

ΤΕΙ ΑΡΤΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΣΕ:

**«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ:
ΘΕΩΡΙΑ, ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ, ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ»**

Υλοποίηση των διαδικασιών που απαιτούνται από το MAC πρωτόκολλο σύμφωνα με το 802.11 πρότυπο της IEEE, για κατασκευή εργαλείων ανάπτυξης, ελέγχου και παρακολούθησης ενός τοπικού ασύρματου δικτύου επικοινωνίας.

ΓΙΑΤΑΓΑΝΑΣ ΝΙΚΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :κ. Λ. Τσιαντής

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

κ. Γ. Ρίζος

κ. Σ. Μαργαρίτη

Περιεχόμενα

ΜΕΡΟΣ 1°	6
Το 802.11 πρότυπο Ορισμός του MAC και PHY επιπέδου για Τοπικό ασύρματο δίκτυο	6
Σκοπός	6
Λόγος - Αιτία	6
ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ	7
ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	8
ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ DS	9
Διανομή (Distribution)	9
Ολοκλήρωση (Integration)	9
ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ DISTRIBUTION	10
Συσχέτιση (Association)	10
Επανασυσχέτιση (Reassociation)	10
Αποσυσχέτιση (Disassociation)	11
ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ	11
Αναγνώριση (Authentication)	11
Προ-αναγνώριση (Authentication)	11
Αναίρεση αναγνώρισης (Deauthentication)	11
Απομόνωση (Privacy)	11
ΑΛΛΗΛΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	12
Η ΜΟΡΦΗ ΤΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ	13
ΠΕΔΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ	16
ΜΟΡΦΗ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΠΑΚΕΤΩΝ	17
Πακέτα Ελέγχου	17
Η μορφή του RTS πακέτου	17
Η μορφή του CTS πακέτου	18
Η μορφή του ACK πακέτου	18
Η μορφή του PS - Poll πακέτου	18
Η μορφή του CF - End πακέτου	19
Η μορφή του CF - End + CF - ACK πακέτου	19
Πακέτα δεδομένων	19
Πακέτα διαχείρισης	20
Πακέτα τύπου BEACON	20
Πακέτα τύπου IBSS μηνυμάτων ένδειξης κίνησης	21
Πακέτα τύπου Αποσυσχέτισης	21
Πακέτα τύπου Αίτησης - Συσχέτισης	21
Πακέτα τύπου Απόκρισης - Συσχέτισης	21
Πακέτα τύπου Αίτησης - Επανασυσχέτισης	21
Πακέτα τύπου Απόκρισης - Επανασυσχέτισης	22
Πακέτα τύπου Αίτησης Probe	22
Πακέτα τύπου Απόκρισης Probe	22
Πακέτα τύπου Αναγνώρισης	23
Αναίρεση Αναγνώρισης	23
Συστατικά του Frame Body διαχείρισης	24
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ	27
ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ	29
Ο WEP αλγόριθμος	30
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ MAC ΕΠΙΠΕΔΟΥ	34
Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ MAC	34
Κατανεμημένη Συνάρτηση Συντονισμού	34
Point Coordination Function (PCF) (Συνάρτηση Συντονισμού Σημείου)	34
Συνύπαρξη του DCF και PCF	35
Τεμαχισμός και Συναρμολόγηση	35
MAC εξυπηρέτηση δεδομένων	36
Κατανεμημένη Συνάρτηση Συντονισμού	36

Ο μηχανισμός αίσθησης του μέσου.....	38
Επιβεβαιώσεις λήψης στο MAC επίπεδο	38
Χρονικό διάστημα μεταξύ πακέτων (IFS).....	38
SIFS	39
PIFS	39
DIFS	39
EIFS.....	40
Τυχαίος χρόνος Καθυστέρησης (Backoff).....	40
Κανόνες προσπέλασης του DCF	41
Προσπέλαση	42
Η διαδικασία καθυστέρησης.....	42
Διαδικασίες διόρθωσης και όρια επαναμετάδοσης.....	43
Ρύθμιση και επαναρύθμιση του NAV (Network Allocation Vector)	44
Ο έλεγχος του καναλιού	45
Η χρήση του RTS/CTC με τεμαχοποίηση πακέτων	46
Η διαδικασία CTS.....	48
Διαδικασία μετάδοσης μιας κατευθυνόμενης MPDU	48
Διαδικασία μετάδοσης μιας MPDU με πολλαπλούς δέκτες.....	49
Η διαδικασία επιβεβαίωσης.....	49
Αναγνώριση διπλών πακέτων και διόρθωση	49
Χρονικές συσχετίσεις στη Συνάρτηση Κατανεμημένου Συντονισμού.....	50
Συνάρτηση Συντονισμού Σημείου (PC)	51
Η δομή και ο χρονισμός της περιόδου χωρίς διεκδίκηση του μέσου (CFP).....	52
Διαδικασία Πρόσβασης της PCF	54
Βασική πρόσβαση.....	54
Η λειτουργία του NAV κατά τη διάρκεια της CFP	55
Η PCF διαδικασία μετάδοσης.....	55
PCF μεταδόσεις όταν ο PCF σταθμός είναι αποστολέας ή αποδέκτης.....	56
Λειτουργία επικαλυπτόμενων BSS με συντονιστές σημείου	58
Το όριο CFPMaxDuration	58
Κανόνες χρήσης της CF.....	58
Λίστα Polling της CF.....	59
Διαχείριση της λίστας polling.....	59
Διαδικασία ανανέωσης της λίστας.....	59
Τεμαχισμός.....	60
Επανασυναρμολόγηση.....	60
Υποστήριξη πολλαπλού ρυθμού μετάδοσης.....	61
Ακολουθίες ανταλλαγής πακέτων	61
Περιορισμοί στη μετάδοση της MSDU.....	63

ΜΕΡΟΣ 2° **64**

Αρχιτεκτονική, σχεδίαση και παρουσίαση μιας κάρτας για την υλοποίηση πρωτοκόλλων για ασύρματα δίκτυα.

(V-Net)	64
Γενική περιγραφή της αρχιτεκτονικής.....	64
Το φυσικό επίπεδο.....	64
Το MAC επίπεδο και η προσαρμογή στο PCMCIA	68
Η κάρτα προσομοίωσης (Emulator)	73

ΜΕΡΟΣ 3° **75**

Παρουσίαση της εφαρμογής V-Net Sniffer. **75**

Γενικά.....	75
Δυνατότητες καταγραφής	75
Control Frames	75
Management Frames.....	75
Data Frames.....	75
Δυνατότητες φίλτραρίσματος.....	76
Φόρμα καταγραφής και ανάλυσης των πακέτων.....	77
Φόρμα φίλτραρίσματος των εισερχόμενων πακέτων.....	78
Φόρμα ρύθμισης της κάρτας.....	79

Φόρμα ρύθμισης της εφαρμογής.	80
Αναφορές	81

ΜΕΡΟΣ 1°

Το 802.11 πρότυπο Ορισμός του MAC και PHY επιπέδου για Τοπικό ασύρματο δίκτυο

Σκοπός

Να ορισθεί το MAC και το PHY επίπεδο για ασύρματη διασύνδεση σταθερών, φορητών ή κινητών σταθμών σε περιορισμένο χώρο.

Λόγος - Αιτία

Να παρέχουμε ασύρματη διασύνδεση σε αυτόματες μηχανές, ηλεκτρονικό εξοπλισμό ή σταθμούς που απαιτούν άμεση συγκέντρωση, τα οποία μπορεί να είναι φορητά ή συσκευές χειρός ή τα οποία να είναι προσαρμοσμένα σε οχήματα που κινούνται σε περιορισμένο χώρο.

