 : Average Capacity of each Run, $a=3$

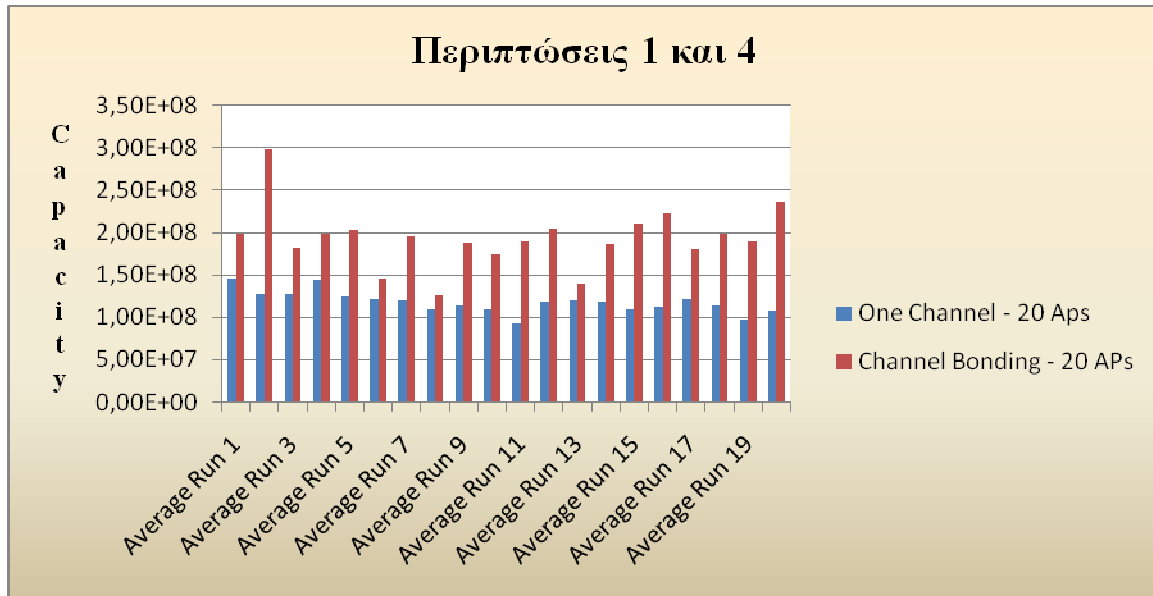
Από το Σχήμα 3 παρατηρούμε ότι και στην περίπτωση όπου ο συντελεστής εξασθένισης είναι 3 (Περίπτωση 6 και 8), προτιμάται η επιλογή πολλαπλών καναλιών αντί ενός μόνο καναλιού καθώς όπως φαίνεται το Average Capacity που πετυχαίνεται είναι περίπου 250 Mbps εάν το AP είναι αναγκασμένο να επιλέξει μόνο ένα κανάλι ενώ αν επιλέξει πολλαπλά συνεχόμενα κανάλια το Average Capacity φθάνει τα 500 Mbps.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του σχήματος 3 και του σχήματος 4 παρατηρούμε ότι με συντελεστή εξασθένισης ίσο με 3 το Average Capacity είναι πολύ μεγαλύτερο (σχεδόν διπλάσιο) και στις δύο περιπτώσεις. Δηλαδή είτε το AP επιλέξει ένα είτε επιλέξει πολλαπλά κανάλια το Capacity του καναλιού είναι πολύ μεγαλύτερο στην περίπτωση που ο συντελεστής εξασθένισης είναι 3 αντί για 2.

Όπως και στα προηγούμενα σχήματα, έτσι και στα δύο επόμενα δηλαδή στα Σχήματα 4 και 5 βλέπουμε ότι η επιλογή πολλαπλών καναλιών είναι πολύ καλύτερη σε σχέση με την επιλογή ενός μόνο καναλιού.

