

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ 802.11

**Η Διπλωματική Εργασία
παρουσιάστηκε ενώπιον
του Διδακτικού Προσωπικού του
Πανεπιστημίου Αιγαίου**

**Σε Μερική Εκπλήρωση
των Απαιτήσεων για το Δίπλωμα του
Μηχανικού Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων**

του

ΚΟΚΚΙΝΗ ΧΡΥΣΑΝΘΟΥ

ΕΑΡΙΝΟ

ΕΞΑΜΗΝΟ

2004

**Η ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΩΝ ΕΓΚΡΙΝΕΙ
ΤΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΚΟΚΚΙΝΗ ΧΡΥΣΑΝΘΟΥ :**

**Κορμέντζας Γεώργιος , Επιβλέπων 20/10/2004
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων**

**Βέργαδος Δημήτρης, Μέλος
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων**

**Ρούσκας Άγγελος, Μέλος
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΕΑΡΙΝΟ**

ΕΞΑΜΗΝΟ

2004

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την χρήση ασύρματων τοπικών δικτύων. Η ομάδα εργασίας 802.11, υπό την αιγίδα της ΙΕΕΕ πρότεινε το 1999 ένα πρότυπο για την υλοποίηση ασύρματων δικτύων. Το πρότυπο 802.11 παρέχει λεπτομερή περιγραφή για το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC) και το φυσικό επίπεδο. Έκτοτε η ΙΕΕΕ έχει παρουσιάσει βελτιώσεις του αρχικού προτύπου (802.11a , 802.11b, 802.11g), οι οποίες επιτυγχάνουν μεγαλύτερη απόδοση, και διαφέρουν από το αρχικό πρότυπο μόνο στο φυσικό επίπεδο.

Η κύρια τεχνική πρόσβασης στο μέσο του επιπέδου MAC, ονομάζεται Λειτουργία Κατανεμημένου Συντονισμού (Distributed Coordination Function-DCF). Η DCF υλοποιείται με το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης στο μέσο με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή συγκρούσεων (CSMA/CA) καθώς και την χρήση του αλγορίθμου δυαδικής εκθετικής οπισθοχώρησης.

Το παρακάτω κείμενο προσφέρει μια λεπτομερή περιγραφή της οικογένειας προτύπων 802.11. Αναλύονται τόσο οι τεχνικές φυσικής μετάδοσης, όσο και το επίπεδο MAC. Στην συνέχεια, γίνεται μια πειραματική μελέτη για την συνολική επίδοση της DCF λειτουργίας σε μια σειρά από τομείς, όπως η απόδοση του δικτύου, η μέση καθυστέρησή του, ο αριθμός των επαναμεταδόσεων για κάθε σταθμό και η συνολική δυναμικότητα του δικτύου. Στο σύνολό τους τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να περιγράψουν σφαιρικά την επίδοση της DCF. Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων της μελέτης έγινε με την χρήση ενός προγράμματος προσομοίωσης. Η υλοποίηση του προγράμματος, έγινε με την γλώσσα προγραμματισμού C++, και η περιγραφή του καθώς και η ορθότητα των αποτελεσμάτων του, περιγράφονται εκτενώς .

ΚΟΚΚΙΝΗΣ ΧΡΥΣΑΝΘΟΣ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

© 2004

ABSTRACT

In recent years, much interest has been involved in the design of wireless networks for local area communication. Study group 802.11 was formed under IEEE Project 802 in 1999 to recommend an international standard for Wireless Local Area Networks (WLAN's). The 802.11 standard provides detailed medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specification. Since 1999, IEEE presented many versions of the standard such as 802.11b, 802.11a and 802.11g. The newer versions only differ from the 802.11 standard at the physical layer specifications.

In the 802.11 protocol, the fundamental mechanism to access the medium is called distributed coordination function (DCF). This is a random access scheme, based on the carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA) protocol. Retransmission of collided packets is managed according to binary exponential backoff rules.

This paper provides a detailed description of the 802.11 family . It analyses the physical layer techniques and the MAC layer algorithms. Afterwards, is presented a study for the total performance of the DCF function, in saturation conditions. The study concerns factors like throughput, average system delay, average number of retransmission attempts for every station and system capacity. The results to conduct this study came from a simulator program. The simulator implemented in C++. Program's description, as well as its validation is also thoroughly described.

KOKKINIS CHRISANTHOS

Department of Information and Communication Systems Engineering

UNIVERSITY OF THE AEGEAN

© 2004

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ - ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή Λέκτορα Γεώργιο Κορμέντζα καθώς και τον διδακτορικό φοιτητή Δημήτριο Βάσση για την επιστημονική τους βοήθεια. Επιπλέον ευχαριστώ τα υπόλοιπα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της διπλωματικής εργασίας Λέκτορα Δημήτρη Βέργαδο και Επίκουρο Καθηγητή Άγγελο Ρούσκα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|--|----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 1 |
| 1.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ασυρμάτων δικτύων σε σχέση με τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα | 1 |
| 1.2 Υπηρεσίες που προσφέρει το πρότυπο 802.11 | 2 |
| 1.3 Ζώνες συχνοτήτων του 802.11 | 3 |
| 1.4 Αρχιτεκτονική του 802.11 | 3 |
| 1.5 Επίπεδα του προτύπου 802.11 | 4 |
| 1.6 Παραλλαγές του προτύπου 802.11..... | 6 |
| 1.6.1 802.11b..... | 6 |
| 1.6.2 802.11a..... | 7 |
| 1.6.3 802.11g..... | 7 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ | 8 |
| 2.1 Τεχνικές μετάδοσης στο πρότυπο 802.11..... | 8 |
| 2.1.1 διαχεόμενες υπέρυθρες ακτίνες (diffused Infrared-IR)..... | 8 |
| 2.1.2 Τεχνικές εξάπλωσης φάσματος | 9 |
| 2.2 Επιπλέον τεχνικές μετάδοσης..... | 11 |
| 2.2.1 HR-DSSS (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum)..... | 11 |
| 2.2.2 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) | 12 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΕΠΙΠΕΔΟ MAC | 13 |
| 3.1 Πρωτόκολλο ανταλλαγής πλαισίων MAC..... | 13 |
| 3.2 Χρονικά διαστήματα μεταξύ των πλαισίων | 14 |
| 3.3 Μέθοδος πρόσβασης DCF..... | 15 |
| 3.3.1 Βασικός μηχανισμός πρόσβασης | 15 |
| 3.3.2 Μηχανισμός πρόσβασης RTS/CTS | 18 |
| 3.4 Το πρόβλημα του κρυφού κόμβου..... | 19 |
| 3.5 Τεμαχισμός πλαισίων | 20 |
| 3.6 Δομή πλαισίων του προτύπου 802.11 | 20 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ | 22 |
| 4.1 Δεδομένα εισόδου του προγράμματος..... | 22 |
| 4.2 Δεδομένα εξόδου του προγράμματος | 22 |
| 4.3 Λεπτομερής περιγραφή του προσομοιωτή | 24 |
| 4.3.1 Κλάσεις..... | 24 |
| 4.4 Δομή του προγράμματος προσομοίωσης | 26 |
| 4.4.1 Διαδικασία empty | 28 |
| 4.4.2 Διαδικασία successful..... | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 4.4.3 Διαδικασία collision..... | 29 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Αξιολόγηση του πρωτοκόλλου..... | 31 |
| 5.1 Απόδοση του δικτύου (Throughput) συναρτήσει του αριθμού των σταθμών | 31 |
| 5.1.1 Εξάρτηση της απόδοσης από το μέγεθος πακέτου συναρτήσει του πλήθους των σταθμών..... | 31 |
| 5.1.2 Εξάρτηση της απόδοσης από το μέγεθος του κατωφλιού RTS συναρτήσει του πλήθους των σταθμών..... | 32 |
| 5.2 Μέση καθυστέρηση μετάδοσης του δικτύου συναρτήσει του αριθμού των σταθμών . | 41 |
| 5.2.1 Εξάρτηση της μέσης καθυστέρησης από το μέγεθος πακέτου συναρτήσει του πλήθους των σταθμών..... | 41 |
| 5.2.2 Εξάρτηση της μέσης καθυστέρησης από το μέγεθος του κατωφλιού RTS συναρτήσει του πλήθους των σταθμών | 42 |
| 5.2.3 Εξάρτηση της μέσης καθυστέρησης από το φυσικό επίπεδο συναρτήσει του πλήθους των σταθμών..... | 43 |
| 5.2.4 Εξάρτηση της μέσης καθυστέρησης από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων συναρτήσει του πλήθους των σταθμών | 45 |
| 5.3 Μέσος αριθμός επαναμεταδόσεων πλαισίων (average retransmission attempts) συναρτήσει του αριθμού των σταθμών..... | 50 |
| 5.3.1 Εξάρτηση του μέσου αριθμού επαναμεταδόσεων από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων..... | 50 |
| 5.3.2 Εξάρτηση του μέσου αριθμού επαναμεταδόσεων από το φυσικό επίπεδο | 51 |
| 5.4 Δυναμικότητα του δικτύου (system capacity) συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων..... | 52 |
| 5.5 Γενική αξιολόγηση των μετρήσεων | 53 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Αξιολόγηση προγράμματος προσομοίωσης..... | 55 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|---|----|
| Σχήμα 1-1: - Τοπολογία ad hoc | 3 |
| Σχήμα 1-2:τοπολογία με δίκτυο υποδομής..... | 4 |
| Σχήμα 1-3: Τα επίπεδα του 802.11 | 5 |
| Σχήμα 2-1:Ιεραρχία των υποεπιπέδων του φυσικού επιπέδου | 8 |
| Σχήμα 2-2:Η τεχνική FHSS | 10 |
| Σχήμα 2-3:Η τεχνική DSSS..... | 11 |
| Σχήμα 2-4:Η τεχνική OFDM..... | 12 |
| Σχήμα 3-1: Σχέση μεταξύ DCF και PCF | 13 |
| Σχήμα 3-2:συσχετισμός μεταξύ των χρονικών διαστημάτων..... | 15 |
| Σχήμα 3-3:Μετάδοση ενός MPDU με τον βασικό μηχανισμό πρόσβασης..... | 17 |
| Σχήμα 3-4:Μετάδοση ενός MPDU με τον μηχανισμό RTS/CTS..... | 18 |
| Σχήμα 3-5:Σχηματικά το πρόβλημα του κρυφού κόμβου | 19 |
| Σχήμα 3-6:Τυποποιημένη μορφή του πλαισίου IEEE 802.11 | 20 |
| Σχήμα 4-1:Δεδομένα εισόδου - εξόδου..... | 23 |
| Σχήμα 4-2:Οι μεταβλητές της κλάσης StationClass..... | 24 |
| Σχήμα 4-3:Οι μεταβλητές της κλάσης SlotClass | 25 |
| Σχήμα 4-4:Οι μεταβλητές της κλάσης StatClass | 25 |
| Σχήμα 4-5:Σχηματική περιγραφή του κώδικα | 27 |
| Σχήμα 5-1: Εξάρτηση του throughput απο το μέγεθος πλαισίου..... | 32 |
| Σχήμα 5-2: Εξάρτηση του Throughput από το RTS threshold..... | 33 |
| Σχήμα 5-3: Εξάρτηση του Throughput από το φυσικό επίπεδο για data rate 1 Mb/s | 34 |
| Σχήμα 5-4: Εξάρτηση του Throughput από το φυσικό επίπεδο για data rate 2 Mb/s | 34 |
| Σχήμα 5-5: Εξάρτηση του throughput από το data rate (802.11) | 35 |
| Σχήμα 5-6:Εξάρτηση του throughput από το data rate (802.11b)..... | 36 |
| Σχήμα 5-7:Εξάρτηση του throughput από το data rate (6,9 Mb/s)..... | 36 |
| Σχήμα 5-8:Εξάρτηση του throughput από το data rate (12,18 Mb/s)..... | 37 |
| Σχήμα 5-9: Εξάρτηση του throughput από το data rate (24,36 Mb/s)..... | 38 |
| Σχήμα 5-10: Εξάρτηση του throughput από το data rate (48,54 Mb/s)..... | 39 |
| Σχήμα 5-11: Εξάρτηση του throughput από το data rate (802.11) (B)..... | 40 |
| Σχήμα 5-12:Εξάρτηση του Throughput απο το data rate (24 , 36 Mb/s) (B)..... | 40 |
| Σχήμα 5-13:Εξάρτηση του Delay από το μέγεθος πλαισίου..... | 42 |
| Σχήμα 5-14:Εξάρτηση του Delay από το RTS Threshold..... | 43 |
| Σχήμα 5-15:Εξάρτηση του Delay από το φυσικό επίπεδο για data rate 1 Mb/s | 44 |
| Σχήμα 5-16:Εξάρτηση του Delay από το φυσικό επίπεδο για data rate 2 Mb/s | 44 |

| | |
|---|----|
| Σχήμα 5-17:Εξάρτηση του Delay από το data rate (802.11) | 45 |
| Σχήμα 5-18:Εξάρτηση του Delay από το data rate (802.11b)..... | 46 |
| Σχήμα 5-19:Εξάρτηση του Delay από το data rate (6 , 9 Mb/s) | 47 |
| Σχήμα 5-20:Εξάρτηση του Delay από το data rate (12 , 18 Mb/s) | 48 |
| Σχήμα 5-21:Εξάρτηση του Delay από το data rate (24 , 36 Mb/s) | 49 |
| Σχήμα 5-22:Εξάρτηση του Delay από το data rate (48 , 54 Mb/s) | 50 |
| Σχήμα 5-23:Εξάρτηση των retransmission Attempts από το data rate..... | 51 |
| Σχήμα 5-24:Εξάρτηση των Retransmission Attempts από το φυσικό επίπεδο..... | 52 |
| Σχήμα 5-25:System Capacity..... | 53 |
| Σχήμα 6-1: Απόδοση του δικτύου συναρτήσει του πλήθους των σταθμών (OPNET) | 55 |
| Σχήμα 6-2:Απόδοση του δικτύου συναρτήσει του πλήθους των σταθμών (simulator)..... | 56 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, έχει δημιουργηθεί μεγάλο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN). Τα δίκτυα αυτά διαθέτουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα αντίστοιχα ενσύρματα όπως η κινητικότητα των χρηστών, η μεταφερσιμότητα, η ευελιξία και το χαμηλό κόστος υλοποίησης.

Αν και οι ασύρματες επικοινωνίες μετρούν πάνω από έναν αιώνα ζωής, η πρώτη προσπάθεια υλοποίησης ενός λειτουργικού ασύρματου δικτύου πολλαπλής πρόσβασης έγινε στην Χαβάη την δεκαετία του 1970. Κατά την δεκαετία του 1990 έγιναν πολλές προσπάθειες στην κατεύθυνση των ασύρματων τοπικών δικτύων, όπως το πρωτόκολλο πρόσβασης MACAW και το ασύρματο δίκτυο Altair της Motorola. Όμως η έλλειψη κάποιου σαφούς προτύπου, επέφερε την υλοποίηση ασύρματων τοπικών δικτύων σε πολλές παραλλαγές και με πλήρη ασυμβατότητα μεταξύ τους. Λύση στο πρόβλημα αυτό δόθηκε το 1999 από την IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) με την έκδοση του προτύπου ασύρματων τοπικών δικτύων 802.11.

Σύμφωνα με την IEEE το πρότυπο 802.11 έχει δύο στόχους :

- Να παρέχει ασύρματη συνδεσιμότητα σε αυτόματες μηχανές, εξοπλισμό ή σταθμούς που απαιτούν ταχύτατη ανάπτυξη και μπορεί να είναι φορητά ή κινητά μέσα σε μια τοπική περιοχή.
- Να προσφέρει ένα πρότυπο, για χρήση από ρυθμιστικούς οργανισμούς, έτσι ώστε να καθορίσουν οι τελευταίοι την πρόσβαση σε μία ή παραπάνω ζώνες συχνοτήτων για την χρήση από τοπικής εμβέλειας επικοινωνίες.

Το πρότυπο 802.11 ανήκει στην ομάδα προτύπων 802.x της IEEE η οποία περιλαμβάνει πρότυπα για τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα. Καθορίζει επακριβώς την ασύρματη σύνδεση σταθερών, φορητών ή κινούμενων σταθμών σε μια περιορισμένη γεωγραφική έκταση. Το 802.11 αφορά το φυσικό επίπεδο και το υποεπίπεδο MAC. Παρόλα αυτά το MAC του προτύπου εκτελεί και λειτουργίες που συχνά σχετίζονται με ανώτερα επίπεδα, όπως ο τεμαχισμός των πακέτων, η ανάκαμψη από λάθη, η διαχείριση της κινητικότητας και η διαχείριση ενέργειας.

1.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ασυρμάτων δικτύων σε σχέση με τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα

Τα πλεονεκτήματα του 802.11 σε σχέση με τα ενσύρματα LAN είναι σημαντικά :

- Κινητικότητα χρήστη: Οι χρήστες μπορούν να επιτύχουν πρόσβαση σε αρχεία, δικτυακούς πόρους, και στο Internet και ταυτόχρονα να βρίσκονται σε κίνηση αρκεί να βρίσκονται στην εμβέλεια του WLAN.
- Γρήγορη και εύκολη εγκατάσταση: Ο χρόνος και το κόστος τα οποία απαιτούνται για την εγκατάσταση μειώνονται επειδή οι δικτυακές συνδέσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν χωρίς την μετακίνηση ή την πρόσθεση γραμμών, ή την πραγματοποίηση αλλαγών στην υποδομή των καλωδίων.
- Ευελιξία: Οι εταιρίες μπορούν επίσης να εκμεταλλευτούν την ευελιξία της εγκατάστασης και να εγκαταστήσουν ένα WLAN όπου είναι απαραίτητο. Οι χρήστες μπορούν να εγκαταστήσουν γρήγορα ένα μικρό WLAN για προσωρινές ανάγκες όπως για παράδειγμα ένα συνέδριο.

- Επεκτασιμότητα: Οι τοπολογίες των WLAN μπορούν εύκολα να σχηματιστούν ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της εγκατάστασης και της εφαρμογής και να επεκταθούν από μικρά peer-to-peer δίκτυα σε πολύ μεγάλα εμπορικά δίκτυα τα οποία καθιστούν δυνατή την «περιπλάνηση» σε μία ευρεία περιοχή.

Παρόλα αυτά τα WLAN έχουν και αρκετά μειονεκτήματα :

- Το ασύρματο μέσο από την φύση του είναι μονόδρομο. Μόνο ένας σταθμός μπορεί να μεταδίδει στην μονάδα του χρόνου. Το γεγονός αυτό μπορεί εύκολα να μειώσει δραματικά την απόδοση ενός WLAN, ειδικά σε περιπτώσεις όπου οι σταθμοί μονοπωλούν το κανάλι με μεταδόσεις πολύ μεγάλων αρχείων.
- Ένα ασύρματο δίκτυο έχει με τα σημερινά δεδομένα αρκετά χαμηλότερο εύρος ζώνης από ένα αντίστοιχο ενσύρματο. Μεγάλη σημασία σε αυτό, έχει το γεγονός ότι τα ενσύρματα LAN είναι αμφίδρομα ενώ τα ασύρματα όχι.
- Τα WLAN είναι ευάλωτα στις παρεμβολές. Αν ένας δυνατός πομπός εκπέμπει στην ίδια συχνότητα και σχετικά κοντά στο WLAN, μπορεί να το καταστήσει άχρηστο. Επιπλέον στις δύο ζώνες συχνοτήτων που λειτουργεί το 802.11 και οι παραλλαγές του (2,4 και 5 GHz), λειτουργούν πάρα πολλές ασύρματες συσκευές, επειδή οι ζώνες αυτές προσφέρονται δωρεάν. Συνεπώς, το μειονέκτημα των παρεμβολών έχει ιδιαίτερη σημασία.
- Το ασύρματο μέσο είναι από την φύση του περισσότερο ευάλωτο σε απώλειες και παραμορφώσεις. Η απώλεια ενέργειας του σήματος αυξάνονται εκθετικά με την απόσταση. Παράλληλα, η πρόσκρουση των μεταδιδόμενων σημάτων σε φυσικά ή τεχνικά εμπόδια, εξασθενεί το σήμα ανάλογα το υλικό κατασκευής του εμποδίου και της συχνότητας του σήματος. Τέλος, το σήμα μπορεί να ανακλαστεί σε φυσικά εμπόδια, και να φτάσει στον δέκτη ένα σύνολο από αρμονικές του ίδιου σήματος με διαφορετικές φάσεις. Το παραπάνω φαινόμενο ονομάζεται διάδοση πολλαπλών διαδρομών και όπως και τα υπόλοιπα φαινόμενα που αναφέρθηκαν, επιδρά αρνητικά στην συνολική απόδοση του ασύρματου δικτύου.
- Το ασύρματο μέσο είναι ευάλωτο σε επιθέσεις κατά της ασφάλειας του. Οι ασύρματες μεταδόσεις διαχέονται στην ατμόσφαιρα και μπορούν να υποκλαπούν ευκολότερα από τις αντίστοιχες ενσύρματες. Επιπλέον, εύκολα μπορούν μη εξουσιοδοτημένοι χρήστες να εισέλθουν σε ένα WLAN, αν δεν υπάρχει σωστή πολιτική ασφάλειας.

1.2 Υπηρεσίες που προσφέρει το πρότυπο 802.11

Το πρότυπο 802.11 πέρα από τις τεχνικές προδιαγραφές, περιγράφει και τα είδη των υπηρεσιών που μπορεί να υποστηρίξει:

- Υποστήριξη υπηρεσιών παράδοσης τόσο ασύγχρονων όσο και με χρονικούς περιορισμούς
- Διατήρηση των προσφερόμενων υπηρεσιών για γεωγραφική έκταση μεγαλύτερη της τρέχουσας περιοχής κάλυψης μέσω ενός συστήματος διανομής.
- Προσαρμογή των ρυθμών μετάδοσης
- Υποστήριξη των περισσότερων εφαρμογών της αγοράς
- Υποστήριξη υπηρεσιών ευρείας εκπομπής και πολυδιανομής
- Υποστήριξη υπηρεσιών διαχείρισης δικτύου
- Υποστήριξη υπηρεσιών αυθεντικοποίησης και εμπιστευτικότητας

1.3 Ζώνες συχνότητων του 802.11

Σημαντικός παράγοντας για την εξασφάλιση χαμηλού κόστους υλοποίησης ενός WLAN είναι η συχνότητα λειτουργίας του. Οι συχνότητες αποτελούν εθνικό πόρο και ελέγχονται από κρατικούς φορείς. Η χρησιμοποίησή τους προϋποθέτει την καταβολή χρημάτων, γεγονός το οποίο καθιστά την υλοποίηση ασύρματων δικτύων αρκετά δαπανηρή.

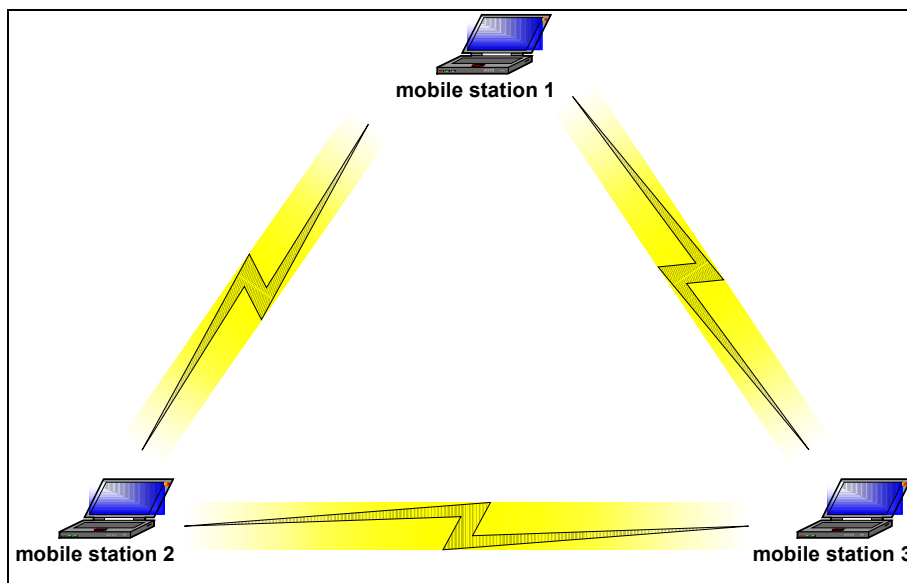
Το πρότυπο 802.11 καθορίζει ως συχνότητα λειτουργίας τα 2,4 GHz. Η συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων είναι διαθέσιμη δωρεάν από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 σε παγκόσμιο επίπεδο για βιομηχανικούς, ιατρικούς και επιστημονικούς σκοπούς και ονομάζεται ζώνη συχνοτήτων ISM (Industrial Scientific Medical). Η ISM προσφέρει περίπου 83 MHz στην συχνότητα των 2,4 GHz (2400-2483 MHz).

Μεταγενέστερες εκδόσεις του προτύπου 802.11 χρησιμοποιούν την πιο πρόσφατα εκχωρημένη ζώνη συχνοτήτων UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) των 5 GHz. Η UNII χρησιμοποιείται λιγότερο από την ISM, συνεπώς οι παρεμβολές στην ζώνη αυτή είναι ελάχιστες. Προσφέρει για χρήση 300 MHz στις συχνότητες 5150-5350 MHz και 5725-5825 MHz.

Η UNII έχει λιγότερες παρεμβολές από την ISM και προσφέρει μεγαλύτερη απόδοση λόγω της μεγαλύτερης συχνότητας. Όμως τα συστήματα που λειτουργούν στην ISM καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια και έχουν πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια λόγω της χαμηλότερης συχνότητας λειτουργίας η οποία συνεπάγεται μεγαλύτερο μήκος κύματος του μεταδιδόμενου σήματος.

1.4 Αρχιτεκτονική του 802.11

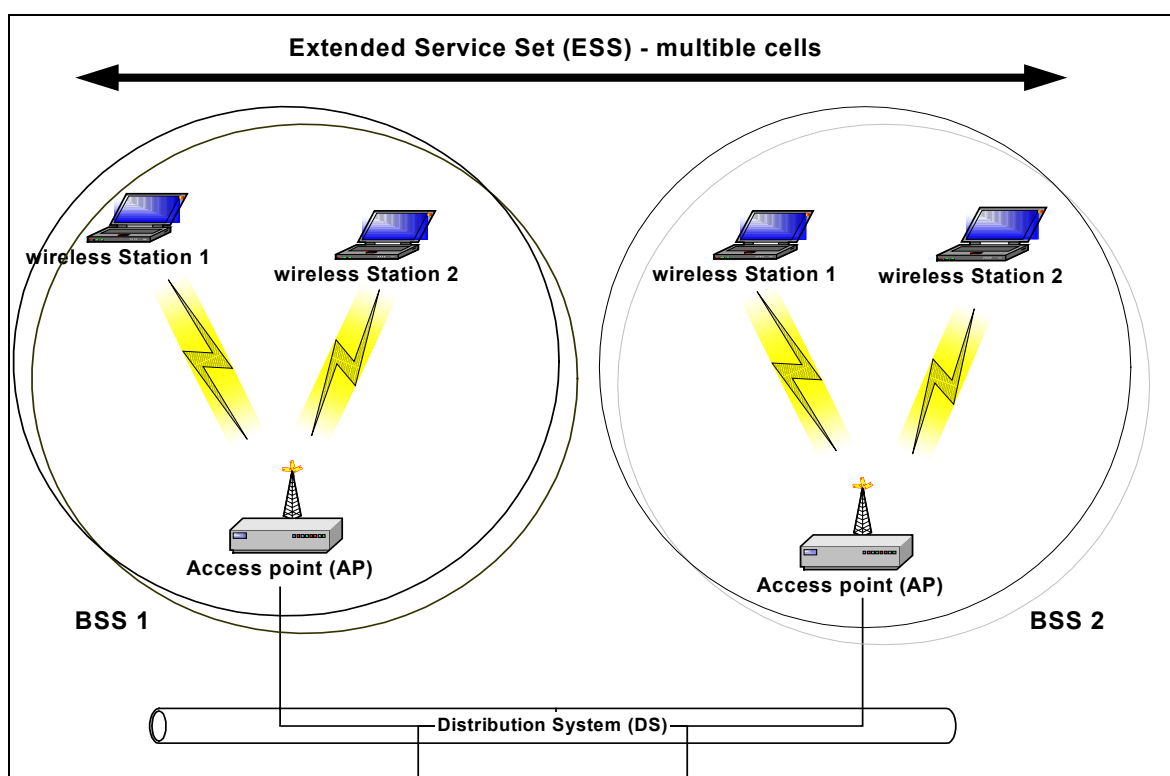
Ο θεμέλιος λίθος για ένα ασύρματο δίκτυο 802.11 είναι η βασική ομάδα εξυπηρέτησης (Basic Service Set-BSS). Αποτελείται από δύο ή περισσότερους ασύρματους σταθμούς. Το 802.11 ορίζει δύο διαφορετικές τοπολογίες δικτύου : την τοπολογία με δίκτυο υποδομής και την ανεξάρτητη ή ad-hoc τοπολογία. Η ad-hoc τοπολογία υποστηρίζει απευθείας σύνδεση μεταξύ των σταθμών. Τα ad-hoc WLAN υλοποιούνται εύκολα και γρήγορα και δεν απαιτούν δικτυακή διαχείριση.



Σχήμα 1-1: - Τοπολογία ad hoc

Αντίθετα στην τοπολογία με δίκτυο υποδομής το ασύρματο δίκτυο αποτελείται από τουλάχιστον ένα σημείο πρόσβασης (Access Point – AP) το οποίο είναι συνδεδεμένο ενσύρματα ή ασύρματα με το δίκτυο υποδομής και ασύρματα με τους σταθμούς. Στην περίπτωση αυτή, ένα σημείο πρόσβασης και τουλάχιστον ένας σταθμός ορίζουν ένα BSS στην περιοχή κάλυψης του AP. Στην τοπολογία αυτή, η επικοινωνία μεταξύ των σταθμών του ίδιου BSS διέρχεται πάντα από το AP.