Να παρέχουμε ένα πρότυπο για την τυποποίηση της προσπέλασης με μία ή περισσότερες ζώνες συχνοτήτων για τη δημιουργία τοπικών δικτύων.

Συγκεκριμένα το 802.11 πρότυπο:

Περιγράφει τις λειτουργίες και τις υπηρεσίες που απαιτούνται από μια 802.11 συμβατή συσκευή ώστε να λειτουργήσει μέσα σε ad-hoc δίκτυα υποδομής καθώς επίσης και θέματα μεταφοράς της συσκευής μεταξύ αυτών των δικτύων. Ορίζει τις MAC διαδικασίες για την υποστήριξη υπηρεσιών παράδοσης ασύγχρονων MSDU (MAC service data units). Ορίζει τεχνικές σηματοδοσίας και συναρτήσεις διασύνδεσης που ελέγχονται από το 802.11 MAC, με μια σειρά φυσικών επιπέδων.

Επιτρέπει τη λειτουργία μιας συμβατής συσκευής μέσα σε ένα ασύρματο δίκτυο που μπορεί να συνυπάρχει με πολλαπλά επικαλυπτόμενα 802.11 ασύρματα δίκτυα.

Περιγράφει τις απαιτήσεις και τις διαδικασίες για να παρέχεται ασφάλεια στην πληροφορία που ανταλλάσσεται μέσω του ασύρματου μέσου και αξιοπιστία (authentication) για 802.11 συμβατές συσκευές.

Το επίπεδο του μέσου μετάδοσης (PHY) στο 802.11:

Χρησιμοποιεί ένα μέσο που δεν έχει ούτε απόλυτα ούτε ορατά όρια εδώ από τα οποία σταθμοί με συμβατούς πομποδέκτες να είναι αδύνατον να λάβουν πακέτα από το δίκτυο

Δεν προστατεύεται από εσωτερικά σήματα

Επικοινωνεί με πάνω από ένα ελάχιστο αξιόπιστο μέσο μετάδοσης

Δεν υπάρχει πλήρης σύνδεση, και έτσι η υπόθεση που συνήθως γίνεται ότι κάθε σταθμός (STA) μπορεί να ακούσει κάθε άλλο σταθμό είναι λάθος (ένας σταθμός μπορεί να είναι κρυμμένος από έναν άλλο - hidden terminal)

Έχει χρονικά μεταβαλλόμενες και ασύμμετρες ιδιότητες μετάδοσης

Μια από τις απαιτήσεις του 802.11 είναι να χειρίζεται κινούμενους και φορητούς σταθμούς. Ένας φορητός σταθμός κινείται από θέση σε θέση αλλά χρησιμοποιείται όσο βρίσκεται σε κάποια συγκεκριμένη θέση. Επειδή οι κινούμενοι σταθμοί συνήθως φορτίζονται από μια μπαταρία πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η κατανάλωση. Δεν μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο δέκτης ενός σταθμού θα είναι ενεργός συνεχώς.

Το 802.11 πρέπει να εμφανίζεται στα παραπάνω επίπεδα (LLC) σαν ένα τυπικό 802 δίκτυο. Αυτό απαιτεί η διαχείριση της κίνησης του σταθμού να γίνεται μέσα στο MAC επίπεδο. Για να επιτευχθούν οι υποθέσεις αξιοπιστίας που το LLC κάνει για τα παρακάτω επίπεδα είναι απαραίτητο το 802.11 να περιλαμβάνει λειτουργικότητα που δεν είναι υπαρκτή σε MAC άλλων δικτύων.

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ

BSS - Basic Service Set. Είναι το βασικό κομμάτι της αρχιτεκτονικής ενός 802.11 LAN. Ένα BSS καλύπτει μια περιοχή μέσα στην οποία κάθε σταθμός που ανήκει στο BSS μπορεί να επικοινωνήσει με τους σταθμούς του BSS.

Η συσχέτιση ενός σταθμού (STA) με το BSS είναι δυναμική. Για να γίνει ένας σταθμός μέλος ενός BSS πρέπει ο σταθμός να γίνει 'Associated' με μια δυναμική συσχέτιση μέσω των υπηρεσιών Καταναμημένου Συστήματος (Distribution System Services). Οι περιορισμοί που μπαίνουν από το PHY επίπεδο καθορίζουν τη μέγιστη απόσταση που ένας σταθμός μπορεί να μιλήσει με κάποιον άλλο. Ένα BSS μπορεί να αποτελεί κομμάτι ενός εκτεταμένου δικτύου που αποτελείται από πολλά BSS και λέγεται Distribution System. Το 802.11 διαχωρίζει λογικά το Wireless Medium (WM) από το Distribution System Medium (DSM). Κάθε λογικό μέσο χρησιμοποιείται για διαφορετικό σκοπό από ένα διαφορετικό τμήμα της αρχιτεκτονικής. Το 802.11 δεν απαιτεί ούτε εμποδίζει τα διάφορα μέσα να είναι ίδια ή διαφορετικά. Το γεγονός ότι τα διάφορα μέσα είναι λογικά ξεχωριστοί οδηγοί στη μεγάλη προσαρμοστικότητα της αρχιτεκτονικής. Το DS επιτρέπει την υποστήριξη των κινητών συσκευών παρέχοντας τις απαραίτητες λογικές υπηρεσίες για την αντιστοίχιση διεύθυνσης σε προορισμό και τη φαινομενική ολοκλήρωση πολλών BSS.

Το AP είναι ένας σταθμός που παρέχει πρόσβαση στο DS παρέχοντας DS υπηρεσίες, ενώ επιπρόσθετα λειτουργεί και σαν σταθμός και είναι οντότητες με ξεχωριστή διεύθυνση. Οι διευθύνσεις που χρησιμοποιούνται από το AP για επικοινωνία με το WM και στο DSM δεν είναι απαραίτητα ίδιες.

Το DS και τα BSS επιτρέπουν στο 802.11 να δομήσει ένα ασύρματο δίκτυο αυθαιρέτου μεγέθους και πολυπλοκότητας, το οποίο λέγεται ESS (Extended Service Set). Το χαρακτηριστικό αυτής της δομής είναι ότι ένα ESS δίκτυο φαίνεται στο LLC σαν ένα ανεξάρτητο BSS δίκτυο. Οι σταθμοί που ανήκουν στο ίδιο ESS επικοινωνούν μεταξύ τους και οι κινούμενοι σταθμοί μπορούν να μετακινούνται από το ένα BSS στο άλλο διάφανο για το LLC.

Η σχετική θέση των BSS δεν περιορίζεται από το 802.11. Έτσι μπορεί :

Τα BSS να επικαλύπτονται μερικώς. Αυτό γίνεται για να έχουμε συνεχή κάλυψη του χώρου.

Τα BSS μπορεί να είναι τοπικά ανεξάρτητα.

Τα BSS μπορεί να καταλαμβάνουν τον ίδιο χώρο ώστε να παρέχεται πλεονασμός στο κανάλι μετάδοσης.

Περισσότερο από ένα BSS ή ESS μπορεί να συνυπάρχουν ανεξάρτητα μεταξύ τους στον ίδιο χώρο.

Για το ασύρματο PHY επίπεδο, πλήρως καθορισμένο όρια κάλυψης δεν υπάρχουν. Τα χαρακτηριστικά της μετάδοσης αλλάζουν δυναμικά και δεν μπορεί να προβλεφθούν. Μικρές αλλαγές στη θέση ή τη διεύθυνση μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα μεγάλες αλλαγές στην ισχύ του σήματος. Σύνδεση ενός 802.11 δικτύου με τα παραδοσιακά δίκτυα γίνεται με τη χρήση ενός portal. Το portal είναι το σημείο από το οποίο μια MSDU από ένα δίκτυο διαφορετικό από 802.11 μπαίνει στο DS του 802.11.

