



Παρουσίαση Διπλωματικής Εργασίας

Θέμα

*«Διαμόρφωση Σχήματος Απόδοσης
Προτεραιοτήτων στο 802.11»*

Επιμελητής:

Χούμας Κωνσταντίνος

*(Προπτυχιακός φοιτητής, Τμήματος Μηχανικών Η/Υ
Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας)*

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Τασιούλας Λεάνδρος

(Καθηγητής)

Κουτσόπουλος Ιορδάνης
(Αναπληρωτής Καθηγητής)

Βόλος, 14/10/2007

...αφιερωμένη στον επιστήμονα που παραμένει άνθρωπος...

...Ευχαριστίες...

Θέλω να ευχαριστήσω εξαιρετικά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Λέανδρο Τασιούλα για την όλη υποστήριξη που μου προσέφερε κατά την διάρκεια της φοίτησης μου, αλλά και κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, όπου μου έδωσε την ευκαιρία να ζήσω για ένα μήνα στην Νέα Υόρκη και να υλοποιήσω μεγάλο μέρος αυτής στο... 245 Lab του Polytechnic University.

Να ευχαριστήσω επίσης και όλους τους καθηγητές που γνώρισα κατά την διάρκεια της φοίτησης μου, όπως και τον κ. Ιορδάνη Κουτσόπουλο, ιδιαίτερα δε αυτούς με τους οποίους συνεργάστηκα σε αρκετά μαθήματα και με βοήθησαν να φτάσω στο σκαλί της αποφοίτησης... Από αυτό το σημείο θέλω να δώσω τα ιδιαίτερα συγχαρητήρια μου σε εκείνους που ήταν πάντα στο γραφείο τους και απαντούσαν σε κάθε απορία με εμφανή διάθεση να βοηθήσουν. Μπορεί να νομίζουν ότι δεν εκτιμάται... αλλά εγώ πάντα θα το υπερεκτιμώ!

Από καρδιάς ευχαριστώ τον Θανάση Κοράκη που γνώρισα στην Νέα Υόρκη και μου υπενθύμισε τι σημαίνει ελληνική φιλοξενία και ανθρωπιά. Ελπίζω στο μέλλον να έχουμε την δυνατότητα πιο συχνών επαφών, καθώς δεν με βοήθησε μόνο ακαδημαϊκά, αλλά είχαμε και την ευκαιρία πολλών προσωπικών συζητήσεων, όπου κέρδισα μία πληθώρα ενδιαφερουσών συμβουλών και απόψεων... Μαζί του γνώρισα και εξαιρετικούς συναδέλφους Ινδούς, εξίσου φιλόξενους και καλοπροαίρετους, στους οποίους πάντα θα χρωστάω όμως εκείνη την «αλγεινή» ανάμνηση από την πικάντικη γεύση της κουζίνα τους...

Κλείνοντας θα ευχαριστήσω τους δικούς μου... την οικογένεια μου στην οποία χρωστάω εμμέσως ή αμέσως τα πάντα. Πριν από κάθε μου προσπάθεια και ενδεχόμενη επιτυχία δεν μπορώ να ξεχνάω την συμβουλή του πατέρα μου... «Η εργασία σε γεμίζει και σε αναγνωρίζει. Όχι για το αποτέλεσμα ή το χρήμα, αλλά για την ίδια την διαδικασία». Όπως δεν πρόκειται να λησμονήσω τα χρόνια της βασικής μου εκπαίδευσης, που η μητέρα μου ήταν πάντα δίπλα μου, τόσο χρήσιμη και τόσο απαραίτητη.

Να ευχαριστήσω τέλος και την Αλεξάνδρα, που σε κάθε αγωνία των τελευταίων κρίσιμων χρόνων της μέχρι τώρα ζωής μου και της πανεπιστημιακής μου εκπαίδευσης υπήρξε δίπλα μου... και με βοήθησε με τρόπο ξεχωριστό και μοναδικό. Της χρωστάω πολλά και ελπίζω να μπορέσω να ανταποδώσω. Αν σ' αυτή την ζωή άνθρωποι απογοητεύτηκαν γιατί δεν μπόρεσαν να βρουν κατανόηση, η Αλεξάνδρα είναι για πολύ καιρό ο μόνιμος ακροατής μου όπου ξέρω ότι μπορώ να απευθυνθώ και να βρω μια ύστατη ανταπόκριση...

Περιεχόμενα

A.	Γενικά	9
A.1.	Ασύρματα Δίκτυα	9
A.2.	Ιδιαιτερότητες της Επικοινωνίας στα Ασύρματα Δίκτυα	10
A.3.	Το Πρωτόκολλο Πολλαπλής Πρόσβασης (MAC) στα Ασύρματα Δίκτυα	11
A.4.	Το Πρότυπο IEEE 802.11	13
A.5.	Το Πρότυπο IEEE 802.11e	19
B.	Περιγραφή του Σχήματος Απόδοσης Προτεραιοτήτων	23
B.1.	Εισαγωγή	23
B.2.	Παρουσίαση του Σχήματος Απόδοσης Προτεραιοτήτων	24
B.3.	Υλοποίηση	26
B.4.	Μετρήσεις	28
B.5.	Συμπεράσματα	31
	Βιβλιογραφία	32

Εικόνες

1.	Αδόμητο Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο	9
2.	Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο με Υποδομή	10
3.	Στοίβα OSI επιπέδων	11
4.	Το πρόβλημα του Κρυμμένου Κόμβου	12
5.	Το πρόβλημα του Εκτεθειμένου Κόμβου	12
6.	Η αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων της οικογένειας IEEE 802	13
7.	Ανεξάρτητο Σύνολο Βασικής Υπηρεσίας (IBSS)	14
8.	Σύνολο Βασικής Υπηρεσίας με Υποδομή (BSS)	14
9.	Εκτεταμένο Σύνολο Υπηρεσιών (ESS)	15
10.	Η διαδικασία CSMA και Ack	16
11.	Η διαδικασία CSMA/CA και Ack (αυτή που ακολουθεί το 802.11)	17
12.	Η μέθοδος πρόσβασης PCF	18
13.	Αντιστοιχία TC σε AC	21
14.	Η δομή πλαισίου του MAC του 802.11e	22
15.	Κλασσικός Χαρακτηρισμός πακέτων στο QoS	24
16.	Χαρακτηρισμός πακέτων στον προτεινόμενο Μηχανισμό Απόδοσης Προτεραιοτήτων	25
17.	Στιγμιότυπο λειτουργία της Γραφικής Διεπαφής	26
18.	Αποτελέσματα για 2 σταθμούς	30
19.	Αποτελέσματα για 4 σταθμούς	30

A. Γενικά

A.1. Ασύρματα Δίκτυα

Ένα ασύρματο δίκτυο ορίζεται ως η τοπολογία και η τεχνολογία που επιτρέπει σε δύο ή περισσότερους υπολογιστές, εξοπλισμένους με μια κάρτα ασύρματης πρόσβασης (Wireless Networking Interface Card, WNIC), να επικοινωνήσουν μεταξύ τους χωρίς την χρήση καλωδίων. Η ανάπτυξη και η χρήση των Ασύρματων Τοπικών Δικτύων (Wireless Local Area Networks, WLANs) αποτελεί το επίκεντρο της σύγχρονης τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα αναπτύσσονται σε μια περιορισμένη σχετικά περιοχή όπως μια αίθουσα, ένα κτήριο ή την περιοχή ενός συγκροτήματος.

Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Στα αδόμητα (ad-hoc) ασύρματα δίκτυα και στα ασύρματα δίκτυα με υποδομή (infrastructure).

Αδόμητα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα

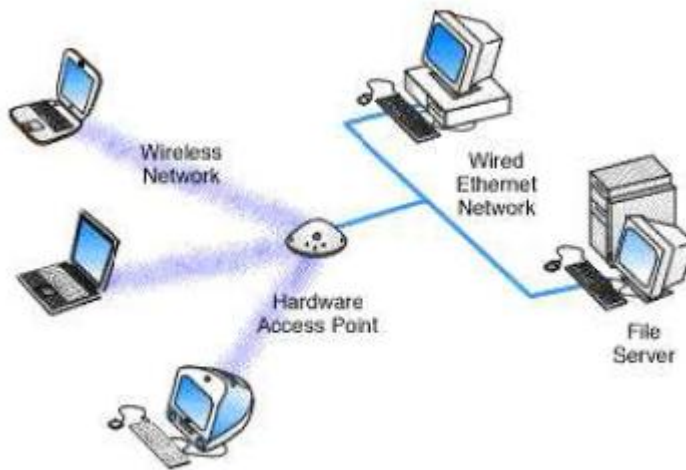
Στα αδόμητα δίκτυα κάθε υπολογιστής μπορεί να επικοινωνήσει απ' ευθείας με οποιονδήποτε άλλο υπολογιστή. Με τον τρόπο αυτό έχουν όλοι πρόσβαση σε κοινούς πόρους όπως εκτυπωτές ή αρχεία. Επιπλέον μπορούν να επικοινωνήσουν με τον έξω κόσμο, αν ένας από τους υπολογιστές του δικτύου είναι συνδεδεμένος με κάποιο ενσύρματο δίκτυο και παίζει έτσι τον ρόλο της Γέφυρας (Bridge) μεταξύ των δύο δικτύων. Ένα παράδειγμα αδόμητου ασύρματου δικτύου φαίνεται στην εικόνα 1.

Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα με Υποδομή

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο διαθέτει εκτός από τους υπολογιστές-σταθμούς και ένα ειδικό σταθμό που ονομάζεται Σημείο Πρόσβασης (Access Point, AP) ή Σταθμός Βάσης (Base Station, BS). Το AP είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση των σταθμών, καθότι όλοι μπορούν να επικοινωνούν μόνο με αυτό και διαμέσου αυτού με όλους τους υπόλοιπους σταθμούς. Επίσης το AP είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση του ασύρματου δικτύου με το εξωτερικό ενσύρματο δίκτυο, την διαχείριση των κοινών πόρων και τον τρόπο πρόσβασης των σταθμών στο ασύρματο μέσο. Ένα παράδειγμα ασύρματου δικτύου με υποδομή φαίνεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 1: Αδόμητο Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο



Εικόνα 2: Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο με Υποδομή

A.2. Ιδιαιτερότητες της Επικοινωνίας στα Ασύρματα Δίκτυα

Στα ασύρματα δίκτυα οι κόμβοι χρησιμοποιούν ράδιο-σήματα για την επικοινωνία τους. Στην κλασική περίπτωση, κάθε κόμβος μπορεί να μεταδίδει ή να λαμβάνει σε μια χρονική στιγμή άλλα όχι και τα δύο συγχρόνως. Η επικοινωνία των κινητών κόμβων είναι εφικτή όταν οι κόμβοι βρίσκονται εντός μιας συγκεκριμένης περιοχής κάλυψης. Όλοι οι κόμβοι χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα για να μεταδώσουν και να παραλάβουν μηνύματα. Έτσι, μέσα στην περιοχή κάλυψης, χρησιμοποιείται ένα κανάλι μετάδοσης, καλύπτοντας όλο το εύρος ζώνης.

Ένα χαρακτηριστικό της μετάδοσης των πακέτων στα ασύρματα δίκτυα είναι η έννοια της τοπικότητας. Όταν κάποιος σταθμός μεταδίδει σε κάποιον άλλο δεν είναι σίγουρο ότι οι υπόλοιποι σταθμοί του δικτύου θα το αντιληφθούν. Το ποιοι σταθμοί θα αντιληφθούν την μετάδοση εξαρτάται από την θέση στην οποία βρίσκονται, σε σχέση με τον αποστολέα του μηνύματος. Αυτοί που βρίσκονται στην περιοχή εμβέλειας του αποστολέα θα ακούσουν την μετάδοση, σε αντίθεση με όλους τους υπόλοιπους, που θα είναι σε θέση μόνο να επηρεάσουν αρνητικά την μετάδοση. Αυτό το χαρακτηριστικό δεν παρατηρείται στα ενσύρματα δίκτυα, όπου όλοι οι σταθμοί είναι συνδεδεμένοι στο καλώδιο και ακούνε οποιαδήποτε μετάδοση.