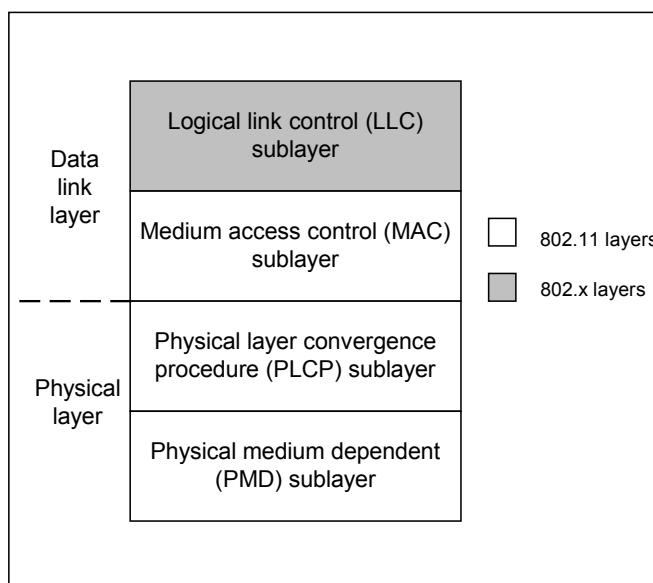
Στο ενσύρματο δίκτυο υποδομής μπορούν να συνδεθούν περισσότερα από ένα AP. Η σύνδεση συνήθως είναι ενσύρματη και επιτρέπει την χρησιμοποίηση πολλών AP για μεγαλύτερη εμβέλεια του WLAN. Το πρότυπο ορίζει και την εκτεταμένη ομάδα εξυπηρέτησης (Extended Service Set - ESS), η οποία αποτελείται από δύο ή περισσότερα BSS δημιουργώντας ένα ασύρματο υποδίκτυο. Ένα ESS διαθέτει πολλά BSS τα οποία συνδέονται ασύρματα ή ενσύρματα με κάποιο δίκτυο κορμού, γνωστό και ως σύστημα διανομής (Distribution System-DS).



Σχήμα 1-2:τοπολογία με δίκτυο υποδομής

1.5 Επίπεδα του προτύπου 802.11

Το πρότυπο 802.11 αφορά μόνο το φυσικό επίπεδο και το υποεπίπεδο MAC. Τα ανώτερα επίπεδα είναι ίδια με των υπολοίπων προτύπων της οικογένειας IEEE 802.x.



Σχήμα 1-3: Τα επίπεδα του 802.11

Το φυσικό επίπεδο διαχωρίζεται σε δύο υποεπίπεδα : Το υποεπίπεδο το εξαρτώμενο από το φυσικό μέσο (Physical Medium Dependent – PMD) και το υποεπίπεδο σύγκλισης φυσικού στρώματος (Physical Layer Convergence Procedure – PLCP). Το PMD ασχολείται με τις τεχνικές μετάδοσης στο φυσικό μέσο και καθορίζει τις μεθόδους για αποστολή και λήψη δεδομένων (κωδικοποίηση και διαμόρφωση του σήματος). Το PMD εξαρτάται από την εκάστοτε τεχνική φυσικής μετάδοσης. Το PLCP καθορίζει τον τρόπο που θα τροποποιηθούν τα πλαίσια του MAC έτσι ώστε να μπορεί να τα διαχειριστεί το υπόστρωμα PMD. Επίσης εκτελεί την ανίχνευση του φυσικού καναλιού για λογαριασμό του MAC.

Το υποεπίπεδο MAC του 802.11 προσφέρει υπηρεσίες παρόμοιες με τα υποεπίπεδα MAC της οικογένειας προτύπων 802.x, αλλά παράλληλα ασχολείται και με λειτουργίες που συνήθως εκτελούνται σε ανώτερα επίπεδα. Συγκεκριμένα προσφέρει τις εξής υπηρεσίες :

- **Μετάδοση δεδομένων.** Το MAC αναλαμβάνει την ανταλλαγή πλαισίων μεταξύ των υποεπιπέδων MAC.
- **Συσχέτιση – αποσυσχέτιση.** Η υπηρεσία εγκαθιστά και τερματίζει ασύρματες συνδέσεις μεταξύ σταθμών και σημείου πρόσβασης, στην τοπολογία με δίκτυο υποδομής.
- **Επανασυσχέτιση :** Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την υπηρεσία συσχέτισης, στην περίπτωση που ένας ασύρματος σταθμός μεταφέρεται από ένα BSS σε άλλο. Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει σε έναν σταθμό να περιφέρεται από μια περιοχή κάλυψης σε μια άλλη. Αν και η Επανασυσχέτιση καθορίζεται στο 802.11, δεν καθορίζεται ο μηχανισμός που θα συντονίζει δύο σημεία πρόσβασης κατά την παροχή της υπηρεσίας.
- **Ολοκλήρωση.** Παρέχεται η λογική διασύνδεση για την επικοινωνία των ενσύρματων προτύπων 802.x με το 802.11.
- **Ανίχνευση λαθών.** Το ασύρματο μέσο είναι από την φύση του αρκετά πιο αναξιόπιστο από το ενσύρματο. Συνεπώς, η υπηρεσία ανίχνευσης λαθών είναι πολύ σημαντική. Υλοποιείται με τον κυκλικό έλεγχο πλεονασμού (CRC-Cyclic Redundancy Check).
- **Διαχείριση ενέργειας .** Οι ασύρματοι σταθμοί συχνά είναι φορητοί και έχουν περιορισμένα αποθέματα ενέργειας. Για τους σταθμούς αυτούς, το 802.11 ορίζει μια κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας (power save mode). Κατά την κατάσταση αυτή, ο σταθμός μπορεί

να τεθεί σε κατάσταση νάρκης και να επικοινωνεί περιοδικά και σε αραιά διαστήματα με το AP ή μόνο σε περιπτώσεις που απαιτείται. Το AP μπορεί να αποθηκεύει τα πλαίσια για τον σταθμό όταν αυτός είναι σε κατάσταση νάρκης και να του τα μεταδίδει όταν επανέρχεται σε κανονική λειτουργία.

- **Διευθυνσιοδότηση.** Το MAC αποδίδει διευθύνσεις στα πλαίσια.
- **Τεμαχισμός και επανασυναρμολόγηση.** Στις περιπτώσεις που τα ανώτερα πρωτόκολλα αποστέλλουν πακέτα με μήκος μεγαλύτερο από το μέγιστο επιτρεπτό για ένα πλαίσιο ή που το κανάλι έχει υψηλό ρυθμό λαθών, το MAC μπορεί να τεμαχίσει και αντίστροφα να επανασυναρμολογήσει τα πακέτα για την καλύτερη απόδοση του δικτύου.
- **Ασφάλεια .** Το 802.11 εξ' ορισμού μεταδίδει τα δεδομένα χωρίς να τα κρυπτογραφεί, γεγονός που εγκυμονεί κινδύνους για την ασφάλεια του δικτύου. Παρέχει όμως την δυνατότητα κρυπτογράφησης των δεδομένων με τον αλγόριθμο WEP (Wired Equivalent Privacy). Ο WEP κρυπτογραφεί μόνο το ωφέλιμο φορτίο των πλαισίων με τον αλγόριθμο RC4 και μήκος συμμετρικού κλειδιού 40 bits. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η εμπιστευτικότητα των δεδομένων. Επιπλέον υποστηρίζονται υπηρεσίες πιστοποίησης και ακεραιότητας δεδομένων. Η ακεραιότητα επιτυγχάνεται κρυπτογραφώντας επιπλέον το άθροισμα ελέγχου του πλαισίου. Εάν αυτό είναι διαφορετικό από το αρχικό άθροισμα ελέγχου έχει παραβιαστεί η ακεραιότητα των δεδομένων. Η πιστοποίηση παρέχεται από το σημείο πρόσβασης . Αποστέλλει ένα τυχαίο συρμό από bits στον σταθμό και εκείνος το κρυπτογραφεί με το κοινό κλειδί του RC4 και το επιστρέφει. Έπειτα το AP αποκρυπτογραφεί το μήνυμα, και αν είναι το ίδιο με αυτό που έστειλε, αποδέχεται τον σταθμό σαν εξουσιοδοτημένο χρήστη του ασύρματου δικτύου.

1.6 Παραλλαγές του προτύπου 802.11

Αμέσως μετά την δημοσίευση του προτύπου 802.11 το 1997, η IEEE άρχισε να εργάζεται για την βελτίωσή του. Αποτέλεσμα της εξέλιξης του 802.11, ήταν η δημιουργία αρκετών παραλλαγών όπως το 802.11b, το 802.11a και το 802.11g. Η διαφοροποίηση των παραπάνω προτύπων από το 802.11 αφορά στην βελτίωση των τεχνικών μετάδοσης του φυσικού επιπέδου και όχι στο επίπεδο MAC. Παρακάτω περιγράφονται οι παραλλαγές του προτύπου 802.11.

1.6.1 802.11b

Αποτελεί ίσως το πιο διαδεδομένο πρότυπο της οικογένειας 802.11. Εκδόθηκε το 1999 και ήταν η πρώτη παραλλαγή του 802.11. Σε γενικές γραμμές είναι μια μικροκυμματική τεχνολογία, που κάνει χρήση της ISM ζώνης συχνοτήτων των 2,4 GHz. Μπορεί να προσφέρει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 11 Mbps από κοινού σε όλους τους χρήστες ενός BSS. Χρησιμοποιεί αποκλειστικά την τεχνική μετάδοσης DSSS στο φυσικό επίπεδο. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται και στο 802.11 με επίτευξη μέγιστου ρυθμού μετάδοσης 2 Mbps. Όμως όπως αναφέρεται και σε παρακάτω κεφάλαιο, εφαρμόζονται καλύτερες τεχνικές κωδικοποίησης, επιτυγχάνοντας μέγιστο ρυθμό 11 Mbps. Η βελτιωμένη DSSS τεχνική ονομάζεται HR-DSSS και αναλύεται παρακάτω. Το 802.11b μπορεί επίσης να μεταπέσει σε ρυθμούς μετάδοσης στα 5,5 , 2 και 1 Mbps και είναι συμβατό με το 802.11. Η εμβέλεια του είναι σχετικά χαμηλότερη του 802.11, ειδικά για ρυθμό μετάδοσης 11 Mbps.

1.6.2 802.11a

Το πρότυπο 802.11a εκδόθηκε επίσης το 1999 αλλά αργότερα από το 802.11b με αποτέλεσμα οι υλοποιήσεις του τελευταίου να είχαν κερδίσει ήδη την προτίμηση της αγοράς. Εκπέμπει στην ζώνη συχνοτήτων UNII των 5 GHz η οποία έχει λιγότερες παρεμβολές από την ISM γιατί χρησιμοποιείται λιγότερο. Η UNII προσφέρει δύο ζώνες συχνοτήτων στα 5150-5350 MHz και στα 5725-5825 MHz. Στην υψηλότερη ζώνη επιτρέπεται η μετάδοση σημάτων με αρκετά υψηλή ισχύ, καθιστώντας δυνατή την ασύρματη μετάδοση σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Το 802.11a χρησιμοποιεί στο φυσικό επίπεδο την τεχνική μετάδοσης OFDM η οποία αναλύεται εκτενώς παρακάτω. Επιτυγχάνει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 54 Mbps και μπορεί να μεταπέσει και σε χαμηλότερες ταχύτητες. Είναι ασύμβατο όχι μόνο με το 802.11 αλλά και με κάθε άλλο πρότυπο της οικογένειας 802.11. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του 802.11a, πέρα από την ασυμβατότητα του, είναι ότι λόγω της μεγαλύτερης συχνότητας λειτουργίας, περιορίζεται σημαντικά η εμβέλεια και η ικανότητα διείσδυσης του μεταδιδόμενου σήματος. Το γεγονός αυτό, καθιστά τις υλοποιήσεις μεγάλης κλίμακας του 802.11a, να υστερούν σημαντικά σε σχέση με τις αντίστοιχες υλοποιήσεις του 802.11b, γιατί απαιτούνται περισσότερα σημεία πρόσβασης για την κάλυψη της ίδιας περιοχής. Παρόλα αυτά, για περιπτώσεις όπου απαιτείται μεγάλη πυκνότητα κυψελών, το 802.11a αποτελεί ιδανική λύση.

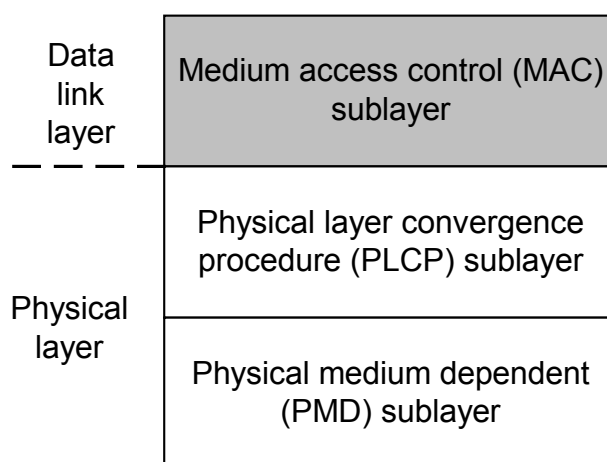
1.6.3 802.11g

Το 802.11g είναι το πλέον πρόσφατο πρότυπο της οικογένειας 802.11. Εκδόθηκε το 2003. Ουσιαστικά αποτελεί μια βελτίωση του 802.11b. Επιτρέπει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 54 Mbps αν και μπορεί να μεταπέσει και σε χαμηλότερες ταχύτητες. Λειτουργεί στην ISM ζώνη συχνοτήτων. Το πρότυπο αυτό βελτιώνει σημαντικά τους περιορισμούς στο εύρος ζώνης του 802.11b, ενώ παράλληλα προσφέρει μεγαλύτερη εμβέλεια και διείσδυση σήματος από το 802.11a. Χρησιμοποιεί τόσο την OFDM όσο και την HR-DSSS τεχνική μετάδοσης. Η τελευταία χρησιμοποιείται για την συμβατότητα με το 802.11b και επισύρει μείωση στην απόδοση του δικτύου. Αν δεν απαιτείται η προς τα πίσω συμβατότητα, το 802.11g λειτουργεί με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τα 54 Mbps με την OFDM τεχνική. Η εμβέλεια του 802.11g είναι παραπλήσια του 802.11b .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Το φυσικό επίπεδο του 802.11 αποτελεί την διεπαφή μεταξύ του επιπέδου MAC και του ασύρματου καναλιού. Διαιρείται σε δύο υποεπίπεδα : Το υποεπίπεδο το εξαρτώμενο από το φυσικό μέσο (Physical Medium Dependent – PMD) και το υποεπίπεδο σύγκλισης φυσικού στρώματος (Physical Layer Convergence Procedure – PLCP). Το PMD ασχολείται με τις τεχνικές μετάδοσης στο φυσικό μέσο και καθορίζει τις μεθόδους για αποστολή και λήψη δεδομένων (κωδικοποίηση και διαμόρφωση του σήματος). Το PLCP καθορίζει τον τρόπο που θα τροποποιηθούν τα πλαίσια του MAC έτσι ώστε να μπορεί να τα διαχειριστεί το υπόστρωμα PMD. Επίσης εκτελεί την ανίχνευση του φυσικού καναλιού για λογαριασμό του MAC.

Το PLCP υποεπίπεδο προσθέτει στο MAC πλαίσιο μία επιπλέον επικεφαλίδα. Η επικεφαλίδα αυτή είναι διαφορετική σε μέγεθος για κάθε τεχνική μετάδοσης και μεταδίδεται με ταχύτητα ανεξάρτητη του ρυθμού μετάδοσης του καναλιού.



Σχήμα 2-1:Ιεραρχία των υποεπιπέδων του φυσικού επιπέδου

2.1 Τεχνικές μετάδοσης στο πρότυπο 802.11

Στο φυσικό επίπεδο , το πρότυπο 802.11 ορίζει τρεις τεχνικές μετάδοσης : διαχεόμενες υπέρυθρες ακτίνες (diffused Infrared-IR) , εξάπλωση φάσματος μεταπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum-FHSS) και εξάπλωση φάσματος άμεσης ακολουθίας (Direct Sequence Spread Spectrum).Η τεχνική IR λειτουργεί στην υπέρυθρη ζώνη συχνοτήτων ενώ η FHSS και η DSSS στα 2,4 GHz. Για να μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, οι ασύρματες συσκευές θα πρέπει να χρησιμοποιούν την ίδια τεχνική. Το πρότυπο ορίζει ρυθμούς μετάδοσης ένα ή δύο Mbps και για τις τρεις τεχνικές.

2.1.1 διαχεόμενες υπέρυθρες ακτίνες (diffused Infrared-IR)

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί υπέρυθρο φως με μήκος κύματος 850 nm περίπου, δηλαδή συχνότητας σχεδόν 350 THz και μέγιστη ισχύς σήματος 2 Watt.Υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps.Επειδή το υπέρυθρο φως μεταδίδεται σε πολύ υψηλές συχνότητες, δεν μπορεί να διαμορφωθεί όπως τα ραδιοκύματα. Η μετάδοση σε συστήματα IR γίνεται με οπτική επαφή πομπού και δέκτη και συγκεκριμένα με διακριτούς παλμούς on-off. Η διαμόρφωση του σήματος

γίνεται με την τεχνική PPM (Pulse Position Modulation). Η PPM διατηρεί συνεχώς σταθερό το πλάτος του παλμού και αλλάζει την θέση του παλμού στην μονάδα του χρόνου. Κάθε θέση αναπαριστά ένα διαφορετικό σύμβολο στην μονάδα του χρόνου. Για μετάδοση με ταχύτητα 2 Mbps χρησιμοποιείται η 4-PPM, ενώ για μετάδοση 1 Mbps η 16-PPM. Στην 16-PPM συνδυάζονται 2 bits για να σχηματίσουν ένα σύμβολο των 16 bits, ενώ στην 4-PPM 2 bits συνδυάζονται για να σχηματίσουν ένα σύμβολο των 4 bits. Αν και η τεχνική αυτή μπορεί να προσφέρει πολύ μεγαλύτερη απόδοση από τις άλλες δύο ραδιοκυμματικές τεχνικές, διαθέτει και πολλά μειονεκτήματα. Καταρχήν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο εντός κτιρίων γιατί όπως και στο ορατό φως, οι υπέρυθρες ακτίνες ταξιδεύουν σχεδόν ευθύγραμμα και ανακλώνται σε αδιαφανή φυσικά εμπόδια, όπως οι τοίχοι. Επιπλέον, λειτουργούν σε πολύ χαμηλή ισχύ, προκειμένου να μην βλάπτουν το ανθρώπινο μάτι. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται μικρή εμβέλεια: από 10 μέχρι 20 μέτρα. Τα μειονεκτήματα αυτά καθιστούν την τεχνική κατάλληλη, μόνο για μικρής εμβέλειας και σε εσωτερικούς χώρους ασύρματα LAN.

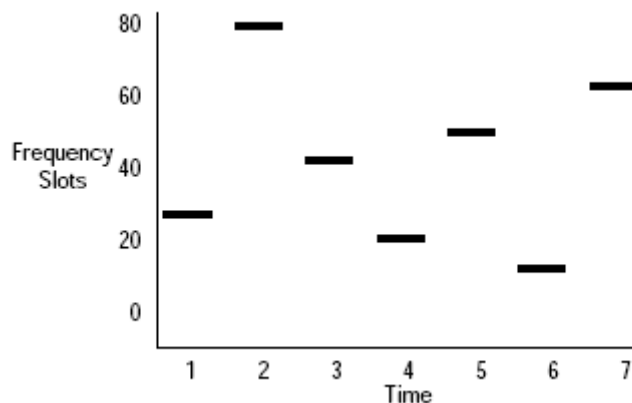
2.1.2 Τεχνικές εξάπλωσης φάσματος

Η μετάδοση με εξάπλωση φάσματος διαστέλλει ένα ψηφιακό σήμα με τέτοιο τρόπο, ώστε να φαίνεται περισσότερο σαν τυχαίος θόρυβος, παρά σαν σήμα πληροφορίας. Χρησιμοποιείται κωδικοποίηση συχνότητας (FSK) ή φάσης (PSK). Και στις δύο περιπτώσεις αυξάνεται τόσο το μέγεθος, όσο και το εύρος φάσματος. Με τον τρόπο αυτό, αν και το σήμα παρουσιάζεται δυνατότερο (λόγω του μεγαλύτερου εύρους ζώνης του) και ευκολότερα ανιχνεύσιμο, στην πραγματικότητα είναι ακατάληπτο εκτός και αν ο δέκτης έχει ρυθμιστεί στις σωστές παραμέτρους. Υπάρχουν δύο κύριες τεχνικές εξάπλωσης φάσματος: εξάπλωση φάσματος μεταπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum-FHSS) και εξάπλωση φάσματος άμεσης ακολουθίας (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS).

2.1.2.1 Frequency Hopping Spread Spectrum-FHSS

Η τεχνική αυτή είναι ανάλογη με την FM μετάδοση. Το σήμα πληροφορίας μεταφέρεται από ένα στενής ζώνης φέρον, το οποίο μπορεί να αλλάζει συχνότητα. Το πρότυπο 802.11 παρέχει 22 αλλαγές συχνότητας (hops) προς επιλογή στην ζώνη ISM των 2,4 GHz. Κάθε παρεχόμενο κανάλι συχνοτήτων από τα 22 έχει εύρος 1 MHz και το σήμα πρέπει να αλλάζει από κανάλι σε κανάλι με σταθερό ρυθμό. Η FHSS μεταδίδει μια μικρή ριπή σε ένα κανάλι συχνοτήτων και μετά αλλάζει σε κάποιο άλλο κανάλι για την επόμενη ριπή. Ο ρυθμός αλλαγής είναι γνωστός σε πομπό και δέκτη. Επειδή το κάθε κανάλι είναι στενής ζώνης υπάρχει πολύ καλός λόγος σήματος/θορύβου και μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα φίλτρα για την αποφυγή παρεμβολών. Ο τρόπος αλλαγής συχνοτήτων καθορίζει τα επιλεγόμενα κανάλια και την σειρά τους. Ο συγχρονισμός μεταξύ πομπού και δέκτη επιφέρει επίσης και επιπλέον ασφάλεια και απόκρυψη πληροφορίας.

Το πλήθος των καναλιών συχνοτήτων αλλά και ο χρόνος παραμονής σε κάθε ένα από αυτά είναι αυστηρά περιορισμένα. Συγκεκριμένα η ISM ζώνη, διαιρείται σε 75 υποκανάλια του ενός MHz έκαστο. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα δύο πομποί να χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι ταυτόχρονα, η τεχνική FHSS παρέχει έναν διαφορετικό μοτίβο αλλαγής συχνότητας για κάθε ανταλλαγή πληροφορίας. Για να εξασφαλιστεί ότι κατά μέσο όρο χρησιμοποιούνται όλα τα παρεχόμενα κανάλια, επιβάλλεται να εξαντλούνται όλα τα κανάλια προτού το μοτίβο επαναχρησιμοποιηθεί. Η χρήση πολλών μοτίβων αλλαγής συχνότητας αυξάνει την χωρητικότητα του δικτύου.



Σχήμα 2-2: Η τεχνική FHSS

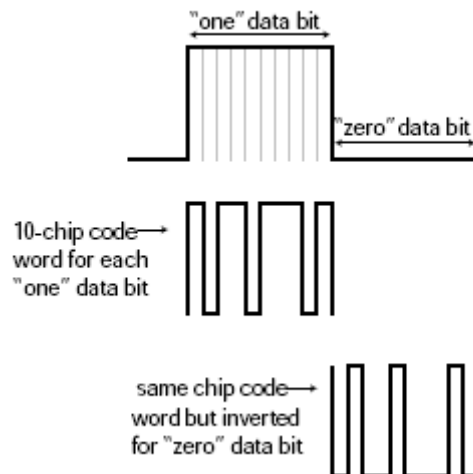
Ο λόγος μεταξύ του ρυθμού αλλαγής συχνότητας και του ρυθμού δεδομένων συνεπάγεται δύο τρόπους λειτουργίας του FHSS : fast frequency hopping όταν είναι μεγαλύτερος ο ρυθμός αλλαγής συχνότητας και slow frequency hopping όταν είναι μικρότερος. Ο ρυθμός αλλαγής συχνότητας έχει σημαντικές επιπτώσεις στην απόδοση της τεχνικής αυτής. Η ευρέως χρησιμοποιούμενη ζώνη ISM προκαλεί αρκετές παρεμβολές σε ορισμένα κανάλια. Για τα slow FHSS αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια πακέτων. Τα fast FHSS αν και δεν αντιμετωπίζουν τέτοια προβλήματα είναι ακριβότερα στην υλοποίησή τους.

Η τεχνική FHSS μπορεί να μεταδίδει με ρυθμούς από 1 έως 2 Mbps σε αρκετά μεγάλη απόσταση. Το εύρος ζώνης μπορεί να αυξηθεί ως και τα 24 Mbps αν προστεθούν πολλαπλά σημεία πρόσβασης στο δίκτυο. Η τυπική εμβέλεια που επιτυγχάνει είναι τα 120 μέτρα σε εσωτερικούς χώρους και τα 1000 μέτρα σε εξωτερικούς χώρους.

2.1.2.2 Direct Sequence Spread Spectrum

Η τεχνική DSSS προσφέρει αξιόπιστη μετάδοση με σχετικά μικρό λόγο σήματος/θορύβου. Διαχέει την ενέργεια του σήματος σε μεγάλο εύρος ζώνης. Με τον τρόπο αυτό η ενέργεια ανά μονάδα συχνότητας μειώνεται. Γίνεται εφικτό πολλαπλά DSSS σήματα να μοιράζονται την ίδια ζώνη συχνοτήτων. Σε κάποιον ανυποψίαστο δέκτη ένα DSSS σήμα εμφανίζεται ως χαμηλής ενέργειας και ευρείας ζώνης θόρυβος.

Η τεχνική DSSS συνδυάζει κάθε ρεύμα δεδομένων με ένα ψηφιακό κώδικα υψηλότερης ταχύτητας. Ο κώδικας αυτός στο 802.11 είναι γνωστός και ως κώδικας Barker και είναι μια ακολουθία 11 bit (10110111000). Κάθε bit πληροφορίας χαρτογραφείται σε ένα κοινό μοτίβο από bit γνωστό μόνο σε πομπό και δέκτη. Το μοτίβο από bit καλείται κώδικας ψευδοθορύβου και κάθε bit του κώδικα αυτού καλείται θραύσμα. Κάθε θραύσμα του κώδικα ψευδοθορύβου αποτελεί μόνο ένα μέρος του bit πληροφορίας. Η ακολουθία των θραυσμάτων σε μια περίοδο ενός bit είναι τυχαία αλλά η ίδια αυτή ακολουθία επαναλαμβάνεται σε κάθε περίοδο, καθιστώντας την ψευδοτυχαία. Ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης της ακολουθίας θραυσμάτων ευθύνεται και για το πολύ μεγάλο εύρος ζώνης. Ο ρυθμός θραυσμάτων ενός κώδικα n bits είναι n φορές μεγαλύτερος του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Με την χρήση του κώδικα Barker των 11 bits συνεπάγεται εύρος ζώνης 22 MHz. Κάθε κώδικας θραυσμάτων των 11 bit αναπαριστά ένα bit πληροφορίας και συχνά ονομάζεται και σύμβολο.



Σχήμα 2-3: Η τεχνική DSSS

Μια σημαντική παράμετρος της τεχνικής DSSS είναι ο αριθμός θραυσμάτων ανα bit και ονομάζεται λόγος εξάπλωσης ή processing gain. Μεγάλος λόγος εξάπλωσης μειώνει τις συνέπειες των παρεμβολών αλλά απαιτείται μεγαλύτερο εύρος ζώνης για την μετάδοση πληροφορίας. Στο 802.11 ο λόγος εξάπλωσης είναι 10,4 dB.

Η τεχνική DSSS χωρίζει την ζώνη ISM σε 14 κανάλια των 22 MHz και σε συνδυασμό με την ακολουθία θραυσμάτων που χρησιμοποιείται, επιτυγχάνει έλεγχο και αποσφαλμάτωση της μεταδιδόμενης πληροφορίας.

Το πρότυπο 802.11 ορίζει ρυθμό μετάδοσης για την DSSS τεχνική 1-2 Mbps. Ο ρυθμός μετάδοσης 1 Mbps συνεπάγεται ρυθμό μετάδοσης συμβόλων 1 MSps, ο οποίος επιτυγχάνεται με κωδικοποίηση BPSK (Binary Phase Shift Keying). Για τα 2 Mbps αντί της BPSK χρησιμοποιείται μια πιο εξελιγμένη τεχνική, η QPSK (Quadrature Phase Shift Keying).

Η τυπική εμβέλεια που επιτυγχάνεται είναι 90 μέτρα σε εσωτερικούς και 550 μέτρα σε εξωτερικούς χώρους.

Συγκρίνοντας τις δύο τεχνικές εξάπλωσης φάσματος, η DSSS μπορεί να επιτύχει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης από την FHSS καθώς το κάθε υποκάνάλι της πρώτης έχει εύρος ζώνης 22 MHz ενώ της δεύτερης μόνο 1 MHz. Όμως η FHSS είναι περισσότερο ανθεκτική σε παρεμβολές και μπορεί να υποστηρίξει περισσότερες περιοχές κάλυψης (BSS) στην ίδια περιοχή από την DSSS (συγκεκριμένα περίπου 15 περιοχές κάλυψης έναντι 3 της DSSS).

2.2 Επιπλέον τεχνικές μετάδοσης

Εκτός από το πρότυπο 802.11 η IEEE έχει εκδώσει και άλλα πρότυπα για ασύρματα δίκτυα όπως το 802.11b, το 802.11a και το 802.11g. Τα πρότυπα αυτά διαφέρουν από το 802.11 μόνο στο φυσικό επίπεδο. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούν διαφορετικές ή τροποποιημένες τεχνικές μετάδοσης, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων. Οι τεχνικές αυτές εξηγούνται παρακάτω.