Η αρχιτεκτονική του 802.11 επιτρέπει το DS να είναι οπωσδήποτε δίκτυο. Ένα DS μπορεί να υλοποιηθεί από πολλές διαφορετικές τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένου των δικτύων τύπου 802 χωρίς να περιορίζεται σε δίκτυο βασισμένο στο Data Link ή το Network επίπεδο του OSI. Επίσης δεν περιορίζει την τοπολογία σε κεντρική ή κατακεντρωμένη. Το 802.11 δεν καθορίζει αναλυτικά τις λεπτομέρειες υλοποίησης του DS. Αυτό που κάνει είναι να ορίσει τις υπηρεσίες (services) που σχετίζονται με τα διάφορα συστατικά της αρχιτεκτονικής οι οποίες χωρίζονται σε υπηρεσίες προς το σταθμό (SS) και υπηρεσίες προς το DS (DSS).

Οι υπηρεσίες που χωρίζονται κατά κατηγορία είναι:

Station Services

Authentication

Deauthentication

Privacy

MSDU Delivery

DS Services

Association

Disassociation

Distribution

Integration

Reassociation

Όπως στην αρχιτεκτονική του 802.11 υποστηρίζεται η πιθανότητα το WM και το DSM και το ενσύρματο δίκτυο να χρησιμοποιούν διαφορετικό μέσο μετάδοσης, με τον ίδιο τρόπο υποστηρίζεται κάθε ένα από τα παραπάνω τμήματα να ανήκει σε διαφορετικό χώρο διευθύνσεων. Το 802.11 χρησιμοποιεί και ορίζει τη χρήση διευθύνσεων στο WM. Το 802.11 MAC λειτουργεί σε ένα μόνο χώρο διευθύνσεων στο WM με χρήση διευθύνσεων τύπου MAC δηλαδή 48 bit διευθύνσεις με τον τρόπο που ορίζεται στο IEEE 802 πρότυπο.

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Στο 802.11 ορίζονται εννέα υπηρεσίες από τις οποίες οι έξι υποστηρίζουν τη μετάδοση MSDU μεταξύ των σταθμών και οι τρεις για έλεγχο της πρόσβασης στο 802.11 και προστασία. Στη συνέχεια θα γίνει μια εισαγωγή σ' αυτές τις υπηρεσίες με τέτοιο τρόπο που θα γίνει καλύτερη η κατανόηση των λειτουργιών του 802.11 ESS δικτύου.

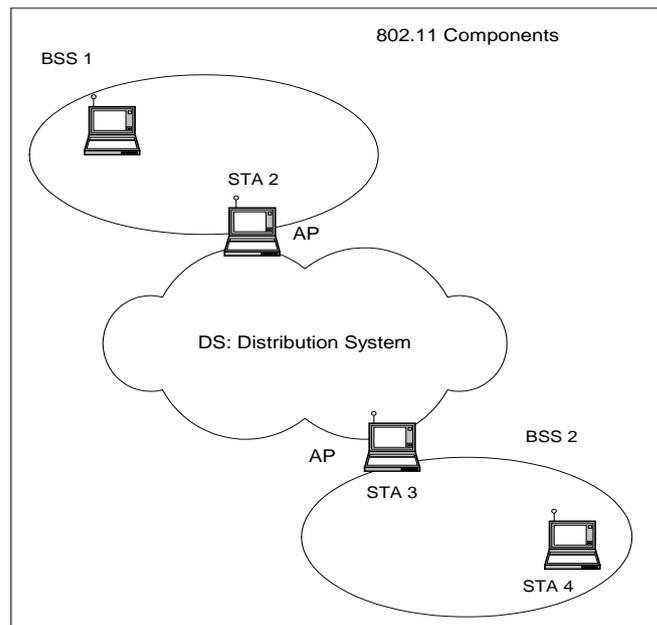
Στο MAC επίπεδο του 802.11 χρησιμοποιούνται μηνύματα τριών τύπων: Δεδομένων (Data), Διαχείρισης (Management) και Ελέγχου (Control). Τα μηνύματα δεδομένων περνάνε μέσω του MAC Data Service Path

και τα μηνύματα διαχείρισης που χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν την παράδοση των παραπάνω μηνυμάτων.

ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ DS

Διανομή (Distribution)

Είναι η πρωταρχική υπηρεσία που χρησιμοποιείται από ένα 802.11 σταθμό που λειτουργεί μέσα σε ένα ESS. Όταν ο σταθμός στείλει ένα μήνυμα στον 4 θα πρέπει το μήνυμα να ληφθεί από τον 2 και μέσω του AP θα γίνει η παράδοση στο Distribution Service του DS. Είναι δουλειά του DS να παραδώσει το μήνυμα έτσι ώστε να φτάσει στο σωστό σημείο για τον παραλήπτη, δηλαδή το σταθμό 3 που αποτελεί το AP εξόδου. Ο σταθμός 3 μέσω του ασύρματου μέσου στέλνει το μήνυμα στο σταθμό 4.



Πως γίνεται η διανομή του μηνύματος μέσα στο DS δεν ορίζεται από το 802.11. Αυτό που χρειάζεται είναι να δοθεί στο DS αρκετή πληροφορία ώστε το DS να μπορεί να καθορίσει το σημείο εξόδου που αντιστοιχεί στο δείκτη. Αυτό επιτυγχάνει με τρεις υπηρεσίες: Association, Reassociation και Disassociation.

Στο προηγούμενο παράδειγμα το AP που ζήτησε την υπηρεσία Distribution ήταν διαφορετικό από το AP που έλαβε το μήνυμα προς μετάδοση. Αν το μήνυμα προοριζόταν για κάποιο σταθμό μέλος του ίδιου BSS τότε το ίδιο AP θα αναλάμβανε τις διαδικασίες εισόδου - εξόδου του μηνύματος. Και στα δύο παραδείγματα η υπηρεσία του Distribution έχει ενεργοποιηθεί. Αν το μήνυμα θα έπρεπε να μεταδοθεί στο μέσο μετάδοσης του DS (DSM) είναι θέμα της υλοποίησης του DS και δεν ορίζεται στο 802.11.

Ολοκλήρωση (Integration)

Στην περίπτωση που η υπηρεσία Distribution καταλάβει ότι ο αποδέκτης του μηνύματος είναι μέλος του ενσύρματου LAN το σημείο εξόδου του μηνύματος από το DS θα ήταν ένα Portal και όχι το AP. Τα μηνύματα τα οποία δρομολογούνται μέσα από ένα Portal αναγκάζουν το DS να ζητήσει την υπηρεσία Integration. Αυτή η υπηρεσία είναι υπεύθυνη για να επιτύχει την παράδοση

ενός μηνύματος από το DSM στο ενσύρματο LAN συμπεριλαμβανομένων και την τυχόν μετάφραση της διεύθυνσης.

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ DISTRIBUTION

Ο βασικός σκοπός του MAC επιπέδου είναι η μεταφορά MSDUs μεταξύ Mac οντοτήτων. Η πληροφορία που απαιτείται για να λειτουργήσει η υπηρεσία Distribution παρέχεται από την υπηρεσία Association. Πριν ένα μήνυμα μπορέσει να το διαχειριστεί η υπηρεσία Distribution ένας σταθμός πρέπει να γίνει 'Associated'. Πριν αναλύσουμε τα θέματα του Association πρέπει να ορίσουμε την κίνηση ενός σταθμού. Υπάρχουν τρεις τύποι μεταβίβασης που περιγράφουν την κίνηση των σταθμών στο δίκτυο.