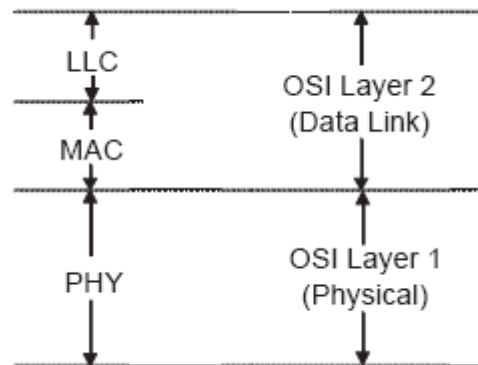
Συνέπεια της παραπάνω ιδιότητας, είναι η χρήση ενδιάμεσων κόμβων κατά την μετάδοση πακέτων, όταν ο παραλήπτης δεν βρίσκεται στην περιοχή εμβέλειας του αποστολέα. Το πακέτο αναμεταδίδεται διαδοχικά σε ενδιάμεσους σταθμούς (multihop WLANs).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα των ασύρματων δικτύων είναι η ύπαρξη εξωτερικής παρεμβολής (interference). Κάποια πηγή εξωτερικής παρεμβολής όπως ένας φούρνος μικροκυμάτων ή ένα άλλο ασύρματο δίκτυο που λειτουργεί στην ίδια συχνότητα, μπορεί να επηρεάσει έναν κοντινό σ' αυτό κόμβο και να μην του επιτρέψει να αντιληφθεί κάποια μετάδοση του δικτύου για μικρά ή μεγάλα διαστήματα. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι επίσης κάτι που δεν συναντάται στα ενσύρματα δίκτυα, καθότι το μέσο είναι μονωμένο από τον έξω κόσμο.

Τέλος, ένα ακόμη ιδιαίτερο χαρακτηριστικό στην λειτουργία των ασύρματων δικτύων είναι η κινητικότητα (mobility) των χρηστών. Ένας κόμβος μπορεί να μετακινείται οπουδήποτε στο χώρο εμβέλειας του δικτύου. Αυτό είναι μία αδιαμφισβήτητη θετική ιδιότητα, αλλά παράλληλα αυξάνει την πολυπλοκότητα των

μηχανισμών λειτουργίας των ασύρματων δικτύων. Ο χρήστης μπορεί να κινείται στο χώρο, έχοντας συνεχή σύνδεση στο δίκτυο και χωρίς να χρειάζεται να αναζητά πρίζες ή να ενημερώνει τους διαχειριστές δικτύου. Από την άλλη όμως, τα περισσότερα πρωτόκολλα δικτύων που έχουν δημιουργηθεί και λειτουργούν σήμερα, δεν προϋποθέτουν και κινητικότητα των χρηστών. Έχουν σχεδιαστεί με την υπόθεση ότι οι διευθύνσεις που δίνονται στους κόμβους του δικτύου θα παραμένουν σε σταθερές τοποθεσίες. Μια προσπάθεια επίλυσης αυτού του προβλήματος γίνεται με την σχεδίαση νέων πρωτοκόλλων όπως το DHCP και το Mobile-IP.

A.3. Το Πρωτόκολλο Πολλαπλής Πρόσβασης (MAC) στα Ασύρματα Δίκτυα



Εικόνα 3: Στοιβα OSI επιπέδων

Το επίπεδο Ελέγχου Πολλαπλής Πρόσβασης (MAC) είναι ένα υποεπίπεδο του Επιπέδου Σύνδεσης (Data Link Layer, DLL), που είναι το 2^ο κατά σειρά επίπεδο του μοντέλου OSI. Από πάνω του βρίσκεται το υποεπίπεδο Ελέγχου Λογικής Σύνδεσης (Logical Link Control, LLC) και από κάτω του το Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer, PHY), όπως φαίνεται στην εικόνα 3.

Σκοπός του MAC επιπέδου, είναι να παράσχει ένα μηχανισμό για την διευθέτηση της πρόσβασης των χρηστών στο κοινό ασύρματο μέσο. Ο μηχανισμός αυτός πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της μετάδοσης στο ασύρματο μέσο. Χαρακτηριστικά όπως η τοπικότητα στην μετάδοση, ή ύπαρξη εξωτερικής παρεμβολής και η κινητικότητα των χρηστών. Ο σχεδιασμός του MAC πρωτοκόλλου πρέπει να επωφελείται από τα πλεονεκτήματα των χαρακτηριστικών αυτών και να ελαχιστοποιεί τις αρνητικές συνέπειες τους.

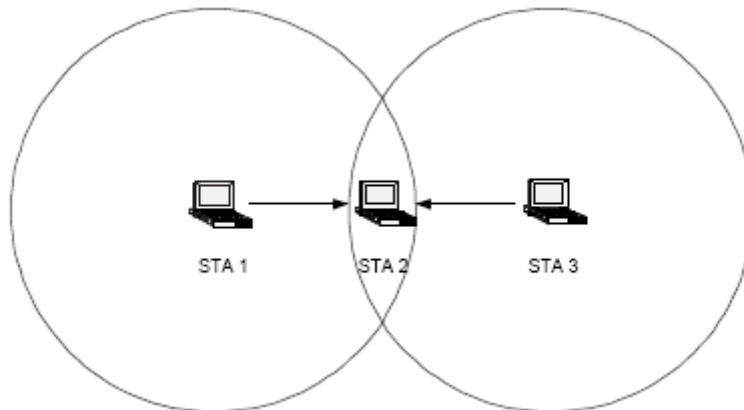
Μερικά προβλήματα που δημιουργούνται από τα άνωθεν χαρακτηριστικά παρατίθενται παρακάτω...

Το Πρόβλημα του Κρυμμένου Κόμβου (Hidden Terminal Problem)

Θεωρούμε ότι οι σταθμοί δεν παρεμβάλλουν τις εξελισσόμενες μεταδόσεις ξεκινώντας κάποια δική τους μετάδοση, όπως συμβαίνει και στα ενσύρματα τοπικά δίκτυα. Επομένως κάποιος σταθμός που θέλει να ξεκινήσει κάποια δική του μετάδοση, αν αντιληφθεί σε εξέλιξη μια άλλη, αναβάλλει την δική του μέχρι να απελευθερωθεί το μέσο. Όπως φαίνεται και από την εικόνα 4, η τοπολογία του δικτύου καθώς και η εμβέλεια του κάθε σταθμού είναι τέτοια, ώστε ο σταθμός 2 να ακούει τους σταθμούς 1 και 3 ενώ οι σταθμοί 1 και 3 ακούν μόνο τον σταθμό 2.

Λόγω του ότι ο 3 δεν είναι σε θέση να ακούσει την μετάδοση του 1, θεωρεί το κανάλι ελεύθερο, μεταδίδει στον 2 και δημιουργεί σύγκρουση. Ο σταθμός 3 είναι κρυμμένος κόμβος για τον σταθμό 1 και αντίστροφα. Το σενάριο αυτό ονομάζεται το

πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου, αποτελεί βασικό πρόβλημα στο χώρο των ασύρματων δικτύων και υπάρχουν αρκετές εργασίες που ασχολούνται με την αντιμετώπιση του.

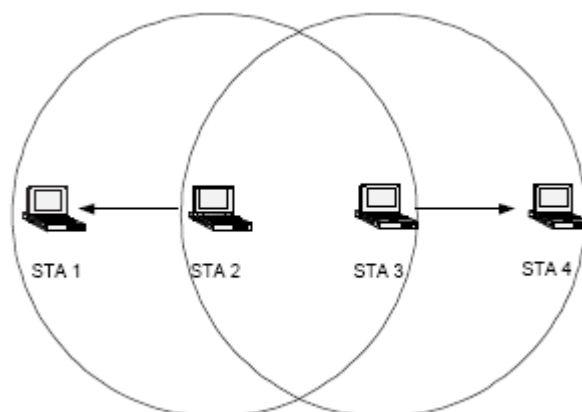


Εικόνα 4: Το πρόβλημα του Κρυμμένου Κόμβου

Το πρόβλημα του Εκτεθειμένου Κόμβου (Exposed Terminal Problem)

Και στην περίπτωση αυτή θεωρούμε ότι οι σταθμοί σέβονται τις εξελισσόμενες μεταδόσεις γύρω τους. Όπως φαίνεται στην εικόνα 5, η τοπολογία του δικτύου καθώς και η εμβέλεια του κάθε σταθμού είναι τέτοια, ώστε ο κάθε σταθμός ακούει τους άμεσους γείτονες του (π.χ. ο σταθμός 2 ακούει τους 1 και 3).

Ας θεωρήσουμε το σενάριο όπου ο σταθμός 2 αρχίζει να μεταδίδει στον σταθμό 1 και αμέσως μετά ο σταθμός 3 προτίθεται να μεταδώσει στον σταθμό 4. Λόγω του ότι ο 3 ακούει την μετάδοση του 2 θεωρεί ότι το κανάλι δεν είναι ελεύθερο και αναβάλλει την μετάδοση του μέχρι την ολοκλήρωση της μετάδοσης του 2. Με βάση την τοπολογία του δικτύου της εικόνας 5 είναι εμφανές ότι αν ο 3 ξεκινούσε την μετάδοση του παράλληλα δεν θα υπήρχε κάποιο πρόβλημα και επιπλέον θα αυξάνονταν η απόδοση του δικτύου. Στην περίπτωση αυτή λοιπόν έχουμε μια άσκοπη φίμωση του σταθμού 3, ο οποίος ονομάζεται εκτεθειμένος κόμβος. Το σενάριο ονομάζεται το πρόβλημα του εκτεθειμένου κόμβου και αποτελεί επίσης πρόβλημα τον χώρο των ασύρματων δικτύων, μιας και μειώνει άσκοπα την απόδοση τους.



Εικόνα 5: Το πρόβλημα του Εκτεθειμένου Κόμβου

Ένα αποδοτικό MAC πρωτόκολλο για ασύρματα δίκτυα πρέπει να λάβει υπόψη του όλα τα προβλήματα που αναφέρθηκαν και να προσπαθήσει να τα λύσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Η αγνόηση αυτών των σεναρίων κατά των σχεδιασμό του

πρωτοκόλλου, μπορεί να οδηγήσει σε λύσεις με μειωμένους παράγοντες αξιολόγησης των επιδόσεων ενός συστήματος που θα το υλοποιήσει, και επομένως θα είναι μη αποδοτικό.

Οι παράμετροι αξιολόγησης που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την αξιολόγηση της επίδοσης ενός MAC πρωτοκόλλου είναι οι εξής:

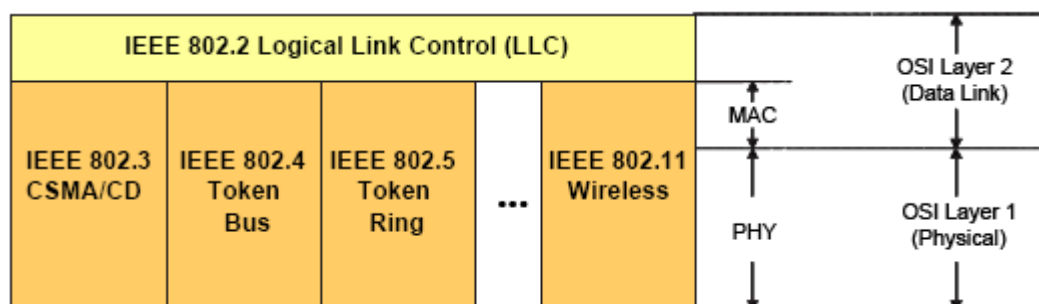
- Μέση καθυστέρηση από άκρο σε άκρο (end to end delay): Ο μέσος χρόνος που χρειάζεται για την μετάδοση ενός πακέτου από τον αποστολέα στον παραλήπτη.
- Ρυθμαπόδοση (throughput): Τα πακέτα που ελήφθησαν επιτυχώς χωρίς να υποστούν σύγκρουση.
- Επιπλέον χρήση του ασύρματου μέσου από τα πακέτα ελέγχου (control overhead)
- Διατήρηση ισχύος (power conservation).

Υπήρξαν ως τώρα πολλές προσεγγίσεις αλγορίθμων για την επίλυση των αναφερθέντων προβλημάτων και την ανάπτυξη αποδοτικών MAC πρωτοκόλλων για ασύρματα δίκτυα. Αυτές οι προσεγγίσεις μπορούν να υποδιαιρεθούν σε δύο κατηγορίες. Σε αυτά που χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι για τα πακέτα δεδομένων και τα πακέτα ελέγχου και σε αυτά που χρησιμοποιούν ξεχωριστά κανάλια. Από την πρώτη κατηγορία ενδεικτικά αναφέρω τα Medium Access Protocol with Collision Avoidance (MACA), MACA by Invitation (MACA-BI), Floor Acquisition Multiple Access (FAMA). Από την δεύτερη αναφέρω τα πρωτόκολλα Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA), Power Aware Multi-Access protocol with Signaling (PAMAS).

Αποτέλεσμα της μελέτης των παραπάνω πρωτοκόλλων από την ερευνητική κοινότητα της IEEE είναι η δημιουργία ενός προτύπου που φαίνεται να επικρατεί στην αγορά και να αποτελεί μια καθολική λύση στα σχεδιασμό και την υλοποίηση των ασύρματων δικτύων. Το πρωτόκολλο αυτό ονομάζεται IEEE 802.11, εγκρίθηκε το 1997 και συνεχώς βελτιώνεται με σκοπό να παρέχει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την ανάπτυξη ασύρματων τοπικών δικτύων.