2.2.1 HR-DSSS (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum)

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται στο πρότυπο 802.11b. Μοιάζει με την DSSS τεχνική αλλά αντί για τον κώδικα θραυσμάτων Barker των 11 bits χρησιμοποιείται το πρότυπο CCK (Complementary

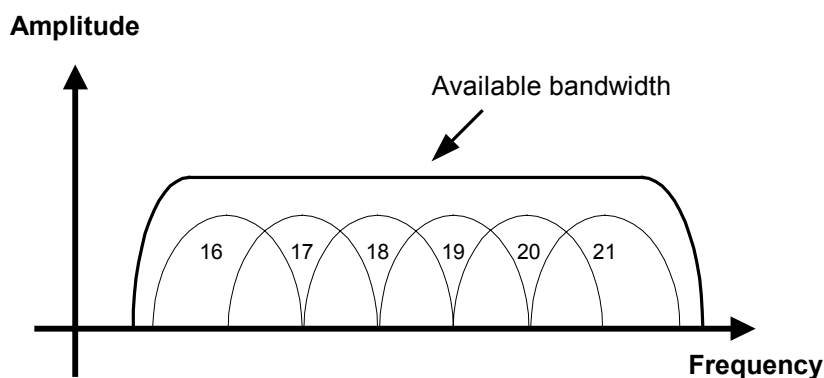
Code Keying). Το CCK διαθέτει μια ομάδα από 64 λέξεις κωδικών των 8 bits. Κάθε τέτοια λέξη μπορεί να αναπαραστήσει μέχρι 6 bits αντί για ένα μόνο με τον κώδικα Barker. Αυτή η ομάδα λέξεων κωδικών έχει μοναδικές μαθηματικές ιδιότητες που επιτρέπουν σε κάθε λέξη να ξεχωρίζει μοναδικά από την άλλη στον δέκτη ακόμα και με ύπαρξη θορύβου ή άλλων παρεμβολών. Η τεχνική αυτή επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης 5,5 και 11 Mbps. Στα μεν 5,5 Mbps το CCK κωδικοποιεί 4 bits ανα φέρον, ενώ στα 11 Mbps κωδικοποιεί 8 bits ανα φέρον. Και στους δύο ρυθμούς η τεχνική διαμόρφωσης είναι η QPSK και τα σύμβολα στέλνονται με ρυθμό 1,375 MSps.

2.2.2 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Το πρότυπο 802.11a σχεδιάστηκε να λειτουργεί στην ζώνη συχνοτήτων UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) των 5 GHz. Αντίθετα με την ISM ζώνη των 2,4 GHz η οποία προσφέρει προς χρήση περίπου 83 MHz, η UNII προσφέρει 300 MHz στα οποία οι παρεμβολές είναι σχετικά λιγότερες.

Η μεγαλύτερη συχνότητα λειτουργίας συντελεί σε αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης από τις άλλες τεχνικές, αλλά ταυτόχρονα μειώνεται η εμβέλεια του δικτύου και αυξάνεται η κατανάλωση ενέργειας.

Το πρότυπο 802.11a λειτουργεί με βάση την τεχνική OFDM η οποία σχεδιάστηκε να λειτουργεί καλύτερα σε περιβάλλοντα μεταξύ κτιρίων. Κάθε υποκανάλι στην OFDM έχει εύρος 300 KHz. Η OFDM λειτουργεί διασπώντας ένα φέρον μεγάλης ταχύτητας σε αρκετά υπό-φέροντα χαμηλότερης ταχύτητας και ορθογώνια μεταξύ τους, τα οποία μεταδίδονται παράλληλα. Κάθε φέρον έχει εύρος 20 MHz και διασπάται σε 52 υποκανάλια των 300 KHz περίπου. Τα 48 από αυτά χρησιμοποιούνται για δεδομένα και τα υπόλοιπα 4 για αποσφαλμάτωση.



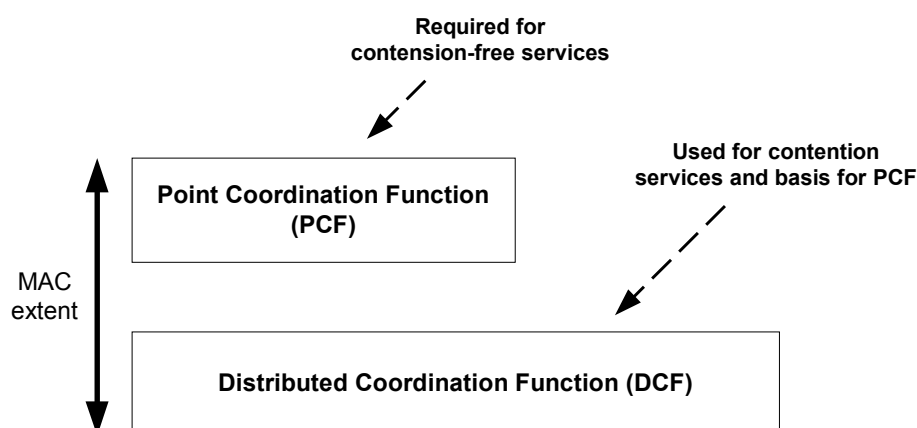
Σχήμα 2-4: Η τεχνική OFDM

Το πρότυπο 802.11a υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης 6, 12 και 24 Mbps. Αυτό επιτυγχάνεται με τις τεχνικές κωδικοποίησης BPSK (125 Kbps ανα κανάλι άρα σύνολο 6 Mbps), QPSK (250 Kbps ανα κανάλι άρα σύνολο 12 Mbps) και 16-Level Quadrature Amplitude Modulation (16 QAM) που κωδικοποιεί 4 bits ανα Hertz άρα σύνολο 24 Mbps. Επιπλέον επιτυγχάνεται ρυθμός μετάδοσης 54 Mbps με κωδικοποίηση 64QAM (1.125 Mbps ανα κανάλι άρα σύνολο 54 Mbps). Παράλληλα μπορούν να επιτευχθούν και ρυθμοί μετάδοσης στα 36 και 48 Mbps. Η μέγιστη θεωρητική ταχύτητα της τεχνικής OFDM θεωρείται 108 Mbps.

Το πρότυπο 802.11g χρησιμοποιεί στο φυσικό του επίπεδο τόσο την τεχνική OFDM, όσο και την τεχνική HR-DSSS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΕΠΙΠΕΔΟ MAC

Το επίπεδο MAC του προτύπου 802.11 ασχολείται κυρίως με τους κανόνες πρόσβασης στο κοινό ασύρματο μέσο. Επιπλέον, είναι υπεύθυνο για την διευθυνσιοδότηση των μονάδων δεδομένων πρωτοκόλλου (protocol data units – PDU), τον σχηματισμό των πλαισίων, τον έλεγχο λαθών, τον τεμαχισμό και την επανασυναρμολόγηση των πακέτων. Επιτυγχάνει επίσης προστασία των μεταδιδόμενων δεδομένων. Η λειτουργία του παραμένει η ίδια για κάθε τρόπο φυσικής μετάδοσης και ανεξάρτητη από τον εκάστοτε ρυθμό δεδομένων. Το πρότυπο παρέχει δύο διαφορετικές μεθόδους πρόσβασης στο μέσο, την DCF και την PCF για την εξυπηρέτηση ασύγχρονων υπηρεσιών και υπηρεσιών με χρονικούς περιορισμούς αντίστοιχα. Η μέθοδος DCF είναι παρόμοια με τις μεθόδους πρόσβασης στα παραδοσιακά δίκτυα πακέτου και υποστηρίζει παράδοση των δεδομένων με την καλύτερη δυνατή προσπάθεια. Έχει σχεδιαστεί για ασύγχρονη μετάδοση δεδομένων, όπου όλοι οι σταθμοί έχουν ίσες ευκαιρίες για πρόσβαση στο μέσο. Αντίθετα, η PCF χρησιμοποιεί το σημείο πρόσβασης για τον έλεγχο όλων των δραστηριοτήτων στο BSS που είναι υπεύθυνο. Σχεδιάστηκε κυρίως για μεταφορά κίνησης που είναι ευαίσθητη σε καθυστερήσεις. Η PCF μπορεί να μεταπίπτει από τον τρόπο λειτουργίας με ανταγωνισμό, στον τρόπο λειτουργίας χωρίς ανταγωνισμό όπου το κανάλι ελέγχεται μόνο από το σημείο πρόσβασης. Όλοι οι ασύρματοι σταθμοί οφείλουν να υποστηρίζουν την DCF λειτουργία. Η DCF λειτουργεί αποκλειστικά σε ad hoc ασύρματα δίκτυα, ενώ λειτουργεί αποκλειστικά ή σε συνδυασμό με την PCF σε δίκτυα υποδομής. Στην παρούσα εργασία δίνεται βάρος στην υποχρεωτική μέθοδο πρόσβασης DCF.



Σχήμα 3-1: Σχέση μεταξύ DCF και PCF

3.1 Πρωτόκολλο ανταλλαγής πλαισίων MAC

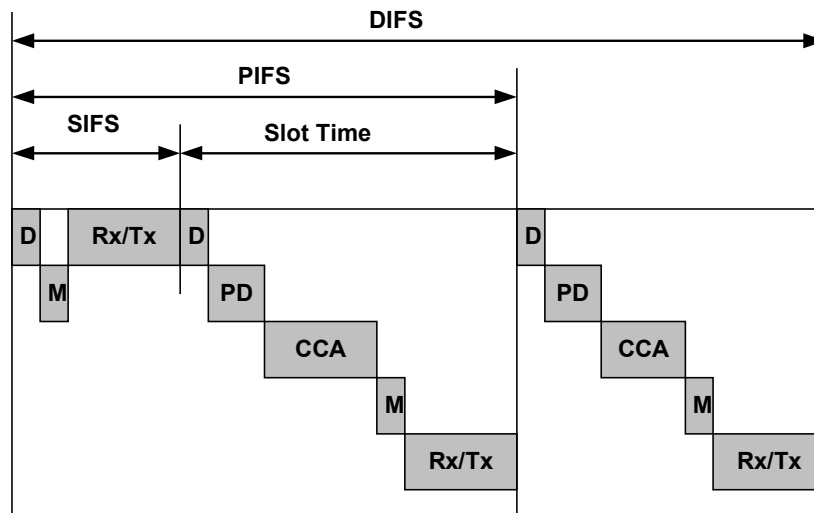
Το ελάχιστο πρωτόκολλο ανταλλαγής πλαισίων αποτελείται από δύο πλαίσια : ένα πλαίσιο από τον πομπό στον δέκτη και μια επιβεβαίωση από τον δέκτη ότι έλαβε το πλαίσιο σωστά. Αν ο πομπός δεν λάβει επιβεβαίωση μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα (η οποία αντιστοιχεί σε ένα πλαίσιο ελέγχου που ονομάζεται ACK), επαναμεταδίδει το αρχικό πλαίσιο. Η διαδικασία αυτή μειώνει τον υπάρχον ρυθμό σφαλμάτων του φυσικού μέσου χωρίς να χρειάζονται μεγαλύτερου επιπέδου πρωτόκολλα, με κόστος την κατανάλωση επιπλέον εύρους ζώνης. Επειδή οι χρονομετρητές των υψηλότερων επιπέδων συχνά μετρούν το χρόνο ανα δευτερόλεπτο, είναι πιο

αποδοτικό να εξασφαλίζεται η επιτυχής μετάδοση στο επίπεδο MAC στο οποίο ο χρόνος μετρίεται σε εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου.

3.2 Χρονικά διαστήματα μεταξύ των πλαισίων

Το πρότυπο ορίζει τέσσερα διαφορετικά χρονικά διαστήματα μεταξύ των μεταδόσεων πακέτων. Ουσιαστικά, τα διαστήματα αυτά καθορίζουν τις προτεραιότητες των μεταδόσεων. Όσο πιο μικρό διάστημα υπάρχει μεταξύ μιας μετάδοσης, τόσο πιο μεγάλη προτεραιότητα έχει η μετάδοση αυτή. Τα διαστήματα αυτά (IFS – Interframe spaces) είναι ανεξάρτητα του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Αρχικά υπάρχει το μικρό διάστημα SIFS (short IFS) το οποίο είναι το μικρότερο από τα τέσσερα και παρεμβάλλεται μεταξύ ενεργειών άμεσης απάντησης όπως στην αποστολή πακέτων ελέγχου RTS,CTS,ACK καθώς και για την αποστολή θραυσμάτων τεμαχισμένων πλαισίων. Οι μεταδόσεις στις οποίες παρεμβάλλεται διάστημα SIFS έχουν πάντα προτεραιότητα. Το επόμενο σε χρονική διάρκεια διάστημα ονομάζεται PIFS (PCF IFS). Χρησιμοποιείται στην PCF μέθοδο από το σημείο πρόσβασης για να αποκτήσει πρόσβαση στο κανάλι πριν από οποιοδήποτε σταθμό. Αμέσως μετά είναι το διάστημα DIFS (DCF IFS) το οποίο αποτελεί το ελάχιστο χρονικό διάστημα μεταξύ επιτυχημένων μεταδόσεων πλαισίων. Τέλος ορίζεται το EIFS (Extended IFS) το οποίο είναι το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Χρησιμοποιείται από τους σταθμούς όταν λαμβάνουν πλαίσια που είναι εσφαλμένα ή άγνωστα σε αυτούς. Επειδή είναι το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, σημαίνει ότι ο σταθμός που περιμένει για EIFS έχει την χαμηλότερη προτεραιότητα. Αυτό γίνεται γιατί ο δέκτης μπορεί να μην έχει ιδέα του τι συμβαίνει, οπότε και πρέπει να περιμένει αρκετό διάστημα, ώστε να μην παρεμβληθεί σε εν εξελίξει διάλογο μεταξύ δύο άλλων σταθμών.

Επίσης ορίζεται και το χρονικό διάστημα μιας χρονοσχισμής (slot). Το διάστημα αυτό χρησιμοποιείται για την εφαρμογή του αλγόριθμου δυαδικής εκθετικής οπισθοχώρησης (backoff algorithm) που χρησιμοποιείται στην μέθοδο DCF και θα αναλυθεί παρακάτω. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, το διάστημα slot είναι το άθροισμα του χρόνου για την ανίχνευση φέροντος (CCA), του χρόνου που κάνει ο πομποδέκτης να μετατραπεί από πομπός σε δέκτη (Rx/Tx), της καθυστέρησης διάδοσης του σήματος (PD), της καθυστέρησης του δέκτη συν την καθυστέρηση αποκωδικοποίησης του PLCP preamble/header (D) και του χρόνου επεξεργασίας του πλαισίου από το επίπεδο MAC (M). Επιπλέον το διάστημα SIFS είναι το άθροισμα του χρόνου που κάνει ο πομποδέκτης να μετατραπεί από πομπός σε δέκτη (Rx/Tx), του χρόνου επεξεργασίας του πλαισίου από το επίπεδο MAC (M) και της καθυστέρησης του δέκτη συν την καθυστέρηση αποκωδικοποίησης του PLCP preamble/header (D). Το PIFS είναι το άθροισμα SIFS και slot, ενώ το DIFS είναι το άθροισμα SIFS + 2*slot .



Σχήμα 3-2: συσχετισμός μεταξύ των χρονικών διαστημάτων

3.3 Μέθοδος πρόσβασης DCF

Η βασική μέθοδος πρόσβασης στο πρότυπο 802.11 ονομάζεται Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού (DCF – Distributed Coordination Function). Το πρότυπο την ορίζει ως υποχρεωτική για κάθε υλοποίηση WLAN, ενώ αντίθετα την μέθοδο PCF την ορίζει ως προαιρετική. Υποστηρίζει ασύγχρονη μεταφορά δεδομένων, σύμφωνα με τον κανόνα της καλύτερης αξιοποίησης του ασύρματου μέσου. Όλοι οι ασύρματοι σταθμοί οφείλουν να υποστηρίζουν την DCF λειτουργία. Η DCF λειτουργεί αποκλειστικά σε ad hoc ασύρματα δίκτυα, ενώ λειτουργεί αποκλειστικά ή σε συνδυασμό με την PCF σε δίκτυα υποδομής. Βρίσκεται ακριβώς πάνω από το φυσικό επίπεδο και υποστηρίζει υπηρεσίες ανταγωνισμού στο μέσο. Κάθε σταθμός που έχει πλαίσιο προς μετάδοση πρέπει να ανταγωνιστεί με τους άλλους σταθμούς την πρόσβαση στο φυσικό μέσο. Η διαδικασία αυτή εγγυάται την δικαιοσύνη μεταξύ των σταθμών.

Η DCF βασίζεται στο πρωτόκολλο CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) το οποίο μεταφράζεται ως πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αποφυγής συγκρούσεων. Το πρωτόκολλο μοιάζει με το CSMA/CD που χρησιμοποιείται στα ενσύρματα δίκτυα. Και στα δύο η διαθεσιμότητα του μέσου παρατηρείται από την ανίχνευση φερόντων σημάτων και ο ανταγωνισμός για το μέσο γίνεται μέσω του αλγορίθμου εκθετικής οπισθοχώρησης.

Το πρότυπο 802.11 ορίζει δύο μηχανισμούς πρόσβασης στο φυσικό μέσο. Και οι δύο υλοποιούνται από την DCF. Αυτοί είναι ο βασικός μηχανισμός πρόσβασης και ο RTS/CTS μηχανισμός πρόσβασης. Οι μηχανισμοί αυτοί μπορούν να λειτουργήσουν ξεχωριστά αλλά και σε συνδυασμό. Η επιλογή είναι του χρήστη. Η βασική διαφορά τους είναι ότι ο μηχανισμός RTS/CTS περιλαμβάνει ότι ακριβώς και ο βασικός μηχανισμός πρόσβασης αλλά για την μετάδοση ενός πλαισίου πληροφορίας, αποστέλλονται επιπλέον δύο πλαίσια ελέγχου (τα RTS και CTS) πέραν του ενός πλαισίου (ACK) που αποστέλλεται στον βασικό μηχανισμό πρόσβασης.

3.3.1 Βασικός μηχανισμός πρόσβασης

Ο βασικός μηχανισμός πρόσβασης υλοποιείται με το CSMA/CA πρωτόκολλο. Αρχικά, κάθε σταθμός που θέλει να μεταδώσει, πρώτα ανιχνεύει το ασύρματο μέσο για να εντοπίσει τυχόν μετάδοση σε εξέλιξη. Εάν μεταδίδει κάποιος άλλος σταθμός, αναβάλλει την μετάδοση για

αργότερα. Εάν όμως το μέσο ανιχνευθεί ελεύθερο για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από DIFS, το πακέτο μεταδίδεται άμεσα. Ο παραλήπτης υπολογίζει το άθροισμα ελέγχου και αποφασίζει κατά πόσο το πλαίσιο λήφθηκε σωστά ή όχι. Μετά την λήψη ενός σωστού πακέτου, ο παραλήπτης περιμένει διάστημα SIFS και κατόπιν μεταδίδει ένα πλαίσιο θετικής επιβεβαίωσης το οποίο λέγεται ACK, για να δείξει ότι η αποστολή ήταν επιτυχής. Σε περίπτωση που ένας σταθμός έχει παραπάνω από ένα πλαίσια προς μετάδοση, οφείλει μετά από κάθε επιτυχή μετάδοση, να ανιχνεύσει ξανά το μέσο και να το βρει ελεύθερο για χρονικό διάστημα DIFS.

Η διαδικασία της ανίχνευσης εκτελείται από δύο μηχανισμούς : ανίχνευση φυσικού καναλιού (physical carrier sensing) και ανίχνευση εικονικού καναλιού (virtual carrier sensing). Οι μηχανισμοί δρουν παράλληλα και το κανάλι θεωρείται ελεύθερο αν και οι δύο μηχανισμοί το καθορίσουν έτσι.

Στην ανίχνευση φυσικού καναλιού ο σταθμός εντοπίζει την παρουσία άλλων σταθμών με την ανάλυση όλων των παρατηρούμενων πακέτων. Επιπλέον, μετριέται η ενέργεια των λαμβανόμενων σημάτων. Εάν αυτή είναι χαμηλότερη από κάποιο καθορισμένο όριο, το μέσο δηλώνεται ελεύθερο και δίνεται η άδεια για μετάδοση στο επίπεδο MAC. Η ανίχνευση φυσικού καναλιού γίνεται από το φυσικό επίπεδο.

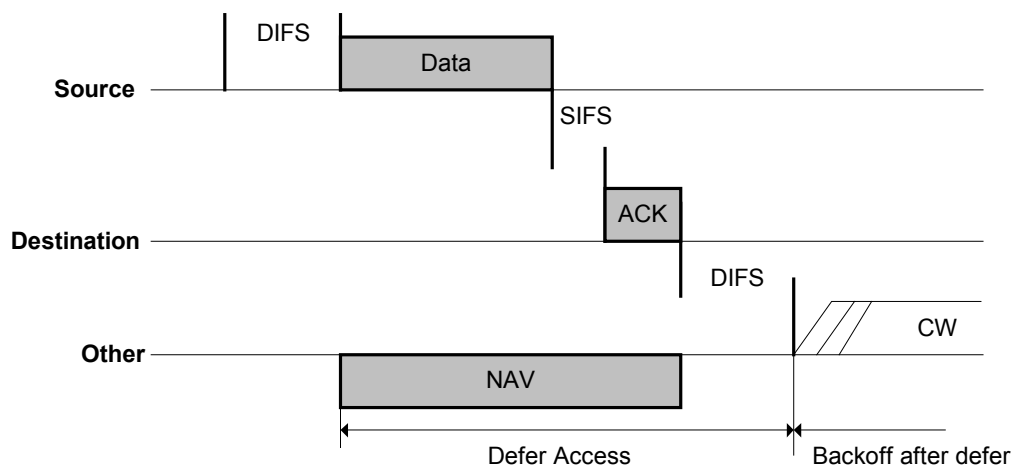
Αντίθετα η ανίχνευση εικονικού καναλιού πραγματοποιείται από το επίπεδο MAC. Κάθε πλαίσιο διαθέτει ένα πεδίο στην επικεφαλίδα του, το οποίο καθορίζει πόσο χρόνο θα διαρκέσει η μετάδοση του. Το πεδίο αυτό χρησιμοποιείται για να ενημερώσει όλους τους σταθμούς του ίδιου BSS που ανιχνεύουν το πλαίσιο, για το πόσο θα παραμείνει κατειλημμένο το κανάλι. Οι σταθμοί με την πληροφορία αυτή, ρυθμίζουν μια μεταβλητή που ονομάζεται διάνυσμα εκχώρησης δικτύου (NAV – Network Allocation Vector). Στο NAV καταχωρούν την διάρκεια μετάδοσης του πλαισίου συν ένα SIFS συν την διάρκεια μετάδοσης της επιβεβαίωσης που θα ακολουθήσει.

Η λειτουργία της αποφυγής συγκρούσεων του πρωτοκόλλου CSMA/CD αντιμετωπίζει την μεγάλη πιθανότητα σύγκρουσης στο ασύρματο κανάλι. Ουσιαστικά είναι μια προσπάθεια να διαχωριστούν οι σταθμοί που θέλουν να μεταδώσουν, σε μικρότερες ομάδες, κάθε μία από τις οποίες χρησιμοποιεί μια διαφορετική χρονοσχισμή .

Η αποφυγή συγκρούσεων υλοποιείται με τον αλγόριθμο δυαδικής εκθετικής οπισθοχώρησης (binary exponential backoff algorithm) . Σύμφωνα με αυτόν, αν κάποιος σταθμός που έχει πλαίσιο προς μετάδοση, ανιχνεύσει ότι ο διάυλος είναι κατειλημμένος, περιμένει μέχρις ότου ο διάυλος μείνει ελεύθερος για περίοδο DIFS. Στην συνέχεια υπολογίζει έναν τυχαίο χρόνο αναμονής. Ο χρόνος στο πρότυπο 802.11 διαιρείται σε χρονοσχισμές (slots). Σε αντίθεση με το slotted ALOHA, όπου η χρονοσχισμή ισούται με το χρόνο μετάδοσης ενός πακέτου, στο 802.11 η χρονοσχισμή είναι πολύ μικρότερη από το χρόνο μετάδοσης ενός MPDU, και χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των διαστημάτων μεταξύ πλαισίων καθώς και του χρόνου αναμονής των σταθμών σε περίοδο ανταγωνισμού. Η χρονική διάρκεια ενός slot είναι διαφορετική για κάθε τύπο φυσικού στρώματος. Ο τυχαίος χρόνος αναμονής για κάθε σταθμό, είναι ένας ακέραιος αριθμός που αντιστοιχεί σε κάποιο αριθμό χρονοσχισμών και ονομάζεται backoff. Ο αλγόριθμος εισάγει μια νέα παράμετρο η οποία είναι το χρονικό διάστημα παράθυρο ανταγωνισμού (Contention Window – CW). Το διάστημα αυτό ισοδυναμεί με ένα άνω όριο αναμονής του κάθε σταθμού και μετριέται σε slots. Το ελάχιστο και το μέγιστο του παραθύρου ανταγωνισμού ορίζονται από το πρότυπο. Το μέγιστο (Cwmax) ισούται με 1024 slots ενώ το ελάχιστο (Cwmin) διαφέρει για κάθε τύπο φυσικού στρώματος και κυμαίνεται από 16 ως 64 slots. Η μεταβλητή backoff παίρνει τυχαίες τιμές μέσα από το τρέχον παράθυρο ανταγωνισμού.

Ο αλγόριθμος έχει ως εξής : Ένας σταθμός που θέλει να μεταδώσει, αρχικά εκτελεί ανίχνευση καναλιού. Εάν το κανάλι είναι ελεύθερο για διάστημα μεγαλύτερο από DIFS, ο σταθμός μεταδίδει. Αν όμως το κανάλι είναι κατειλημμένο, ο σταθμός περιμένει μέχρι το τέλος του

διαστήματος DIFS και μετά υπολογίζει και έναν επιπλέον τυχαίο χρόνο αναμονής που καταχωρείται στον μετρητή backoff. Η τιμή του μετρητή backoff καθορίζεται τυχαία από ένα εύρος ακέραιων τιμών από το μηδέν μέχρι το παράθυρο ανταγωνισμού. Για κάθε slot εκτελείται ανίχνευση φυσικού καναλιού. Εάν το κανάλι είναι ελεύθερο στην διάρκεια του slot η τιμή του backoff μειώνεται κατά ένα. Εάν είναι κατειλημμένο, η τιμή του backoff παραμένει σταθερή. Όταν το backoff μηδενιστεί, ο σταθμός περιμένει ένα διάστημα DIFS και αν το μέσο παραμείνει ελεύθερο, μεταδίδει. Αν οι μετρητές backoff δύο ή περισσότερων σταθμών μηδενιστούν την ίδια στιγμή θα γίνει σύγκρουση. Στην περίπτωση αυτή, οι σταθμοί που εμπλέκονται στην σύγκρουση υπολογίζουν νέο παράθυρο ανταγωνισμού, μεγαλύτερο από το προηγούμενο. Για κάθε προσπάθεια συνεχόμενης επαναμετάδοσης, το παράθυρο μεγαλώνει κατά $2^i \cdot Cw_min$ όπου i ο αριθμός των διαδοχικών προσπαθειών επαναμετάδοσης. Το παράθυρο ανταγωνισμού δεν μπορεί να υπερβεί την τιμή $Cwmax$. Μετά από μια επιτυχή μετάδοση, το CW του σταθμού τίθεται ίσο με $Cwmin$ και επιλέγεται νέο backoff από το μηδέν ως το $Cwmin$. Τέλος, ένας σταθμός που θέλει να μεταδώσει συνεχόμενα πλαίσια πρέπει μετά από μια επιτυχή μετάδοση να ανταγωνιστεί ξανά για το κανάλι.



Σχήμα 3-3:Μετάδοση ενός MPDU με τον βασικό μηχανισμό πρόσβασης

Με το να υπάρχει ένα τυχαίο διάστημα που μεγαλώνει εκθετικά, καθώς συμβαίνουν όλο και περισσότερες διαδοχικές συγκρούσεις, ο αλγόριθμος εξασφαλίζει χαμηλή καθυστέρηση όταν συγκρούονται λίγοι μόνο σταθμοί, διασφαλίζει όμως και ότι η σύγκρουση θα επιλυθεί σε λογικό διάστημα όταν συγκρούονται πολλοί σταθμοί. Με τον περιορισμό της οπισθοχώρησης στα 1024 slots αποτρέπεται η επίλυση των συγκρούσεων να γίνεται σε υπερβολικά μεγάλο χρόνο.

Επιπλέον, ένα πλαίσιο που είναι στη διαδικασία οπισθοχώρησης και αναβάλλει την μετάδοσή του, έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να μεταδοθεί πρώτα από ένα νεοεισελθέν πλαίσιο.

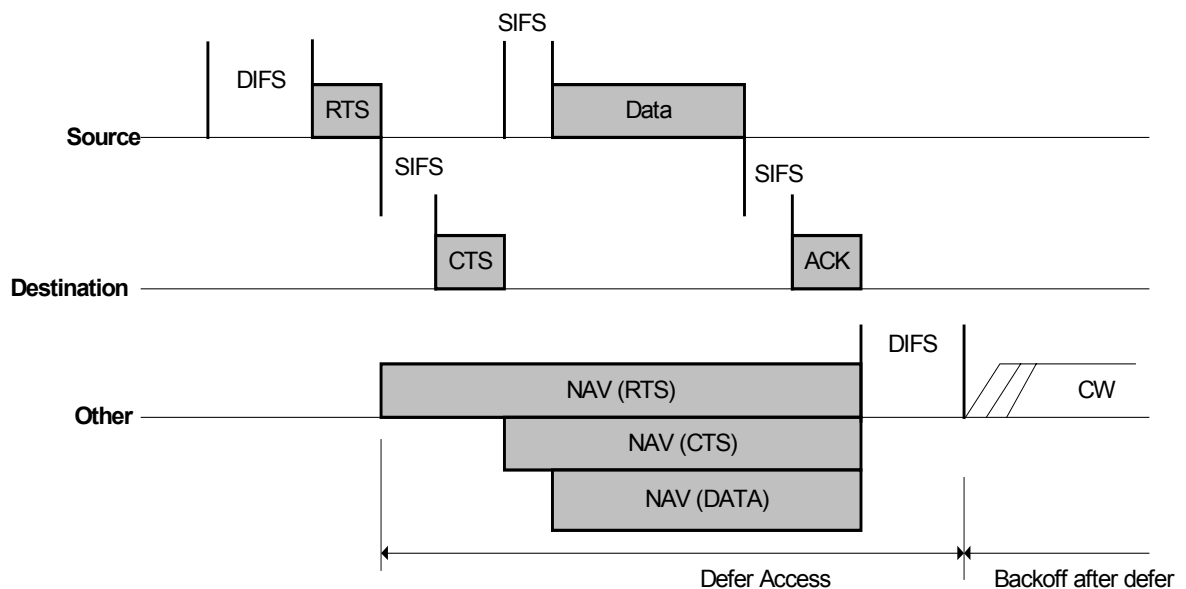
Ο μηχανισμός αποφυγής συγκρούσεων διασφαλίζει κάποιο επίπεδο δικαιοσύνης, γιατί επιβάλλει σε κάθε σταθμό με περισσότερα από ένα πλαίσια προς μετάδοση να ανταγωνιστεί εκ νέου για το κανάλι μετά από κάθε επιτυχή μετάδοση. Όμως ακριβώς αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά αδύνατη την εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (QoS) σε εφαρμογές με χρονικούς περιορισμούς όπως η μετάδοση φωνής ή βίντεο με πακέτα, στις οποίες η καθυστέρηση πρέπει να παραμένει κάτω από μια μέγιστη αποδεκτή τιμή.