No-transition. Μπορεί να σημαίνει είτε στατικό σταθμό είτε κίνηση στην εμβέλεια των σταθμών που επικοινωνούν μεταξύ τους.

BSS transition. Κίνηση ενός σταθμού από ένα BSS ενός ESS σε ένα άλλο BSS του ίδιου ESS.

ESS transition. Κίνηση ενός σταθμού από ένα BSS ενός ESS σε ένα BSS άλλου ESS. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να έχουμε διακοπή της υπηρεσίας.

Διαφορετικές υπηρεσίες Association υποστηρίζουν τις διαφορετικές κατηγορίες της κίνησης των σταθμών.

Συσχέτιση (Association)

Για να γίνει η παράδοση ενός μηνύματος σ' ένα DS η υπηρεσία Distribution πρέπει να γνωρίζει ποιο AP πρέπει να προσπελάσει για τον αντίστοιχο σταθμό. Αυτή η πληροφορία παρέχεται στο DS μέσω του Association. Το Association είναι απαραίτητο αλλά όχι αρκετό για να υποστηρίξει κίνηση τύπου BSS-transition ενώ είναι δυνατόν να υποστηρίξει No-transition τύπο κίνησης. Πριν ένας σταθμός μπορέσει να στείλει δεδομένα, πρέπει να αποκτήσει 'συσχέτιση' με κάποιο AP μέσω της υπηρεσίας 'Συσχέτιση' η οποία παρέχει την αντιστοιχία STA σε AP στο DS. Το DS χρησιμοποιεί αυτή την πληροφορία για να επιτύχει την παράδοση του μηνύματος. Το 802.11 δεν ορίζει τον τρόπο που αποθηκεύεται ή διαχειρίζεται αυτή η πληροφορία. Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή ένας σταθμός δεν μπορεί να συσχετίζεται με περισσότερα από ένα AP έτσι ώστε το DS να μπορεί με μοναδικό τρόπο να ορίσει ποιο AP εξυπηρετεί ένα σταθμό. Ένας σταθμός πρώτα μαθαίνει ποια AP είναι στην εμβέλεια του και στη συνέχεια ζητά να αποκαταστήσει μια συσχέτιση ζητώντας την υπηρεσία 'συσχέτισης'.

Επανασυσχέτιση (Reassociation)

Η 'συσχέτιση' είναι αρκετή για παράδοση μηνυμάτων μεταξύ σταθμών τύπου 'No-transition'. Επιπρόσθετη λειτουργικότητα χρειάζεται για να υποστηρίξω κίνηση τύπου BSS-transition η οποία παρέχεται με την υπηρεσία της 'Επανασυσχέτισης'. Με αυτή την υπηρεσία η συσχέτιση ενός σταθμού μεταπηδά από ένα AP σε άλλο. Αυτό κρατά το DS ενήμερο για την αντιστοιχία AP και σταθμού. Με την ίδια υπηρεσία μπορεί να γίνει αλλαγή των χαρακτηριστικών μιας συσχέτισης που ήδη υπάρχει στο ίδιο AP.

Αποσυσχέτιση (Disassociation)

Στα όρια ενός ESS με αυτή την υπηρεσία διαγράφεται από το DS η πληροφορία που συσχετίζει ένα σταθμό με ένα AP. Οποιαδήποτε προσπάθεια για μετάδοση μηνυμάτων στο σταθμό θα αποτύχει. Το MAC management είναι σχεδιασμένο να ρυθμίζει θέματα συσχέτισης όταν ένας σταθμός χαθεί από το AP.

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ

Για τη σχεδίαση των ενσύρματων δικτύων λαμβάνεται υπ' όψιν η φυσικά κλειστή περιοχή παράδοσης και ο ελεγχόμενος χαρακτήρας του μέσου. Για να είναι το 802.11 λειτουργικά ισοδύναμο με τα ενσύρματα δίκτυα Παρέχονται δύο υπηρεσίες, η υπηρεσία αναγνώρισης (Authentication) και η υπηρεσία απομόνωσης (Privacy).

Αναγνώριση (Authentication)

Στα ενσύρματα δίκτυα μπορείς να αποτρέψεις την πρόσβαση στο δίκτυο σου απαγορεύοντας τη φυσική σύνδεση στο μέσο μετάδοσης. Με τον αέρα αυτό είναι αδύνατον αφού δεν υπάρχουν όρια ιδιοκτησίας του μέσου. Το 802.11 Παρέχει τη δυνατότητα να ελεγχθεί η πρόσβαση μέσω της υπηρεσίας 'Αναγνώριση'. Η υπηρεσία χρησιμοποιείται από όλους τους σταθμούς ώστε να αποδείξουν την ταυτότητα τους στους σταθμούς με τους οποίους θέλουν να επικοινωνήσουν. Αν μεταξύ δύο σταθμών ένα αμοιβαία αποδεκτό επίπεδο αναγνώρισης δεν αποκατασταθεί, η υπηρεσία της 'Συσχέτισης' δεν μπορεί επίσης να αποκατασταθεί. Το 802.11 υποστηρίζει διάφορες διαδικασίες αναγνώρισης καθώς επίσης και μηχανισμούς επέκτασης. Αν είναι επιθυμητό μπορεί να λειτουργήσει το δίκτυο χωρίς καθόλου Authentication. Επίσης μπορεί να υποστηριχθεί αναγνώριση με τη χρήση κλειδιών αν έχει υλοποιηθεί η προαιρετική ιδιότητα του WEP. Ένας σταθμός μπορεί να έχει αποκαταστήσει 'Αναγνώριση' με πολλούς άλλους σταθμούς οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Προ-αναγνώριση (Authentication)

Επειδή η διαδικασία της 'Αναγνώρισης' μπορεί να απαιτεί αρκετό χρόνο ανάλογα με το πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί η υπηρεσία της 'Αναγνώρισης' μπορεί να ζητηθεί ανεξάρτητα από την υπηρεσία της συσχέτισης.

Αναίρεση αναγνώρισης (Deauthentication)

Η υπηρεσία 'Αναίρεση αναγνώρισης' καλείται όταν μια υπάρχουσα 'Αναγνώριση' τερματίζεται. Η υπηρεσία καλείται από οποιοδήποτε από τα δύο μέλη και δεν μπορεί να μη γίνει αποδεκτή από κάποιο σταθμό. Όταν ένα AP στέλνει αίτηση 'Αναίρεση αναγνώρισης' σ' ένα 'συσχετισμένο' σταθμό αναιρείται ταυτόχρονα η συσχέτιση.

Απομόνωση (Privacy)

Σ' ένα ενσύρματο δίκτυο μόνο οι σταθμοί που είναι συνδεδεμένοι στο μέσο μετάδοσης μπορούν να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα που μεταδίδονται στο μέσο. Για να υπάρξει αντιστοιχία της λειτουργικότητας ενός

ασυρμάτου δικτύου με ένα ενσύρματο το 802.11 Παρέχει τη δυνατότητα να κρυπτογραφηθούν τα δεδομένα ενός μηνύματος μέσω της υπηρεσίας 'Απομόνωση'. Το 802.11 ορίζει ένα προαιρετικό αλγόριθμο απομόνωσης (WEP) ο οποίος σχεδιάστηκε για να παρέχει απομόνωση ισοδύναμη με ενσύρματο δίκτυο. Συναρτήσεις MIB (Management Information Base) παρέχονται για υποστήριξη του WEP.

ΑΛΛΗΛΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Ένας σταθμός κρατάει δύο μεταβλητές κατάστασης για κάθε σταθμό με τον οποίο έχει απευθείας επικοινωνία.