A.4. Το Πρότυπο IEEE 802.11

Το 802.11 καθορίζει την λειτουργία του Φυσικού Επιπέδου (PHY) και του Επιπέδου Ελέγχου Πολλαπλής Πρόσβασης (MAC) ενός ασύρματου τοπικού δικτύου. Πάνω από αυτά τα επίπεδα, βρίσκεται το επίπεδο Ελέγχου Λογικών Συνδέσεων (LLC), το οποίο καθορίζεται από το πρότυπο IEEE 802.2. Η αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων της οικογένειας IEEE 802 φαίνεται στην εικόνα 6.



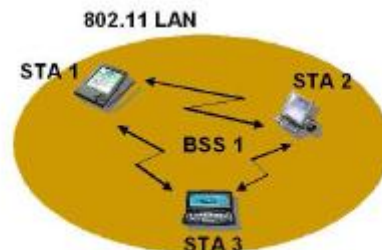
Εικόνα 6: Η αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων της οικογένειας IEEE 802

Αρχιτεκτονική του Συστήματος

Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.11 ένα τυπικό σύστημα αποτελείται από τις εξής οντότητες:

- Σταθμός (station, STA): Κάθε υποψήφιος μέτοχος για επικοινωνία, είτε ως αποστολέας είτε σαν παραλήπτης.
- Σημείο Πρόσβασης (Access Point, AP): Ο συντονιστής μιας ομάδας σταθμών
- Πύλη (Portal, PT): Ένα συγκεκριμένο AP που διασυνδέει ένα 802.11 ασύρματο δίκτυο με τον έξω κόσμο.

Ένα σύνολο από σταθμούς μαζί με ένα ή και περισσότερα ή και κανένα AP αποτελούν ένα Σύνολο Βασικής Υπηρεσίας (Basic Service Set, BSS) που είναι η βασική δομή ενός IEEE 802.11 τοπικού δικτύου. Υπάρχουν δύο κατηγορίες τέτοιων συνόλων: Το Ανεξάρτητο Σύνολο Βασικής Υπηρεσίας (Independent BSS, IBSS) όπως φαίνεται στην εικόνα 7 και το Σύνολο Βασικής Υπηρεσίας με Υποδομή (BSS) στην εικόνα 8.



Εικόνα 7: Ανεξάρτητο Σύνολο Βασικής Υπηρεσίας (IBSS)



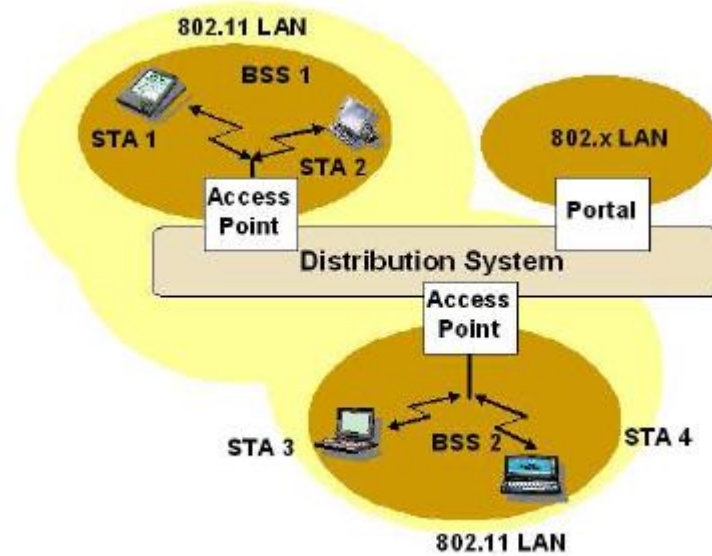
Εικόνα 8: Σύνολο Βασικής Υπηρεσίας με Υποδομή (BSS)

Το IBSS είναι ένα σύνολο από σταθμούς που συνδέονται απ' ευθείας μεταξύ τους. Όλοι οι σταθμοί είναι ισοδύναμοι μεταξύ τους και η σύνδεση-αποσύνδεση με το δίκτυο είναι δυναμική. Καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του δικτύου κάποιος σταθμός αναλαμβάνει κάποιες οργανωτικές λειτουργίες για την σωστή λειτουργία του δικτύου. Ο σταθμός αυτός δεν είναι απαραίτητο να είναι ο ίδιος καθ' όλη την έναρξη λειτουργίας του δικτύου ως το τέλος.

Το BSS με υποδομή αποτελείται από τουλάχιστον ένα AP και από σταθμούς. Ένα από όλα τα AP αναλαμβάνει να διασυνδέει όλα τους σταθμούς μέσω αυτού. Επίσης αναλαμβάνει τις οργανωτικές λειτουργίες του δικτύου.

Δύο ή περισσότερα BSS μπορούν να συνδεθούν μεταξύ μέσω του Συστήματος Διανομής (Distribution System, DS). Το σύνολο των διασυνδεδεμένων BSS μαζί με

το Σύστημα Διασύνδεσης ονομάζεται Εκτεταμένο Σύνολο Υπηρεσιών (Extended Service Set, ESS) και ένα παράδειγμα φαίνεται στην εικόνα 9.



Εικόνα 9: Εκτεταμένο Σύνολο Υπηρεσιών (ESS)

Η Υπηρεσία Σύνδεσης (Association)

Ένας σταθμός για να αποτελέσει μέρος ενός BSS πρέπει να περάσει διαδοχικά από κάποια στάδια. Η πρώτη διαδικασία είναι η Σύνδεση του σταθμού (Association) με το BSS. Ο σταθμός στην φάση αυτή λαμβάνει πληροφορίες συγχρονισμού από το AP (ή από κάποιο άλλο σταθμό αν το BSS είναι αδόμητο).

Ο σταθμός, έπειτα από την διαδικασία ανίχνευσης μπορεί πιθανώς να έχει περισσότερες της μίας επιλογές για να συνδεθεί. Σ' αυτήν την περίπτωση επιλέγει αυτό που νομίζει ότι εξυπηρετεί καλύτερα τις ανάγκες του. Αν δεν υπάρχει κανένα AP που να ικανοποιεί τις ανάγκες του, τότε δημιουργεί ένα IBSS με τα δικά του χαρακτηριστικά.

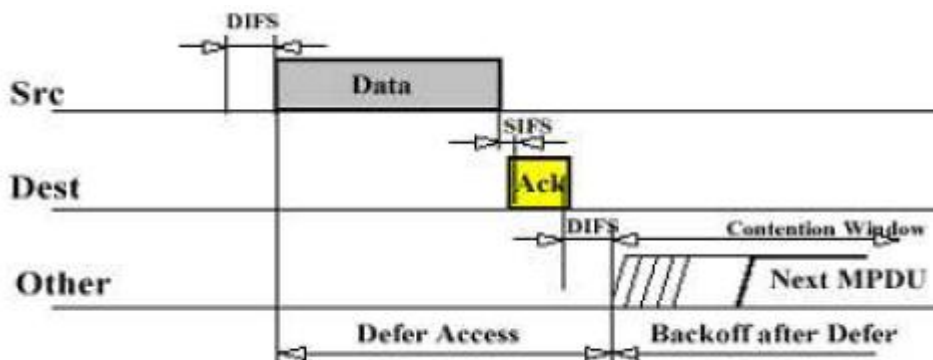
Ένας σταθμός μπορεί να ενεργοποιήσει δύο ακόμη ανάλογες υπηρεσίες, την Επανασύνδεση (Reassociation) και την Αποσύνδεση (Disassociation). Η Επανασύνδεση ενεργοποιείται όταν ο σταθμός κινείται από ένα BSS σε ένα άλλο ή όταν ο σταθμός θέλει να αλλάξει συνθήκες λειτουργίας στο ίδιο BSS. Η διαδικασία της Αποσύνδεσης ενεργοποιείται όταν ο σταθμός θέλει να βγει εκτός λειτουργίας.

Η Υπηρεσία Πιστοποίησης (Authentication)

Κατά την διάρκεια της υπηρεσίας πιστοποίησης ο σταθμός που μόλις συνδέθηκε ανταλλάσσει στοιχεία πιστοποίησης με ένα AP ή ένα άλλο σταθμό, ώστε να γίνει μέλος ενός BSS ή ενός IBSS αντίστοιχα. Η πιστοποίηση μπορεί να γίνει με την τεχνική του Ανοιχτού Συστήματος (Open Source) ή του Διαμοιρασμένου Κλειδιού (Shared Key).

Η Βασική Μέθοδος Πρόσβασης DCF

Αφού ολοκληρωθούν οι δύο προηγούμενες υπηρεσίες, ο σταθμός είναι έτοιμος να κάνει χρήση του μέσου. Κάθε σταθμός διεκδικεί το μέσο άλλα μόνος ένας θα το κερδίσει και θα το χρησιμοποιήσει άμεσα. Οι άλλοι θα πρέπει να υποχωρήσουν και να περιμένουν να τελειώσει η εξελισσόμενη μετάδοση, ώστε να διεκδικήσουν ξανά το μέσο. Το σύστημα επιλέγει κάθε φορά τον σταθμό στον οποίο θα παραχωρήσει το μέσο με χρήση κάποιας Μεθόδου Πρόσβασης. Η βασική μέθοδος πρόσβασης που χρησιμοποιείται από το IEEE 802.11 ονομάζεται Λειτουργία Κατανεμημένου Συντονισμού (Distributed Coordination Function, DCF). Η μέθοδος αυτή είναι υλοποίηση του πρωτοκόλλου Πολλαπλής Πρόσβασης με Ανίχνευση Φέροντος και Αποφυγή Σύγκρουσης (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA). Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο ο κάθε σταθμός όταν προτίθεται να μεταδώσει, ανιχνεύει το ασύρματο μέσο. Αν το μέσο είναι κατειλημμένο τότε αναβάλλει την μετάδοση του και εκτελεί τον αλγόριθμο Υποχώρησης (Back-off algorithm). Αν το μέσο είναι ελεύθερο για έναν προκαθορισμένο χρόνο που ονομάζεται Κατανεμημένο Ενδιάμεσο Διάστημα (Distributed Inter Frame Space, DIFS) ο σταθμός μεταδίδει το πακέτο δεδομένων του. Ο παραλήπτης μόλις παραλάβει το πακέτο στέλνει ένα ειδικό πακέτο Επιβεβαίωσης (Acknowledgement) για να ενημερώσει τον αποστολέα ότι πλέον κατέχει και αυτό το πακέτο. Η διαδικασία φαίνεται στην εικόνα 10.



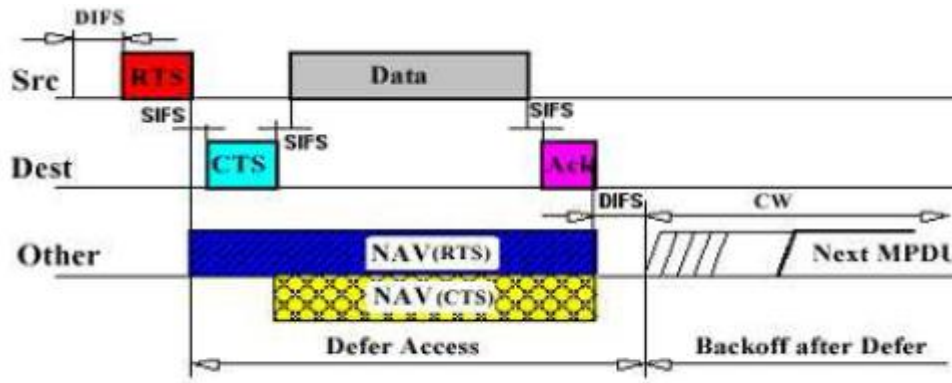
Εικόνα 10: Η διαδικασία CSMA και Ack

Η διαδικασία αυτή θα ήταν επαρκής αν η ιδιαίτερη φύση του ασύρματου μέσου με όλα τα χαρακτηριστικά που επεξηγήθηκαν προηγουμένως, δεν δημιουργούσε τα κάτωθεν προβλήματα...