3.3.2 Μηχανισμός πρόσβασης RTS/CTS

Το πρωτόκολλο CSMA/CA μπορεί να εμπλουτιστεί με την ενσωμάτωση του μηχανισμού RTS/CTS. Επειδή ο αποστολέας σε ένα BSS δεν μπορεί να ακούσει τις δικές του μεταδόσεις, συνεχίζει την μετάδοση ενός πλαισίου ακόμη και όταν γίνει σύγκρουση. Αν το πλαίσιο είναι μεγάλο (για παράδειγμα 2300 οκτάδες), χάνεται μεγάλο εύρος ζώνης λόγω του κατεστραμμένου πλαισίου. Τα πλαίσια ελέγχου RTS (Request To Send) και CTS (Clear To Send) χρησιμοποιούνται από κάποιο σταθμό για να δεσμεύσει εύρος ζώνης πριν την αποστολή του πλαισίου δεδομένων και να ελαχιστοποιήσει το εύρος ζώνης που χάνεται από τις συγκρούσεις. Τα πλαίσια αυτά έχουν σχετικά μικρό μέγεθος (20 και 14 οκτάδες αντίστοιχα) σε σχέση με τα πλαίσια πληροφορίας. Συνεπώς ακόμα και αν γίνει σύγκρουση κατά την αποστολή τους, η καθυστέρηση είναι αισθητά χαμηλότερη. Το πλαίσιο RTS στέλνεται από τον αποστολέα, ενώ το CTS από τον παραλήπτη για να δώσει την άδεια στον αιτούμενο σταθμό να του μεταδώσει πλαίσια.

Όταν ένας σταθμός έχει δεδομένα προς μετάδοση, αρχικά ανταγωνίζεται για το κανάλι. Έπειτα αντί για να στείλει το πλαίσιο πληροφορίας, στέλνει ένα πλαίσιο RTS. Το RTS όπως και κάθε πλαίσιο διαθέτει ένα πεδίο στην επικεφαλίδα του το οποίο αναφέρει την ολική διάρκεια της μετάδοσης του πλαισίου πληροφορίας μαζί με την θετική επιβεβαίωση. Όλοι οι σταθμοί στο BSS που ανιχνεύουν το RTS ρυθμίζουν κατάλληλα το NAV τους. Ο παραλήπτης απαντά στο πλαίσιο RTS με ένα πλαίσιο CTS αφού περιμένει διάστημα SIFS. Οι σταθμοί που ανιχνεύουν το CTS εξετάζουν το πεδίο διάρκειας και ενημερώνουν πάλι το NAV τους. Ύστερα από την επιτυχή λήψη του CTS ο αποστολέας επιβεβαιώνει νοητά ότι το κανάλι είναι δεσμευμένο για την μετάδοση του πλαισίου πληροφορίας.

Επειδή οι σταθμοί μπορούν να ενημερώνουν το NAV τους με βάση το πλαίσιο RTS του σταθμού αποστολής και το CTS του σταθμού λήψης, ο μηχανισμός RTS/CTS επιλύει ικανοποιητικά και το πρόβλημα του κρυφού κόμβου που αναλύεται ακριβώς παρακάτω.



Σχήμα 3-4:Μετάδοση ενός MPDU με τον μηχανισμό RTS/CTS

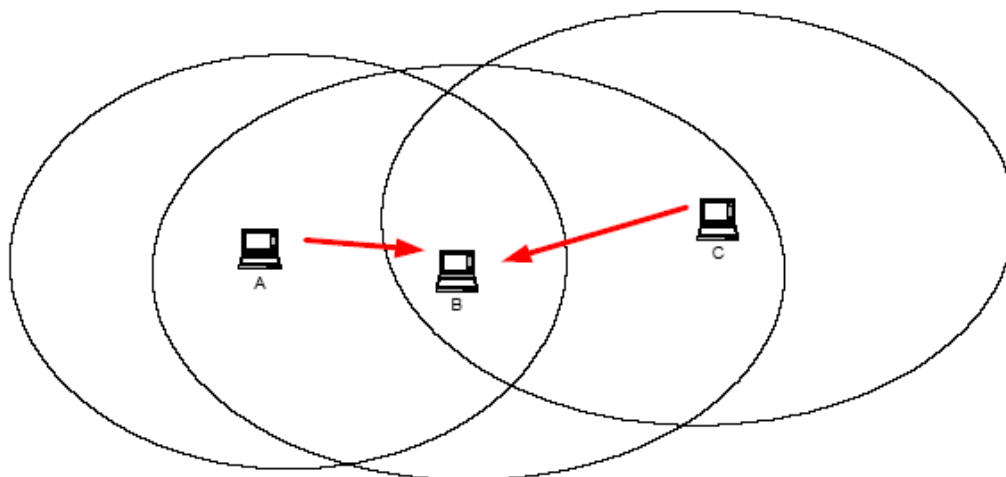
Οι σταθμοί μπορούν να χρησιμοποιούν μόνο τον βασικό μηχανισμό πρόσβασης ή μόνο τον RTS/CTS μηχανισμό ή και τους δύο ταυτόχρονα. Η επιλογή γίνεται με την ρύθμιση μιας μεταβλητής η οποία ονομάζεται κατώφλι RTS/CTS (RTS/CTS Threshold), Αν το πλαίσιο

πληροφορίας είναι μεγαλύτερο από το κατώφλι τότε στέλνεται με τον μηχανισμό RTS/CTS, ενώ αν είναι μικρότερο στέλνεται με τον βασικό μηχανισμό. Επίσης, για τιμή κατωφλιού μηδέν χρησιμοποιείται μόνο ο μηχανισμός RTS/CTS ενώ για τιμή κατωφλιού 32768 bits (μέγιστο μέγεθος πλαισίου) χρησιμοποιείται μόνο ο βασικός μηχανισμός.

Αν προκύψει σύγκρουση κατά την μετάδοση πλαισίων RTS ή CTS σπαταλιέται πολύ λιγότερο εύρος ζώνης απ' ό,τι όταν μεταδίδεται ένα πλαίσιο πληροφορίας. Ωστόσο για μικρά σε μέγεθος πλαίσια πληροφορίας η χρησιμοποίηση επιπλέον πλαισίων ελέγχου, εισάγει πρόσθετη καθυστέρηση. Η χρήση του μηχανισμού RTS/CTS είναι προαιρετική αλλά σύμφωνα με το πρότυπο πρέπει να είναι υλοποιημένη.

3.4 Το πρόβλημα του κρυφού κόμβου

Το πρόβλημα αυτό δεν παρουσιάζεται στα ενσύρματα δίκτυα. Οφείλεται στις μεγάλες διακυμάνσεις της ισχύος του ραδιοσήματος η οποία προκαλεί την ύπαρξη κρυφών ή μη ορατών σταθμών. Το πρόβλημα εξηγείται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3-5: Σχηματικά το πρόβλημα του κρυφού κόμβου

Το σχήμα δείχνει δύο κόμβους (A και C) οι οποίοι είναι και οι δύο στην εμβέλεια του τρίτου κόμβου B. Παρόλα αυτά, οι A και C δεν μπορούν να δουν ο ένας τον άλλον. Αν οι A και C προσπαθήσουν να στείλουν κάποιο πακέτο ταυτόχρονα στον B, θα παρουσιαστεί σύγκρουση στον B και δεν θα λάβει κανένα πακέτο. Ούτε ο A ούτε ο C δεν θα αντιληφθεί την σύγκρουση. Στην προκειμένη περίπτωση ο μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος δεν μπορεί να λύσει το πρόβλημα γιατί ο καθένας από τους A και C εκτελεί τον μηχανισμό ανίχνευσης φέροντος μόνο στην ακτίνα δράσης του.

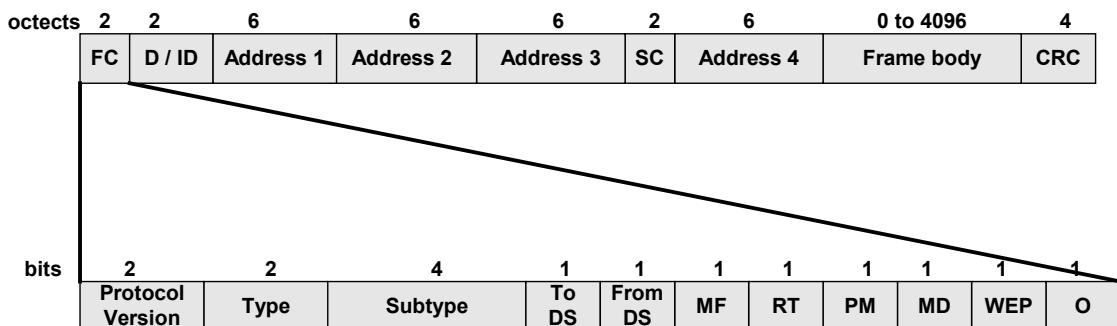
Το πρόβλημα αυτό επιλύεται στο πρότυπο 802.11 με την χρήση του μηχανισμού RTS/CTS που ήδη περιγράφηκε. Στην παραπάνω περίπτωση, εάν ο σταθμός A θέλει να μεταδώσει, στέλνει ένα πλαίσιο RTS στον B. Ο τελευταίος αποδέχεται την μετάδοση και αποστέλλει ένα πλαίσιο CTS στον A. Τόσο το RTS όσο και το CTS πλαίσιο παρέχουν την ίδια τιμή στο πεδίο duration της επικεφαλίδας τους, σχετικά με την διάρκεια της συνολικής μετάδοσης του πλαισίου πληροφορίας. Με τον τρόπο αυτό, ακόμα και αν ο σταθμός C δεν λαμβάνει το RTS του A, λαμβάνει επιτυχώς το CTS του B. Συνεπώς, τροποποιεί σχετικά το NAV του και μέσω της ανίχνευσης εικονικού καναλιού, δεν μεταδίδει μέχρι να ολοκληρώσει την μετάδοση ο A. Η παραπάνω διαδικασία αποτρέπει επιτυχώς συγκρούσεις που οφείλονται στο πρόβλημα του κρυφού κόμβου.

3.5 Τεμαχισμός πλαισίων

Τα μεγάλα πακέτα που παραδίδονται από το LLC υποεπίπεδο στο MAC, χρειάζεται πολλές φορές να τεμαχιστούν για να αυξηθεί η αξιοπιστία της μετάδοσης. Για να καθορίσει το MAC κατά πόσο θα γίνει τεμαχισμός ή όχι, κάθε πακέτο συγκρίνεται με μια μεταβλητή που ονομάζεται κατώφλι τεμαχισμού. Αν το μέγεθος του πακέτου είναι μεγαλύτερο, χωρίζεται σε τμήματα. Τα πλαίσια που προκύπτουν έχουν το μέγεθος του κατωφλίου, εκτός από το τελευταίο που έχει μεταβλητό μήκος που δεν υπερβαίνει το κατώφλι. Τα πλαίσια που προέρχονται από τεμαχισμένα πακέτα μεταδίδονται το ένα μετά το άλλο περιμένοντας διάστημα SIFS. Συνεπώς, το κανάλι ελευθερώνεται αφού μεταδοθεί επιτυχώς ολόκληρο το πακέτο ή αν αποτύχει ο σταθμός αποστολής να λάβει επιβεβαίωση για κάποιο μεταδοθέν τμήμα. Όταν δεν ληφθεί κάποιο ACK, ο αποστολέας οφείλει να ανταγωνιστεί εκ νέου για την πρόσβαση στο κανάλι. Αφού αποκτήσει ξανά πρόσβαση μπορεί να μεταδώσει το τελευταίο ανεπιβεβαίωτο τμήμα.

3.6 Δομή πλαισίων του προτύπου 802.11

Το πρότυπο 802.11 ορίζει τρεις διαφορετικές κατηγορίες πλαισίων : τα πλαίσια δεδομένων, ελέγχου και διαχείρισης. Τα πλαίσια διαχείρισης (beacons, authentication, association) χρησιμοποιούνται για την συσχέτιση και την αποσυσχέτιση των σταθμών με το σημείο πρόσβασης, για χρονισμό, συγχρονισμό και έλεγχο αυθεντικότητας. Τα πλαίσια ελέγχου χρησιμοποιούνται κυρίως για επαληθεύσεις (ACK) και για τον μηχανισμό RTS/CTS στην λειτουργία DCF, αλλά και για λειτουργίες ελέγχου στην PCF λειτουργία. Τα πλαίσια δεδομένων χρησιμοποιούνται για την μετάδοση δεδομένων. Η τυποποιημένη μορφή του πλαισίου του 802.11 φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3-6: Τυποποιημένη μορφή του πλαισίου IEEE 802.11

Παρακάτω αναλύονται ξεχωριστά τα πεδία του πλαισίου :

- **Frame control** : Το πεδίο έλεγχος πλαισίου αποτελείται από 11 υποπεδία και έχει μέγεθος 2 byte.
 - **Protocol version (2 bits):** Έκδοση πρωτοκόλλου. Επιτρέπει να λειτουργούν ταυτόχρονα στην ίδια κυψέλη δύο εκδόσεις του πρωτοκόλλου.
 - **Type (2 bits):** Αναφέρεται στον τύπο του κάθε πλαισίου. Προσδιορίζει αν το πλαίσιο είναι διαχείρισης (00), ελέγχου (01), δεδομένων (10) ή απροσδιόριστο (11).
 - **Subtype (4 bits):** Προσδιορίζει περαιτέρω τον τύπο του πλαισίου (π.χ RTS, CTS)

- **To DS (1 bit):** Καθορίζει αν το πλαίσιο κατευθύνεται προς το δίκτυο υποδομής
 - **From DS (1 bit):** Καθορίζει αν το πλαίσιο προέρχεται από το δίκτυο υποδομής
 - **More Fragments (1 bit):** Δηλώνει αν έχει γίνει τεμαχισμός και ακολουθούν και άλλα πλαίσια
 - **Retry (1 bit):** Δηλώνει επαναμετάδοση πλαισίου που εστάλη νωρίτερα
 - **Power Management (1 bit):** Χρησιμοποιείται από το σημείο πρόσβασης για να θέσει τον δέκτη σε κατάσταση ηρεμίας ή να τον ενεργοποιήσει
 - **More Data (1 bit):** Ο αποστολέας έχει και άλλα πλαίσια για τον παραλήπτη
 - **WEP (1 bit):** Το κύριο μέρος του πλαισίου έχει κρυπτογραφηθεί με τον αλγόριθμο WEP
 - **Order (1 bit):** Αναφέρει στον παραλήπτη ότι μια ακολουθία πλαισίων στην οποία είναι ενεργοποιημένο αυτό το bit θα πρέπει να την επεξεργαστεί αυστηρά με τη σειρά
- **Duration / ID :** Έχει μέγεθος 2 bytes. Δείχνει για πόσο χρόνο θα καταλάβουν το κανάλι το πλαίσιο και η επιβεβαίωση του. Το πεδίο αυτό υπάρχει και στα πλαίσια ελέγχου, και είναι μέθοδος μέσω της οποίας οι υπόλοιποι σταθμοί διαχειρίζονται το μηχανισμό NAV.
 - **Address 1-4 :** Κάθε ένα από τα πεδία αυτά αποτελείται από 6 bytes. Περιέχουν διευθύνσεις, οι οποίες είναι όλες σύμφωνες με την τυπική μορφή του IEEE 802. Οι πρώτες δύο αφορούν τις διευθύνσεις προέλευσης και προορισμού. Οι άλλες δύο χρησιμοποιούνται για τους σταθμούς βάσης προέλευσης και προορισμού για την κίνηση μεταξύ διαφορετικών BSS.
 - **Sequence control:** Αποτελείται από 2 bytes και χρησιμοποιείται για την λειτουργία του τεμαχισμού και επανασυναρμολόγησης. Συγκεκριμένα επιτρέπει την αρίθμηση των θραυσμάτων. Από τα 16 bits τα 12 προσδιορίζουν το πλαίσιο και τα 4 προσδιορίζουν το θραύσμα.
 - **Frame body:** Το πεδίο δεδομένα περιέχει το ωφέλιμο φορτίο του πλαισίου και μπορεί να είναι μέχρι 4096 bytes.
 - **CRC:** Αποτελείται από 4 bytes. Είναι το άθροισμα ελέγχου που παράγεται από τον κυκλικό έλεγχο πλεονασμού (CRC). Χρησιμοποιείται από τον παραλήπτη για την ανίχνευση λαθών στο πλαίσιο όπως ακριβώς και στο IEEE 802.3. Το παράγον πολυώνυμο που χρησιμοποιείται ορίζεται από το πρότυπο και είναι το :

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το πρόγραμμα προσομοίωσης έχει σκοπό την εξομοίωση του πρωτοκόλλου CSMA/CA του προτύπου 802.11. Είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού C++ και υλοποιήθηκε στην πλατφόρμα προγραμματισμού Visual Studio 6 της Microsoft. Η επιλογή της C++ ως γλώσσα προγραμματισμού έγινε λόγω της αντικειμενοστραφούς προσέγγισης, καθώς και για την ασύγκριτη ταχύτητα εκτέλεσης του κώδικα που επιτυγχάνεται.

Ο προσομοιωτής είναι ένα πρόγραμμα που λειτουργεί σε DOS περιβάλλον. Αποτελείται από τρεις κλάσεις οι οποίες είναι οι : StationClass, SlotClass, StatClass. Η πρώτη διαχειρίζεται την κατάσταση των σταθμών του ασύρματου δικτύου. Η SlotClass κρατάει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των slots. Τέλος η StatClass κρατάει πληροφορίες σχετικές με τα αποτελέσματα που εμφανίζει το πρόγραμμα.

Ο προσομοιωτής δέχεται μια σειρά από παραμέτρους από τον χρήστη. Σκοπός δεν ήταν το πρόγραμμα να γίνει δύσχρηστο και κουραστικό. Η επιλογή τόσων παραμέτρων έγινε με γνώμονα την μέγιστη δυνατή παραμετροποίηση της προσομοίωσης. Δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να υλοποιήσει κάθε πιθανό σενάριο σχετικό με την οικογένεια προτύπων 802.11 .

4.1 Δεδομένα εισόδου του προγράμματος

Ο χρήστης μπορεί να εισάγει τις εξής παραμέτρους :

Αριθμός των σταθμών (number of nodes) : Το πλήθος των σταθμών που λαμβάνουν μέρος στην προσομοίωση.

Χρόνος προσομοίωσης (simulation duration) : Η συνολική διάρκεια προσομοίωσης σε δευτερόλεπτα .

Μέσο ωφέλιμο φορτίο για κάθε πακέτο (mean packet payload) : Όπως ήδη περιγράφηκε, τα πλαίσια του επιπέδου MAC μπορούν να έχουν μεταβλητό ωφέλιμο φορτίο που όμως δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 32768 bits (4 Kbytes). Μεγαλύτερο ωφέλιμο φορτίο συνεπάγεται μεγαλύτερο μέγεθος πλαισίου οπότε και μεγαλύτερη απόδοση του δικτύου. Όμως αυξάνει και την συνολική καθυστέρηση μετάδοσης. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει για μέση τιμή του ωφέλιμου φορτίου σε bits.

Μέγεθος του κατωφλιού RTS (RTS threshold) : Ο χρήστης δίνει μια τιμή σε bits. Αν το πλαίσιο προς μετάδοση είναι μεγαλύτερο από την τιμή αυτή, το πλαίσιο μεταδίδεται με τον μηχανισμό RTS/CTS. Αλλιώς μεταδίδεται με τον βασικό μηχανισμό.

Ρυθμός μετάδοσης καναλιού (channel data rate) : Ο χρήστης δίνει τον ρυθμό μετάδοσης του καναλιού σε Kbits/sec.

Φυσικό επίπεδο (physical layer) : Ο χρήστης εισάγει την τεχνική φυσικής μετάδοσης που χρησιμοποιείται. Δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει όχι μόνο μεταξύ των τεχνικών του προτύπου 802.11 (DSSS, FHSS, IR) αλλά και τεχνικών των προτύπων 802.11a, 802.11b, 802.11g. Οι επιλογές που δίνονται είναι : DSSS, FHSS, OFDM, IR .

4.2 Δεδομένα εξόδου του προγράμματος

Τα αποτελέσματα του προγράμματος είναι τα εξής :

Απόδοση καναλιού (channel Throughput) : Περιγράφει την πραγματική ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων του καναλιού. Ως γνωστόν, το πρότυπο απλά δίνει μια μέγιστη απόδοση καναλιού η οποία επιτυγχάνεται σε ιδανικές συνθήκες. Το Throughput εκφράζει την πραγματική απόδοση, δηλαδή τα συνολικά ωφέλιμα bits που μεταδόθηκαν στην μονάδα του χρόνου. Μετριέται σε bps.

$$Throughput = \frac{transmitted_bits}{simulation_duration}$$

Μέσος όρος καθυστέρησης μετάδοσης για κάθε σταθμό (station delay) : Εκφράζει τον συνολικό χρόνο που καθυστέρησαν όλα τα πακέτα που μεταδόθηκαν για κάθε σταθμό, προς τον αριθμό των πακέτων που μεταδόθηκαν.

$$station_delay = \frac{total_delay_for_all_transmitted_bits}{total_transmitted_bits}$$

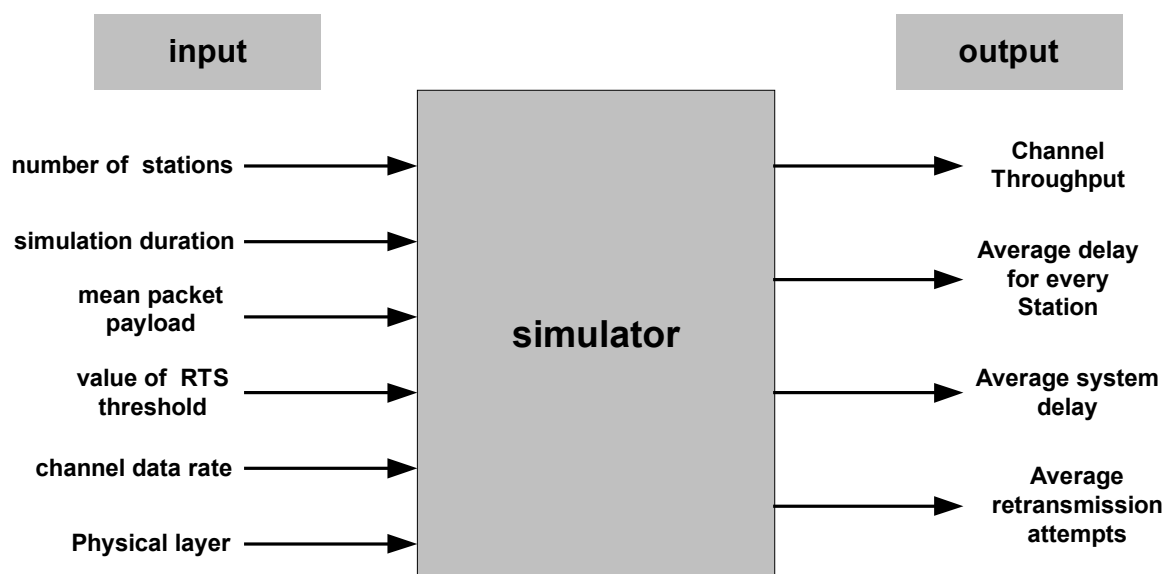
Μέσος όρος καθυστέρησης του συστήματος (average delay) : Εκφράζει τον μέσο όρο των μέσων όρων καθυστέρησης για κάθε σταθμό. Δίνει την συνολική καθυστέρηση μετάδοσης για το σύστημα κατά την διάρκεια του χρόνου εξομοίωσης.

$$average_delay = \frac{1}{total_stations} \sum_{i=1}^{total_stations} station_delay(seconds)$$

Μέσος όρος επαναμεταδόσεων (retransmission attempts) : Εκφράζει τον μέσο όρο των συνολικών επαναμεταδόσεων για κάθε σταθμό. Είναι ο μέσος όρος των συνολικών προσπαθειών επαναμετάδοσης του κάθε σταθμού προς τον αριθμό των επιτυχών μεταδόσεων.

$$average_retransmission_Attempts = \frac{1}{total_stations} \sum_{i=1}^{total_stations} \frac{total_retransmission_attempt}{total_transmission_attempts}$$

Συνολικά τα δεδομένα εισόδου και εξόδου του προγράμματος προσομοίωσης φαίνονται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 4-1: Δεδομένα εισόδου - εξόδου

4.3 Λεπτομερής περιγραφή του προσομοιωτή

4.3.1 Κλάσεις

Εδώ περιγράφονται οι κλάσεις και κυρίως οι μεταβλητές των κλάσεων. Δεν αναφέρονται οι συναρτήσεις constructors, destructors καθώς και οι accessor functions

4.3.1.1 StationClass

Η κλάση StationClass περιγράφει την κατάσταση του κάθε σταθμού. Οι μεταβλητές της φαίνονται στο παρακάτω σχήμα :

```
//StationClass declaration
class StationClass
{
//member variables
private:
int contWind;
int startTrans;
bool wantTrans;
float retrAtts;
int succTrans;
int totalDelay;
int delay;
int backoff;
public:
.....
};
```

Σχήμα 4-2:Οι μεταβλητές της κλάσης StationClass

backoff : Κρατείται η τρέχουσα τιμή του μετρητή backoff του αλγόριθμου δυαδικής εκθετικής οπισθοχώρησης

contWind : Κρατείται η τρέχουσα τιμή του παραθύρου ανταγωνισμού (contention window)

startTrans : Κρατείται ο χρόνος που ο σταθμός αρχίζει να μεταδίδει

wantTrans : Κρατείται αν ο σταθμός θέλει ή όχι να μεταδώσει κάποιο πλαίσιο

retrAtts : Ο αριθμός των επαναμεταδόσεων που έχει κάνει ο σταθμός

succTrans : Ο αριθμός των επιτυχών μεταδόσεων του σταθμού

totalDelay : Κρατείται η συνολική καθυστέρηση για όλα τα πακέτα που μετάδωσε ο σταθμός

delay : Κρατείται ο συνολικός χρόνος που καθυστέρησαν όλα τα πακέτα που μεταδόθηκαν απο τον σταθμό, προς τον αριθμό των πακέτων που μετέδωσε.

$$station(i).delay = \frac{station(i).totalDelay}{station(i).succTrans}$$

4.3.1.2 SlotClass

Η κλάση SlotClass κρατάει πληροφορίες σχετικά με την συνολική κατάσταση των slots. Οι μεταβλητές της φαίνονται στο παρακάτω σχήμα .

```
//SlotClass declaration
class SlotClass
{
//member variables
private:
int total;
int successful;
int collision;
int empty;

public:
.....
};
```

Σχήμα 4-3:Οι μεταβλητές της κλάσης SlotClass

total : Ο τρέχων χρόνος εξομοίωσης

successful : Ο αριθμός των slots όπου διεξάχθηκαν επιτυχείς μεταδόσεις

collision : Ο αριθμός των slots όπου διεξάχθηκαν συγκρούσεις

empty : Ο αριθμός των slots όπου κανείς σταθμός δεν ήθελε να μεταδώσει

4.3.1.3 StatClass

Η κλάση StatClass κρατάει τα συνολικά αποτελέσματα και στατιστικά του προσομοιωτή. Οι μεταβλητές της φαίνονται στο σχήμα

```
//StatClass declaration
class StatClass
{
private:
float throughout;
double delay;
float retrAtts;
double payldBits;

public:
.....
};
```

Σχήμα 4-4:Οι μεταβλητές της κλάσης StatClass

PayldBits : Κρατούνται τα συνολικά ωφέλιμα bits που μεταδόθηκαν

Throughput : Η απόδοση του δικτύου

$$stat.throughput = \frac{stat.payldBits}{max Slots * slotTime}$$

όπου $\max Slots$ το δίνει ο χρήστης (συνολικός χρόνος προσομοίωσης) και $slotTime$ μια σταθερά που δίνει την διάρκεια του κάθε slot σε δευτερόλεπτα

delay : Εκφράζει τον μέσο όρο των μέσων όρων καθυστέρησης για κάθε σταθμό. Δίνει την συνολική καθυστέρηση μετάδοσης για το σύστημα κατά την διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης.

$$stat.delay = \frac{1}{\max Stations} \sum_{i=1}^{\max Stations} station(i).delay * slotTime$$

όπου $\max Stations$ είναι ο συνολικός αριθμός σταθμών που δίνει ο χρήστης

retrAtts : Εκφράζει τον μέσο όρο των συνολικών επαναμεταδόσεων για κάθε σταθμό. Είναι ο μέσος όρος των συνολικών προσπαθειών επαναμετάδοσης του κάθε σταθμού προς τον αριθμό των επιτυχών μεταδόσεων.