Κατάσταση Αναγνώρισης με τιμές Unauthenticated και Authenticated

Κατάσταση Συσχέτισης με τιμές Unassociated και Associated

Αυτές οι τιμές οδηγούν σε τρεις πιθανές καταστάσεις για κάθε απομακρυσμένο σταθμό όπως φαίνεται στο σχήμα.

Η τρέχουσα κατάσταση μεταξύ δύο σταθμών καθορίζει τον τύπο των 802.11 πακέτων τα οποία μπορούν να αποσταλούν μεταξύ των σταθμών και χωρίζονται σε τρεις κλάσεις.

Πακέτα κλάσης 1

Πακέτα ελέγχου

RTS

CTS

ACK

CF-End + ACK

CF-End

Πακέτα διαχείρισης

Probe Request / Response

Beacon

Authentication

Deauthentication

ATIM

Πακέτα δεδομένων

Δεδομένα Τα bits 'To DS' και 'From DS είναι FALSE

Πακέτα κλάσης 2

Πακέτα διαχείρισης

Association Request / Response

Reassociation Request / Response

Disassociation

Πακέτα κλάσης 3

Πακέτα δεδομένων 'To DS' και 'From DS μπορεί να γίνει TRUE

Πακέτα διαχείρισης

Deauthentication

Πακέτα ελέγχου

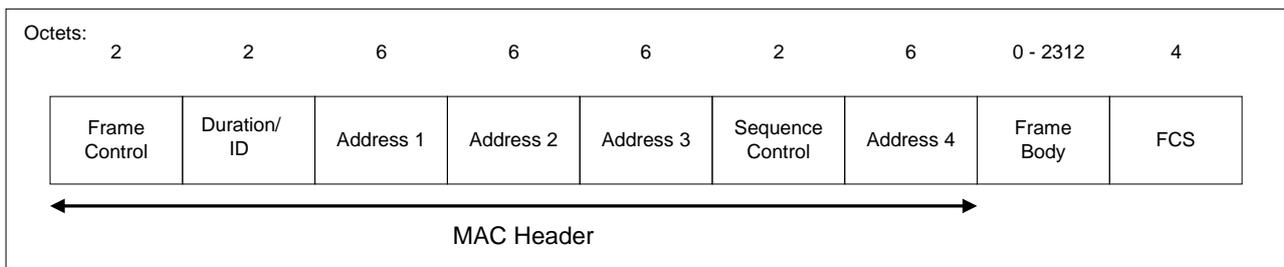
PS-Poll

Η ΜΟΡΦΗ ΤΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ

Μορφή MAC πακέτων

Ένα πακέτο αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά τμήματα:

- Το Mac Header που περιλαμβάνει έλεγχο διάρκειας, διεύθυνση και πληροφορία ακολουθίας
- Ένα μεταβλητού μήκους τμήμα δεδομένων, που παρέχει πληροφορία σχετική με τον τύπο του πακέτου
- Το FCS (Frame Check Sequence) που περιέχει το CRC του πακέτου 32 bit IEEE

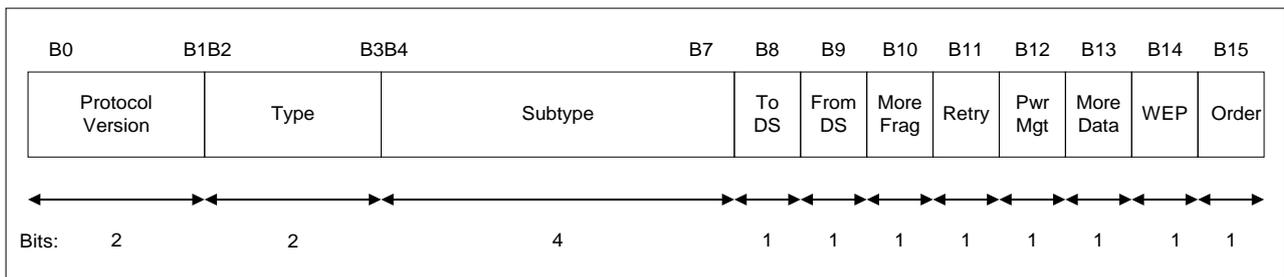


Εικόνα : MAC Frame Format

Τα πεδία του πακέτου

Πεδίο ελέγχου του πακέτου (2 χαρακτήρες)

Αποτελείται από τα ακόλουθα υποπεδία.



Εικόνα : Frame Control Field

Έκδοση του Πρωτοκόλλου (2 bit) Για την τρέχουσα έκδοση έχει τιμή 0. Όταν ένας σταθμός λάβει τιμή μεγαλύτερη από αυτή που υποστηρίζει απορρίπτει το πακέτο χωρίς καμία αναφορά προς τον αποστολέα ή το LLC.

Τύπος (2 bit) και Υποτύπος (4 bit) Με αυτά τα δύο πεδία καθορίζεται η λειτουργία του πακέτου. Όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα υπάρχουν τρεις τύποι πακέτων (Management, Control, Data) και αρκετοί υποτύποι.

Τιμή τύπου b3 b2	Περιγραφή τύπου	Τιμή υποτύπου b7 b6 b5 b4	Περιγραφή υποτύπου
00	Management	0000	Association Request
		0001	Association Response
		0010	Reassociation Request
		0011	Reassociation Response
		0100	Probe Request
		0101	Probe Response
		0110 - 0111	Reserved
		1000	Beacon
		1001	ATM
		1010	Disassociation
		1011	Authentication
		1100	Deauthentication
		1101 - 1111	Reserved
01	Control	0000 - 1001	
		1010	PS - Poll
		1011	RTS
		1100	CTS
		1101	ACK
		1110	CF - End
		1111	CF - End + CF - Ack
10	Data	0000	Data
		0001	Data + CF - Ack
		0010	Data + CF - Poll
		0011	Data + CF - Ack + CF - Poll
		0100	Null Function (no data)
		0101	CF - Ack (no data)
		0110	CF - Poll (no data)
		0111	CF - Ack + CF - Poll (no data)
		1000 - 1111	Reserved

11	Reserved	0000 - 1111
----	----------	-------------

Πίνακας 1: Έγκυροι συνδυασμοί τύπων / υποτύπων

‘To DS’ πεδίο (1 bit) Παίρνει την τιμή 1 σε πακέτα δεδομένων που προορίζονται στο DS από κάποιο σταθμό συσχετισμένο με ένα AP

‘From DS’ πεδίο (1 bit) Παίρνει την τιμή 1 σε πακέτα δεδομένων που εξέρχονται από το DS. Ο συνδυασμός των δύο προηγούμενων πεδίων και η σημασία τους περιγράφεται στον ακόλουθο πίνακα.

Τιμές To/From DS	Σημασία
To DS = 0 From DS = 0	A Data Frame direct from one STA to another STA within the same IBSS, as well as all Management and Control Type Frames.
To DS = 1 From DS = 0	Data Frame destined for the DS.
To DS = 0 From DS = 1	Data Frame exiting the DS.
To DS = 1 From DS = 1	WDS frame being distributed from one AP to another AP.

Πίνακας 2: To / From DS Combinations σε Data Type Frames

‘More Fragments’ πεδίο (1 bit) Παίρνει την τιμή 1 σε όλα τα πακέτα δεδομένων και διαχείρισης που υπάρχει ένα τμήμα τους για αποστολή με επόμενο πακέτο.

‘Retry’ πεδίο (1 bit) Παίρνει την τιμή 1 όταν το πακέτο που μεταδίδεται είναι επαναμετάδοση ενός προηγούμενου πακέτου.

Power Management πεδίο (1 bit) Δείχνει την κατάσταση που θα βρεθεί ο σταθμός μετά την επιτυχή ολοκλήρωση της μετάδοσης. Η τιμή 1 σημαίνει ότι ο σταθμός θα είναι σε ‘Power Save Mode’ ενώ το 0 σε ‘Active Mode’. Αυτό πεδίο έχει πάντα την τιμή 0 σε ένα AP.