- Αναποτελεσματικότητα της Ανίχνευσης Σύγκρουσης (Collision Domain)
- Αύξηση της πιθανότητας συγκρούσεων
- Πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου

Το IEEE 802.11 τα αντιμετωπίζει χρησιμοποιώντας επιπρόσθετα και την Αποφυγή Σφάλματος (Collision Avoidance). Η μέθοδος αυτή υλοποιείται με την χρήση ενός σχήματος που ονομάζεται Εικονική Ανίχνευση Καναλιού (Virtual Carrier Sense). Ο σταθμός όταν ξεκινά την μετάδοση, αφού έχει ανιχνεύσει ότι το μέσο είναι ελεύθερο για διάστημα μεγαλύτερο από DIFS, μεταδίδει ένα πακέτο ελέγχου που ονομάζεται Πακέτο Αίτησης για Μετάδοση (Request to Send, RTS) και ο παραλήπτης λάβει κανονικά το πακέτο, απαντάει με ένα πακέτο που ονομάζεται Πακέτο Καθαρού Μέσου για Μετάδοση (Clear to Send, CTS) δηλώνοντας στον

αποστολέα ότι μπορεί να προχωρήσει στην μετάδοση του πακέτου δεδομένων. Μετά η διαδικασία είναι με πριν, όπου μετά την λήψη του πακέτου, ο παραλήπτης πρέπει να το επιβεβαιώσει με την αποστολή ενός πακέτου Acknowledgement. Η όλη διαδικασία ονομάζεται Χειραψία Τεσσάρων Πακέτων (Four Way Handshake) και επεξηγείται γραφικά με την εικόνα 11:



Εικόνα 11: Η διαδικασία CSMA/CA και Ack (αυτή που ακολουθεί το 802.11)

Στην επικεφαλίδα των πακέτων RTS, CTS και του πακέτου δεδομένων περιλαμβάνεται και η υπολειπόμενη διάρκεια της εξελισσόμενης χειραψίας των τεσσάρων πακέτων. Η πληροφορία αυτή υπολογίζεται με βάση τα στατιστικά στοιχεία από προηγούμενες επικοινωνίες. Οι γείτονες σταθμοί που δεν μετέχουν στην επικοινωνία αλλά ακούν αυτά τα πακέτα, αναβάλλουν την μετάδοσή τους για όσο διάστημα προδιαγράφει η πληροφορία στα πακέτα. Αυτό υλοποιείται με την ενεργοποίηση ενός μετρητή που ονομάζεται Διάνυσμα Δέσμευσης του Δικτύου (Network Allocation Vector, NAV) για διάστημα ίσο με αυτό που αναφέρεται στο πακέτο. Ο συνολικός μηχανισμός υπάρχει στην εικόνα 11.

Στην εικόνα είναι εμφανής επίσης η χρήση ενός μικρότερου ενδιάμεσου διαστήματος που ονομάζεται Μικρό Ενδιάμεσο Διάστημα (Small Inter Frame Space, SIFS). Αυτό είναι το μικρότερο διάστημα που μπορεί να μεσολαβήσει μεταξύ δύο πακέτων στο IEEE 802.11. Χρησιμοποιείται για να χωρίζει τα πακέτα που ανήκουν στην ίδια χειραψία των τεσσάρων πακέτων.

Ο αλγόριθμος Υποχώρησης (Back-off algorithm)

Το 802.11 χρησιμοποιεί έναν εκθετικό αλγόριθμο υποχώρησης που ενεργοποιείται κάθε φορά που μία από τις παρακάτω συνθήκες ισχύει:

- Όταν ένας σταθμός ανιχνεύει το μέσο και το βρίσκει κατειλημμένο
- Όταν για κάποιο λόγο διακόπτεται η ανταλλαγή των πακέτων της χειραψίας των τεσσάρων μερών
- Έπειτα από κάθε μετάδοση
- Έπειτα από κάθε αναμετάδοση

Ο κάθε σταθμός διατηρεί έναν μετρητή που ονομάζεται Παράθυρο Ανταγωνισμού (Contention Window, CW). Η τιμή του CW κυμαίνεται στο διάστημα $[7, 255]$ με αρχική τιμή το 7. Όταν ο σταθμός εκτελεί τον αλγόριθμο, δημιουργεί έναν τυχαίο αριθμό n στο διάστημα $[0, CW)$. Έπειτα, αναβάλλει την μετάδοσή του για διάρκεια ίση με n χρονοθυρίδες (slots). Μετά από κάθε επανάληψη το αλγορίθμου το CW

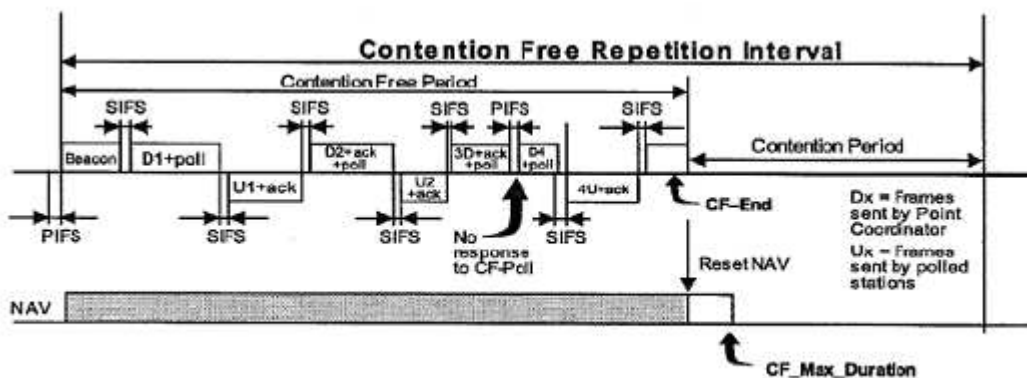
διπλασιάζεται, μέχρι να γίνει επιτυχής ολοκλήρωση της χειραψίας οπότε και το CW επανέρχεται στην αρχική του τιμή.

Η Μέθοδος Πρόσβασης PCF

Το 802.11 διαθέτει και μία επιπλέον μέθοδο πρόσβασης που ονομάζεται Λειτουργία Κεντροποιημένου Συντονισμού (Point Coordination Function, PCF). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται μόνο σε ασύρματα δίκτυα με υποδομή, όπου το AP συμμετέχει στην διαδικασία ελέγχου του μέσου. Η PCF αποτελεί προέκταση της DCF και σκοπός της είναι να υποστηρίξει υπηρεσίες που απαιτούν χρονικές εγγυήσεις στη μετάδοση των πακέτων.

Κατά την λειτουργία αυτή το AP έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα έναντι των άλλων σταθμών του κελιού (cell). Αυτό το πετυχαίνει περιμένοντας χρονικό διάστημα μικρότερο από DIFS όταν θέλει να ξεκινήσει κάποια χειραψία. Πιο συγκεκριμένα περιμένει για χρονικό διάστημα ίσο με μία νέα παράμετρο που λέγεται Κεντροποιημένο Ενδιάμεσο Διάστημα (Point Inter Frame Space, PIFS). Κάθε φορά που το AP παίρνει τον έλεγχο του μέσου ενημερώνει όλους τους υπόλοιπους σταθμούς για την έναρξη της λειτουργίας της PCF καθώς και για την αναμενόμενη διάρκεια της, και αυτοί σέβονται τους κανόνες που το AP ορίζει. Θέτουν το NAV τους ενεργό για όσο χρονικό διάστημα το AP κατέχει το μέσο.

Κατά την διάρκεια της PCF το AP καλεί τους σταθμούς διαδοχικά να μεταδώσουν ένα πακέτο τους, στέλνοντας τους ένα πακέτο ελέγχου που ονομάζεται Poll. Όταν ένας σταθμός λαμβάνει ένα Poll απαντά με ένα πακέτο δεδομένων στο AP και ξανασωπαίνει. Το AP μπορεί σε συνδυασμό με το πακέτο Poll να στείλει και δεδομένα στο σταθμό που καλεί καθώς και επιβεβαίωση στον προηγούμενο σταθμό. Από την άλλη μεριά ο κάθε σταθμός μπορεί μαζί με το μεταδιδόμενο πακέτο να στείλει και επιβεβαίωση λήψης για το πακέτο που έλαβε από το AP. Η περίοδος λειτουργίας της PCF ονομάζεται Περίοδος Χωρίς Ανταγωνισμό (Contention Free Period, CFP) ενώ η περίοδος κατά την οποία η DCF είναι ενεργή ονομάζεται (Contention Period, CP). Όλα τα παραπάνω φαίνονται στην εικόνα 12.



Εικόνα 12: Η μέθοδος πρόσβασης PCF

Για να επιτευχθεί ο συγχρονισμός των σταθμών του κελιού καθώς και η ενημέρωσή τους με άλλες πληροφορίες ελέγχου, το AP μεταδίδει ανά τακτά χρονικά διαστήματα ένα πακέτο ελέγχου που ονομάζεται πλαίσιο Χαιρετισμού (Beacon frame). Το πλαίσιο αυτό περιέχει πληροφορίες συγχρονισμού, υποστηριζόμενων υπηρεσιών, υποστηριζόμενων ρυθμών μετάδοσης...

A.5. Το Πρότυπο IEEE 802.11e

Το MAC πρωτόκολλο όπως είδαμε περιέχει δύο μεθόδους πρόσβασης στο μέσο, την κατανομημένη DCF και την κεντρικοποιημένη PCF. Η πρώτη καλείται στα αδόμητα ασύρματα αλλά και στα ασύρματα με υποδομή όταν βρίσκεται στην περίοδο ανταγωνισμού CP. Η δεύτερη καλείται μόνο στα ασύρματα με υποδομή κατά την περίοδο χωρίς ανταγωνισμό CFP. Με την PCF επιτυγχάνεται μια ιδέα από Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service, QoS). Ωστόσο εξακολουθούν να υπάρχουν κάποια προβλήματα όπως:

- Δεν υπάρχει δικαιοσύνη στις επιλογές της DCF, ούτε βραχυπρόθεσμη ούτε μακροπρόθεσμη.
- Τα πακέτα δεν μπορούν να διακριθούν με βάση την ποιότητα της υπηρεσίας που τα παρήγαγε και την προτεραιότητα τους στο δίκτυο.
- Κάθε σταθμός μπορεί να μεταδώσει μόνο ένα πακέτο ανά CFP μετά το κάλεσμα (Polling) του από το AP. Αρκετά στατική διαδικασία για την παροχή ποιότητας υπηρεσίας με δυναμικό τρόπο.
- Ο κάθε σταθμός δεν μπορεί να χειριστεί με διαφορετικό τρόπο πακέτα με διαφορετικούς προορισμούς, άρα ενδεχομένως και διαφορετικής ποιότητας υπηρεσίας. Δεν μπορεί να δώσει στο ένα προτεραιότητα έναντι του άλλου.
- Εν τέλει η PCF μπορεί να εγγυηθεί την μετάδοση ενός πακέτου ανά περίοδο superframe (CFP + CP). Αυτός ο ρυθμός μπορεί να μην αρκετός για πολλές υπηρεσίες.

Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκε το πρωτόκολλο IEEE 802.11e που επεκτείνει το IEEE 802.11 ώστε να μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές απαιτήσεις από διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας. Συγκεκριμένα προσθέτει σε κάθε AP μία οντότητα χρονοπρογραμματιστή, η οποία είναι υπεύθυνη για την διαχείριση των πόρων του δικτύου και την δίκαιη κατανομή αυτών στους χρήστες.

Παροχή Ποιότητας Υπηρεσίας

Το 802.11e υποστηρίζει με δύο τρόπους την παροχή ποιότητας υπηρεσίας σε ένα ασύρματο δίκτυο:

QoS προτεραιοτήτων: Οκτώ κατηγορίες κυκλοφορίας (Traffic Categories, TC) έχουν οριστεί, όπου κάθε κατηγορία είναι ένα σύνολο ανεξάρτητων πλαισίων που αντιμετωπίζονται από το επίπεδο MAC με την ίδια προτεραιότητα. Η προτεραιότητα υποδεικνύεται από τον Προσδιοριστή Κατηγορίας Κυκλοφορίας (Traffic Category Identified, TCID). Οι δυνατές τιμές αυτού του προσδιοριστή κυμαίνονται από 0 έως 7 και όσο μεγαλύτερη είναι μία τιμή αντιστοιχεί και σε μεγαλύτερη προτεραιότητα.

Παραμετροποιημένη QoS: Στην παραμετροποιημένη παροχή ποιότητας υπηρεσιών, τα πακέτα με κοινά χαρακτηριστικά κυκλοφορίας ομαδοποιούνται σε κατηγορίες που ονομάζονται ρεύματα κυκλοφορίας (Traffic Streams, TS). Κάθε ρεύμα κυκλοφορίας είναι εξίσου ένα σύνολο ανεξάρτητων πλαισίων που μεταδίδονται ικανοποιώντας κάποιες προδιαγραφές όπως το καθορισμένο μέσο μέγεθος πακέτου, μέσο ρυθμό δεδομένων καθώς και τα όρια στις καθυστερήσεις. Το κάθε ρεύμα προσδιορίζεται από έναν Προσδιοριστή Ρεύματος Κυκλοφορίας (Traffic Stream Identifier, TSID). Οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 8 και 15 και χρησιμοποιείται από τις οντότητες υψηλότερου επιπέδου για να υποδείξουν στο επίπεδο MAC το ρεύμα κυκλοφορίας του πλαισίου που του παραδίδουν.