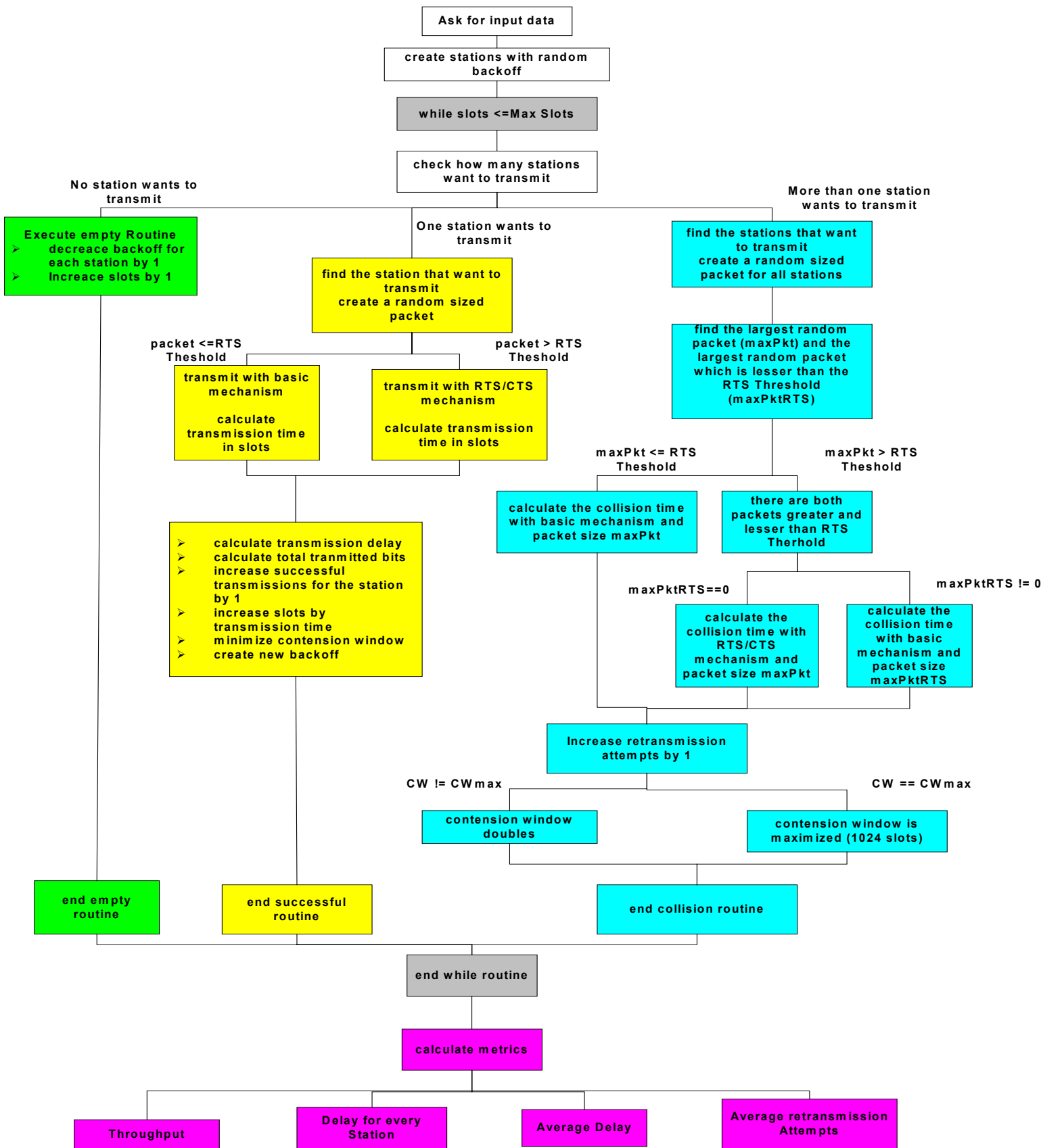
$$stat.retrAtts = \frac{1}{\max Stations} \sum_{i=1}^{\max Stations} \frac{station(i).retrAtts}{station(i).sucTrans}$$

4.4 Δομή του προγράμματος προσομοίωσης

Η δομή του προσομοιωτή έχει ως εξής :

1. Ζητούνται τα δεδομένα εισόδου
2. Για κάθε slot εξετάζεται αν κανένας, ένας ή περισσότεροι κόμβοι θέλουν να μεταδώσουν και αναλόγως το slot καθορίζεται ως empty, successful ή collision. Για κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις εκτελείται η αντίστοιχη διαδικασία
3. Υπολογίζονται τα στατιστικά αποτελέσματα

Σχηματικά η διαδικασία περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 4-5: Σχηματική περιγραφή του κώδικα

Αρχικά το πρόγραμμα ζητάει από τον χρήστη τον αριθμό των σταθμών , την διάρκεια προσομοίωσης σε δευτερόλεπτα, την μέση τιμή του ωφέλιμου φορτίου του πλαισίου σε bits, την τιμή του RTS κατωφλιού, τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων του καναλιού σε Kbits./sec και το φυσικό επίπεδο. Ανάλογα με την επιλογή του φυσικού επιπέδου (DSSS, FHSS, OFDM, IR) καθορίζονται οι χρόνοι SIFS και Slot Time (άρα και το DIFS), το μέγεθος της μεταβλητής CwMin η οποία εκφράζει το ελάχιστο του παραθύρου ανταγωνισμού, καθώς και ο χρόνος που χρειάζεται να μεταδοθεί η επικεφαλίδα του υποεπιπέδου PLCP από το εκάστοτε φυσικό επίπεδο ο οποίος είναι ανεξάρτητος ρυθμού μετάδοσης (PHY trans time). Οι τιμές αυτές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα .

Παράμετροι που καθορίζονται από το φυσικό επίπεδο

| | Slot Time (sec) | SIFS (sec) | CW min (slots) | PHY trans time (sec) |
|-------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------------|
| DSSS | 0,000020 | 0,000010 | 32 | 0,000192 |
| FHSS | 0,000050 | 0,000028 | 16 | 0,000128 |
| OFDM | 0,000009 | 0,000016 | 16 | 0,000022 |
| IR | 0,000008 | 0,000010 | 64 | 0,000060 |

Έπειτα δημιουργούνται οι σταθμοί και αποθηκεύονται σε πίνακα (stations(i)). Υπολογίζεται για κάθε σταθμό μια τυχαία τιμή για την μεταβλητή backoff από το διάστημα 0 – CwMin .

Εκτελείται ένας βρόγχος while όπου ελέγχεται για κάθε slot η κατάσταση των σταθμών.

Ελέγχονται όλοι οι σταθμοί. Όσοι έχουν backoff μηδέν, θέτουν true την μεταβλητή wantTrans. Μετά καταμετρούνται στην μεταβλητή sum πόσοι σταθμοί έχουν wantTrans = true. Αν δεν θέλει κανείς σταθμός να μεταδώσει εκτελείται η διαδικασία empty. Αν θέλει ένας σταθμός να μεταδώσει, εκτελείται η διαδικασία successful. Αν παραπάνω από ένας σταθμός θέλει να μεταδώσει εκτελείται η διαδικασία collision. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε slot μέχρι την τιμή maxSlots.

Τέλος υπολογίζονται τα δεδομένα εξόδου, δηλαδή η απόδοση του δικτύου, η καθυστέρηση για κάθε σταθμό, η συνολική καθυστέρηση του δικτύου και ο μέσος όρος των επαναμεταδόσεων, σύμφωνα με τους τύπους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

4.4.1 Διαδικασία empty

Αυξάνεται ο τρέχον χρόνος προσομοίωσης κατά ένα slot.. Μειώνεται κατά ένα η μεταβλητή backoff για όλους τους σταθμούς.

4.4.2 Διαδικασία successful

Βρίσκεται ο σταθμός που θέλει να μεταδώσει. Για τον σταθμό αυτό γεννάται ένα πακέτο, το ωφέλιμο φορτίο του οποίου ακολουθεί εκθετική κατανομή. Η διαδικασία γίνεται με την συνάρτηση αντίστροφης κατανομής. Συγκεκριμένα, το πακέτο δίνεται από τον τύπο :

$$\text{pktPayld} = (\text{int}) (-\text{pktMean} * \log (R));$$

όπου pktMean είναι το μέσο ωφέλιμο φορτίο του πλαισίου που δίνει ο χρήστης και R είναι ένας αριθμός από το μηδέν μέχρι το ένα, που έχει προκύψει από μια γεννήτρια εκθετικά καταναμημένων αριθμών.

$$R = \frac{(float)rand()}{(float)(RAND_MAX + 1)}$$

Εάν το πακέτο που προέκυψε είναι μεγαλύτερο από το κατώφλι RTS μεταδίδεται με τον μηχανισμό RTS/CTS. Αλλιώς μεταδίδεται με τον βασικό μηχανισμό. Ο χρόνος επιτυχούς μετάδοσης για τον βασικό μηχανισμό είναι : ένα DIFS πριν την μετάδοση συν ο χρόνος να μεταδοθεί το ωφέλιμο φορτίο του πλαισίου, η MAC επικεφαλίδα και το ACK συν ένα SIFS μεταξύ πλαισίου και ACK συν τον χρόνο μετάδοσης του φυσικού επιπέδου για το πλαίσιο και το ACK (2*PHY). Ο χρόνος PHY δεν εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης αλλά μόνο από την τεχνική μετάδοσης.

$$suc_basic_duration = \frac{MAC + pktPayld + ACK}{channel_data_rate} + 2 * PHY + DIFS + SIFS$$

Αντίθετα ο χρόνος επιτυχούς μετάδοσης με τον RTS/CTS μηχανισμό είναι όσο του βασικού μηχανισμού συν την καθυστέρηση που εισάγουν τα δύο πλαίσια ελέγχου RTS και CTS.

$$suc_RTS/CTS_duration = \frac{MAC + pktPayld + ACK + RTS + CTS}{channel_data_rate} + 4 * PHY + DIFS + 3 * SIFS$$

Εφόσον υπολογιστεί ο χρόνος επιτυχούς μετάδοσης (sucDur) ανάλογα την περίπτωση, αυξάνεται ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης (slots.total) κατά sucDur και αυξάνεται και ο αριθμός των slots για επιτυχημένη μετάδοση κατά sucDur. Αυξάνεται ο αριθμός των ολικών ωφέλιμων bits που μεταδόθηκαν κατά pktPayld. Για τον σταθμό που μετάδωσε αυξάνεται κατά ένα η μεταβλητή succTrans, η μεταβλητή contWind γίνεται όσο το CwMin, η wantTrans γίνεται false, αποθηκεύεται ο χρόνος που άρχισε να μεταδίδει ο σταθμός στην startTrans και τέλος υπολογίζεται η καθυστέρηση της μετάδοσης (slots.total – station.startTrans) και προστίθεται στην μεταβλητή totalDelay.

4.4.3 Διαδικασία collision

Αρχικά βρίσκονται οι σταθμοί που θέλουν να μεταδώσουν και για κάθε ένα από αυτούς γεννιάται ένα πλαίσιο με τυχαίο μέγεθος ωφέλιμου φορτίου με τον ίδιο τρόπο που παρουσιάστηκε παραπάνω.

Έπειτα το πρόγραμμα εξετάζει το μέγεθος των πλαισίων των εμπλεκόμενων σταθμών για να καθορίσει την διάρκεια της σύγκρουσης (colDur).

Αν η μετάδοση γίνει με τον βασικό μηχανισμό η διάρκεια της σύγκρουσης είναι ένα DIFS πριν την μετάδοση συν τον χρόνο να μεταδοθεί το πλαίσιο συν τον χρόνο μετάδοσης του φυσικού επιπέδου

$$col_basic_duration = \frac{MAC + pktPayld}{channel_data_rate} + PHY + DIFS$$

Αντίθετα, η διάρκεια της σύγκρουσης όταν χρησιμοποιείται ο μηχανισμός RTS/CTS είναι πολύ μικρότερη γιατί η σύγκρουση γίνεται στην αποστολή του πλαισίου RTS. Ισούται με :

$$col_RTS/CTS_duration = \frac{RTS}{channel_data_rate} + DIFS + PHY$$

Ελέγχονται τα πλαίσια που προέκυψαν, και βρίσκονται το μεγαλύτερο πλαίσιο (maxPkt) και το μεγαλύτερο πλαίσιο που όμως είναι μικρότερο από το RTS κατώφλι (maxPktRTS).

- Εάν το maxPkt είναι μικρότερο ή ίσο με το κατώφλι RTS όλα τα πλαίσια μεταδίδονται με τον βασικό μηχανισμό και υπολογίζεται ο χρόνος σύγκρουσης (colDur) με τον τύπο του βασικού μηχανισμού με PktPayld = maxPkt

$$colDur = \frac{MAC + \max Pkt}{channel_data_rate} + PHY + DIFS$$

- Αλλιώς,

- Αν δεν βρεθούν πλαίσια μικρότερα του κατωφλιού RTS (maxPktRTS=0) όλα τα πλαίσια μεταδίδονται με τον μηχανισμό RTS/CTS και

$$colDur = \frac{RTS}{channel_data_rate} + DIFS + PHY$$

- Αν υπάρχουν πλαίσια και μικρότερα και μεγαλύτερα του κατωφλιού RTS, η διάρκεια της σύγκρουσης υπολογίζεται με τον τύπο του βασικού μηχανισμού και PktPayld = maxPktRTS. Αυτό ισχύει γιατί η σύγκρουση διαρκεί τόσο όσο ο μεγαλύτερος χρόνος μετάδοσης πλαισίου. Αυτός είναι ο χρόνος του μεγαλύτερου πλαισίου που μεταδίδεται με τον βασικό μηχανισμό.

$$colDur = \frac{MAC + \max PktRTS}{channel_data_rate} + PHY + DIFS$$

Εφόσον το πρόγραμμα βρει την διάρκεια της σύγκρουσης, αυξάνει τις μεταβλητές slots.collision και slots.total κατά colDur. Επίσης για κάθε εμπλεκόμενο σταθμό θέτει τιμή στην μεταβλητή station.contWind ως εξής :

- Αν η contWind δεν είναι ίση με CwMax , την διπλασιάζει
- Αν η contWind είναι ίση με CwMax την αφήνει αμετάβλητη

Τέλος θέτει για κάθε εμπλεκόμενο σταθμό την μεταβλητή wantTrans σε false, αυξάνει κατά ένα τις προσπάθειες επαναμετάδοσης (μεταβλητή retrAtts) και επιλέγει νέα τυχαία τιμή για την μεταβλητή backoff μεταξύ των τιμών μηδέν και contWind .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Αξιολόγηση του πρωτοκόλλου

Το πρόγραμμα προσομοίωσης που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4 χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή μετρήσεων με σκοπό την αξιολόγηση του προτύπου 802.11 καθώς και των παραλλαγών του 802.11a, 802.11b, 802.11g. Οι μετρήσεις αυτές αφορούν τα εξής:

- Απόδοση του δικτύου (Throughput) συναρτήσει του αριθμού των σταθμών
- Μέση καθυστέρηση μετάδοσης του δικτύου (average system delay) συναρτήσει του αριθμού των σταθμών
- Μέσος αριθμός επαναμεταδόσεων πλαισίων (average retransmission attempts) συναρτήσει του αριθμού των σταθμών
- Δυναμικότητα του δικτύου (system capacity) συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων

Η συνολική μελέτη των παραπάνω αποτελεσμάτων, μπορεί να δώσει μια σφαιρική άποψη για την επίδοση του πρωτοκόλλου CSMA/CA.

Οι παραπάνω μετρήσεις έγιναν με την παραδοχή ότι όλοι οι σταθμοί έχουν συνέχεια πλαίσια προς μετάδοση (saturation). Με την παραδοχή αυτή, τα αποτελέσματα των μετρήσεων προσεγγίζουν καλύτερα την πραγματικότητα, στην οποία οι σταθμοί σε ένα τοπικό δίκτυο ανταλλάσσουν συχνά μηνύματα.

Ο χρόνος προσομοίωσης για κάθε μέτρηση ήταν μία ώρα (3600 seconds), γεγονός που διασφαλίζει την εγκυρότητα των μετρήσεων.

5.1 Απόδοση του δικτύου (Throughput) συναρτήσει του αριθμού των σταθμών

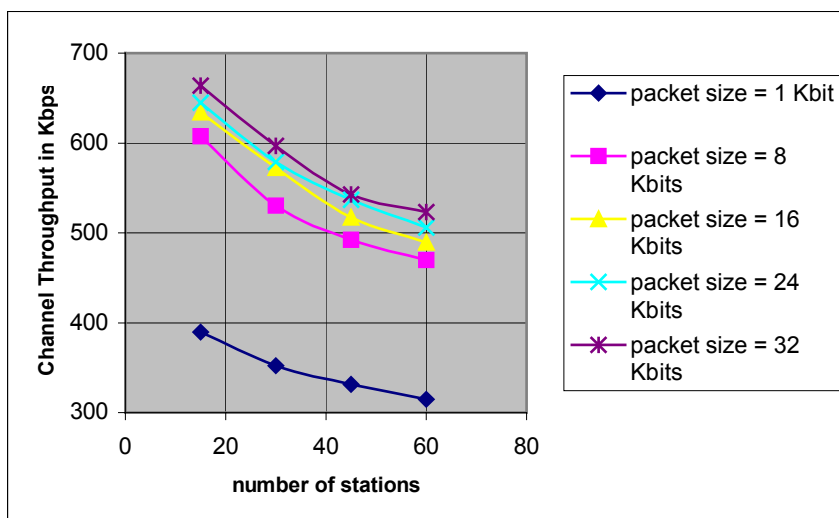
Σε αυτήν την κατηγορία μετρήσεων εκφράζεται η απόδοση του δικτύου σε συνάρτηση με το πλήθος των σταθμών, όπου όλοι οι σταθμοί έχουν πάντα πακέτα προς μετάδοση (saturation throughput). Για να υπάρχει μία συνολική εικόνα για το πόσο επηρεάζεται η απόδοση, πρέπει να μελετηθούν ξεχωριστά τα εξής :

- Εξάρτηση της απόδοσης από το μέγεθος πλαισίου συναρτήσει του πλήθους των σταθμών
- Εξάρτηση της απόδοσης από το μέγεθος του κατωφλιού RTS συναρτήσει του πλήθους των σταθμών
- Εξάρτηση της απόδοσης από το φυσικό επίπεδο συναρτήσει του πλήθους των σταθμών
- Εξάρτηση της απόδοσης από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων συναρτήσει του πλήθους των σταθμών
- Εξάρτηση της απόδοσης από το μέγεθος πακέτου συναρτήσει του πλήθους των σταθμών

5.1.1 Εξάρτηση της απόδοσης από το μέγεθος πακέτου συναρτήσει του πλήθους των σταθμών

Για τις συγκεκριμένες μετρήσεις το RTS κατώφλι παρέμεινε σταθερό στην τιμή 32768 bits (μετάδοση μόνο με τον βασικό μηχανισμό). Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων τέθηκε στο 1 Mbps και χρησιμοποιήθηκε ως φυσικό μέσο η FHSS. Διαφορετικές τιμές στις παραπάνω μεταβλητές δεν θα αλλοίωναν τα αποτελέσματα. Απλά θα δημιουργούσαν γραφικές παραστάσεις ελαφρά

τροποποιημένες ή μετατοπισμένες. Η προσέγγιση αυτή ακολουθείται σε όλες τις επόμενες μετρήσεις, με τις μεταβλητές που δεν επιδρούν άμεσα στα αναμενόμενα αποτελέσματα.



Σχήμα 5-1: Εξάρτηση του throughput από το μέγεθος πλαισίου

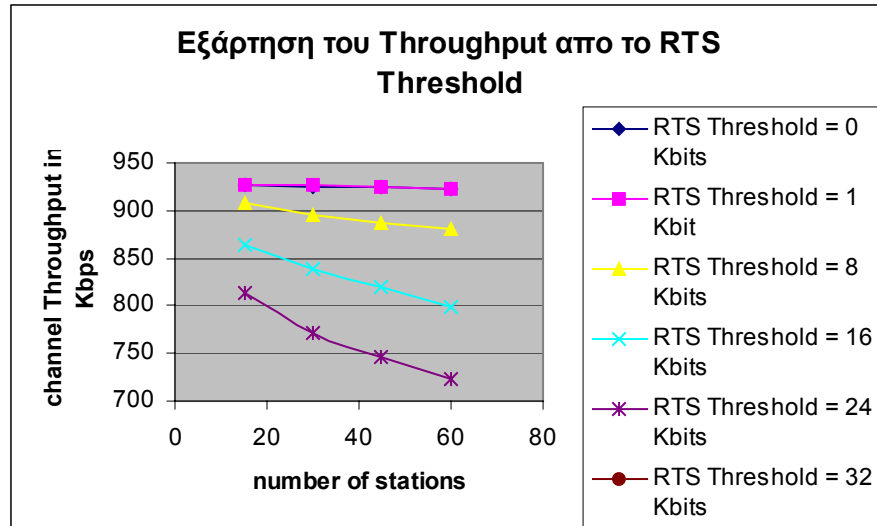
| nodes | 1 Kbit | 8Kbits | 16 Kbits | 24 Kbits | 32 Kbits |
|-------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 15 | 389.403 | 607.338 | 634.327 | 644.752 | 663.964 |
| 30 | 352.126 | 530.059 | 572.374 | 579.057 | 596.663 |
| 45 | 331.356 | 492.051 | 516.959 | 536.912 | 542.445 |
| 60 | 314.609 | 469.876 | 489.436 | 505.792 | 523.033 |

Από την γραφική παράσταση γίνεται εμφανές ότι όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του πλαισίου τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση του δικτύου.

Επίσης όσο αυξάνεται το πλήθος των σταθμών, ελαττώνεται δραματικά η απόδοση του δικτύου. Σημαντικός λόγος για την πτώση της απόδοσης είναι η αποκλειστική χρήση του βασικού μηχανισμού μετάδοσης. Αν είχε χρησιμοποιηθεί μικρότερο μέγεθος RTS κατωφλιού, η πτώση της απόδοσης θα ήταν σημαντικά μικρότερη. Μεγαλύτερος ρυθμός μετάδοσης θα μετατόπιζε την γραφική παράσταση προς τα πάνω, ενώ διαφορετικό φυσικό επίπεδο δεν θα επέφερε σημαντική αλλαγή.

5.1.2 Εξάρτηση της απόδοσης από το μέγεθος του κατωφλιού RTS συναρτήσει του πλήθους των σταθμών

Για την ομάδα των μετρήσεων αυτών τέθηκε σταθερό μέγεθος πακέτου 32768 bits (4 Kbytes). Ο ρυθμός μετάδοσης του καναλιού ήταν 1 Mbps και η τεχνική μετάδοσης η FHSS.



Σχήμα 5-2: Εξάρτηση του Throughput από το RTS threshold

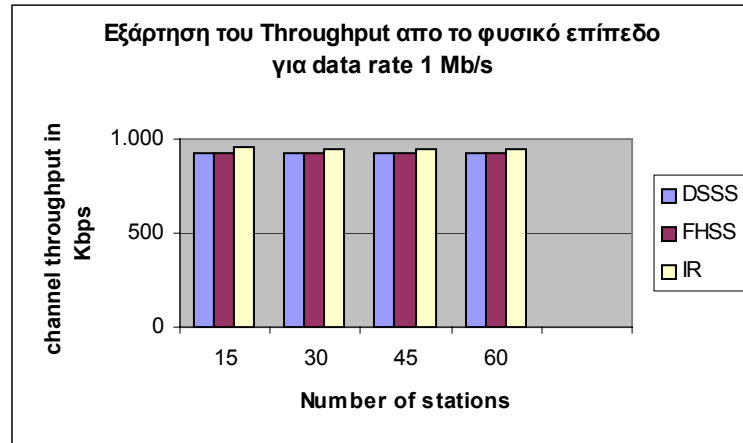
| nodes | 0 Kbit | 1 Kbits | 8Kbits | 16 Kbits | 24 Kbits | 32 Kbits |
|-------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 15 | 927.924 | 927.552 | 907.585 | 864.710 | 813.735 | 669.490 |
| 30 | 925.256 | 925.992 | 895.952 | 837.657 | 770.408 | 597.676 |
| 45 | 924.511 | 924.399 | 887.599 | 819.099 | 745.664 | 555.061 |
| 60 | 923.141 | 922.560 | 879.866 | 799.143 | 722.530 | 520.030 |

Η παραπάνω γραφική παράσταση επιβεβαιώνει ότι όσο μικρότερο είναι το RTS κατώφλι – δηλαδή, όσο περισσότερο χρησιμοποιείται ο RTS/CTS μηχανισμός- τόσο πιο υψηλή είναι η απόδοση του δικτύου. Επίσης, όσο πιο μικρό είναι το κατώφλι, τόσο λιγότερο φθίνει η απόδοση, όσο μεγαλώνει το πλήθος των σταθμών.

Αν είχε χρησιμοποιηθεί μικρότερο μέγεθος πλαισίου, η γραφική παράσταση θα ήταν μετατοπισμένη προς τα κάτω. Τέλος, μεγαλύτερος ρυθμός θα μετατόπιζε τη γραφική παράσταση προς τα πάνω. Διαφορετικό φυσικό επίπεδο δεν θα επέφερε σημαντική αλλαγή.

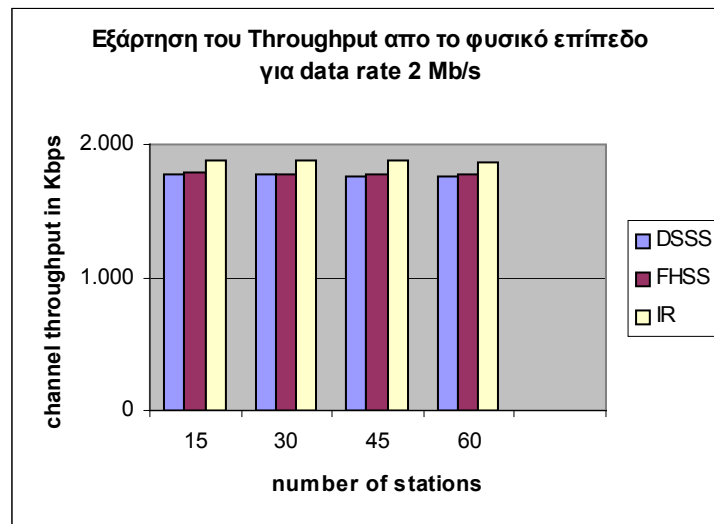
5.1.3 Εξάρτηση της απόδοσης από το φυσικό επίπεδο συναρτήσεως του πλήθους των σταθμών

Για τις μετρήσεις τέθηκε σταθερό το μέγεθος πλαισίου (32768 bits), κατώφλι RTS μηδέν και ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps.



Σχήμα 5-3: Εξάρτηση του Throughput από το φυσικό επίπεδο για data rate 1 Mb/s

| nodes | DSSS | FHSS | IR |
|-------|---------|---------|---------|
| 15 | 925.916 | 927.551 | 952.818 |
| 30 | 924.491 | 925.977 | 952.063 |
| 45 | 922.273 | 924.714 | 951.583 |
| 60 | 921.840 | 923.163 | 950.961 |



Σχήμα 5-4: Εξάρτηση του Throughput από το φυσικό επίπεδο για data rate 2 Mb/s

| nodes | DSSS | FHSS | IR |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 15 | 1.776.090 | 1.783.390 | 1.877.340 |
| 30 | 1.773.280 | 1.779.110 | 1.874.750 |
| 45 | 1.766.480 | 1.774.990 | 1.874.220 |
| 60 | 1.764.450 | 1.772.040 | 1.872.140 |

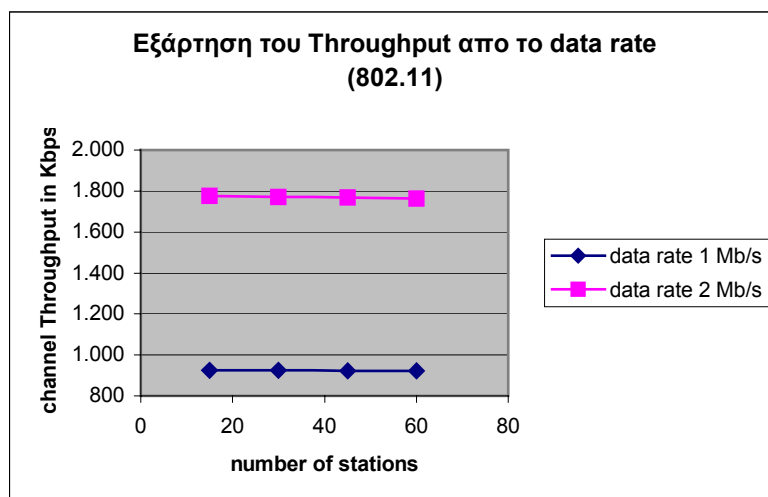
Η τεχνική IR προσφέρει και για τους δύο ρυθμούς μετάδοσης την καλύτερη απόδοση. Η απόδοση φθίνει ελάχιστα αυξάνοντας το πλήθος των σταθμών. Για μεγαλύτερο κατώφλι RTS ή μικρότερο μέγεθος πλαισίου οι τιμές θα ήταν μετατοπισμένες προς τα κάτω.

5.1.4 Εξάρτηση της απόδοσης από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων συναρτήσει του πλήθους των σταθμών

Για την συγκεκριμένη ομάδα μετρήσεων τέθηκε μήκος πλαισίου 32768 bits και κατώφλι RTS μηδέν. Η επιλογές αυτές έγιναν με σκοπό να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση του δικτύου συναρτήσει των σταθμών. Με διαφορετικές τιμές των παραπάνω μεταβλητών η απόδοση είναι αισθητά χαμηλότερη και περισσότερο φθίνουσα. Στο τέλος του υποκεφαλαίου θα παρουσιαστούν ενδεικτικά κάποιες γραφικές παραστάσεις για την απόδειξη του γεγονότος αυτού.