‘More Data’ πεδίο (1 bit) Δείχνει σε ένα σταθμό που βρίσκεται σε ‘Power Save Mode’ ότι υπάρχουν αποθηκευμένες στο AP περισσότερες από 1 MSDUs ή MMPDUs για αποστολές στο σταθμό.

WEP (1 bit) Παίρνει την τιμή 1 όταν το τμήμα του πακέτου που περιέχει την πληροφορία έχει επεξεργαστεί με τον WEP αλγόριθμο. Μπορεί να έχει την τιμή 1 για πακέτα τύπου διαχείρισης με υποπακέτα ‘Αναγνώριση’.

Order (1 bit) Χρησιμοποιείται σε πακέτα τύπου δεδομένων που περιέχουν μια MSDU που μεταφέρεται με απόλυτη σειρά.

Duration / ID (16 bit) Τα περιεχόμενα αυτού του πεδίου περιγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Bit 15	Bit 14	Bits 13 - 0	Usage
0	0 - 32767		Duration
1	0	0	Fixed value within frames transmitted during the CFP
1	0	1 - 16383	Reserved
1	1	0	Reserved
1	1	1 - 2007	AID in PS - Poll frames
1	1	2008 - 16383	Reserved

Πίνακας 3: Duration/ID field Encoding

ΠΕΔΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ

Υπάρχουν 4 πεδία διευθύνσεων στο MAC frame για να καθορίσουν τις διευθύνσεις BSSID, αποστολέα, παραλήπτη, σταθμού μετάδοσης και σταθμού λήψης. Η χρήση κάθε πεδίου διευθύνσεων καθορίζεται από τη σχετική θέση του πεδίου στο πακέτο. Για παράδειγμα σ' ένα πακέτο η διεύθυνση του παραλήπτη βρίσκεται πάντα στη θέση του πεδίου Address 1 και η διεύθυνση του παραλήπτη πακέτων CTS και ACK frames παίρνεται από το πεδίο Address 2 στο αντίστοιχο RTS πακέτο ή στο πακέτο που επιβεβαιώνεται. Κάθε πεδίο διευθύνσεως αποτελείται από 48 bit όπως ορίζεται στην παράγραφο 5.2 του προτύπου IEEE 802 - 1990.

Μια MAC διεύθυνση μπορεί να είναι:

- Ανεξάρτητη διεύθυνση του σταθμού στο δίκτυο
- Διεύθυνση ομάδας σταθμών σ' ένα δίκτυο. Υπάρχουν δύο είδη:
 - ◆ Multicast Group
 - ◆ Broadcast Address

BSSID (BSS Identifier) Ένα πεδίο 48 bit που καθορίζει μοναδικά κάθε BSS. Η τιμή του είναι η MAC διεύθυνση του σταθμού που υλοποιεί το AP.

Διεύθυνση Προορισμού (AD) Ορίζει τον τελικό παραλήπτη των δεδομένων και μπορεί να είναι ανεξάρτητη ή διεύθυνση ομάδας.

Διεύθυνση Προέλευσης (SA) Ορίζει το σταθμό από τον οποίο δημιουργήθηκαν τα δεδομένα για μετάδοση.

Διεύθυνση Δείκτη (RA) Ορίζει το σταθμό που τελικά πρέπει να παραδοθούν τα δεδομένα.

Διεύθυνση Αποστολέα (TA) Ορίζει το σταθμό που μετάδωσε αρχικά τα δεδομένα.

Έλεγχος διάδοσης πακέτων (16 bit)

Αποτελείται από δύο υποπεδία: 1) Τον αριθμό διάδοσης (12 bit) που παίρνει τιμές από 0 έως 4095 και είναι σταθμός για όλες τις επαναμεταδώσεις του πακέτου. 2) Τον αριθμό τμήματος (4 bit) που δείχνει πιο τμήμα του πακέτου μεταδίδεται κάθε φορά.

Κυρίως τμήμα του πακέτου

Μεταβλητού μήκους που περιέχει πληροφορία που εξαρτάται από τον έναν τύπο του πακέτου και μπορεί να είναι από 0 χαρακτήρες. Η μέγιστη τιμή είναι MSDU + ICV + IV. Τα δύο τελευταία νούμερα καθορίζονται από τον WEP αλγόριθμο

FCS (32 bit)

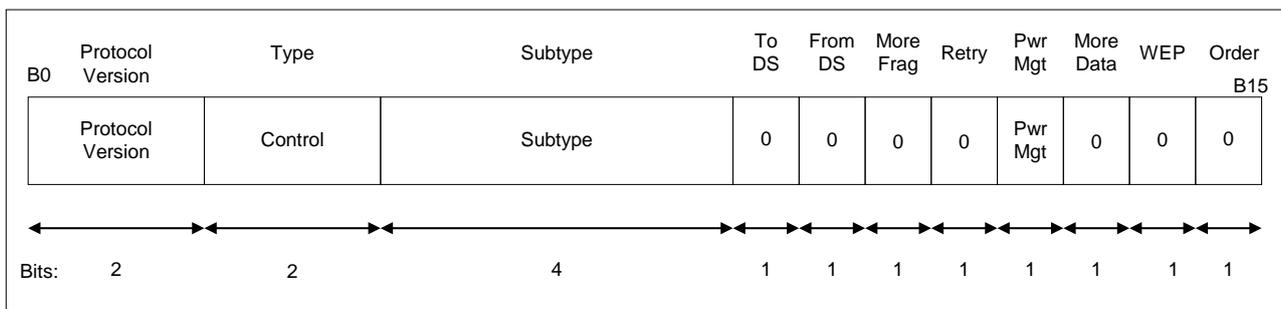
Υπολογίζεται σε όλα τα σημεία του header και στα δεδομένα. Το FCS υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το πολυώνυμο $32^{ου}$ βαθμού:

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

ΜΟΡΦΗ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΠΑΚΕΤΩΝ

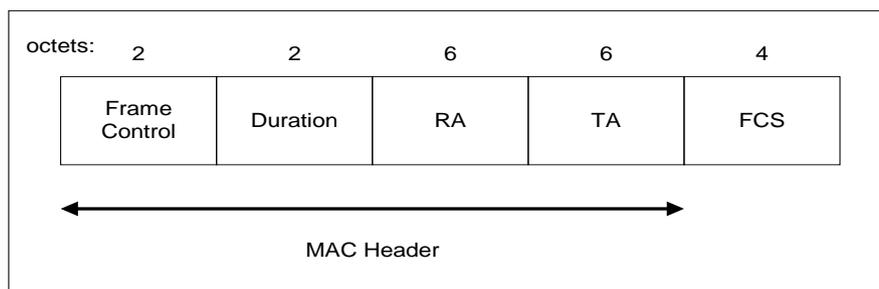
Πακέτα Ελέγχου

Τα υποπεδία στο πεδίο ελέγχου ενός πακέτου ελέγχου φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα



Εικόνα : Frame Control Field Subfield Values Within Control Frames

Η μορφή του RTS πακέτου



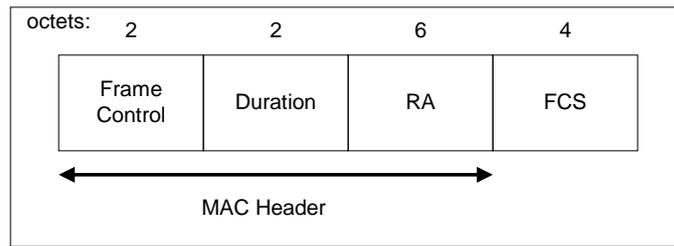
Εικόνα : RTS Frame

Το RA (6 byte) είναι η διεύθυνση του τελικού αποδέκτη του πακέτου δεδομένων ή διαχείρισης που πρέπει να μεταδοθεί.