Ρεύματα Κυκλοφορίας (Traffic Stream, TS)

Η δημιουργία ενός ρεύματος κυκλοφορίας αποφασίζεται από τα υψηλότερα επίπεδα και υλοποιείται από το επίπεδο MAC. Συγκεκριμένα το ρεύμα δημιουργείται από την Οντότητα Διαχείρισης (Station Management Entity, SME) του Σταθμού με Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS based STation, QSTA). Η SME αιτείται από το MAC επίπεδο την παραγωγή ενός νέου ρεύματος κυκλοφορίας. Ο καθορισμός των χαρακτηριστικών αυτού του ρεύματος ονομάζεται Καθορισμός Κυκλοφορίας.

Καθορισμός Κυκλοφορίας (Traffic Specification, TSPEC) είναι ο καθορισμός του συνόλου των παραμέτρων που καθορίζουν το είδος κυκλοφορίας που θα παραχθεί. Υπάρχουν δύο ειδών κατηγορίες παραμέτρων: Τα γενικά χαρακτηριστικά (όπως η διεύθυνση του παραλήπτη) που δεν έχουν σχέση με την ποιότητα της υπηρεσίας, και τα χαρακτηριστικά των πακέτων και οι απαιτήσεις για την μετάδοσή τους (όπως ο ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης, μέγιστο μήκος ριπής κ.α.).

Νέες μέθοδοι πρόσβασης

Το 802.11e προτείνει μια νέα μέθοδο πρόσβασης που ονομάζεται Λειτουργία Υβριδικού Συντονισμού (Hybrid Coordination Function, HCF). Αυτή η μέθοδος είναι μια ολοκληρωμένη παρουσίαση της συνεργασίας δύο επιμέρους μεθόδων πρόσβασης. Η πρώτη ονομάζεται Ενισχυμένη Κατανεμημένη Πρόσβαση Καναλιού (Enhanced Distributed Channel Access, EDCA) και είναι μια τροποποίηση της υπάρχουσας DCF για την υποστήριξη QoS. Η δεύτερη ονομάζεται Πρόσβαση Καναλιού Ελεγχόμενη από την HCF (HCF Controlled Channel Access, HCCA) και είναι μια επέκταση της PCF με σκοπό να προσφέρει παραμετροποιημένη QoS. Η ενοποιημένη μέθοδος HCF μπορεί να λάβει χώρα και τις δύο περιόδους CP και CFP καλώντας στην ουσία μία από τις δύο μεθόδους EDCA και HCCA που ενοποιεί αντίστοιχα.

Η Ευκαιρία Μετάδοσης (Transmit Opportunity, TXOP) είναι ένα χρονικό διάστημα στην Περίοδο Ανταγωνισμού ή στην Περίοδο χωρίς Ανταγωνισμό, που καθορίζεται από την χρονική στιγμή έναρξης του και από την διάρκεια του. Κατά την διάρκεια αυτού του διαστήματος, ο QSTA στον οποίο αντιστοιχεί μπορεί να χρησιμοποιήσει το μέσο όπως επιθυμεί. Οι μεταδόσεις σε ένα TXOP χωρίζονται με ένα SIFS.

Η μέθοδος Ενισχυμένης Κατανεμημένης Πρόσβασης Καναλιού (EDCA) όπως προαναφέρθηκε είναι μια βελτίωση της βασικής DCF με σκοπό να υποστηρίξει τις Κατηγορίες Κυκλοφορίας (TC) και να προσφέρει δικαιοσύνη στην χρήση του μέσου. Στην ουσία η EDCA παρέχει διαφοροποιημένη DCF για κάθε κατηγορία κυκλοφορίας. Το πρωτόκολλο IEEE 802.11e έχει ορίσει 4 Κατηγορίες Πρόσβασης (Access Categories, AC) και κάθε TC αντιστοιχεί σε κάποιο AC, όπως φαίνεται και στην εικόνα 13.

Priority	Traffic Category	Access Category	Designation
Lower	1	AC_BK	Background
	2	AC_BK	Background
	0	AC_BE	Best Effort
	3	AC_BE	Best Effort
	4	AC_VI	Video
	5	C_VI	Video
Highest	6	AC_VO	Voice
	7	AC_VO	Voice

Εικόνα 13: Αντιστοιχία TC σε AC

Κάθε QSTA διαθέτει για κάθε κατηγορία πρόσβασης και μία ξεχωριστή ουρά. Άρα σε κάθε QSTA υπάρχουν 4 διαφορετικές ουρές που ανταγωνίζονται μεταξύ τους για την χρήση του μέσου, με τους ίδιους όρους που λειτουργεί και η DCF. Η διαφορά είναι ότι στην θέση του διαστήματος DIFS κάθε ουρά χρησιμοποιεί ένα άλλο διάστημα που λέγεται Ενδιάμεσο Διάστημα Διαιτησίας (Arbitration IFS, AIFS) που είναι μεγαλύτερο από DIFS. Το AIFS δεν είναι ίδιο για κάθε ουρά ή κατηγορία πρόσβασης. Αν κατηγορία πρόσβασης $1 \leq i < 4$ έχει μικρότερη προτεραιότητα από την κατηγορία $1 < j \leq 4$, τότε $AIFS(i) > AIFS(j)$. Αυτό σημαίνει ότι τα πακέτα από μία ουρά υψηλότερης προτεραιότητας περιμένουν λιγότερο ακούγοντας το μέσο ελεύθερο για να ξεκινήσουν την μετάδοση τους, και έτσι τους παρέχεται και η αντίστοιχη προτεραιότητα.

Κάθε ουρά έχει επίσης το δικό της παράθυρο υποχώρησης (back-off), το δικό της μετρητή υποχώρησης, CW_{min} και CW_{max} , τη δική της λειτουργία υποχώρησης. Η ουρά με την μεγαλύτερη προτεραιότητα έχει και μικρότερα παράθυρα υποχώρησης. Ο τρόπος αύξησης του παραθύρου δεν είναι εκθετικός (όπως στην DCF) άλλα χρησιμοποιείται ένας Παράγοντας Εμμονής (Persistence Factor, PF), ο οποίος είναι διαφορετικός για κάθε κατηγορία. Αν δύο ουρές φτάσουν συγχρόνως στο μηδέν μετά την υποχώρηση, τότε θα μεταδώσει αυτή με την μεγαλύτερη προτεραιότητα.

Αν ένας QSTA κερδίσει έναν EDCA ανταγωνισμό και λάβει το μέσο, αντί της αποστολής ενός απλού πλαισίου, μπορεί να χρησιμοποιήσει το μέσο για μια χρονική περίοδο ίση με την μέγιστη διάρκεια της TXOP. Σ' αυτό το διάστημα μπορεί να στείλει περισσότερα του ενός πλαίσια σε περισσότερους από έναν παραλήπτες. Ο QSTA λαμβάνει εξ ολοκλήρου τις αποφάσεις για το πώς θα χρησιμοποιήσει το μέσο. Κάθε άλλος QSTA θα αναβάλλει την μετάδοση του με την γνωστή διαδικασία του NAV. Η διάρκεια που θα θέσουν το NAV ενεργό είναι γνωστή από ένα νέο στοιχείο ελέγχου που έχει προστεθεί στα πακέτα Χαιρετισμού, που περιέχει όλες τις σχετικές τιμές των TXOP, CW_{min} , CW_{max} , AIFS και PF.

Η συμπληρωματική μέθοδος Πρόσβασης Καναλιού Ελεγχόμενη από την HCF (HCCA) προϋποθέτει ένα δομημένο ασύρματο δίκτυο. Μπορεί να συνυπάρξει με την PCF και η λειτουργία της είναι να προσφέρει Ευκαιρίες Μετάδοσης στους σταθμούς του κελιού, σύμφωνα με τις ανάγκες τους. Η συνύπαρξη τους βέβαια δεν είναι αποδοτική, δεδομένου ότι η πιο ενισχυμένη HCCA μπορεί να αντικαταστήσει την PCF. Η HCCA χρησιμοποιεί έναν Κεντροποιημένο Συντονιστή (Point Coordinator, PC), ο οποίος ονομάζεται Υβριδικός Συντονιστής (Hybrid Coordinator, HC). Ο HC βρίσκεται στο AP του κελιού και χρησιμοποιώντας την προτεραιότητα του, λαμβάνει

το μέσο και παρέχει Ευκαιρίες Μετάδοσης μέσω ενός ενισχυμένου μηχανισμού polling.

Octets:2	2	6	6	6	2	6 or 0	2	0-2312	4
Frame Control	Dur./ ID	Addr 1	Addr 2	Addr 3	Sequence Control	Addr 4	QoS Control	Frame Body	FCS

Εικόνα 14: Η δομή πλαισίου του MAC του 802.11e

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 14, η νέα επικεφαλίδα των πλαισίων σε ένα ασύρματο δίκτυο με QoS, περιέχει ένα επιπλέον πεδίο. Σ' αυτό το πεδίο περιέχεται η κατηγορία κυκλοφορίας (1-7) ή ρεύμα κυκλοφορίας (8-15) στην οποία ανήκει το πακέτο καθώς και το μέγεθος της ουράς του σταθμού για την συγκεκριμένη κατηγορία. Η τελευταία πληροφορία είναι χρήσιμη για τον HC ώστε να προσφέρει αντίστοιχα TXOP σε σωστές στιγμές και διάρκεια.

B. Περιγραφή του Σχήματος Απόδοσης Προτεραιοτήτων

B.1. Εισαγωγή

Το ασύρματο μέσο έχει γίνει πλέον πολύ προσφιλές για την δικτύωση δύο ή και περισσότερων σταθμών. Η χρήση του είναι όλο και πιο διευρυμένη με ότι αυτό συνεπάγεται. Πολλά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας, σε σχέση με την χρήση της ενσύρματης διασύνδεσης, αναπτύχθηκαν προηγουμένως. Αδιαμφισβήτητα υπάρχουν θετικά σημεία στα οποία οφείλεται και η αυξανόμενη επικράτηση της ασύρματης τεχνολογίας. Από την άλλη μεριά όμως, υπάρχουν και προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν ολοκληρωτικά κάποια στιγμή και με όλο και καλύτερο τρόπο. Πολλά από αυτά αναπτύχθηκαν προηγουμένως. Τώρα θα γίνει αναφορά για κάποιο άλλο πρόβλημα που προκύπτει όλο και περισσότερο όσο η χρήση των ασύρματων δικτύων επεκτείνεται.

Η φύση του ενσύρματου μέσου δεν επιτρέπει την απεριόριστη εισαγωγή νέων χρηστών. Κάθε χρήστης που θέλει να εισαχθεί στο δίκτυο πρέπει να συνδέσει την κάρτα δικτύου του με το καλώδιο. Προφανώς οι θύρες που επιτρέπουν την σύνδεση χρηστών με το καλώδιο είναι πεπερασμένες αλλά και ελέγξιμες υπό μία πληθώρα πρωτοκόλλων και μηχανισμών που έχουν αναπτυχθεί για αυτό τον σκοπό. Αυτό σημαίνει ότι ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί εύκολα να ελέγξει την κίνηση στο δίκτυο, την προέλευση της και αντίστοιχα να επιτρέψει, να περιορίσει ή και να αγοράσει την χρήση του καλωδίου από κάποιους χρήστες αν υπάρχει τέτοια ανάγκη. Αυτό δεν έχει ισχύ όμως στο ασύρματο μέσο.

Το ασύρματο μέσο επιτρέπει την δυναμική σύνδεση, αποσύνδεση ή και επανασύνδεση χρηστών. Όλοι οι συνδεδεμένοι σταθμοί έχουν τις ίδιες δυνατότητες όσον αφορά την χρήση του μέσου. Δεν υπάρχει μηχανισμός που να διακρίνει τους χρήστες, παρά μόνο τις υπηρεσίες αυτών. Επομένως υπάρχουν περιπτώσεις που αυτή η κατάσταση φαντάζει προβληματική και απαιτούνται μηχανισμοί που θα την αντιμετωπίσουν. Ένας τέτοιος ωφέλιμος μηχανισμός θα μπορούσε να αναθέτει προτεραιότητες και να διακρίνει με αυτό τον τρόπο τους χρήστες. Για παράδειγμα ας αναλογιστούμε την περίπτωση ενός ιδιωτικού AP που διαθέτει υπηρεσία πιστοποίησης χωρίς την χρήση κλειδιού. Ο ιδιοκτήτης του AP επιτρέπει με αυτό τον τρόπο σε κάθε άλλο χρήστη πέρα από αυτόν, και χωρίς καμία συνεννόηση, να έχει πρόσβαση στο δικό του AP υπό ίσους όρους. Αν δηλαδή και οι δύο θέλουν να επικοινωνήσουν με το AP δεν θα υπάρχει καμία διάκριση μεταξύ των δύο. Αυτό φαντάζει άδικο και γι' αυτό προτείνεται και το συγκεκριμένο σχήμα...