5.1.4.1 Απόδοση για ρυθμούς 1 και 2 Mbps (πρότυπο 802.11)

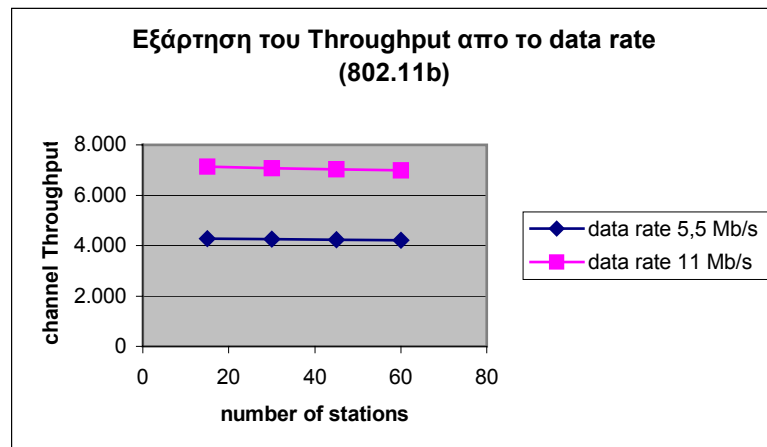
Χρησιμοποιήθηκε το φυσικό επίπεδο DSSS. Για διαφορετική επιλογή δεν θα υπήρχαν σημαντικές αλλαγές.



Σχήμα 5-5: Εξάρτηση του throughput από το data rate (802.11)

| nodes | 1 Mb/s | 2 Mb/s |
|-------|---------|-----------|
| 15 | 925.713 | 1.775.880 |
| 30 | 924.382 | 1.771.450 |
| 45 | 922.701 | 1.767.470 |
| 60 | 921.668 | 1.763.780 |

5.1.4.2 Απόδοση για ρυθμούς 5,5 και 11 Mbps (πρότυπο 802.11b)



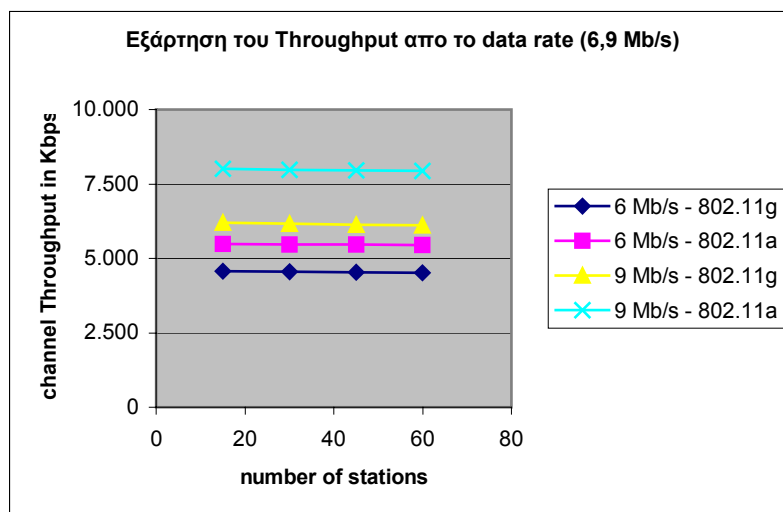
Σχήμα 5-6: Εξάρτηση του throughput από το data rate (802.11b)

| nodes | 5,5 Mb/s | 11 Mb/s |
|-------|-----------|-----------|
| 15 | 4.267.800 | 7.126.320 |
| 30 | 4.251.040 | 7.071.760 |
| 45 | 4.228.060 | 7.030.430 |
| 60 | 4.213.150 | 6.993.150 |

Η απόδοση φθίνει ελάχιστα όσο οι σταθμοί πληθαίνουν. Καίριο ρόλο στο γεγονός αυτό, διαδραματίζει η ελάχιστη τιμή του κατωφλιού RTS. Για μεγαλύτερο κατώφλι η απόδοση φθίνει σημαντικά. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε όλες τις παρακάτω μετρήσεις.

5.1.4.3 Απόδοση για ρυθμούς 6 και 9 Mbps για φυσικά επίπεδα DSSS και OFDM

Ουσιαστικά μετριέται η απόδοση για ρυθμούς 6 και 9 Mbps στα πρότυπα 802.11g (επίπεδο DSSS) και 802.11a (επίπεδο OFDM).

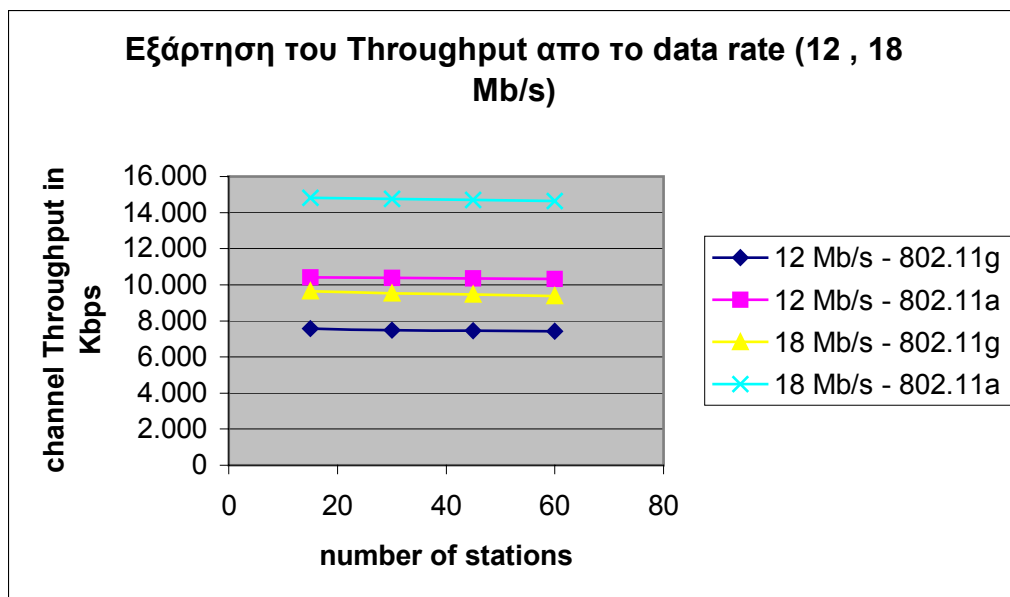


Σχήμα 5-7: Εξάρτηση του throughput από το data rate (6,9 Mb/s)

| nodes | 6 Mb/s 802.11g | 6 Mb/s 802.11a | 9 Mb/s 802.11g | 9 Mb/s 802.11a |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 15 | 4.575.830 | 5.484.230 | 6.203.050 | 8.005.310 |
| 30 | 4.552.130 | 5.470.800 | 6.169.760 | 7.981.960 |
| 45 | 4.535.900 | 5.460.440 | 6.128.020 | 7.961.070 |
| 60 | 4.515.940 | 5.453.320 | 6.107.430 | 7.945.590 |

Παρατηρείται ότι το 802.11a έχει πολύ καλύτερη απόδοση από το 802.11g για αντίστοιχους ρυθμούς μετάδοσης.

5.1.4.4 Απόδοση για ρυθμούς 12 και 18 Mbps για φυσικά επίπεδα DSSS και OFDM (802.11g και 802.11a)

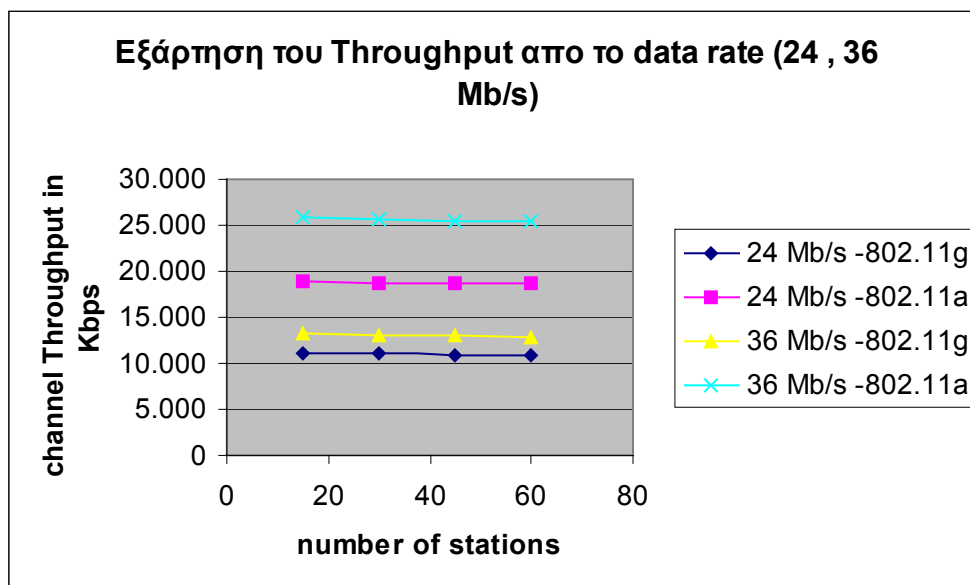


Σχήμα 5-8: Εξάρτηση του throughput από το data rate (12,18 Mb/s)

| nodes | 12 Mb/s -802.11g | 12 Mb/s -802.11a | 18 Mb/s -802.11g | 18 Mb/s -802.11a |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 15 | 7.560.190 | 10.399.800 | 9.631.010 | 14.809.900 |
| 30 | 7.486.490 | 10.366.900 | 9.531.900 | 14.748.500 |
| 45 | 7.453.410 | 10.342.000 | 9.457.710 | 14.685.500 |
| 60 | 7.409.380 | 10.317.200 | 9.385.410 | 14.640.300 |

Το 802.11a έχει πολύ καλύτερη απόδοση από το 802.11g για αντίστοιχους ρυθμούς μετάδοσης. Παρατηρείται ότι η απόδοση στον χαμηλότερο ρυθμό (12 Mbps) στο 802.11a είναι υψηλότερη από την απόδοση στον υψηλότερο ρυθμό (18 Mbps) στο 802.11g.

5.1.4.5 Απόδοση για ρυθμούς 24 και 36 Mbps για φυσικά επίπεδα DSSS και OFDM (802.11g και 802.11a)

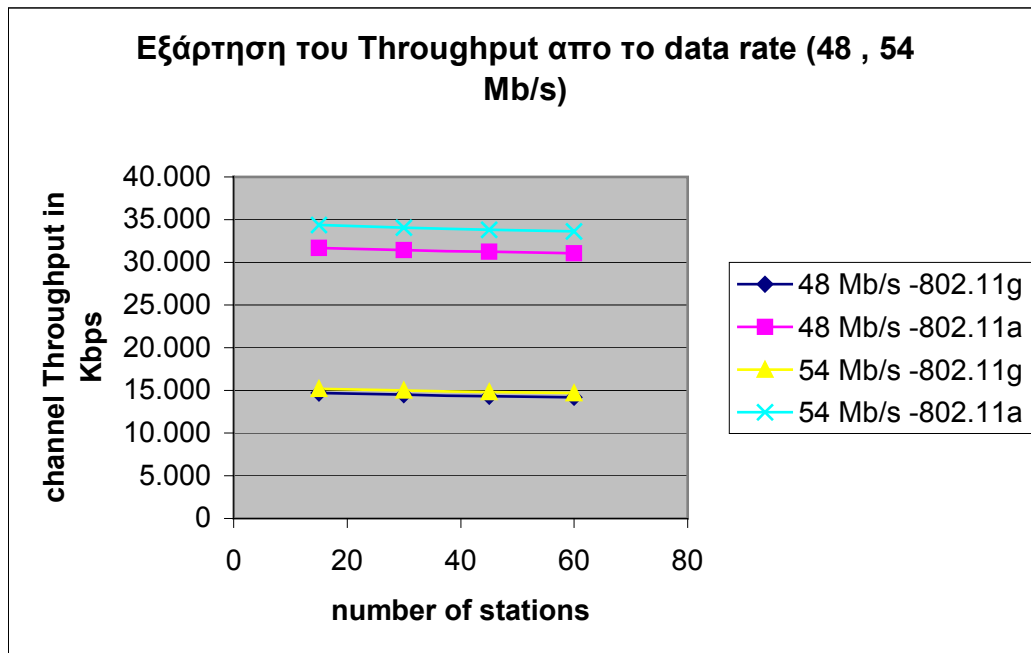


Σχήμα 5-9: Εξάρτηση του throughput από το data rate (24,36 Mb/s)

| nodes | 24 Mb/s -802.11g | 24 Mb/s -802.11a | 36 Mb/s -802.11g | 36 Mb/s -802.11a |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 15 | 11.148.100 | 18.874.000 | 13.329.100 | 25.806.500 |
| 30 | 11.030.200 | 18.776.100 | 13.136.500 | 25.642.100 |
| 45 | 10.928.400 | 18.717.100 | 13.020.600 | 25.503.700 |
| 60 | 10.849.800 | 18.642.200 | 12.886.600 | 25.377.800 |

Παρατηρείται πάλι ότι το 802.11a έχει πολύ καλύτερη απόδοση από το 802.11g για αντίστοιχους ρυθμούς μετάδοσης. Όσο μεγαλώνει ο ρυθμός μετάδοσης, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η διαφορά μεταξύ των δύο προτύπων.

5.1.4.6 Απόδοση για ρυθμούς 48 και 54 Mbps για φυσικά επίπεδα DSSS και OFDM (802.11g και 802.11a)



Σχήμα 5-10: Εξάρτηση του throughput από το data rate (48,54 Mb/s)

| nodes | 48 Mb/s -802.11g | 48 Mb/s -802.11a | 54 Mb/s -802.11g | 54 Mb/s -802.11a |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 15 | 14.688.100 | 31.697.800 | 15.217.300 | 34.386.900 |
| 30 | 14.496.600 | 31.442.000 | 15.027.000 | 34.072.500 |
| 45 | 14.298.900 | 31.244.900 | 14.825.200 | 33.831.500 |
| 60 | 14.160.800 | 31.058.800 | 14.691.100 | 33.607.000 |

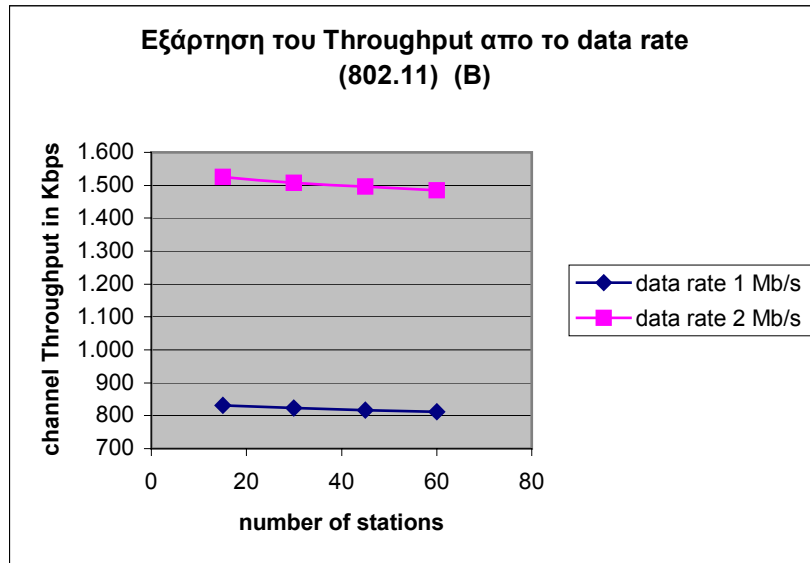
Και πάλι το 802.11a έχει πολύ καλύτερη απόδοση από το 802.11g για αντίστοιχους ρυθμούς μετάδοσης.

5.1.4.7 Επιπλέον μετρήσεις για την εξάρτηση της απόδοσης από τον ρυθμό μετάδοσης

Οι παραπάνω μετρήσεις σχετικά με τον ρυθμό μετάδοσης είχαν το χαρακτηριστικό ότι η απόδοση του δικτύου μειωνόταν ελάχιστα, όσο αυξάνονταν οι σταθμοί. Υπαίτια είναι η χαμηλή τιμή του RTS κατωφλιού. Παρακάτω δίνονται δύο ενδεικτικές μετρήσεις για επιβεβαίωση.

5.1.4.7.1 Απόδοση για ρυθμούς 1 και 2 Mbps (πρότυπο 802.11)

Τέθηκε κατώφλι RTS 2048 bits και μέγεθος πλαισίου 8192 bits. Το μέγεθος πλαισίου επιλέχθηκε έτσι ώστε να είναι ίδιο με το μέγεθος πλαισίου σε ένα Ethernet LAN.



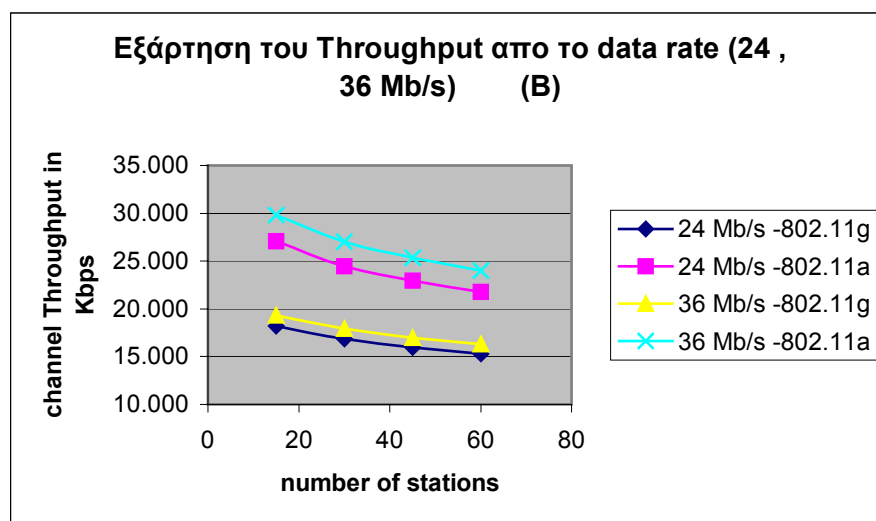
Σχήμα 5-11: Εξάρτηση του throughput από το data rate (802.11) (B)

| nodes | 1 Mb/s | 2 Mb/s |
|-------|---------|-----------|
| 15 | 832.102 | 1.525.650 |
| 30 | 823.283 | 1.507.010 |
| 45 | 816.262 | 1.496.120 |
| 60 | 811.705 | 1.484.450 |

Πλέον η απόδοση φθίνει ταχύτερα συναρτήσει των σταθμών και είναι και αισθητά μειωμένη σε σχέση με την αντίστοιχη μέτρηση παραπάνω.

5.1.4.7.2 Απόδοση για ρυθμούς 48 και 54 Mbps για φυσικά επίπεδα DSSS και OFDM (802.11g και 802.11a)

Τέθηκε κατώφλι RTS μηδέν (αποκλειστικά βασικός μηχανισμός) και μέγεθος πλαισίου 32768 bits.



Σχήμα 5-12: Εξάρτηση του Throughput από το data rate (24 , 36 Mb/s) (B)

| nodes | 48 Mb/s -802.11g | 48 Mb/s -802.11a | 54 Mb/s -802.11g | 54 Mb/s -802.11a |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 15 | 18.206.400 | 27.057.500 | 19.313.800 | 29.834.100 |
| 30 | 16.859.500 | 24.427.700 | 17.914.800 | 27.043.300 |
| 45 | 15.947.500 | 22.930.200 | 16.999.400 | 25.320.800 |
| 60 | 15.278.500 | 21.765.600 | 16.309.300 | 23.998.200 |

Και σε αυτήν την περίπτωση, η απόδοση φθίνει ταχύτερα συναρτήσει των σταθμών και είναι και αισθητά μειωμένη σε σχέση με την αντίστοιχη μέτρηση παραπάνω.

5.2 Μέση καθυστέρηση μετάδοσης του δικτύου συναρτήσει του αριθμού των σταθμών

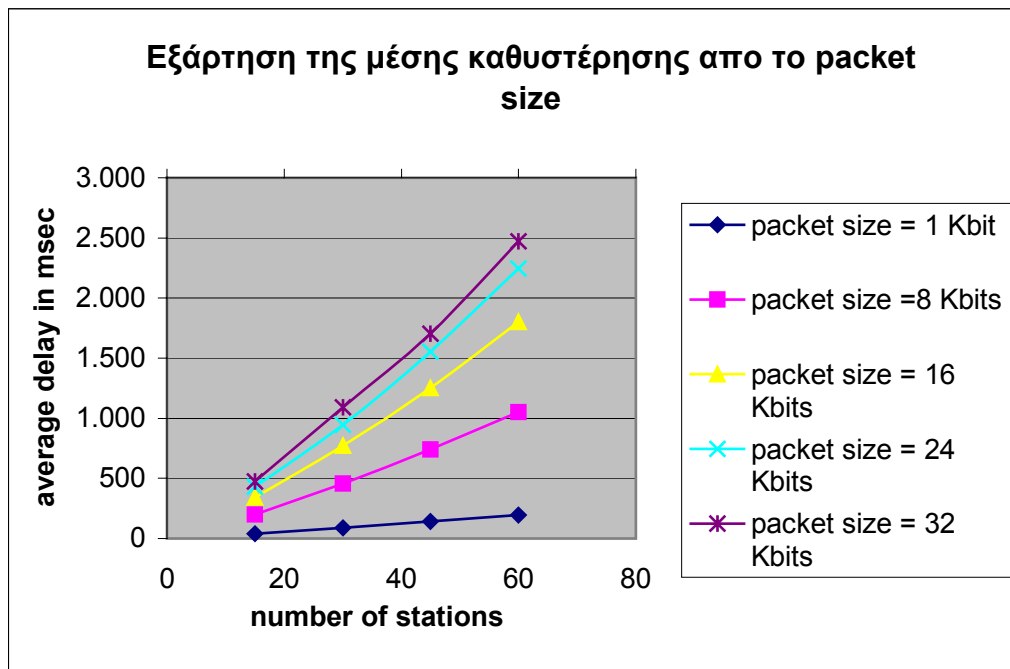
Σε αυτήν την κατηγορία μετρήσεων εκφράζεται η μέση καθυστέρηση μετάδοσης του δικτύου σε συνάρτηση με το πλήθος των σταθμών, όπου όλοι οι σταθμοί έχουν πάντα πακέτα προς μετάδοση. Η μέση καθυστέρηση προκύπτει από τον μέσο όρο της καθυστέρησης όλων των σταθμών. Για να υπάρχει μία συνολική εικόνα για το πόσο επηρεάζεται η μέση καθυστέρηση, πρέπει να μελετηθούν ξεχωριστά τα εξής :

- Εξάρτηση της μέσης καθυστέρησης από το μέγεθος πλαισίου συναρτήσει του πλήθους των σταθμών
- Εξάρτηση της μέσης καθυστέρησης από το μέγεθος του κατώφλιού RTS συναρτήσει του πλήθους των σταθμών
- Εξάρτηση της μέσης καθυστέρησης από το φυσικό επίπεδο συναρτήσει του πλήθους των σταθμών
- Εξάρτηση της μέσης καθυστέρησης από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων συναρτήσει του πλήθους των σταθμών

Ακολουθείται η ίδια προσέγγιση με την παραπάνω ομάδα μετρήσεων. Οι ίδιες μεταβλητές που παραμένουν σταθερές στις μετρήσεις για την απόδοση, παραμένουν σταθερές και με την ίδια τιμή και στις μετρήσεις στο κεφάλαιο αυτό.

5.2.1 Εξάρτηση της μέσης καθυστέρησης από το μέγεθος πακέτου συναρτήσει του πλήθους των σταθμών

Για τις συγκεκριμένες μετρήσεις το RTS κατώφλι παρέμεινε σταθερό στην τιμή 32768 bits (μετάδοση μόνο με τον βασικό μηχανισμό). Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων τέθηκε στο 1 Mbps και χρησιμοποιήθηκε ως φυσικό μέσο η FHSS.



Σχήμα 5-13: Εξάρτηση του Delay από το μέγεθος πλαισίου

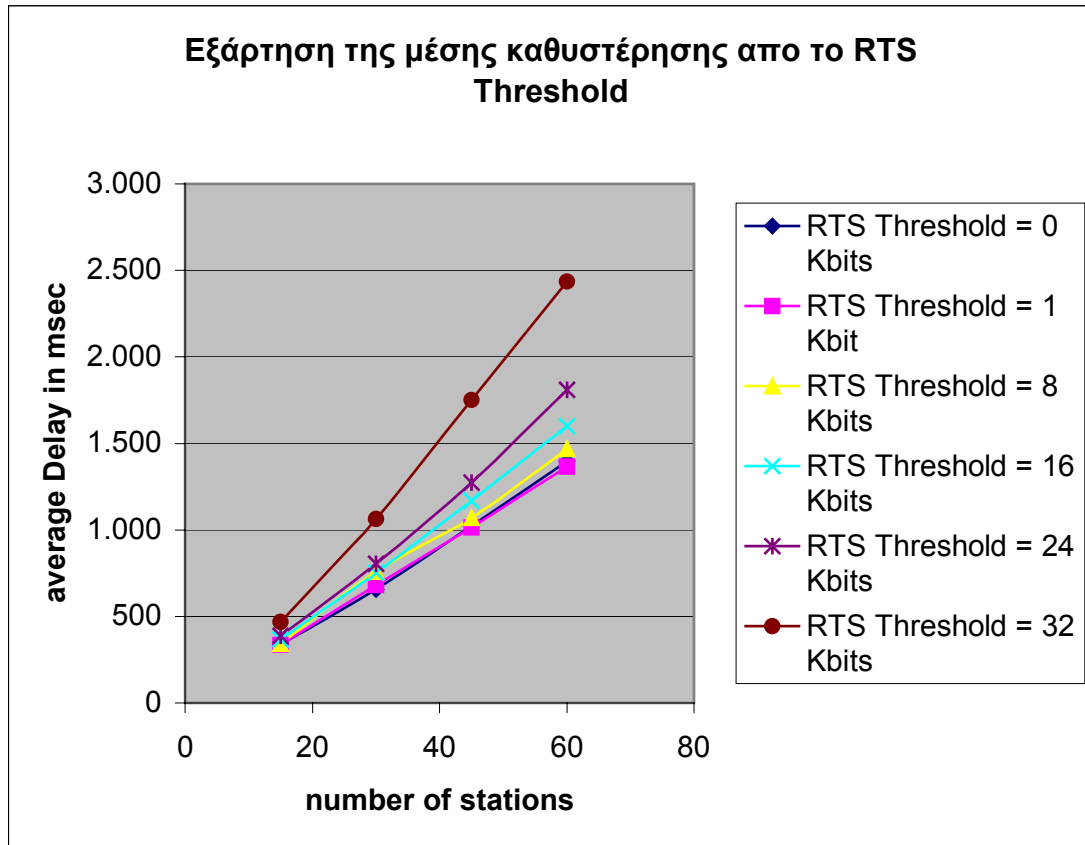
| nodes | 1 Kbit | 8Kbits | 16 Kbits | 24 Kbits | 32 Kbits |
|-------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 15 | 39,474 | 199,757 | 340,974 | 428,719 | 474,345 |
| 30 | 87,118 | 456,854 | 772,438 | 944,741 | 1.090,080 |
| 45 | 139,851 | 742,426 | 1.253,000 | 1.553,330 | 1.704,630 |
| 60 | 196,058 | 1.053,480 | 1.802,530 | 2.245,390 | 2.469,970 |

Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος πλαισίου και όσο αυξάνει το πλήθος των σταθμών, τόσο μεγαλύτερη είναι η μέση καθυστέρηση. Επίσης, για μεγαλύτερο μέγεθος πλαισίου, η μέση καθυστέρηση αυξάνει με μεγαλύτερο ρυθμό όσο αυξάνει το πλήθος των σταθμών.

Μεγαλύτερος ρυθμός μετάδοσης θα μετατόπιζε την γραφική παράσταση προς τα κάτω, ενώ διαφορετικό φυσικό επίπεδο δεν θα επέφερε σημαντική αλλαγή.

5.2.2 Εξάρτηση της μέσης καθυστέρησης από το μέγεθος του κατωφλιού RTS συναρτήσει του πλήθους των σταθμών

Για την ομάδα των μετρήσεων αυτών τέθηκε σταθερό μέγεθος πακέτου 32768 bits. Ο ρυθμός μετάδοσης του καναλιού ήταν 1 Mbps και τεχνική μετάδοσης η FHSS.



Σχήμα 5-14: Εξάρτηση του Delay από το RTS Threshold

| nodes | 0 Kbits | 1 Kbit | 8Kbits | 16 Kbits | 24 Kbits | 32 Kbits |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 15 | 339,620 | 335,479 | 341,200 | 367,614 | 388,525 | 469,935 |
| 30 | 656,499 | 680,154 | 757,398 | 751,692 | 805,413 | 1.064,640 |
| 45 | 1.024,940 | 1.014,070 | 1.071,140 | 1.169,440 | 1.273,610 | 1.750,290 |
| 60 | 1.398,120 | 1.367,220 | 1.467,460 | 1.600,940 | 1.810,710 | 2.434,360 |

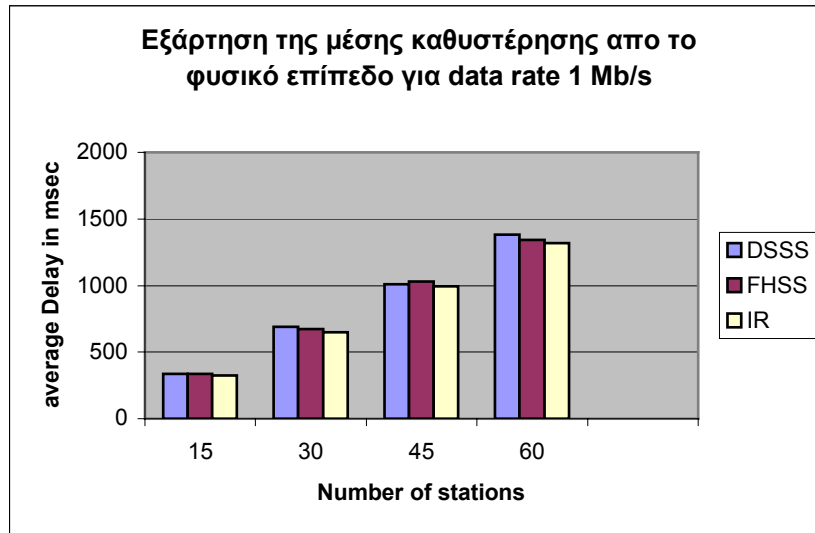
Η παραπάνω γραφική παράσταση επιβεβαιώνει ότι όσο μικρότερο είναι το RTS κατώφλι – δηλαδή, όσο περισσότερο χρησιμοποιείται ο RTS/CTS μηχανισμός- τόσο πιο χαμηλή είναι η μέση καθυστέρηση του δικτύου.