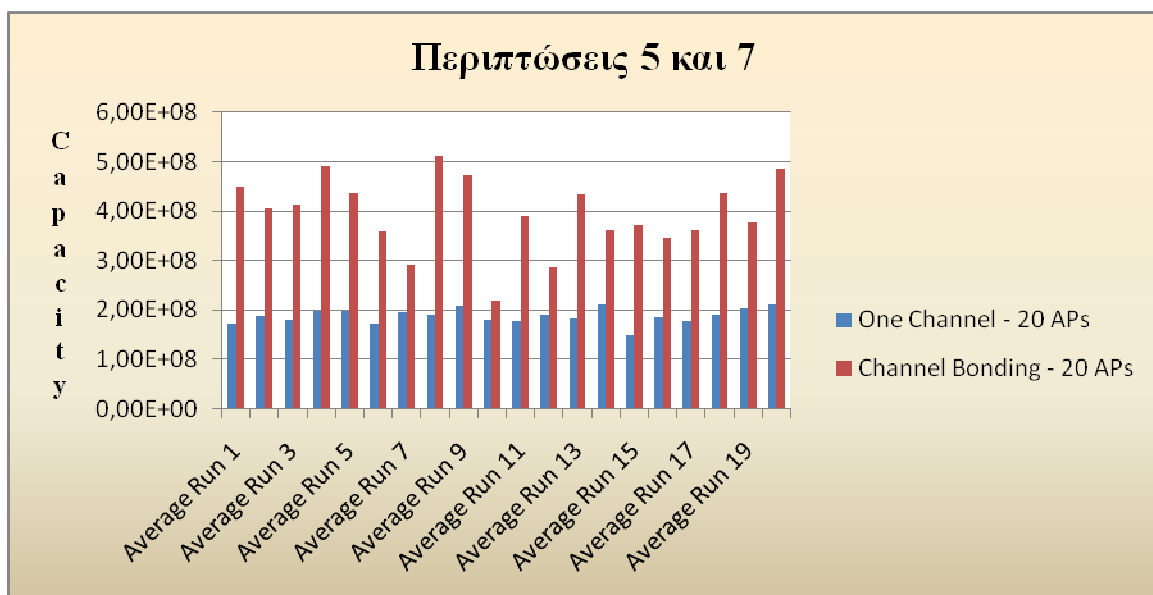
Στο σχήμα 4 μελετάμε την συμπεριφορά 20 APs τα οποία έχουν εισέλθει και

στα δύο συστήματα που περιγράψαμε σε προηγούμενη ενότητα (“**Single Channel Selection**” και “**Channel Bonding**”). Επιπλέον οι περιπτώσεις που μελετάμε στο σχήμα 4 είναι οι Περιπτώσεις 1 και 4 όπου ο συντελεστής εξασθένησης και στις δύο περιπτώσεις είναι ίσος με 2.



Σχήμα 4 : Average Capacity of each Run, $a=2$

Ακόμα εάν συγκρίνουμε τα σχήματα 4 και 5 παρατηρούμε ότι και σε αυτή την περίπτωση (όπου η διαφορά δηλαδή του σχήματος 4 με το 5 είναι ο συντελεστής εξασθένησης) το Average Capacity που πετυχαίνεται με συντελεστή εξασθένισης $a=3$ είναι ουσιαστικά πολύ καλύτερο σε σχέση με το Average Capacity που δίνει το σύστημα όταν ο συντελεστής εξασθένισης είναι ίσος με 2.



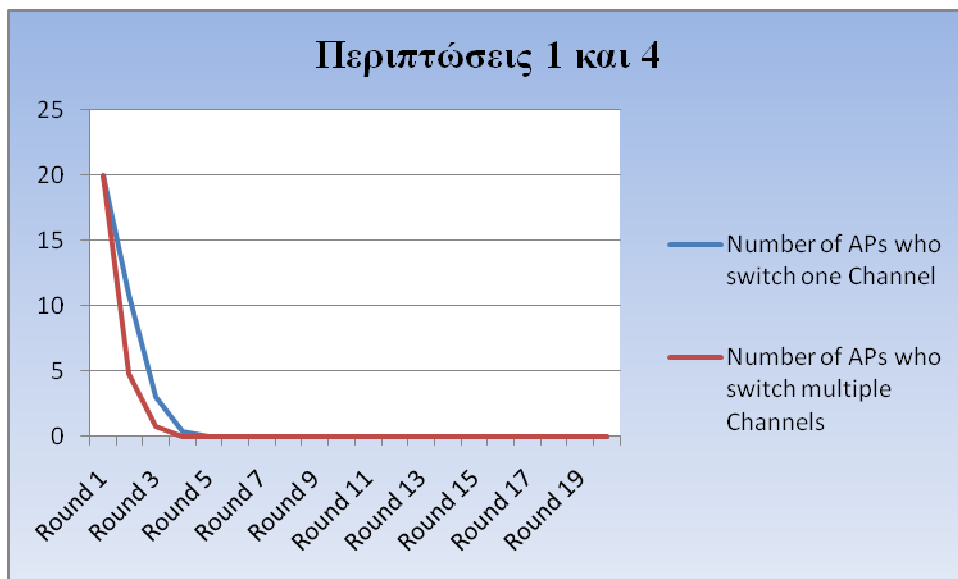
Σχήμα 5 : Average Capacity of each Run, $a=3$