Το σχήμα Απόδοσης Προτεραιοτήτων εξετάζει την ταυτότητα των χρηστών και αντίστοιχα παραχωρεί προτεραιότητες. Βασίζεται σε πληροφορία που αποκτά το AP μέσω μιας γραφικής διεπαφής με τον χειριστή του AP. Η διεπαφή προσδιορίζει τις ταυτότητες ή αλλιώς τα αναγνωριστικά των υποψήφιων χρηστών που δικαιούνται προτεραιότητα και προσφέρει αυτή την πληροφορία στο AP. Με αυτό τον τρόπο, αναφερόμενοι πάλι στο προηγούμενο παράδειγμα, ο ιδιοκτήτης του AP μπορεί να το ενημερώσει ότι ο ίδιος δικαιούται προτεραιότητα έναντι όλων των άλλων χρηστών. Έτσι σε περίπτωση ταυτόχρονης προσπάθειας επικοινωνίας με το δικό του AP, μαζί με οποιονδήποτε άλλο τυχαίο χρήστη, αυτός θα πλεονεκτεί.

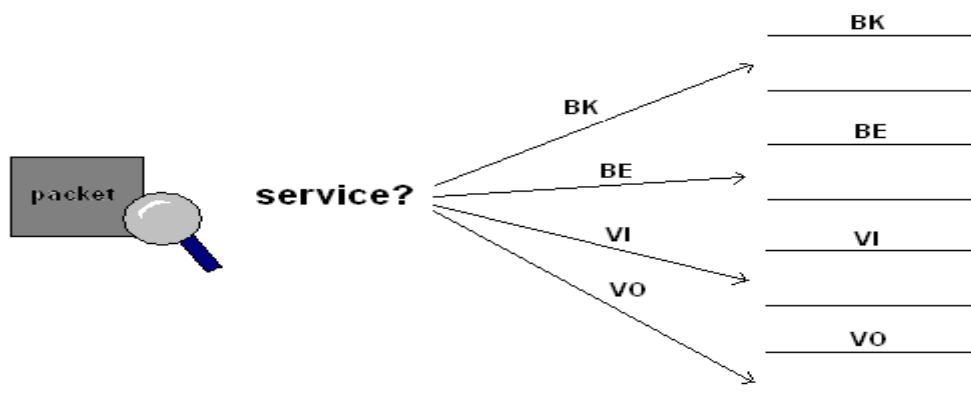
B.2. Παρουσίαση του Σχήματος Απόδοσης Προτεραιοτήτων

Το προτεινόμενο Σχήμα Απόδοσης Προτεραιοτήτων αποτελείται από δύο αλληλεξαρτώμενα μέρη, τον Μηχανισμό Απόδοσης Προτεραιοτήτων και τον Μηχανισμό Ενημέρωσης των Αναγνωριστικών με Προτεραιότητα.

Περιγραφή του μηχανισμού Απόδοσης Προτεραιοτήτων

Στην προσπάθεια υλοποίησης ενός μηχανισμού με τις ανωτέρω προδιαγραφές, το πρώτο δίλλημα που πρέπει να ξεκαθαριστεί είναι ο τρόπος αναγνώρισης των χρηστών. Στην παρούσα φάση προτεινόμενος τρόπος είναι η MAC διεύθυνση του 2^{ου} επιπέδου της στοίβας του OSI. Η πρόταση αυτή είναι πιο εύκολη στην υλοποίηση από το να χρησιμοποιείται για παράδειγμα η IP διεύθυνση του 3^{ου} επιπέδου. Από την άλλη όμως δεν είναι η πιο εύκολη επιλογή για τον μέσο χρήστη. Οι χρήστες συνήθως χειρίζονται τις IP διευθύνσεις και όχι τις MAC διευθύνσεις.

Το δεύτερο βήμα είναι η επιλογή του τρόπου παραχώρησης προτεραιοτήτων. Για αυτή την λειτουργία επιλέχθηκε η χρήση του μηχανισμού QoS του IEEE 802.11e. Ο μηχανισμός αυτός προσφέρει ήδη 4 ειδών προτεραιότητες με μόνο κριτήριο την ποιότητα των υπηρεσιών, όπως έχει επεξηγηθεί και νωρίτερα στο παρόν κείμενο. Κάθε πακέτο που παράγεται από κάποιο κόμβο, καθορίζεται από την εφαρμογή που το δημιούργησε σε ποια από τις τέσσερις κατηγορίες υπηρεσιών ανήκει: Background, Best Effort, Video και Voice. Ανάλογα με την κατηγορία που ανήκει εισάγεται στην αντίστοιχη ουρά και κερδίζει και την αντίστοιχη προτεραιότητα. Η εικόνα 15 παρουσιάζει γραφικά αυτά που προαναφέρθηκαν. Η προτεραιότητα αυξάνει με την σειρά που παρουσιάζονται και οι κατηγορίες. Προφανώς αν έχουμε δύο κόμβους που παράγουν πακέτα της ίδιας κατηγορίας υπηρεσιών, τότε οι δύο κόμβοι θα έχουν ίδια πρόσβαση στο μέσο. Αν όμως οι κατηγορίες στις οποίες επάγονται τα πακέτα των δύο κόμβων είναι διαφορετικές, τότε ο ένας κόμβος θα διαθέτει πρόσκαιρο πλεονέκτημα έναντι του άλλου. Θα επωφελείται δηλαδή αποδοτικότερης χρήσης του μέσου έναντι του άλλου, όσο τα πακέτα που παράγει ανήκουν σε κατηγορία υψηλότερης προτεραιότητας έναντι αυτής των πακέτων του άλλου κόμβου.

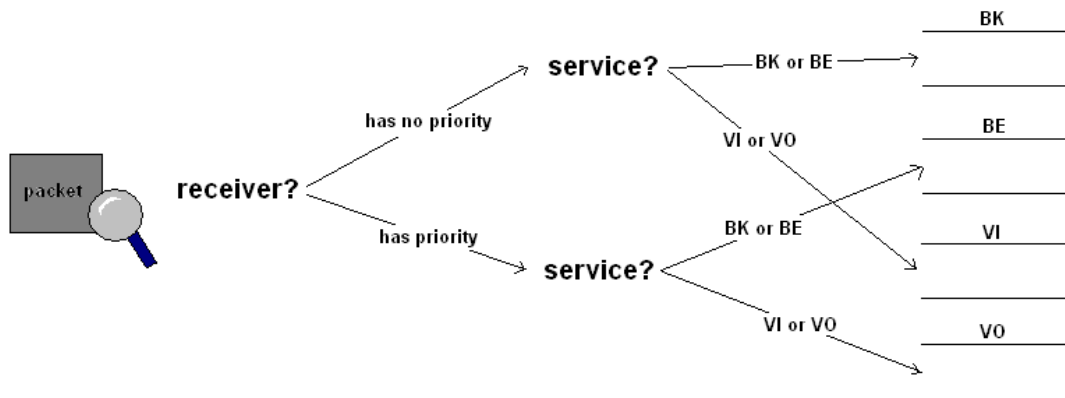


Εικόνα 15: Κλαστικός Χαρακτηρισμός πακέτων στο QoS

Η παρούσα υλοποίηση όμως άλλαξε των τρόπο χαρακτηρισμού των πακέτων όσον αφορά την κατηγορία υπηρεσιών στην οποία ανήκουν, με βάσει όλα όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως. Το AP διαθέτει έναν πίνακα με όλα τα αναγνωριστικά-MAC διευθύνσεις που αντιστοιχούν σε χρήστες που δικαιούνται προτεραιότητα.

Κάθε φορά που το AP επιλέγει να στείλει κάποιο πακέτο σε κάποιον σταθμό που είναι συνδεδεμένος με αυτό, κάνει αναζήτηση αρχικά σε αυτόν τον πίνακα. Αν ο πίνακας περιέχει το αναγνωριστικό του παραλήπτη του πακέτου, τότε το πακέτο θα χαρακτηριστεί ότι ανήκει σε μία από τις υπηρεσίες Best Effort ή Voice, ανεξαρτήτως από την πραγματική κατηγορία στην οποία ανήκει η υπηρεσία που το παρήγαγε. Πιο συγκεκριμένα αν η υπηρεσία που το παρήγαγε ανήκει στις 2 χαμηλότερης προτεραιότητας κατηγορίες Background ή Best Effort, τότε το πακέτο θα χαρακτηριστεί ως Best Effort πακέτο. Αν πάλι η υπηρεσία ανήκει στις άλλες 2 υψηλότερης προτεραιότητας κατηγορίες Video ή Voice, τότε θα το πακέτο θα αντιμετωπιστεί σαν Voice πακέτο με την υψηλότερη προτεραιότητα.

Σε περίπτωση όμως που το αναγνωριστικό του παραλήπτη δεν ανήκει στον πίνακα, άρα ο παραλήπτης δεν δικαιούται προτεραιότητα, τότε το πακέτο θα αποδοθεί σε μία από τις άλλες δύο κατηγορίες Background ή Video. Σε περίπτωση που το πακέτο δημιουργήθηκε από τις δύο χαμηλότερης προτεραιότητας κατηγορίες Background ή Best Effort, θα χαρακτηριστεί ως πακέτο Background, ενώ αν δημιουργήθηκε από υπηρεσία των δύο υψηλότερης προτεραιότητας κατηγοριών Video ή Voice, θα χαρακτηριστεί αντίστοιχα ως πακέτο Video. Όλες αυτές οι λεπτομέρειες απεικονίζονται γραφικά στην εικόνα 16.



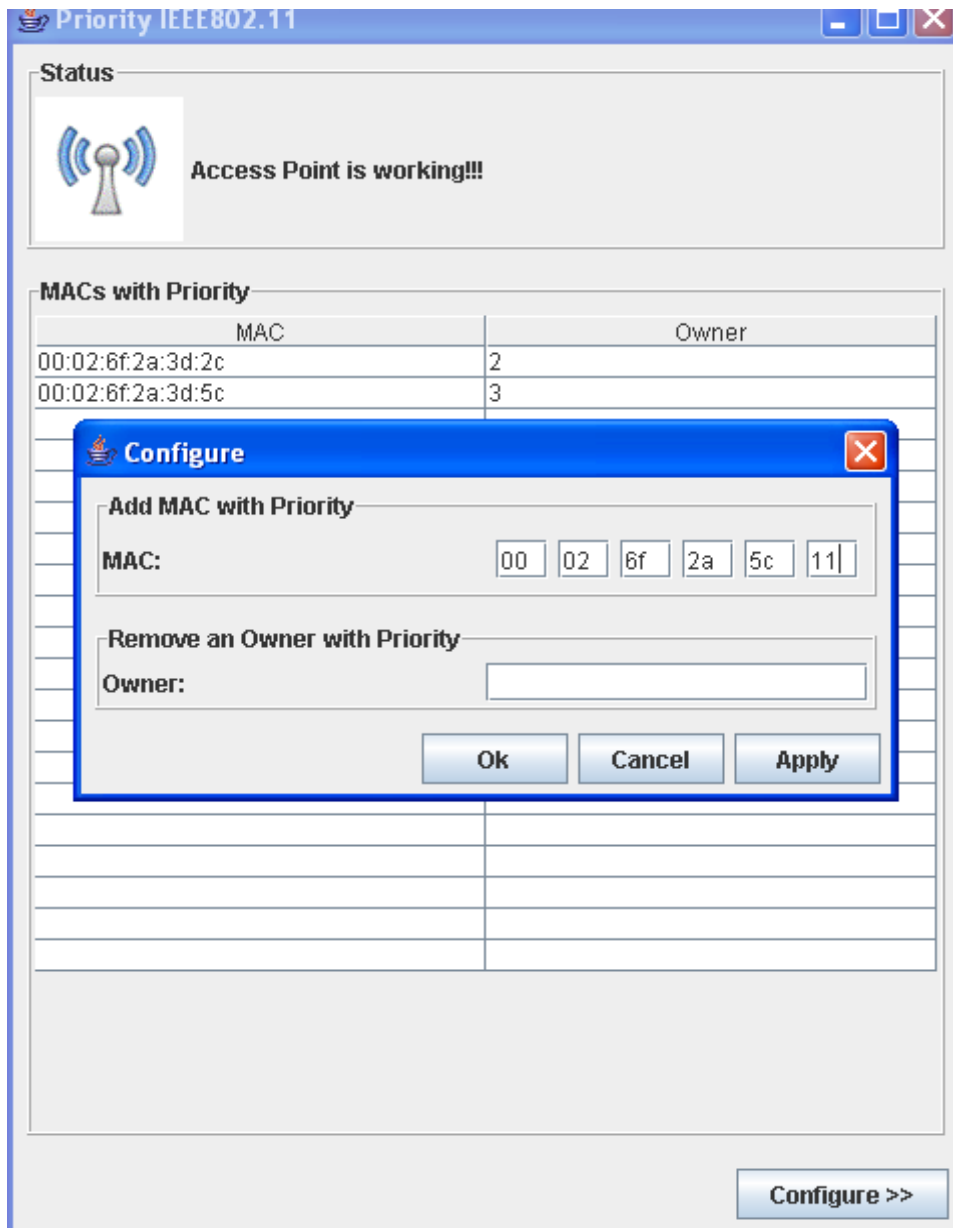
Εικόνα 16: Χαρακτηρισμός πακέτων στον προτεινόμενο Μηχανισμό Απόδοσης Προτεραιοτήτων

Είναι εμφανές ότι σε περίπτωση που ένα πακέτο έχει παραλήπτη κάποιον που δεν δικαιούται προτεραιότητα αλλά απαιτεί υψηλών απαιτήσεων υπηρεσία (Video, Voice), θα δικαιούται υψηλότερη προτεραιότητα, έναντι ενός άλλου πακέτου που κατευθύνεται σε χρήστη με προτεραιότητα αλλά που η υπηρεσία του είναι χαμηλών απαιτήσεων (Background, Best Effort). Το χαρακτηριστικό αυτό επιλέχθηκε ώστε να υπάρχει συμβιβαστική απόδοση των οπτικοακουστικών υπηρεσιών ακόμη και στην περίπτωση όπου ο χρήστης δεν δικαιούται προτεραιότητα.