Επίσης, όσο πιο μικρό είναι το κατώφλι, τόσο λιγότερο αυξάνει η μέση καθυστέρηση, όσο μεγαλώνει το πλήθος των σταθμών.

Αν είχε χρησιμοποιηθεί μικρότερο μέγεθος πλαισίου, η γραφική παράσταση θα ήταν μετατοπισμένη προς τα κάτω. Τέλος, μεγαλύτερος ρυθμός θα μετατόπιζε τη γραφική παράσταση προς τα κάτω. Διαφορετικό φυσικό επίπεδο δεν θα επέφερε σημαντική αλλαγή.

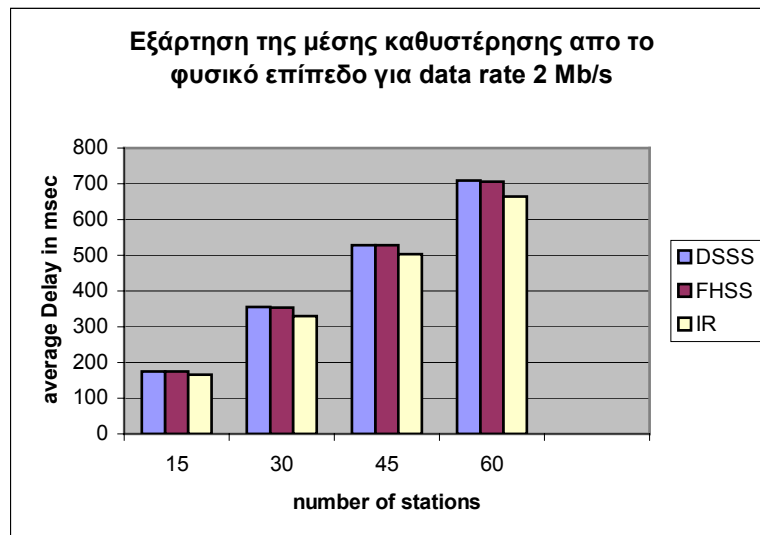
5.2.3 Εξάρτηση της μέσης καθυστέρησης από το φυσικό επίπεδο συναρτήσει του πλήθους των σταθμών

Για τις μετρήσεις τέθηκε σταθερό το μέγεθος πλαισίου (32768 bits), κατώφλι RTS μηδέν και ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbrps.



Σχήμα 5-15: Εξάρτηση του Delay από το φυσικό επίπεδο για data rate 1 Mb/s

| nodes | DSSS | FHSS | IR |
|-------|----------|----------|----------|
| 15 | 336,499 | 337,491 | 325,179 |
| 30 | 689,243 | 673,940 | 650,482 |
| 45 | 1011,670 | 1029,530 | 994,323 |
| 60 | 1384,570 | 1341,620 | 1319,760 |



Σχήμα 5-16: Εξάρτηση του Delay από το φυσικό επίπεδο για data rate 2 Mb/s

| nodes | DSSS | FHSS | IR |
|-------|---------|---------|---------|
| 15 | 174,954 | 174,868 | 165,968 |
| 30 | 355,216 | 354,042 | 329,318 |
| 45 | 528,973 | 527,883 | 502,478 |
| 60 | 708,687 | 705,801 | 664,909 |

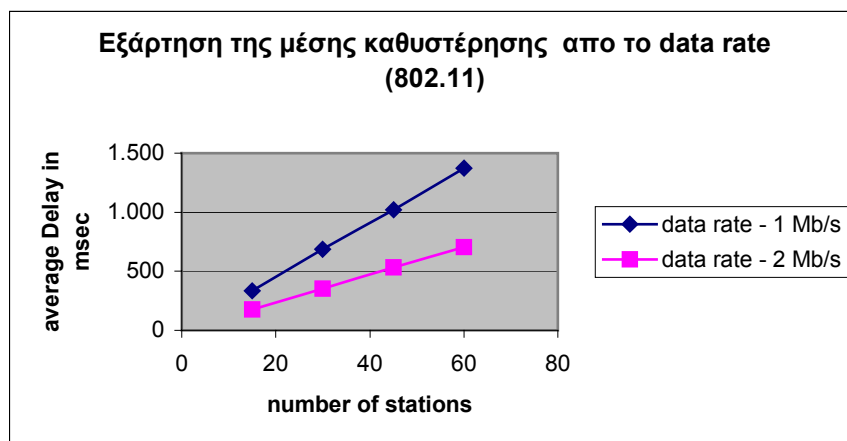
Οι διαφορές ανά φυσικό επίπεδο είναι μικρές και στους δύο ρυθμούς μετάδοσης, αν και η IR τεχνική φαίνεται να επιφέρει την μικρότερη μέση καθυστέρηση. Για μεγαλύτερο κατώφλι RTS οι τιμές θα ήταν μετατοπισμένες προς τα πάνω ενώ για μικρότερο μέγεθος πλαισίου οι τιμές θα ήταν μετατοπισμένες προς τα κάτω.

5.2.4 Εξάρτηση της μέσης καθυστέρησης από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων συναρτήσει του πλήθους των σταθμών

Για την συγκεκριμένη ομάδα μετρήσεων τέθηκε μήκος πλαισίου 32768 bits και κατώφλι RTS μηδέν. Για μεγαλύτερο κατώφλι RTS οι τιμές θα ήταν μετατοπισμένες προς τα πάνω ενώ για μικρότερο μέγεθος πλαισίου οι τιμές θα ήταν μετατοπισμένες προς τα κάτω. Στο τέλος του υποκεφαλαίου θα παρουσιαστούν ενδεικτικά κάποιες γραφικές παραστάσεις για την απόδειξη του γεγονότος αυτού.

5.2.4.1 Μέση καθυστέρηση για ρυθμούς 1 και 2 Mbps (πρότυπο 802.11)

Χρησιμοποιήθηκε το φυσικό επίπεδο DSSS. Για διαφορετική επιλογή δεν θα υπήρχαν σημαντικές αλλαγές.

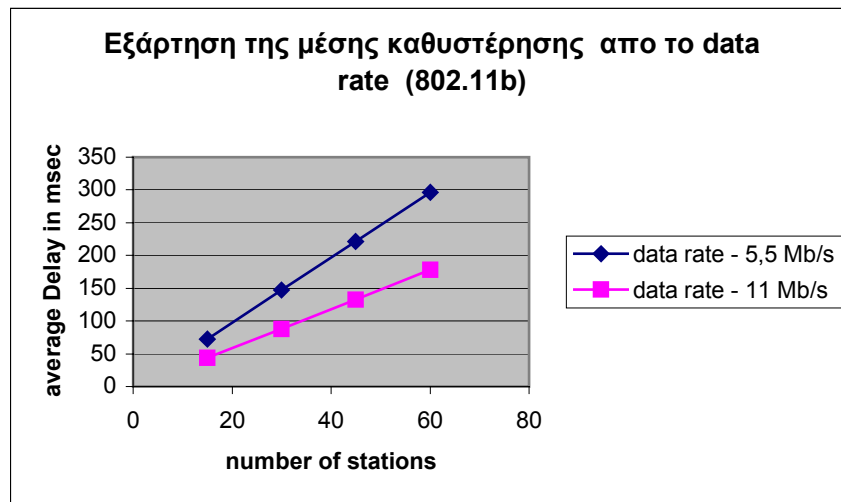


Σχήμα 5-17: Εξάρτηση του Delay από το data rate (802.11)

| nodes | 1 Mb/s | 2 Mb/s |
|-------|-----------|---------|
| 15 | 335,301 | 175,233 |
| 30 | 685,280 | 351,541 |
| 45 | 1.020,970 | 532,089 |
| 60 | 1.375,110 | 705,360 |

Η μέση καθυστέρηση αυξάνει όσο χαμηλότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης και όσο περισσότεροι είναι οι σταθμοί, ενώ όσο χαμηλότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης, η καθυστέρηση αυξάνει με μεγαλύτερο ρυθμό.

5.2.4.2 Μέση καθυστέρηση για ρυθμούς 5,5 και 11 Mbps (πρότυπο 802.11b)



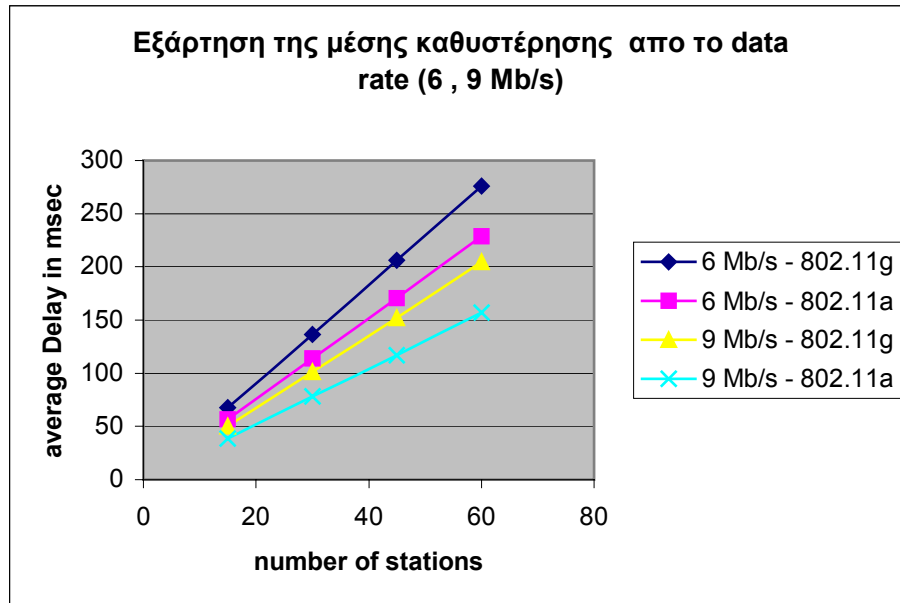
Σχήμα 5-18:Εξάρτηση του Delay από το data rate (802.11b)

| nodes | 5,5 Mb/s | 11 Mb/s |
|-------|----------|---------|
| 15 | 72,845 | 43,588 |
| 30 | 147,226 | 87,716 |
| 45 | 221,273 | 132,689 |
| 60 | 296,356 | 177,928 |

Η μέση καθυστέρηση αυξάνει όσο μικρότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης και όσο περισσότεροι είναι οι σταθμοί, ενώ όσο χαμηλότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης, η καθυστέρηση αυξάνει με μεγαλύτερο ρυθμό.

5.2.4.3 Μέση καθυστέρηση για ρυθμούς 6 και 9 Mbps και για φυσικά επίπεδα DSSS και OFDM

Ουσιαστικά μετριέται η καθυστέρηση για ρυθμούς 6 και 9 Mbps στα πρότυπα 802.11g (επίπεδο DSSS) και 802.11a (επίπεδο OFDM).

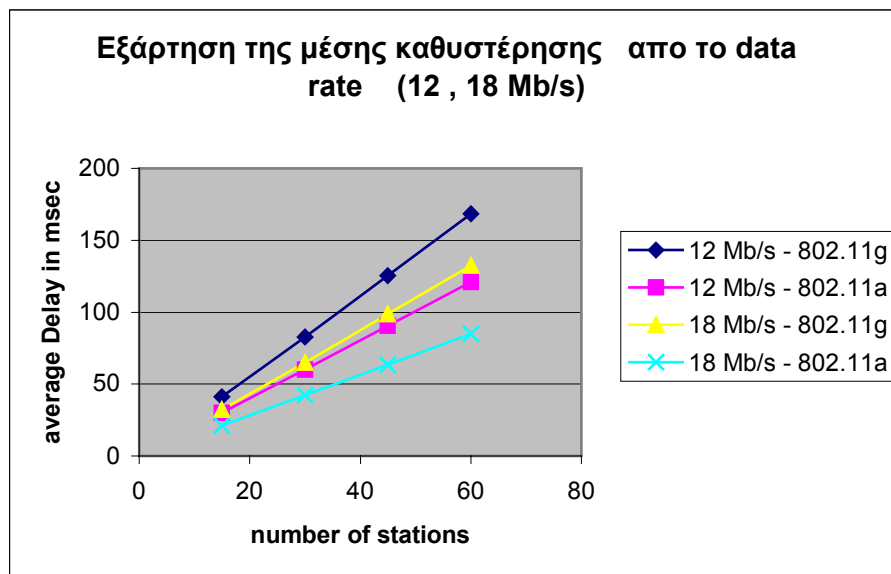


Σχήμα 5-19: Εξάρτηση του Delay από το data rate (6 , 9 Mb/s)

| nodes | 6 Mb/s 802.11g | 6 Mb/s 802.11a | 9 Mb/s 802.11g | 9 Mb/s 802.11a |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 15 | 67,748 | 56,936 | 50,049 | 38,794 |
| 30 | 136,534 | 113,709 | 101,119 | 78,295 |
| 45 | 206,387 | 170,754 | 152,234 | 117,132 |
| 60 | 276,094 | 228,569 | 204,607 | 156,818 |

Και πάλι η μέση καθυστέρηση αυξάνει όσο μικρότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης και όσο περισσότεροι είναι οι σταθμοί, ενώ όσο χαμηλότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης, η καθυστέρηση αυξάνει με μεγαλύτερο ρυθμό. Ταυτόχρονα συμπεραίνεται ότι το επίπεδο OFDM επιτυγχάνει την χαμηλότερη καθυστέρηση και παράλληλα η αύξηση της καθυστέρησης όσο πληθαίνουν οι σταθμοί γίνεται με χαμηλότερο ρυθμό.

5.2.4.4 Μέση καθυστέρηση για ρυθμούς 12 και 18 Mbps για φυσικά επίπεδα DSSS και OFDM (802.11g και 802.11a)

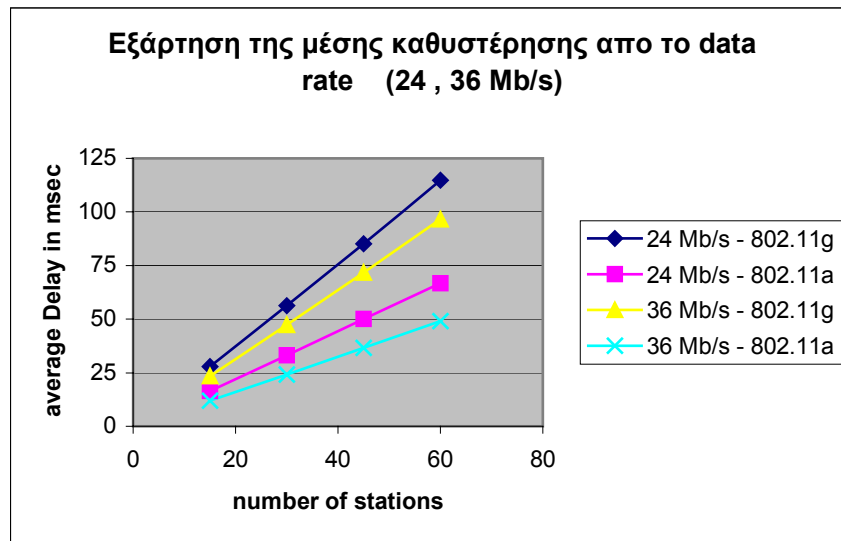


Σχήμα 5-20: Εξάρτηση του Delay από το data rate (12, 18 Mb/s)

| nodes | 12 Mb/s -802.11g | 12 Mb/s -802.11a | 18 Mb/s -802.11g | 18 Mb/s -802.11a |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 15 | 41,128 | 29,876 | 32,300 | 20,997 |
| 30 | 82,811 | 60,069 | 65,072 | 42,234 |
| 45 | 125,384 | 90,448 | 98,574 | 63,536 |
| 60 | 168,334 | 120,899 | 132,408 | 85,028 |

Εξάγονται ακριβώς τα ίδια συμπεράσματα με την παραπάνω περίπτωση, για την υπεροχή του 802.11a. Επίσης, παρατηρείται ότι η μέση καθυστέρηση στον χαμηλότερο ρυθμό (12 Mbps) στο 802.11a είναι ελάχιστα χαμηλότερη από την καθυστέρηση στον υψηλότερο ρυθμό (18 Mbps) στο 802.11g.

5.2.4.5 Μέση καθυστέρηση για ρυθμούς 24 και 36 Mbps για φυσικά επίπεδα DSSS και OFDM (802.11g και 802.11a)

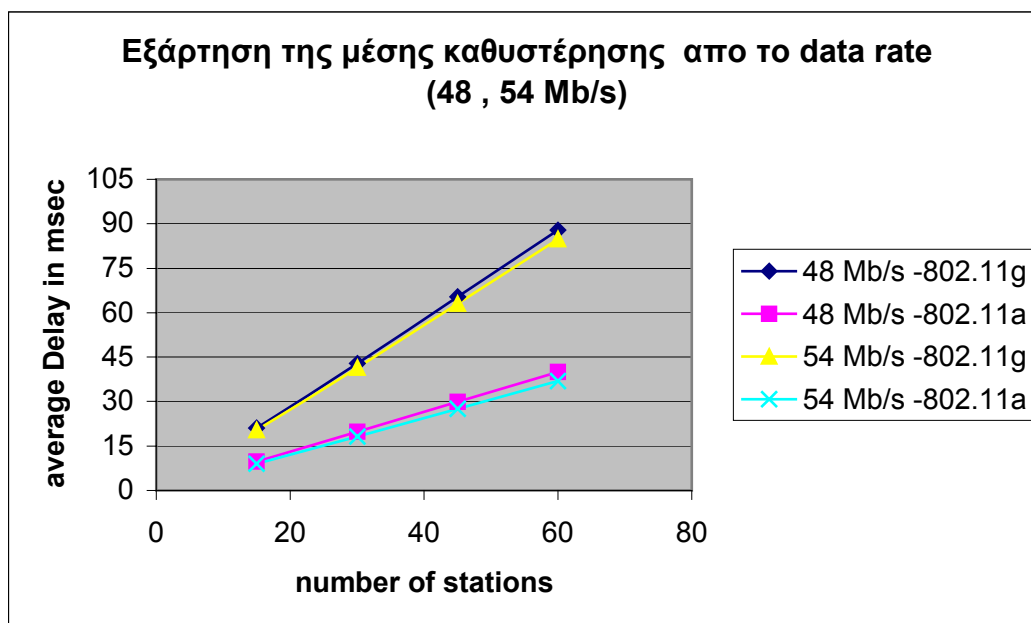


Σχήμα 5-21: Εξάρτηση του Delay από το data rate (24, 36 Mb/s)

| nodes | 24 Mb/s -802.11g | 24 Mb/s -802.11a | 36 Mb/s -802.11g | 36 Mb/s -802.11a |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 15 | 27,831 | 16,468 | 23,308 | 12,035 |
| 30 | 56,268 | 33,045 | 47,211 | 24,243 |
| 45 | 85,222 | 49,949 | 71,665 | 36,560 |
| 60 | 114,910 | 66,679 | 96,643 | 49,063 |

Η μέση καθυστέρηση αυξάνει όσο αυξάνονται οι σταθμοί. Το 802.11a προσφέρει μικρότερη αύξηση της καθυστέρησης όσο πληθαίνουν οι σταθμοί. Παράλληλα, η καθυστέρηση του 802.11a στα 24 Mbps είναι αισθητά πιο χαμηλή από την καθυστέρηση του 802.11g στα 36 Mbps.

5.2.4.6 Μέση καθυστέρηση για ρυθμούς 48 και 54 Mbps για φυσικά επίπεδα DSSS και OFDM (802.11g και 802.11a)



Σχήμα 5-22: Εξάρτηση του Delay από το data rate (48, 54 Mb/s)

| nodes | 48 Mb/s -802.11g | 48 Mb/s -802.11a | 54 Mb/s -802.11g | 54 Mb/s -802.11a |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 15 | 21,142 | 9,794 | 20,380 | 9,043 |
| 30 | 42,945 | 19,761 | 41,448 | 18,244 |
| 45 | 65,288 | 29,893 | 62,972 | 27,579 |
| 60 | 87,928 | 40,060 | 84,896 | 37,006 |

Εξάγονται ακριβώς τα ίδια συμπεράσματα με την παραπάνω περίπτωση, όπως φαίνεται και στην γραφική παράσταση.

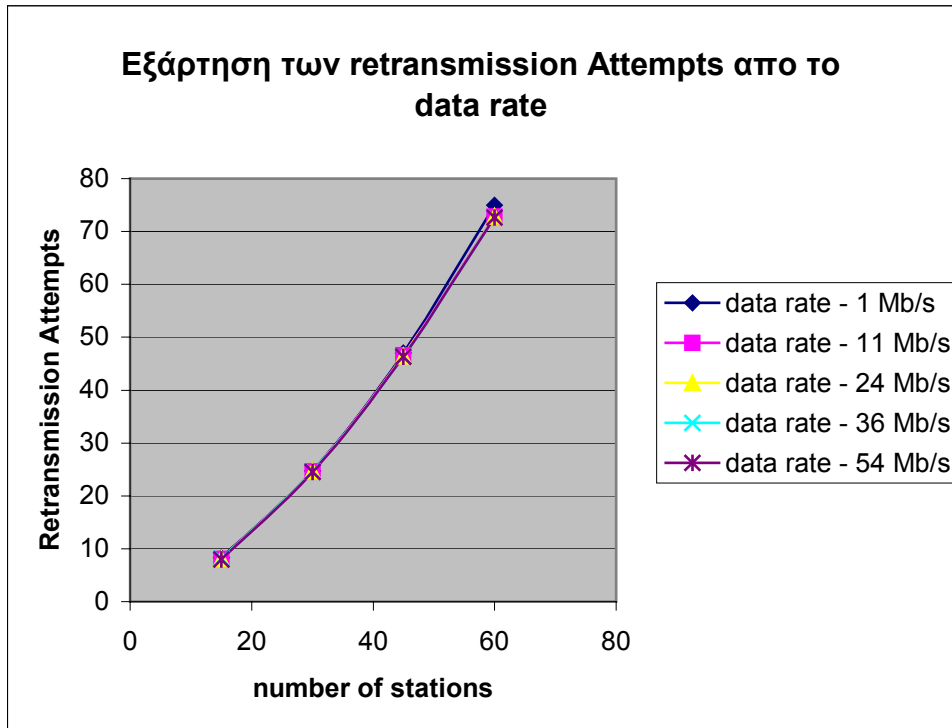
5.3 Μέσος αριθμός επαναμεταδόσεων πλαισίων (average retransmission attempts) συναρτήσει του αριθμού των σταθμών

Σε αυτήν την κατηγορία μετρήσεων εκφράζεται ο μέσος αριθμός επαναμεταδόσεων στο δίκτυο, σε συνάρτηση με το πλήθος των σταθμών, όπου όλοι οι σταθμοί έχουν πάντα πακέτα προς μετάδοση. Για να υπάρχει μία συνολική εικόνα για το πόσο επηρεάζεται το μέγεθος αυτό, πρέπει να μελετηθούν ξεχωριστά τα εξής :

- Εξάρτηση του μέσου αριθμού επαναμεταδόσεων από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων
- Εξάρτηση του μέσου αριθμού επαναμεταδόσεων από το φυσικό επίπεδο

5.3.1 Εξάρτηση του μέσου αριθμού επαναμεταδόσεων από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων

Για την συγκεκριμένη ομάδα μετρήσεων τέθηκε σταθερό μέγεθος πακέτου 32768 bits (4 Kbytes), κατώφλι RTS μηδέν και φυσικό μέσο το DSSS. Για διαφορετικές τιμές στις παραπάνω μεταβλητές, θα εμφανίζονταν ελάχιστες αποκλίσεις.



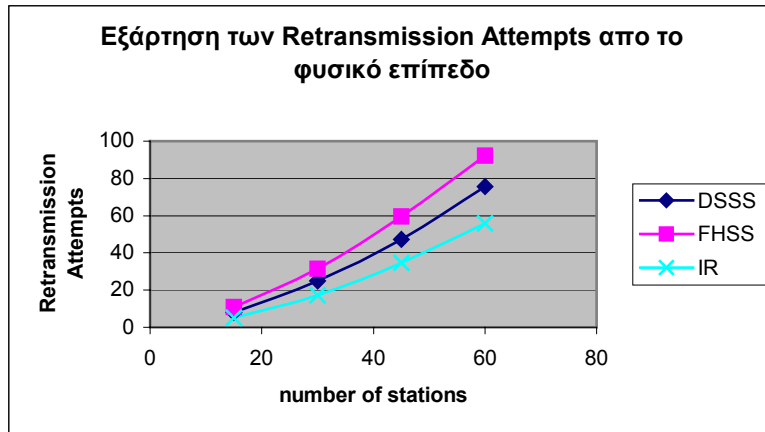
Σχήμα 5-23: Εξάρτηση των retransmission Attempts από το data rate

| nodes | 1 Mb/s | 11 Mb/s | 24 Mb/s | 36 Mb/s | 54 Mb/s |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 15 | 8,2398 | 8,0799 | 8,0502 | 8,0444 | 7,9766 |
| 30 | 24,6872 | 24,6201 | 24,6656 | 24,5781 | 24,5447 |
| 45 | 47,0267 | 46,6018 | 46,4369 | 46,3253 | 46,2895 |
| 60 | 74,9943 | 72,7925 | 72,8763 | 72,7306 | 72,5884 |

Παρατηρείται ότι ο μέσος όρος των επαναμεταδόσεων αυξάνει εκθετικά, όσο περισσότεροι είναι οι σταθμοί. Επίσης, οι επαναμεταδόσεις παρουσιάζουν μικρή μείωση όσο αυξάνει ο ρυθμός μετάδοσης. Η ταύτιση των γραμμών στην γραφική παράσταση, συμβαίνει γιατί ο μέσος όρος επαναμεταδόσεων εξαρτάται πάρα πολύ περισσότερο από το πλήθος των σταθμών, από ότι εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης του καναλιού.

5.3.2 Εξάρτηση του μέσου αριθμού επαναμεταδόσεων από το φυσικό επίπεδο

Για την συγκεκριμένη ομάδα μετρήσεων τέθηκε σταθερό μέγεθος πακέτου 32768 bits (4 Kbytes), κατώφλι RTS μηδέν και ρυθμός μετάδοσης 1 Mbps.



Σχήμα 5-24: Εξάρτηση των Retransmission Attempts από το φυσικό επίπεδο

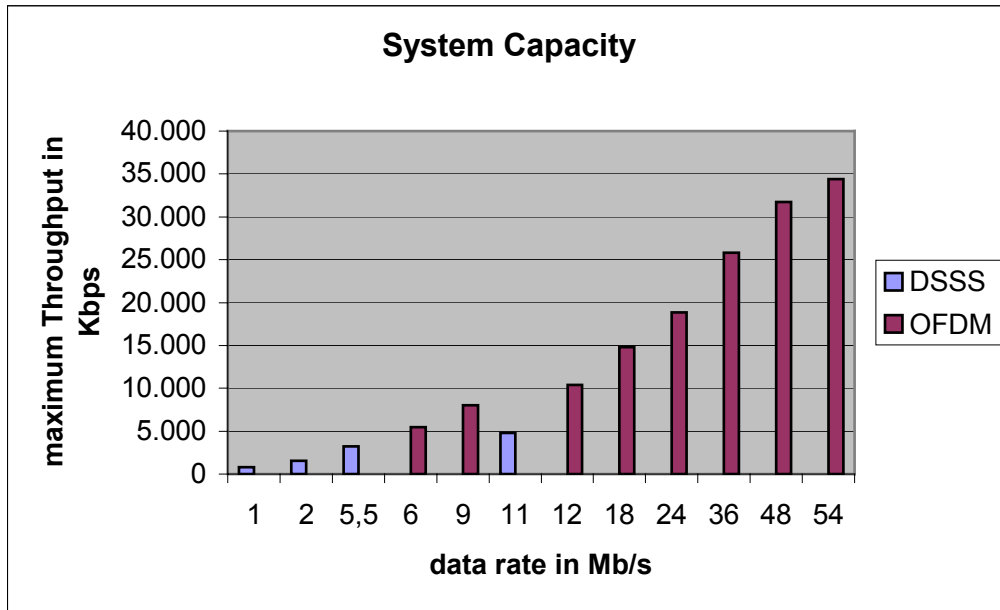
| nodes | DSSS | FHSS | IR |
|-------|---------|---------|---------|
| 15 | 8,1028 | 10,9534 | 5,0985 |
| 30 | 25,0244 | 31,4241 | 17,2459 |
| 45 | 47,2322 | 59,6099 | 34,8117 |
| 60 | 75,5018 | 92,3322 | 55,8262 |

Η τεχνική IR προσφέρει τον χαμηλότερο μέσο όρο επαναμεταδόσεων ακολουθούμενη από την DSSS και τελευταία την FHSS. Και πάλι οι επαναμεταδόσεις αυξάνονται, όσο περισσότεροι είναι οι σταθμοί. Επίσης, η IR έχει και τον μικρότερο ρυθμό αύξησης των επαναμεταδόσεων συναρτήσει του αριθμού των σταθμών.

5.4 Δυναμικότητα του δικτύου (system capacity) συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων

Η δυναμικότητα του δικτύου συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης, εκφράζει την μέγιστη απόδοση που μπορεί να έχει το δίκτυο για κάποιο σταθερό αριθμό σταθμών, σε συνάρτηση του ρυθμού μετάδοσης.

Για τη συγκεκριμένη ομάδα μετρήσεων τέθηκε μήκος πλαισίου 32768 bits, RTS κατώφλι μηδέν και πλήθος σταθμών ίσο με 15. Οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν για να παρουσιαστεί η μέγιστη δυνατή απόδοση του δικτύου σε κάθε ρυθμό μετάδοσης. Για διαφορετικές τιμές, το system capacity θα είναι μικρότερο.