Όπως είδαμε και παραπάνω ο συντελεστής εξασθένησης παίζει ουσιαστικό ρόλο στον υπολογισμό του *Path loss*.

Εκτός όμως από τον συντελεστή εξασθένησης, στα πειράματα μου μελέτησα και την μεταβλητότητα των καναλιών τα οποία επιλέγει το κάθε AP, είτε αναφερόμαστε στο μοντέλο του “Single Channel Selection” είτε στο μοντέλο του “Channel Bonding”. Ως αναφορά το πρόγραμμα “Single Channel Selection”, όπως έχω είδη αναφέρει σε προηγούμενη ενότητα, το AP έχει τη δυνατότητα σε κάθε Round (αφού δηλαδή όλα τα APs έχουν επιλέξει κανάλι και οι συντεταγμένες των χρηστών είναι σταθερές) να αλλάξει κανάλι αρκεί αυτό να είναι 10% καλύτερο από το προηγούμενο.

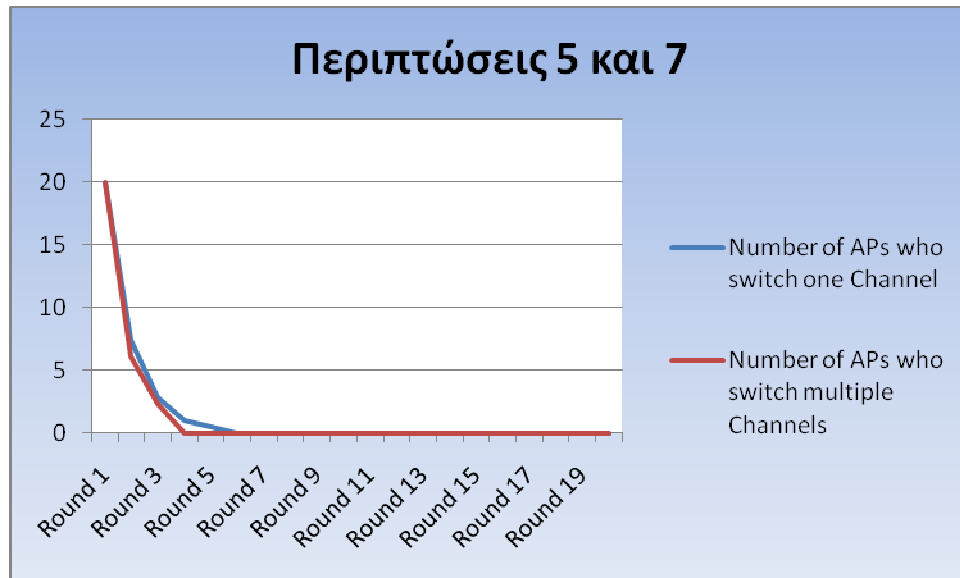
Έτσι λοιπόν στα επόμενα διαγράμματα θα μελετήσουμε τη συμπεριφορά των συστημάτων όταν εισέλθουν 11 ή 20 APs καθώς και τις περιπτώσεις όπου τα APs έχουν την δυνατότητα να επιλέξουν μόνο ένα κανάλι ή όταν έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν μέχρι τρία συνεχόμενα.

Στο Σχήμα 6 παρατηρούμε τη συμπεριφορά 20 APs τα οποία έχουν δικαίωμα αλλαγής καναλιού ή καναλιών. Έτσι βλέπουμε ότι κατά μέσο όρο, μετά από 20 Runs, τα APs αλλάζουν κανάλι μέχρι και τον τρίτο Round εάν πρόκειται για την Περίπτωση 1 (20 APs, συντελεστής εξασθένησης= 2, “Single Channel selection”) ή μέχρι και το δεύτερο Round, αν πρόκειται για την Περίπτωση 4 (20 APs, συντελεστής εξασθένησης = 2, “Channel Bonding”).