Περιγραφή του μηχανισμού Ενημέρωσης των Αναγνωριστικών με Προτεραιότητα

Ο μηχανισμός που επιτρέπει στο AP να διαθέτει τα αναγνωριστικά των κόμβων που δικαιούνται προτεραιότητα, είναι μια γραφική διεπαφή με τον χρήστη. Η διεπαφή στην ουσία παρουσιάζει ανά πάσα στιγμή τα αναγνωριστικά-MAC διευθύνσεις που δικαιούνται προτεραιότητα και παρέχει την δυνατότητα εισαγωγής κάποιου καινούργιου ή διαγραφής κάποιου ήδη υπάρχοντος. Η διεπαφή επικοινωνεί με τον χρήστη και μεταφέρει το σύνολο των MAC διευθύνσεων που δίνονται από τον

χρήστη, στο χώρο μνήμης του driver του AP. Ένα στιγμιότυπο από την χρήση αυτής της διεπαφής δίνεται στην εικόνα 17.



Εικόνα 17: Στιγμιότυπο λειτουργία της Γραφικής Διεπαφής

B.3. Υλοποίηση

Η όλη λειτουργία που αναπτύσσει ένας σταθμός στο δίκτυο με το οποίο είναι συνδεδεμένος, υλοποιείται μέσω του Οδηγού (Driver) της ασύρματης κάρτας δικτύου (Network Interface Card, NIC) που διαθέτει. Το σύνολο του πρωταρχικού IEEE 802.11 πρωτοκόλλου και των επεκτάσεων του, αλλά και ο μηχανισμός απόδοσης Προτεραιοτήτων, εκτελείται μέσω του driver της κάρτας. Για κάθε κάρτα δικτύου που έχει δημιουργηθεί, υπάρχει και το αντίστοιχο «κοστούμι» που οργανώνει και περιγράφει τις λειτουργίες που πρέπει να υλοποιεί αυτή η κάρτα. Το «κοστούμι» αυτό λέγεται driver και αποτελεί την διεπαφή της κάρτας με τον πυρήνα του Λειτουργικού

Συστήματος. Επομένως NIC-driver αποτελούν έναν αδιάσπαστο συνδυασμό που πάντα συνυπάρχουν και το ένα προϋποθέτει το άλλο.

Ο συγκεκριμένος driver δεν είναι ένα σταθερό κομμάτι του λειτουργικού συστήματος. Υπάρχουν driver που αποτελούν πάγιο μέρος του λειτουργικού συστήματος και ξεκινούν να «τρέχουν» μαζί με αυτό. Υπάρχουν όμως και άλλοι σαν αυτόν της ασύρματης κάρτας δικτύου, που «φορτώνονται» και ξεκινούν την λειτουργία τους όταν οι συνθήκες το επιβάλλουν. Για παράδειγμα ο driver της ασύρματης κάρτας δικτύου «φορτώνεται» όταν το σύστημα ανιχνεύσει ότι διαθέτει στους πόρους του και κάποια ασύρματη κάρτα δικτύου. Σ' αυτή την περίπτωση ο driver υλοποιείται με την μορφή ανεξάρτητων Υπομονάδων (modules), που έχουν την δυνατότητα να ξεκινούν την εκτέλεση τους αλλά και να την διακόπτουν, χωρίς να προϋποτίθεται η διακοπή της λειτουργίας του συστήματος. Η συμπεριφορά αυτή είναι δικαιολογημένη γιατί η ασύρματη κάρτα δικτύου δεν αποτελεί, τουλάχιστον προς το παρόν, αναπόσπαστο κομμάτι κάθε υπολογιστικού συστήματος. Επομένως, για όλες τις περιπτώσεις που δεν υπάρχει τελικά NIC, αποτελεί κέρδος το να μην αποτελεί επίσης ο αντίστοιχος driver κομμάτι του λειτουργικού συστήματος, καθότι δεν δεσμεύει χώρο μνήμης από την περιορισμένη μνήμη του kernel.

Προφανώς σήμερα στο εμπόριο υπάρχουν αρκετές κάρτες δικτύου με τους αντίστοιχους driver. Η επιλογή μεταξύ αυτών είναι εξίσου ένα δίλλημα. Οι υπάρχουσες επιλογές είναι οι συνδυασμοί HostAP - Intersil, Madwifi - Atheros, Intel I2000 - Centrino, Linkys - Open Source Firmware κ.α. Μεταξύ αυτών έπρεπε να επιλεγεί ο συνδυασμός εκείνος που προσφέρει ανοιχτό κώδικα διαθέσιμο για τροποποιήσεις. Παράλληλα πρέπει να υπάρχει όσο γίνεται λιγότερη λειτουργικότητα στο firmware, μιας και το κομμάτι αυτό δεν αλλάζει σε έναν driver και έτσι δεν προσφέρεται για τροποποιήσεις.

Υπόψη αυτών των κριτηρίων, η επιλογή για την συγκεκριμένη υλοποίηση ήταν ο συνδυασμός Madwifi - Atheros. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός υλοποιεί το IEEE 802.11e πρωτόκολλο και προσφέρεται για την δημιουργία του μηχανισμού παροχής Προτεραιοτήτων. Όπως προδιαγράφει και το IEEE 802.11e, στον συγκεκριμένο driver κάθε πακέτο περιέχει μία μεταβλητή ονόματι priority που καθορίζει σε ποια από τις 4 ουρές (μία για κάθε κατηγορία υπηρεσιών) θα εισαχθεί. Με βάσει αυτή την μεταβλητή αλλά και την διεύθυνση αποστολέα που υπάρχει στο πακέτο, ο τροποποιημένος πλέον driver εισάγει το πακέτο στην κατάλληλη ουρά, όπως περιγράφεται στην εικόνα 16.

Θα ήταν πολύ δελεαστικό να υλοποιήσουμε ένα ξεχωριστό μηχανισμό, πέρα από τον υπάρχον για QoS, έτσι ώστε να παραχωρούμε προτεραιότητες. Θα ήταν επιθυμητή η υλοποίηση άλλων ουρών που θα έχουν δικούς τους χρόνους αναμονής για πρόσβαση στο μέσο. Ωστόσο όλα αυτά περιορίζονται από το HAL. Την βιβλιοθήκη δηλαδή που έχει ο driver και προσφέρει εκτελέσιμες λειτουργίες που δεν μπορούν να τροποποιηθούν, καθ' ότι δεν παρέχεται ανοιχτός κώδικας γι' αυτό.

Ωστόσο υπάρχει και ένα ακόμη όφελος από την χρήση του υπάρχοντος μηχανισμού QoS. Ο υπάρχων κώδικας για τον αυθεντικό driver μπορεί κάλλιστα να επικοινωνήσει με την παραλλαγμένη έκδοση του driver που τρέχει στο AP για να προσφέρει προτεραιότητες. Σε περίπτωση υλοποίησης ενός διαφορετικού σχήματος με στόχο την εκχώρηση προτεραιοτήτων, θα είναι αναγκαία η τροποποίηση και του driver του κάθε σταθμού, ώστε να υπάρχει συμβατότητα.

Περιγραφή του κώδικα υλοποίησης του Σχήματος Απόδοσης Προτεραιοτήτων

Στον κώδικα του Madwifi υπάρχει μία χαρακτηριστική δομή που κρατά όλη την πληροφορία που χρειάζεται ένα Εικονικό Σημείο Πρόσβασης (Virtual AP, VAP). Το VAP υπάρχει σε κάθε σταθμό και διαθέτει παραδόξως διάφορες καταστάσεις λειτουργίας (AP, station, ad-hoc, monitor, ...). Είναι απαραίτητο για να μπορέσει να συνδεθεί ο σταθμός σε κάποιο δίκτυο. Μάλιστα κάθε σταθμός μπορεί να διαθέτει περισσότερα του ενός VAP και σε διαφορετικές καταστάσεις. Σε αυτή την δομή προστέθηκε ένας επιπλέον πίνακας που θα κρατά όλα τα αναγνωριστικά που δικαιούνται προτεραιότητα. Η λογική του προβλήματος προδιαθέτει πως το σύνολο των χρηστών που θα δικαιούνται προτεραιότητα θα είναι σχετικά μικρό, έτσι ώστε η χρήση ενός πίνακα έναντι μιας δυναμικής λίστας να είναι κατά πολύ αποδοτικότερη.

Επομένως το AP κάθε φορά που καλεί την χαρακτηριστική συνάρτηση προσθήκης κεφαλίδων (encapsulation), στο σημείο που προσθέτει την QoS πληροφορία του πακέτου, ελέγχει τον πίνακα με τις προτεραιότητες που διαθέτει στο VAP στιγμιότυπο του και ρυθμίζει κατάλληλα την QoS πληροφορία. Το πακέτο χαρακτηρίζεται τελικά, όσον αφορά το QoS πεδίο του, σύμφωνα με το Μηχανισμό Απόδοσης Προτεραιοτήτων και έτσι κατευθύνεται στην κατάλληλη ουρά του QoS.

Το όλο σχήμα ολοκληρώνεται και με την υλοποίηση της γραφικής διεπαφής του χρήστη με τον driver. Από την μεριά του χρήστη απαιτείται η ανάπτυξη ενός κατάλληλου γραφικού περιβάλλοντος που να του επιτρέπει την εύκολη εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων. Από την μεριά του driver απαιτείται η δημιουργία ενός κατάλληλου αρχείου τύπου proc file. Τα αρχεία τύπου proc file είναι ειδικά αρχεία που υπάρχουν μόνο στην μνήμη και όχι στον σκληρό δίσκο. Χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία των διάφορων module με τον χρήστη. Ανάλογα με τις συναρτήσεις πρόσβασης που διαθέτουν, περιέχουν κατάλληλη πληροφορία. Τα αρχεία αυτά διατηρούνται και ανανεώνονται όσο εκτελείται και το αντίστοιχο module. Αν αυτό αποσυρθεί από το λειτουργικό σύστημα, τότε διαγράφονται και αυτά.

Το συγκεκριμένο αρχείο που δημιουργήθηκε γι' αυτό τον σκοπό ονομάζεται «priority» και αντιστοιχίζεται εμμέσως σε μία άλλη χαρακτηριστική δομή που λέγεται Proc Καταχώρηση (Proc Entry). Η δομή αυτή περιέχει δείκτες προς τις συναρτήσεις που ανοίγουν, κλείνουν, διαβάζουν και γράφουν σε αυτό το αρχείο. Οι αντίστοιχες συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται για το «priority», διαβάζουν και γράφουν από τον πίνακα αναγνωριστικών με προτεραιότητα στο αρχείο αυτό, αλλά και αντίστροφα. Επομένως το αρχείο «priority» περιέχει πάντα τον πίνακα με τα αναγνωριστικά που δικαιούνται προτεραιότητα.