Το TA(6 byte) η διεύθυνση του σταθμού που μεταδίδει το RTS πακέτο.

Duration (2 byte) η τιμή σε (μsec) που απαιτείται για τη μετάδοση των υπό απαίτηση πακέτων, συν ένα CTS πακέτο, συν ένα ACK πακέτο, συν τρία SIFS διαστήματα.

Η μορφή του CTS πακέτου

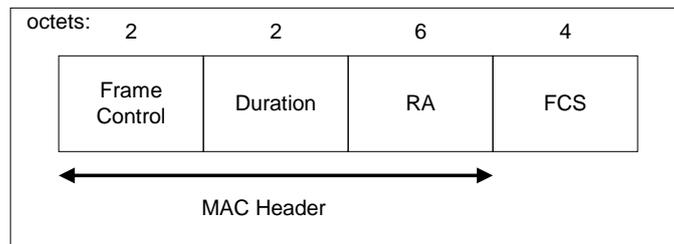


Εικόνα :CTS Frame

RA: η διεύθυνση σ' αυτό το πεδίο αντιγράφεται από την TA διεύθυνση του αμέσως προηγούμενου RTS πακέτου στο οποί το CTS είναι η απάντηση.

Duration: η τιμή που είχε το αντίστοιχο πεδίο στο προηγούμενο πακέτο ελαττωμένη κατά το χρόνο ενός CTS πακέτου και του SIFS διαστήματος.

Η μορφή του ACK πακέτου

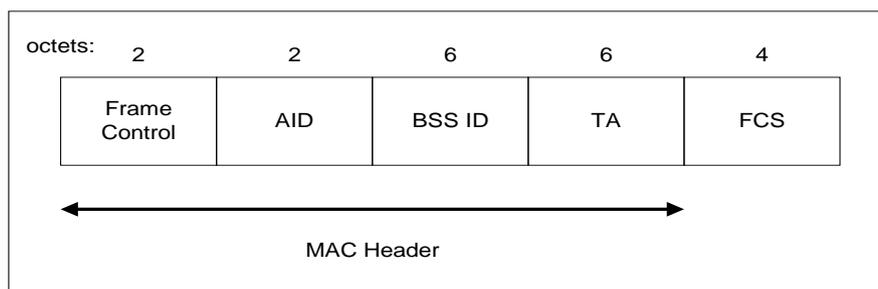


Εικόνα : ACK Frame

RA: η διεύθυνση σ' αυτό το πεδίο αντιγράφεται από το πεδίο Address 2 του προηγούμενου πακέτου Δεδομένων, Διαχείρισης, ή PS Poll πακέτου ελέγχου.

Duration: Αν το πεδίο 'More Frag' του προηγούμενου πακέτου ήταν 0 η τιμή Duration στο ACK πακέτο γίνεται 0. Αν ακολουθούν περισσότερα τμήματα του πακέτου η τιμή ισούται με την τιμή Duration του προηγούμενου ACK πακέτου ελαττωμένη κατά το χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοση του ACK και του αντίστοιχου SIFS διαστήματος.

Η μορφή του PS - Poll πακέτου



Εικόνα : PS - Poll Frame

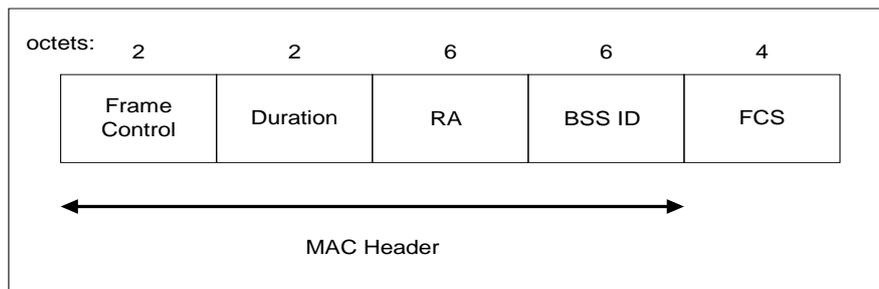
BSSID: η διεύθυνση του σταθμού που υλοποιεί το AP

TA: η διεύθυνση του σταθμού που μεταδίδει το πακέτο

AIP: η τιμή που έχει δοθεί στο σταθμό που μεταδίδει το frame από το AP στη διαδικασία συσχέτισης του σταθμού

Όλοι οι σταθμοί ανανεώνουν τις τιμές του NAV κατάλληλα σύμφωνα με τους κανόνες συντονισμού μία τιμή διάρκειας ίση με το χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοση ενός ACK πακέτου συν ένα διάστημα SIFS.

Η μορφή του CF - End πακέτου



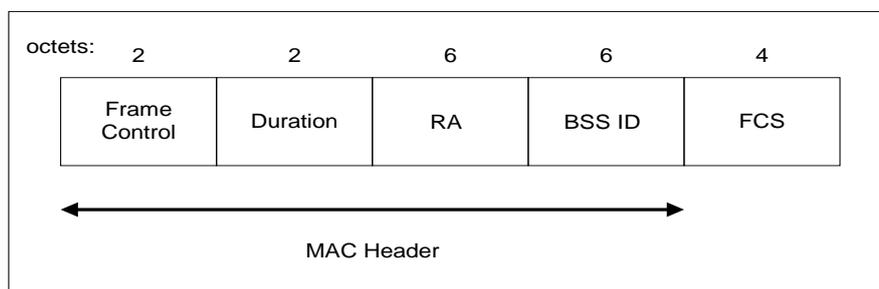
Εικόνα : CF - End Frame

BSSID: η διεύθυνση του σταθμού που υλοποιεί το AP

TA: η ομαδική διεύθυνση Broadcast

Duration: 0

Η μορφή του CF - End + CF - ACK πακέτου



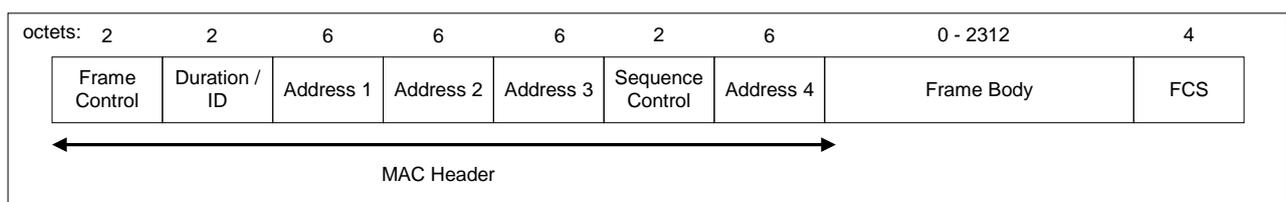
Εικόνα : CF - End + CF - Ack Frame

BSSID: η διεύθυνση του σταθμού που υλοποιεί το AP

TA: η ομαδική διεύθυνση Broadcast

Duration: 0

Πακέτα δεδομένων



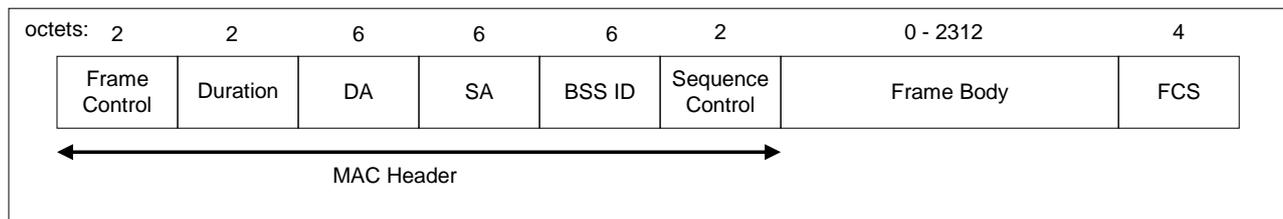
Εικόνα : Data Frame

Τα περιεχόμενα των πεδίων διευθύνσεων ενός πακέτου δεδομένων εξαρτώνται από τις τιμές των bit 'To DS' και 'From DS' και ορίζονται στον επόμενο πίνακα.