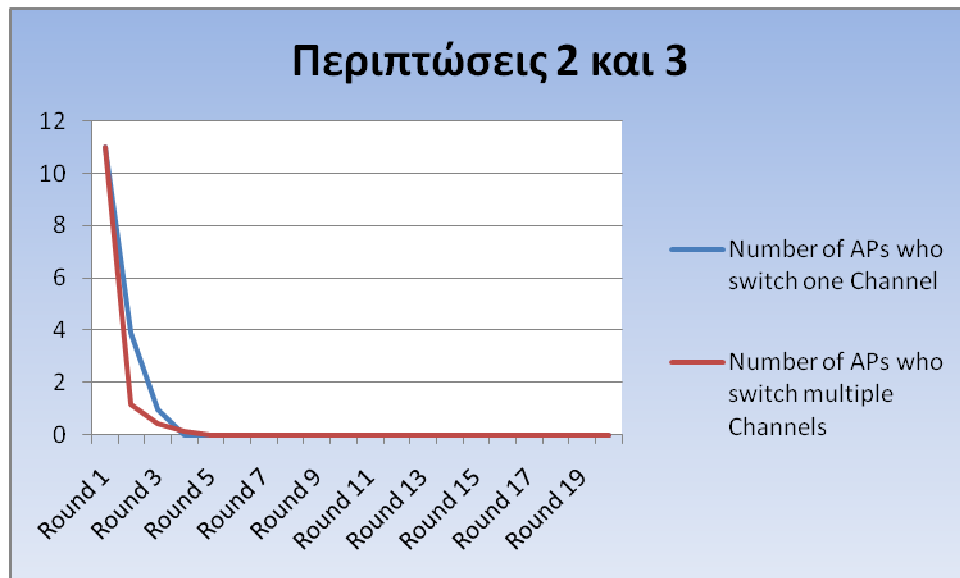
Σχήμα 6 :Channel Switch, $a=2$, Users=20

Στο Σχήμα 7 μελετάμε τις Περιπτώσεις 5 (11 APs, συντελεστής εξασθένησης= 2, “Single Channel Selection”) και 7 (11 APs, συντελεστής εξασθένησης = 2, “Channel Bonding”) . Έτσι βλέπουμε ότι κατά μέσο όρο, μετά από 20 Runs, τα APs αλλάζουν κανάλι μέχρι και τον πέμπτο Round εάν πρόκειται για την Περίπτωση 5 ή μέχρι και το τέταρτο Round, αν πρόκειται για την Περίπτωση 7.



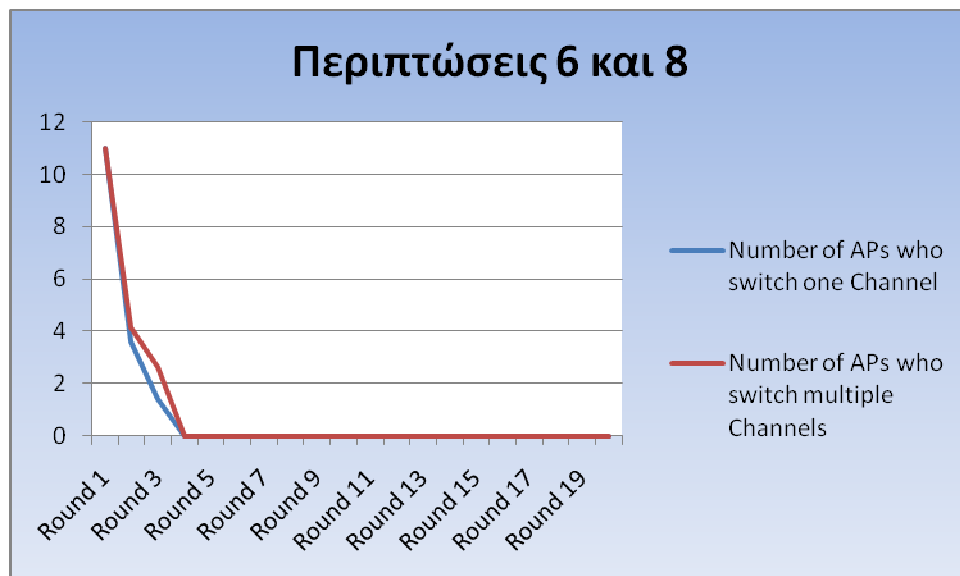
Σχήμα 7 :Channel Switch, $a=3$, Users=20

Στο Σχήμα 8 μελετάμε τις Περιπτώσεις 2 και 3. Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων μας συμπεραίνουμε ότι τόσο στην Περίπτωση 2 (11 APs, συντελεστής εξασθένησης= 2, “Single Channel Selection”) όσο και στην Περίπτωση 3 (11 APs, συντελεστής εξασθένησης = 2, “Channel Bonding”), το σύστημα συγκλίνει στον τέταρτο Round.