B.4. Μετρήσεις

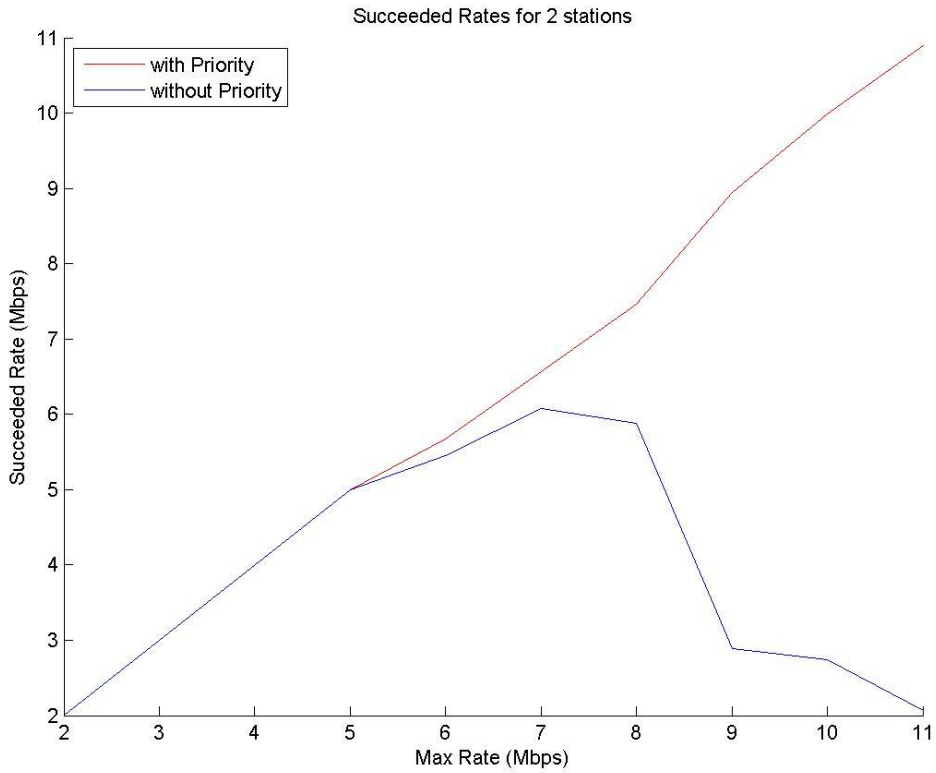
Όπως επιβάλλεται μετά από κάθε υλοποίηση, έτσι και τώρα έπρεπε να γίνουν οι κατάλληλες μετρήσεις που θα πιστοποιούσαν την ορθότητα της λειτουργίας του σχήματος. Πρώτα έγινε ο σχεδιασμός της πειραματικής διαδικασίας και της μεθοδολογίας εξαγωγής συμπερασμάτων. Η ιδέα ήταν η δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου με υποδομή που να περιέχει ένα AP και στην αρχή 2 ενώ μετά 4 σταθμούς. Στον πίνακα προτεραιοτήτων του AP πάντα περιέχονταν οι MAC διευθύνσεις των μισών σταθμών (στην αρχή 1 σταθμός ενώ μετά 2 σταθμοί). Με χρήση του προγράμματος «iperf», δημιουργούνταν UDP κίνηση από το AP παράλληλα σε όλους τους σταθμούς του δικτύου. Οι σταθμοί βρισκόταν σε κατάσταση αποδοχής πακέτων (server), ενώ το AP ήταν αποστολέας πακέτων (client) για όλους τους

σταθμούς παράλληλα. Τα πακέτα αποστέλλονταν για ίδιο χρονικό διάστημα προς όλους τους σταθμούς.

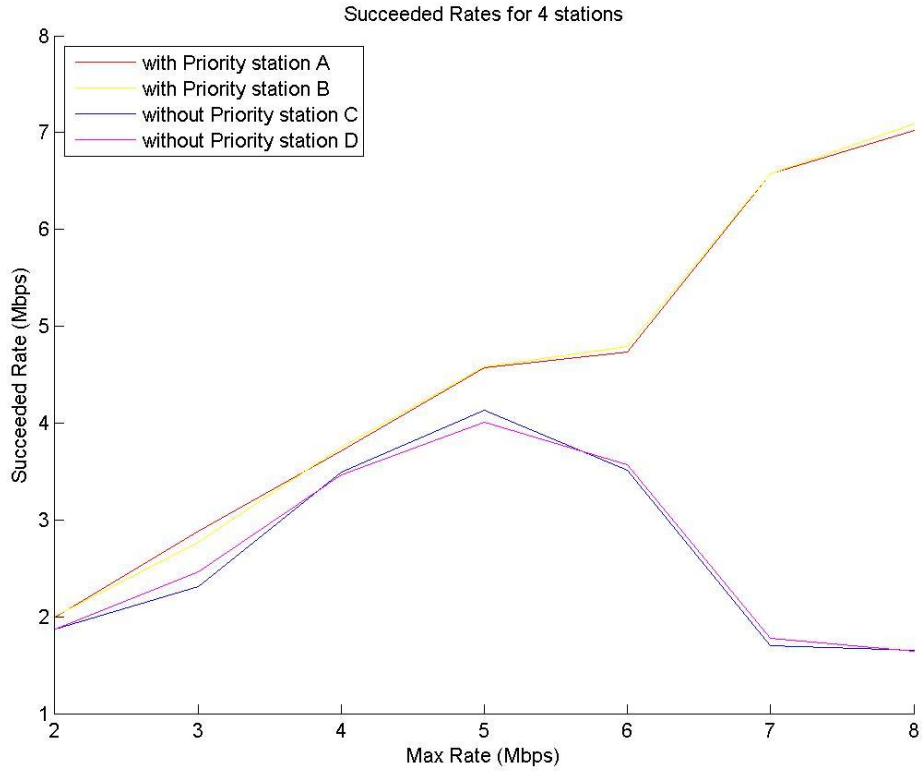
Ως γνωστό κάθε κανάλι επικοινωνίας έχει μία πεπερασμένη χωρητικότητα (capacity). Η χωρητικότητα εκφράζει τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης (transmission rate) που μπορεί να εξυπηρετήσει αυτό το κανάλι. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι το σύνολο των μεταδόσεων που χρησιμοποιούν παράλληλα ένα κανάλι, δεν μπορούν να έχουν άθροισμα ρυθμών μετάδοσης μεγαλύτερο της χωρητικότητας του καναλιού. Όπως επίσης εύκολα εξηγείται γιατί ο ρυθμός μιας μετάδοσης είναι μέγεθος ανάλογο με την προτεραιότητα αυτής. Προφανώς ένα κανάλι που διαθέτει μεγαλύτερη προτεραιότητα, δικαιούται και ταχύτερη μετάδοση άρα μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης.

Η εντολή «iperf» διαθέτει μία παράμετρο που προκαθορίζει τον επιθυμητό ρυθμό μετάδοσης. Το AP επιλέγει τον ίδιο ρυθμό για όλες τις μεταδόσεις του προς όλους τους σταθμούς. Φυσικά το πείραμα αυτό επαναλαμβάνεται αυξάνοντας περιοδικά τον επιλεγόμενο ρυθμό μετάδοσης. Όσο το άθροισμα των ρυθμών μετάδοσης είναι μικρότερο ή ίσο από την χωρητικότητα του καναλιού, δεν παρατηρείται τίποτα που να αποδεικνύει την παροχή προτεραιότητας, καθότι όλοι οι σταθμοί μεταδίδουν με τον επιθυμητό ρυθμό. Όταν όμως οι αιτούμενοι ρυθμοί έχουν άθροισμα μεγαλύτερο του ανεκτού, τότε παρατηρείται ότι δεν χρησιμοποιούνται αυτοί τελικά, αλλά κάποιοι μικρότεροι τους. Αυτό δε που πιστοποιεί την επιτυχία του σχήματος και της υλοποίησής του, είναι το γεγονός ότι οι ρυθμοί των σταθμών με προτεραιότητα παραμένουν πιο κοντά στους αιτούμενους ρυθμούς, σε σχέση με όλους τους υπόλοιπους που έχουν αρκετά μεγαλύτερη διαφορά.

Στις εικόνες 18 και 19 φαίνονται τα αποτελέσματα του πειράματος που προσδιορίστηκε ανωτέρω, χρησιμοποιώντας 2 αλλά και 4 σταθμούς. Η γραφική παράσταση δείχνει τον ρυθμό μετάδοσης που απολάμβαναν εντέλει οι σταθμοί, για διάφορες τιμές αιτούμενων ρυθμών μετάδοσης. Είναι χαρακτηριστική η καμπή των ρυθμών μετάδοσης που χρησιμοποιούν οι σταθμοί χωρίς προτεραιότητα, όταν το άθροισμα των αιτούμενων ρυθμών ξεπερνά την χωρητικότητα του καναλιού.



Εικόνα 18: Αποτελέσματα για 2 σταθμούς



Εικόνα 19: Αποτελέσματα για 4 σταθμούς

B.5. Συμπεράσματα

Το όλο Σχήμα Απόδοσης Προτεραιοτήτων επιφέρει αποτελέσματα και μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί καθ' ότι δεν επιβάλλει την ευρεία υιοθέτηση του. Ο κώδικας που προκύπτει από την υλοποίηση του είναι συμβατός με τον προγενέστερο κώδικα που υπάρχει ήδη σε ευρεία διανομή. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί ένα AP να χρησιμοποιεί τον παραλλαγμένο driver, οι συνδεδεμένοι σε αυτό σταθμοί να χρησιμοποιούν τον κλασικό driver και το όλο σχήμα να δουλεύει. Ωστόσο υπάρχουν πολλά περιθώρια βελτίωσης...

Όπως προαναφέρθηκε μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά αναγνωριστικά των σταθμών, όπως οι IP διευθύνσεις, που θα είναι πολλοί πιο εύχρηστα. Επίσης μπορεί να υιοθετηθεί ένα διαφορετικός τρόπος απόδοσης προτεραιοτήτων. Αντί να καθορίζεται με βάση το αναγνωριστικό του παραλήπτη, αν η επικείμενη μετάδοση δικαιούται προτεραιότητα, να καθορίζεται με βάση το περιεχόμενο του πακέτου της μετάδοσης. Ενδεχομένως με βάση κάποιους κανόνες που θα εξετάζουν τα δεδομένα του πακέτου, θα αποφασίζεται αν το πακέτο αυτό δικαιούται προτεραιότητα. Στην περίπτωση αυτή η γραφική διεπαφή του σχήματος πρέπει να διανθιστεί έτσι, ώστε να προσφέρει την δυνατότητα εισαγωγής-εξαγωγής κανόνων επιλογής και όχι αναγνωριστικών, διαδικασία σαφέστατα πιο δύσκολα υλοποιήσιμη.

Επίσης υπάρχει και άλλο ένα μέρος της υλοποίησης που επιδέχεται βελτίωση. Το όλο σχήμα προσφέρει Απόδοση Προτεραιοτήτων μόνο κατά την μετάδοση από το AP στους σταθμούς (downlink). Όταν οι σταθμοί μεταδίδουν στο AP (uplink), τότε δεν υπάρχει καμιά διάκριση μεταξύ τους. Όλοι χρησιμοποιούν την προτεραιότητα που καθορίζεται από την ποιότητα της υπηρεσίας που χρησιμοποιούν. Μια εφικτή επέκταση που θα έδινε λύση σε αυτό το πρόβλημα, θα ήταν η εξής τροποποίηση. Θα ήταν καλό να ενημερώνει το AP τον σταθμό, μέσω μιας επιπλέον κεφαλίδας ενδεχομένως, αν είναι απ' αυτούς που δικαιούνται ή όχι προτεραιότητα. Με βάση αυτή την πληροφορία ο κάθε σταθμός μπορεί να καταλάβει αν δικαιούται προτεραιότητα και αντίστοιχα να την χρησιμοποιεί. Υπάρχει βέβαια και η περίπτωση των μη έντιμων σταθμών, οι οποίοι μπορεί να χρησιμοποιούν προτεραιότητα χωρίς να την δικαιούνται. Γι' αυτό το AP θα πρέπει να ελέγχει για κάθε πακέτο που παραλαμβάνει, την προτεραιότητα αλλά και τον αποστολέα του, και σε περίπτωση μη συνεπούς κατάστασης, να τον αποσυνδέει απ' αυτό.

Βιβλιογραφία

1. IEEE. “*Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*”. 1999
2. Κοράκης Αθανάσιος. “*Μέθοδοι Υποστήριξης Ποιότητας Υπηρεσιών σε Ασύρματα Δίκτυα με Έξυπνες Κεραίες*”. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. 2005
3. Thanasis Korakis, Zhifeng Tao, Salik Magda, Shivendra Panwar. “*Madwifi, HostIP or Intel? A Surveillance Guidance in the Jungle of MAC Protocols’ Implementation using Open Source Wireless Drivers*”. Polytechnic University, Mitsubishi Electric Research Laboratories.
4. Jonathan Corbet, Alessandro Rubini, Greg Kroah-Hartman. “*Linux Device Drivers*”, Third Edition. O’REILLY. 2005
5. Vincent Guffens. “*Path of a packet in the Linux kernel*”. 2003
6. The Linux Kernel Module Programming Guide. “*Chapter 6, Using –proc For Input*”.
7. <http://madwifi.org/wiki>