Σχήμα 5-25: System Capacity

| data rate (Mb/s) | maximum Throughput (Kbps) | |
|------------------|---------------------------|------------|
| | DSSS | OFDM |
| 1 | 832.102 | |
| 2 | 1.525.650 | |
| 5,5 | 3.251.090 | |
| 6 | | 5.484.230 |
| 9 | | 8.005.310 |
| 11 | 4.819.550 | |
| 12 | | 10.399.800 |
| 18 | | 14.809.900 |
| 24 | | 18.874.000 |
| 36 | | 25.806.500 |
| 48 | | 31.697.800 |
| 54 | | 34.386.900 |

Παρατηρείται ότι η τεχνική OFDM υπερσχύει πάντα της DSSS, όσον αφορά την επίτευξη μεγαλύτερης απόδοσης. Στους ρυθμούς μετάδοσης 1, 2, 5,5 και 11 Mbps η καλύτερη απόδοση επιτυγχάνεται με την τεχνική DSSS γιατί η OFDM δεν μεταπίπτει στους συγκεκριμένους ρυθμούς μετάδοσης.

5.5 Γενική αξιολόγηση των μετρήσεων

Αν μελετηθούν συγκεντρωτικά οι παραπάνω ομάδες μετρήσεων μπορούν να προκύψουν αρκετά χρήσιμα συμπεράσματα για τις παραμέτρους λειτουργίας του προτύπου 802.11 και των παραλλαγών του :

- Σε γενικές γραμμές η αύξηση του αριθμού των σταθμών επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα τόσο στην απόδοση του δικτύου, όσο και στη μέση καθυστέρηση και τον μέσο αριθμό επαναμεταδόσεων.
- Η χρήση μεγάλου μεγέθους πλαισίου μπορεί να αποφέρει την μέγιστη δυνατή απόδοση, αλλά παράλληλα αποφέρει την μέγιστη μέση καθυστέρηση.
- Η χρήση του μηχανισμού RTS/CTS επιφέρει μεγαλύτερη απόδοση και μικρότερη καθυστέρηση σε σχέση με τον βασικό μηχανισμό πρόσβασης για μεγάλο μέγεθος πλαισίου. Όσο πιο μικρό γίνεται το μέγεθος πλαισίου ο βασικός μηχανισμός προσφέρει πάρα πολύ μικρότερη καθυστέρηση σε σχέση με τον μηχανισμό RTS/CTS, αν και εξακολουθεί να υστερεί αισθητά στο τομέα της απόδοσης.
- Η τεχνική μετάδοσης IR αποδίδει καλύτερα και στην απόδοση και στην καθυστέρηση και στον αριθμό των επαναμεταδόσεων από όλες τις τεχνικές του προτύπου 802.11. Ο λόγος που δεν χρησιμοποιείται ευρύτατα, είναι τα σοβαρά μειονεκτήματά της σε θέματα κυρίως εμβέλειας και σχεδόν ανύπαρκτης διείσδυσης σήματος όπως αυτά αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.
- Από τις ραδιοκυμματικές τεχνικές μετάδοσης, η OFDM αποτελεί αδιαμφισβήτητα την καλύτερη τεχνική φυσικής μετάδοσης.
- Η απόδοση των δικτύων του προτύπου 802.11 και των παραλλαγών του είναι αισθητά χαμηλότερη από τους ονομαστικούς ρυθμούς που ορίζει το πρότυπο ακόμα και με τις ευνοϊκότερες τιμές παραμέτρων. Βασική αιτία για το γεγονός αυτό είναι η αμφίδρομη φύση των ασύρματων δικτύων γενικότερα.
- Σύμφωνα με τις μετρήσεις, η σύγκριση με τα παραπλήσια (σε θεωρητική απόδοση) πρότυπα 802.11a και 802.11g, αναδεικνύει καλύτερο σε κάθε επίπεδο το 802.11a. Το πρότυπο αυτό κερδίζει κυρίως λόγω της παραπάνω από διπλάσιας συχνότητας λειτουργίας του. Ακριβώς όμως αυτό το χαρακτηριστικό οφείλεται για την κατά πολύ μειωμένη εμβέλεια και την μειωμένη διείσδυση σήματος του 802.11a που το καθιστούν πολλές φορές λιγότερο επιθυμητό από το 802.11g.

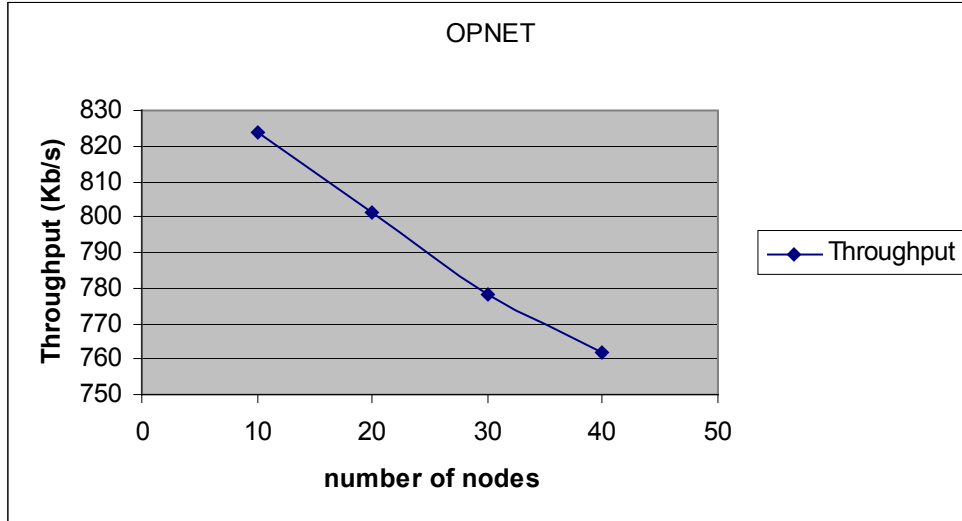
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Αξιολόγηση προγράμματος προσομοίωσης

Το κεφάλαιο αυτό έχει στόχο να αποδείξει την αξιοπιστία των μετρήσεων με το πρόγραμμα προσομοίωσης, και συνεπώς και την αξιοπιστία του ίδιου του προγράμματος. Για τον σκοπό αυτό συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα του προγράμματος προσομοίωσης, με το πρόγραμμα εξομοίωσης OPNET σε ένα υποθετικό σενάριο. Το πρόγραμμα OPNET είναι ένα από τα καλύτερα προγράμματα εξομοίωσης και ανήκει στην εταιρεία OPNET Technologies.

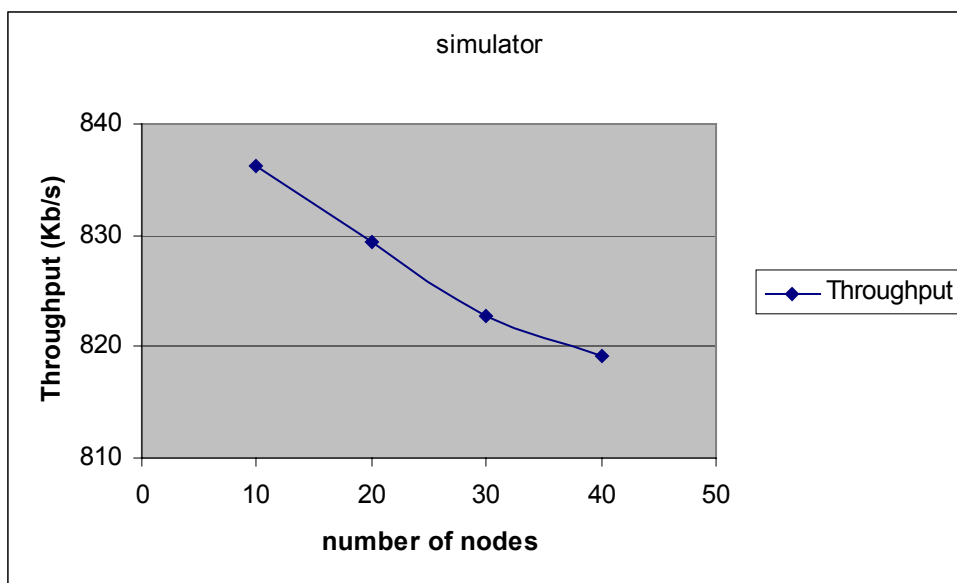
Το υποθετικό σενάριο το οποίο προσομοιώθηκε και από τα δύο προγράμματα αφορά την απόδοση του δικτύου σε συνάρτηση με το πλήθος των σταθμών. Όπως και στις μετρήσεις του παραπάνω κεφαλαίου γίνεται η παραδοχή, ότι πάντα οι σταθμοί έχουν πακέτα προς μετάδοση (saturation throughput). Οι παράμετροι τέθηκαν ως εξής :

- Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων 1 Mb/s
- Μέσο μέγεθος ωφέλιμου φορτίου του πλαισίου 8192 bits (1Kbyte)
- Κατώφλι RTS 2048 bits (256 Bytes)
- Τεχνική φυσικής μετάδοσης DSSS
- Χρόνος προσομοίωσης 10 λεπτά

Τα αποτελέσματα των δύο προγραμμάτων φαίνονται στις παρακάτω παραστάσεις :



Σχήμα 6-1: Απόδοση του δικτύου συναρτήσει του πλήθους των σταθμών (OPNET)



Σχήμα 6-2: Απόδοση του δικτύου συναρτήσει του πλήθους των σταθμών (simulator)

Παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων μεταξύ του simulator και του OPNET έχουν μικρές αποκλίσεις. Σε γενικές γραμμές, οι καμπύλες των γραφικών παραστάσεων συμπεριφέρονται παρόμοια, όσο αυξάνει το πλήθος των σταθμών. Οι διαφορές της απόδοσης είναι μικρές σε σχέση με τον μέγεθος του ρυθμού μετάδοσης. Παρόλα αυτά, το OPNET εμφανίζει σταθερά μικρότερη απόδοση για το δίκτυο όσο αυξάνουν οι σταθμοί, σε σχέση με τον simulator.

Οι διαφορές αυτές, που μεγαλώνουν όσο αυξάνονται οι σταθμοί, έχουν να κάνουν με τις παραδοχές που έγιναν στην υλοποίηση του simulator και που δεν γίνονται στην περίπτωση του OPNET. Συγκεκριμένα :

Στον προσομοιωτή οι σταθμοί δεν έχουν προσωρινούς χώρους αποθήκευσης των πλαισίων (buffers). Ο κάθε σταθμός έχει πάντα πλαίσια προς μετάδοση, αλλά το πλαίσιο γεννιέται εφόσον επιτευχθεί η πρόσβαση στο μέσο. Αντίθετα στο OPNET, ο κάθε σταθμός διαθέτει buffers, στους οποίους αποθηκεύει τα εξερχόμενα πλαίσια, όταν το φυσικό μέσο είναι κατειλημμένο. Στην περίπτωση του OPNET επέρχεται μεγαλύτερη καθυστέρηση στην μετάδοση των πλαισίων, άρα και μικρότερη απόδοση του δικτύου. Και αυτό γιατί, ακόμα και αν ένα πλαίσιο βρίσκεται σε προσωρινό χώρο αποθήκευσης, η καθυστέρηση της παραμονής του εκεί, συνυπολογίζεται στον συνολικό χρόνο μετάδοσης του πλαισίου. Σε ένα κανάλι που εκπέμπουν πολλοί σταθμοί, ο χρόνος παραμονής ενός πλαισίου σε buffer αυξάνεται περισσότερο, άρα μειώνεται περισσότερο η απόδοση. Για αυτόν τον λόγο, η απόδοση στα αποτελέσματα του OPNET μειώνεται περισσότερο όσο αυξάνουν οι σταθμοί, σε σχέση με του simulator.

Επιπλέον λόγος για την μικρή διαφοροποίηση των δύο γραφικών παραστάσεων είναι το γεγονός ότι στον simulator έγινε η παραδοχή ότι στο φυσικό μέσο δεν υφίστανται παρεμβολές και φαινόμενα διάδοσης πολλαπλών διαδρομών (multipath). Η παραδοχή αυτή δεν γίνεται στο OPNET και συνεπώς τα αποτελέσματα του τελευταίου δίνουν μικρότερες τιμές για την απόδοση του δικτύου.

Στον simulator ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων είναι ανεξάρτητος της απόστασης. Το OPNET λαμβάνει υπόψη την παράμετρο αυτή και μειώνει τον ρυθμό μετάδοσης όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη.

Τέλος, ο simulator προσομοιώνει αποκλειστικά την DCF λειτουργία του 802.11. Δεν ασχολείται με τον έλεγχο και την διαχείριση του ασύρματου δικτύου από το σημείο πρόσβασης, τα οποία απαιτούν την αποστολή επιπλέον πλαισίων ελέγχου και εισάγουν καθυστέρηση επεξεργασίας. Το OPNET λαμβάνει υπόψιν τον έλεγχο και την διαχείριση του δικτύου, πράγμα που μειώνει την συνολική απόδοση που επιτυγχάνεται.

Δεδομένων των παραπάνω διαφορών μεταξύ των δύο προγραμμάτων και των παραπάνω γραφικών παραστάσεων, αποδεικνύεται ότι το πρόγραμμα προσομοίωσης παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα για την μελέτη της DCF λειτουργίας του προτύπου. Το γεγονός αυτό σε σχέση με την μεγάλη παραμετροποίηση του simulator συντελεί στην ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων για οποιοδήποτε σενάριο προσομοίωσης της DCF λειτουργίας του προτύπου 802.11.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Brian P. Crow, Indra Widjaja, Jeong Geun Kim, Prescott T. Sakai, “IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks”
- [2] Mustafa Ergen, “IEEE 802.11 Tutorial”
- [3] Plamen Nedeltchev, CISCO “Wireless Local Area Networks and the 802.11 Standard”
- [4] Marta Kwiatkowska, Gethin Norman, Jeremy Sproston, “Probabilistic Model Checking of the IEEE 802.11 Wireless Local Area Network”
- [5] Vladimir Vishnevsky, Andrey Lyakhov “802.11 LANs : Saturation Throughput in the presence of noise”
- [6] Miquel Oliver, Ana Escudero, Joan Borràs “Performance of the CSMA/CA IEEE 802.11 protocol for different physical layer implementations”
- [7] G. Anastasi, E. De Stefano, L. Lenzini “QoS provided by the IEEE 802.11 wireless LAN to advanced data applications: a simulation Analysis”
- [8] Giuseppe Bianchi, “Performance analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, Issue 3, pp. 535-547, March 2000
- [9] Patrick M. Rowley, INS “Wireless LANs: When and where”, *INS Whitepaper* September 2003
- [10] Benny Bing, *Wireless ATM and LANs*. Artech House Boston , London
- [11] Μ.Ε Θεολόγου, *Δίκτυα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών*. Έκδοση Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 2004
- [12] A.S Tanenbaum, “*Δίκτυα Υπολογιστών, Τέταρτη έκδοση*”, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2003

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι - ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

16QAM – 16-Level Quadrature Amplitude Modulation

64QAM - 64-Level Quadrature Amplitude Modulation

AP – Access Point

BPSK – Binary Phase Shift Keying

BSS – Basic Service Set

CCK – Complementary Code Keying

CRC – Cyclic Redundancy Check

CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

CTS – Clear To Send

CW – Contention Window

DCF – Distributed Coordination Function

DIFS – Distributed Coordination Function InterFrame Space

DS – Distribution System

DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum

EIFS – Extended InterFrame Space

ESS – Extended Service Set

FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum

FSK – Frequency Shift Keying

HR-DSSS – High Rate Direct Sequence Spread Spectrum

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IR – InfraRed

ISM – Industrial Scientific Medical

LAN – Local Area Network

LLC – Logical Link Control

MAC – Medium Access Control

NAV – Network Allocation Vector

OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing

PCF – Point Coordination Function

PIFS – Point Coordination Function InterFrame Space

PLCP – Physical Layer Convergence Procedure

PMD – Physical Medium Dependent

PPM – Pulse Position Modulation

PSK – Phase Shift Keying

QoS – Quality of Service

QPSK – Quadrature Phase Shift Keying

RTS – Request To Send

SIFS – Short InterFrame Space

UNII – Unlicensed National Information Infrastructure

WEP – Wired Equivalent Privacy

WLAN – Wireless Local Area Networks

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ - ΠΗΓΑΙΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ

```
#include <iostream.h>
#include <ctime>
#include <cstdlib>
#include <math.h>

//StationClass declaration
class StationClass
{
public:
StationClass (); //constructor
~StationClass (){} //destructor
StationClass(StationClass &rhs); //copy constructor

//accessor functions
int GetBackoff(){return backoff;}
void SetBackoff (int back){backoff=backoff+back;}
int GetContWind(){return contWind;}
void SetContWind(int coWin);
int GetStartTrans(){return startTrans;}
void SetStartTrans(int stTr);
bool GetWantTrans(){return wantTrans;}
void SetWantTrans (bool waTr);
float GetRetrAtts() {return retrAtts;}
void SetRetrAtts(float reAtts);
int GetSuccTrans(){return succTrans;}
void SetSuccTrans(int sucTr);
int GetTotalDelay(){return totalDelay;}
void SetTotalDelay(int toDel);
int GetDelay(){return delay;}
void SetDelay(int del);

//member variables
private:
```

```
int contWind;  
int startTrans;  
bool wantTrans;  
float retrAtts;  
int succTrans;  
int totalDelay;  
int delay;  
int backoff;  
};
```

```
// definitions
```

```
//constructor
```

```
StationClass::StationClass() {  
    succTrans=0;  
    totalDelay=0;  
    delay=0;  
    startTrans=0;  
    wantTrans=false;  
    retrAtts=0;  
    contWind=16;  
    backoff = 0;  
}
```

```
//copy constructor
```

```
StationClass::StationClass(StationClass &rhs){  
  
    succTrans=rhs.GetSuccTrans();  
    totalDelay=rhs.GetTotalDelay();  
    delay=rhs.GetDelay();  
    startTrans=rhs.GetStartTrans();  
    wantTrans=rhs.GetWantTrans();  
    retrAtts=rhs.GetRetrAtts();  
    contWind=rhs.GetContWind();  
    backoff=rhs.GetBackoff();
```

```

}
void StationClass::SetWantTrans(bool waTr) {
    wantTrans=waTr;
}
void StationClass::SetStartTrans(int stTr){
    startTrans=stTr;
}
void StationClass::SetContWind(int coWin){
    contWind=coWin;
}
void StationClass::SetSuccTrans(int sucTr){
    succTrans=succTrans+sucTr;
}
void StationClass::SetDelay(int del){
    delay=delay+del;
}
void StationClass::SetRetrAtts(float reAtts){
    retrAtts=retrAtts+reAtts;
}
void StationClass::SetTotalDelay(int toDel){
    totalDelay=totalDelay+toDel;
}

//SlotClass declaration
class SlotClass
{
public:
    SlotClass(){total=successful=collision=empty=0;} //constructor
    ~SlotClass(){}; //destructor

//accessor functions
    int GetTotal(){return total;}
    void SetTotal(int tot);
    int GetSuccessful(){return successful;}
    void SetSuccessful (int succ2);

```



```

int GetCollision(){return collision;}
void SetCollision(int coll);
int GetEmpty(){return empty;}
void SetEmpty(int em);

//member variables
private:
int total;
int successful;
int collision;
int empty;
};

//definitions
void SlotClass::SetSuccessful(int succ2=0){
    successful=successful + succ2;
}
void SlotClass::SetTotal(int tot){
    total=total+tot;
}
void SlotClass::SetCollision(int coll){
    collision=collision+coll;
}
void SlotClass::SetEmpty(int em){
    empty=empty+em;
}

//StatClass declaration
class StatClass
{
public:
    StatClass(); //constructor
    ~StatClass(){}; //destructor

//accessor functions

```

```

float GetThroughput(){return throughput;}
double GetDelay(){return delay;}
float GetRetrAtts(){return retrAtts;}
double GetPayldBits(){return payldBits;}
void SetPayldBits(double pldbits){payldBits=payldBits+pldbits;}
void SetThroughput(float throuth){throughput=throuth;}
void SetDelay(double del){delay=delay+del;}
void SetRetrAtts(float retr){retrAtts=retrAtts+retr;}

//member variables
private:
float throughput;
double delay;
float retrAtts;
double payldBits;
};

```

```

StatClass::StatClass(){
throughput=0.0;
delay=0.0;
retrAtts=0;
payldBits=0;
}

```

```

void main ()
{
srand(time(0)); // Initialize random number generator

```

```

double slotTime=0;
int CwMax = 1024;
int MAC = 272;
float PHY = 0;
int ACK = 112;
int RTS = 160;
int CTS = 112;
float DIFS =0;

```

```

float SIFS =0;
int nodes=0;
int maxSlotsInSecs=0;
int maxSlots=0;
int pktMean=0;
int pktPayld=0;
int rtsThr=0;
int CwMin =0;
int R_Kbits=0;
int physical=0;
StationClass *stations=0;

cout<<"Please enter the number of nodes: ";
cin >> nodes;

cout<<"Please enter the simulation duration in seconds:";
cin >> maxSlotsInSecs;

cout<<"Please enter the mean value for packet payload size in bits:";
cin>>pktMean;

cout<<"Please enter the value of the RTS Threshold in bits:";
cin>>rtsThr;

cout<<"Please enter the channel data rate in Kbits/sec:";
cin>>R_Kbits;

cout << "Please choose the physical layer:" << endl;
cout << "(1): DSSS." << endl << "(2): FHSS." << endl << "(3): OFDM." << endl << "(4):
IR." << endl << "Enter choice:";
cin >> physical;

cout<<"Please wait while performing Simulation..."<<endl<<endl;

```

```

switch (physical){
case 1:{
    slotTime = (float)0.000020;
    SIFS = (float)0.000010;
    CwMin = 32;
    PHY = (float)0.000192;
    break;
    }
case 2:{
    slotTime = (float)0.000050;
    SIFS = (float)0.000028;
    CwMin = 16;
    PHY = (float)0.000128;
    break;
    }
case 3:{
    slotTime = (float)0.000009;
    SIFS = (float)0.000016;
    CwMin = 16;
    PHY = (float)0.000022;
    break;
    }
case 4:{
    slotTime = (float)0.000008;
    SIFS = (float)0.000010;
    CwMin = 64;
    PHY = (float)0.000060;
    break;
    }
}

DIFS = (float)(SIFS + 2*slotTime);
//convert the simulation time in seconds to slots

```

```

maxSlots=(int)((float)maxSlotsInSecs/(float)slotTime);

//convert the data rate in bits/sec

int R = R_Kbits*1000; //data rate in bits/sec

float r=0; //variable for the calculation of the random packet

//transmission and collision times for RTS/CTS transmission
float SuccDurSecs_rts = 0;
int SuccDur_rts = 0;
float ColDurSecs_rts = 0;
int ColDur_rts = 0;
float SuccDurSecs_basic = 0;
int SuccDur_basic = 0;
float ColDurSecs_basic = 0;
int ColDur_basic = 0;

stations = new StationClass[nodes]; //matrix with all the stations

//create SlotClass , StatClass objects

SlotClass slotStatus;
StatClass stats;

for (int i=0; i<nodes;i++) { //create StationClass objects (stations[i])
    stations[i];
    stations[i].SetBackoff(rand()%CwMin);
}
while (slotStatus.GetTotal()<=maxSlots){ //checks parameters for every slot
    int sum=0; //number of stations that want to transmit in current slot

for (int i=0; i<nodes;i++) {
    if(stations[i].GetBackoff()==0){
        stations[i].SetWantTrans (true);

```

```

} //end if

// checks the number of stations that want to transmit
if(stations[i].GetWantTrans()){
    sum++;
} //end if

} //end for

// depending the number of stations (sum) that want to transmit in the
// current slot, the simulator executes the appropriate routine

//no station wants to transmit -->execute empty routine
if(sum==0){
    for(int i=0;i<nodes;i++){
        stations[i].SetBackoff(-1);
    }
    slotStatus.SetTotal(1);
} //end if

//only 1 station wants to transmit -->execute success routine
if(sum==1){
    //finds the one station that want to transmit
    int key=0;
    for(int j=0;j<nodes;j++){
        if(stations[j].GetWantTrans()) {
            key=j;
        }
    }
} //end for

//create a random sized packet for the station
r=(float)rand()/(float)(RAND_MAX+1);
pktPayld= (int)(-pktMean*log(r));
if(pktPayld >32768)
    pktPayld = 32768;

```

```

//adds the transmission times depending of the transmission
//mechanism used (RTS/CTS or basic)
if(pktPayld<=rtsThr){
    //transmission and collision times for basic transmission
    SuccDurSecs_basic = (float)(MAC+pktPayld+ACK)/(float)R + 2*PHY+DIFS+SIFS;
    SuccDur_basic=(int)(SuccDurSecs_basic/(float)slotTime);
    slotStatus.SetSuccessful(SuccDur_basic);
    slotStatus.SetTotal(SuccDur_basic);}
else {

    //SuccDurSecs_rts=(float)(PHY+MAC+pktPayld+ACK+RTS+CTS)/(float)R+DIFS+3*SIFS;
    S;

    SuccDurSecs_rts=(float)(MAC+pktPayld+ACK+RTS+CTS)/(float)R+DIFS+3*SIFS+4*PHY;
    SuccDur_rts=(int)(SuccDurSecs_rts/(float)slotTime);
    slotStatus.SetSuccessful(SuccDur_rts);
    slotStatus.SetTotal(SuccDur_rts);}

//apply the changes
stats.SetPayldBits(pktPayld);
stations[key].SetSuccTrans(1);
stations[key].SetContWind(CwMin);
stations[key].SetBackoff(rand()%CwMin);
int d=slotStatus.GetTotal()-stations[key].GetStartTrans();
stations[key].SetTotalDelay(d);
stations[key].SetStartTrans(slotStatus.GetTotal());
stations[key].SetWantTrans(false);

} //end if

//more than 1 stations want to transmit -->execute collision routine
if(sum>1){
    //finds the stations that want to transmit
    int maxPkt=0; //largest random packet
    int maxPktRts=0; //largest random packet which is lesser than the RTS Threshold

```

```

for(int q=0;q<sum;q++){

//create a random sized packet for every station that wants to transmit
r=(float)rand()/(float)(RAND_MAX+1);
pktPayld= (int)(-pktMean*log(r));
if(pktPayld >32768)
    pktPayld = 32768;

//finds the maxPkt and maxPktRts values
if(pktPayld>maxPkt)
    maxPkt=pktPayld;
if(pktPayld<rtsThr && pktPayld>maxPktRts)
    maxPktRts=pktPayld;
} //end for

//adds the collision times depending of the transmission
//mechanism used (RTS/CTS or basic)
if(maxPkt<=rtsThr){
    ColDurSecs_basic = (float)(MAC+maxPkt)/(float)R + PHY+ DIFS;
    ColDur_basic= (int)((float)(ColDurSecs_basic)/(float)slotTime);

    slotStatus.SetCollision(ColDur_basic);
    slotStatus.SetTotal(ColDur_basic);
}
else{
    if(maxPktRts==0){
        ColDurSecs_rts=(float)(RTS)/(float)R+DIFS+PHY;
        ColDur_rts=(int)((float)(ColDurSecs_rts)/(float)slotTime);

        slotStatus.SetCollision(ColDur_rts);
        slotStatus.SetTotal(ColDur_rts);
    }
    else{
        ColDurSecs_basic = (float)(MAC+maxPktRts)/(float)R + PHY + DIFS;

```



```

    ColDur_basic= (int)((float)(ColDurSecs_basic)/(float)slotTime);
    slotStatus.SetCollision(ColDur_basic);
    slotStatus.SetTotal(ColDur_basic);
}
}
for(int k=0;k<nodes;k++){
    if(stations[k].GetWantTrans() {
        //apply the changes
        if(stations[k].GetContWind()!=CwMax){
            stations[k].SetContWind(2*(stations[k].GetContWind()));
        }
        else{
            stations[k].SetContWind(CwMax);
        }

        stations[k].SetRetrAtts(1);
        stations[k].SetBackoff(rand()%stations[k].GetContWind());
        stations[k].SetWantTrans(false);

    } //end if
} //end for
} //end if

} // end while

//metrics
//count THROUGHOUT
stats.SetThroughput((float)(stats.GetPayldBits()/(maxSlots*slotTime*1000)));
cout<<endl;
cout<<"System Throughput is: "<<stats.GetThroughput()<<"Kb/s\n";
cout<<"System Utilization is: "<<stats.GetThroughput()*1000/R<<endl;
cout<<endl;

for(int z=0;z<nodes;z++){
    //count STATION DELAY

```

```

if(stations[z].GetSuccTrans()!=0){
    stations[z].SetDelay((stations[z].GetTotalDelay()/(stations[z].GetSuccTrans()));
    cout<<"Average Media Access Delay for station "<<z+1<<" is:
"<<stations[z].GetDelay()*slotTime*1000<<"msec\n";
}
else {
    cout<<"No successful transmission committed for station number "<<z<<"\n";
}

//count TOTAL DELAY
if(nodes!=0){

    double
f=(float)stations[z].GetTotalDelay()*(float)slotTime/(float)stations[z].GetSuccTrans()
/(float)nodes*1000;
    stats.SetDelay(f);
}
else {
    cout<<"You have not entered any nodes"<<"\n";
}

//count RETRANSMISSION ATTEMPTS
if(stations[z].GetSuccTrans()!=0){
    float g=(float)stations[z].GetRetrAtts()/(float)stations[z].GetSuccTrans();
    stats.SetRetrAtts(g);
}
} //end for

cout<<"Average Media Access Delay for the system is: "<<stats.GetDelay()<<"msec\n";
cout<<endl;
cout<<"Average number of retransmission attempts: "<<stats.GetRetrAtts()<<"\n";
cout<<endl;

} //end main

```


ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

ΚΟΚΚΙΝΗΣ ΧΡΥΣΑΝΘΟΣ

Ο Κοκκίνης Χρυσάνθος γεννήθηκε στις 16-03-1982 στο Ηράκλειο Κρήτης. Αποφοίτησε από το 7^ο Γενικό Λύκειο Ηρακλείου τον Ιούνιο του 1999. Σήμερα είναι τελειόφοιτος φοιτητής του τμήματος Μηχανικών και Πληροφοριακών Συστημάτων της Σχολής Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Η διπλωματική του εργασία αφορά την αξιολόγηση της επίδοσης του CSMA/CA πρωτοκόλλου της οικογένειας προτύπων IEEE 802.11. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα εντοπίζονται σε ζητήματα ασύρματων τοπικών δικτύων.