Σχήμα 8 :Channel Switch, $a=2$, Users=11

Στο Σχήμα 9 μελετάμε τις Περιπτώσεις 6 και 8. Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων μας συμπεραίνουμε ότι τόσο στην Περίπτωση 6 (11 APs, συντελεστής εξασθένησης= 3, “Single Channel Selection”) όσο και στην Περίπτωση 8 (11 APs, συντελεστής εξασθένησης = 3, “Channel Bonding”), το σύστημα συγκλίνει στον τέταρτο Round.



Σχήμα 9 :Channel Switch, $a=3$, Users=11

VI. Σχετική Έρευνα

Η αποτελεσματική κατανομή του φάσματος σε ένα “Open Spectrum” σύστημα είναι ένα πολύ ενδιαφέρον πρόβλημα το οποίο εξετάζεται σήμερα από πολλούς ερευνητές.

Στο επιστημονικό άρθρο «Utilization and Fairness in Spectrum Assignment for Opportunistic Spectrum Access» [4], στόχος των ερευνητών είναι να πετύχουν την βέλτιστη κατανομή του φάσματος ανάμεσα στους αδειοδοτημένους (Primary Users - PU) και στους μη αδειοδοτημένους χρήστες (Secondary Users- SU). Με άλλα λόγια προσπαθούν να κατανεύουν τα κανάλια στους Secondary Users με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιήσουν τις παρεμβολές. Για τον σκοπό αυτό, υλοποίησαν κάποιους αλγόριθμους οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν τόσο σε μία κεντροποιημένη όσο και σε μία κατακεντρωμένη αρχιτεκτονική. Στην κεντροποιημένη, υπάρχει ένας κεντρικός εξυπηρετητής (Central Server), ο οποίος συλλέγει στοιχεία σχετικά με τις συντεταγμένες, την ισχύ εκπομπής, τα κανάλια που είναι διαθέσιμα καθώς και τις παρεμβολές που δέχεται το κάθε κανάλι, τόσο για τον PU όσο και για τον SU. Έπειτα επιλέγει το καταλληλότερο κανάλι για τον SU. Αντίθετα με την κεντροποιημένη αρχιτεκτονική, στην κατακεντρωμένη δεν υπάρχει ένας κεντρικός εξυπηρετητής, αλλά ο κάθε SU συνεργάζεται με τους γείτονες του και επιλέγει ένα από τα διαθέσιμα κανάλια στα οποία δεν έχει εισέλθει κάποιος γείτονας ώστε να μην προκληθούν παρεμβολές. Τέλος τα πειράματα του άρθρου αυτού έδειξαν ότι οι αλγόριθμοι αυτοί μπόρεσαν να μειώσουν δραματικά τις παρεμβολές και να αυξήσουν την ρυθμιαπόδοση (throughput).

Στο άρθρο «Device-centric Spectrum Management » [5], οι ερευνητές προσπαθούν και αυτοί να κάνουν σωστή κατανομή του διαθέσιμου φάσματος. Σε αντίθεση με την αναφορά [4], στην [5] χρησιμοποιούν μία τεχνική η οποία βασίζεται σε πέντε κανόνες, με βάση τους οποίους ρυθμίζουν την πρόσβαση των χρηστών στα διαθέσιμα κανάλια. Έπειτα χρησιμοποιώντας την τεχνική αυτή, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αν και η τεχνική αυτή δεν είναι καλύτερη από κάποιες άλλες τεχνικές οι οποίες βασίζονται στην συνεργασία των κόμβων (όπως για παράδειγμα η κατακεντρωμένη τεχνική της αναφοράς [4]), προσφέρει μικρότερη πολυπλοκότητα.

Στην άρθρο «Dynamic Channel Sharing in Open-Spectrum» [6] περιγράφονται τρεις

κατανεμημένοι αλγόριθμοι οι οποίοι βρίσκουν τα διαθέσιμα κανάλια με βάση κάποιες πληροφορίες που παίρνουν από τους PUs. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν τις συντεταγμένες των Primary χρηστών καθώς και την κίνηση που στέλνουν. Μόλις βρουν τα διαθέσιμα κανάλια, τα αναθέτουν στους SUs.

Το άρθρο «Dynamic Channel Assignment in IEEE 802.11», [7] είναι παρόμοια με τον μηχανισμό “Single Channel Selection”, καθώς και εδώ το κάθε AP επικοινωνεί με τους γείτονες του και επιλέγει να εισέλθει στο κανάλι στο οποίο δεν υπάρχει καθόλου επικάλυψη ή τουλάχιστον τα επίπεδα θορύβου είναι πολύ χαμηλά. Επιπλέον στην αναφορά [7] υλοποιήθηκαν δύο μηχανισμοί οι οποίοι εξετάζουν τέσσερις περιπτώσεις δηλαδή με 11, 9, 16 και 25 APs. Τέλος από τα πειραματικά αποτελέσματα κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι μηχανισμοί αυτοί μειώνουν τις παρεμβολές και αυξάνουν τη ρυθμαπόδοση του δικτύου.

VII. Συμπεράσματα

Για να γίνει η σωστή επιλογή καναλιών ώστε να αποφευχθούν ή και να περιοριστούν οι παρεμβολές μεταξύ των γειτονικών APs υλοποιήθηκαν δύο μηχανισμοί, ο “Single Channel Selection” και ο “Channel Bonding”. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι ενώ με τον μηχανισμό “Channel Bonding” οι παρεμβολές που ασκεί το ένα AP στο άλλο αυξάνονται, αυξάνεται και η συνολική ρυθμαπόδοση του δικτύου. Επιπλέον και στους δύο μηχανισμούς το κάθε AP έχει το δικαίωμα να αλλάξει κανάλι. Παρατηρώ λοιπόν από τα αποτελέσματα ότι το σύστημα συγκλίνει το πολύ στον πέμπτο Round (είτε μιλάμε για τον μηχανισμό “Channel Bonding” είτε μιλάμε για τον “Single Channel Selection”)

VIII. Βιβλιογραφία

- [1] Wade, Paul. «ARRL.» Monday November 1996.
http://www.w1ghz.org/10g/QEX_articles.htm.
- [2] Shannon, C. E. «A Mathematical Theory of Communication.» *The Bell System Technical Journal*, 1948: 77.
- [3] Theodorod Dionysiou, Vasilios A. Siris, George Stamatakis. «Utility- based Channel Assignment and Topology Control in Wireless Mesh Networks.» *IEEE*, 2010.
- [4] Chunyi Peng, Heitao Zheng, Ben Y. Zhao. «Utilization and Fairness in Spectrum Assignment for Opportunistic Spectrum Access.» *Mobile Networks and Applications*, August 2006: 555 - 576.
- [5] H. Zheng, L. Cao. «Device-centric Spectrum Management .» *Proceedings of IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks(DySPAN 2005)*. November 2005. 10.
- [6] Liu, Wei Wang and Xin. «Dynamic Channel Sharing in Open-Spectrum.» *IEEE Vehicle Technology Conference*. 2005. 7.
- [7] Arepally, Robert Akl and Anurag. «Dynamic Channel Assignment in IEEE 802.11.» *IEEE*. Orlando, FL , June 2007. 5.
- [8] Dr Shashikala Tapaswi, Dr R.S.Jason, Prabhakar Sharma. «Dynamic Spectrum Allocation Technique with Noise in Cognitive Networks.» *International Journal of Computer Science and Network Security*, January 2010.
- [9] Sadler, Q. Zhao and B. «A Survey of Dynamic Spectrum Access .» *IEEE Signal Processing magazine* , May 2007: 79-89.
- [10] Kim, K. Leung and B.-J. «Frequency assignment for IEEE 802.11 wireless networks.» *IEEE Vehicular Technology Conference*, October 2003.
- [11] P. Mahonen, J. Riihijarvi, and M. Petrova. «Automatic channel allocation for small wireless.» *IEEE International Symposium*, September 2004.