To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	DA	SA	BSSID	N/A
0	1	DA	BSSID	SA	N/A
1	0	BSSID	SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA

Πίνακας : Address Field Contents

Πακέτα διαχείρισης



Εικόνα : Management Frame Format

Frame Body: αποτελείται από τυποποιημένα πεδία και μέρη πληροφορίας που έχουν οριστεί για κάθε υποτύπο πακέτου διαχείρισης και είναι υποχρεωτικά εκτός αν ορίζεται διαφορετικά από το πρότυπο.

Πακέτα τύπου BEACON

Ένα πακέτο διαχείρισης υποτύπου Beacon περιέχει την ακόλουθη πληροφορία

Order	Information	Note
1	Timestamp	
2	Beacon Interval	
3	Capability Information	
4	SSID	
5	Supported Rates	
6	FH Parameter Set	1
7	DS Parameter Set	2
8	CF Parameter Set	3
9	IBSS Parameter Set	4
10	TIM	5

Πίνακας 5: Beacon Frame Body

1. Η πληροφορία για την FH παράμετρο υπάρχει στα Beacon πακέτα μόνο όταν ο σταθμός χρησιμοποιεί στο φυσικό επίπεδο Frequency Hopping
2. Η πληροφορία για την DS παράμετρο υπάρχει στα Beacon πακέτα μόνο όταν ο σταθμός χρησιμοποιεί στο φυσικό επίπεδο Direct Sequence

3. Η πληροφορία για την CF παράμετρο υπάρχει στα Beacon πακέτα μόνο το AP υποστηρίζει PCF (Point Coordination Function)
4. Η πληροφορία για την IBSS παράμετρο υπάρχει στα Beacon πακέτα μόνο όταν ο σταθμός ανήκει σε ένα IBSS
5. Η πληροφορία TIM υπάρχει μόνο στα πακέτα Beacon που μεταδίδονται από ένα AP

Πακέτα τύπου IBSS μηνυμάτων ένδειξης κίνησης

Το Frame Body έχει μηδενικό μέγεθος.

Πακέτα τύπου Αποσυσχέτισης

Το Frame Body περιέχει την πληροφορία του πίνακα.

Order	Information	Note
1	Reason Code	

Πίνακας 6: Disassociation Frame Body

Πακέτα τύπου Αίτησης - Συσχέτισης

Το Frame Body περιέχει την πληροφορία του πίνακα.

Order	Information	Note
1	Capability Information	
2	Listen Interval	
3	SSID	
4	Supported Rates	

Πίνακας 7: Association Request Frame Body

Πακέτα τύπου Απόκρισης - Συσχέτισης

Το Frame Body περιέχει την πληροφορία του πίνακα.

Order	Information	Note
1	Capability Information	
2	Status Code	
3	Association ID (AID)	
4	Supported Rates	

Πίνακας 8: Association Response Frame Body

Πακέτα τύπου Αίτησης - Επανασυσχέτισης

Το Frame Body περιέχει την πληροφορία του πίνακα.

Order	Information	Note
1	Capability Information	
2	Listen Interval	

3	Current AP Address	
4	SSID	
5	Supported Rates	

Πίνακας 9: Reassociation Request Frame Body

Πακέτα τύπου Απόκρισης - Επανασυσχέτιση

Το Frame Body περιέχει την πληροφορία του πίνακα.

Order	Information	Note
1	Capability Information	
2	Status Code	
3	Association ID (AID)	
4	Supported Rates	

Πίνακας 10: Reassociation Response Frame Body

Πακέτα τύπου Αίτησης Probe

Το Frame Body περιέχει την πληροφορία του πίνακα.

Order	Information	Note
1	SSID	
2	Supported Rates	

Πίνακας 11: Probe Request Frame Body

Πακέτα τύπου Απόκρισης Probe

Order	Information	Note
1	Timestamp	
2	Beacon Interval	
3	Capability Information	
4	SSID	
5	Supported Rates	
6	FH Parameter Set	1
7	DS Parameter Set	2
8	CF Parameter Set	3
9	IBSS Parameter Set	4

Πίνακας 12: Probe Response Frame Body

Το Frame Body περιέχει την πληροφορία του παραπάνω πίνακα.

Σημειώσεις.

1. Η πληροφορία για την FH παράμετρο υπάρχει στα πακέτα Απόκρισης Probe μόνο όταν ο σταθμός χρησιμοποιεί στο φυσικό επίπεδο Frequency Happing
2. Η πληροφορία για την DS παράμετρο υπάρχει στα πακέτα Απόκρισης Probe μόνο όταν ο σταθμός χρησιμοποιεί στο φυσικό επίπεδο Direct Sequence
3. Η πληροφορία για την CF παράμετρο υπάρχει στα πακέτα Απόκρισης Probe μόνο το AP υποστηρίζει PCF (Point Coordination Function)
4. Η πληροφορία για την IBSS παράμετρο υπάρχει στα πακέτα Απόκρισης Probe μόνο όταν ο σταθμός ανήκει σε ένα IBSS

Πακέτα τύπου Αναγνώρισης

Το Frame Body περιέχει την ακόλουθη πληροφορία.

Order	Information	Note
1	Authentication Algorithm Number	
2	Authentication Transaction Sequence Number	
3	Status Code	1
4	Challenge Text	2

Πίνακας 13: Authentication Frame Body

Σημειώσεις

1. Η πληροφορία Status Code είναι σε εφεδρεία και παίρνει την τιμή 0 σε συγκεκριμένα πακέτα συσχέτισης όπως ορίζεται στον επόμενο πίνακα.
2. Η πληροφορία Challenge Test υπάρχει μόνο σε ορισμένα πακέτα συσχέτισης όπως ορίζεται στον επόμενο πίνακα.

Authentication Algorithm Number	Authentication Trans. Sequence Number	Status Code	Challenge Text
Open System	1	reserved	not present
Open System	2	status	not present
Shared Key	1	reserved	not present
Shared Key	2	status	present
Shared Key	3	reserved	present
Shared Key	4	status	not present

Πίνακας 14: Presence of Challenge Text Information

Αναίρεση Αναγνώρισης

Το Frame Body περιέχει την ακόλουθη πληροφορία.

Order	Information	Note
-------	-------------	------

1	Reason Code	
---	-------------	--

Πίνακας 15: Deauthentication Frame Body

Συστατικά του Frame Body διαχείρισης

Στα πακέτα διαχείρισης τα υποχρεωτικά πεδία σταθερού μήκους ορίζονται σαν σταθερά πεδία και τα μεταβλητού μήκους υποχρεωτικά και όλα τα προαιρετικά πεδία ορίζονται ως στοιχεία πληροφορίας.

Σταθερά πεδία

Αριθμός αλγορίθμου αναγνώρισης (2 bytes)

Οι ακόλουθες τιμές έχουν ορισθεί:

Αριθμός Αλγορίθμου Αναγνώρισης = 0 → Open System

Αριθμός Αλγορίθμου Αναγνώρισης = 1 → Share Key

Όλοι οι υπόλοιποι αριθμοί είναι reserved.

Authentication Transaction Sequence Number (2 bytes)

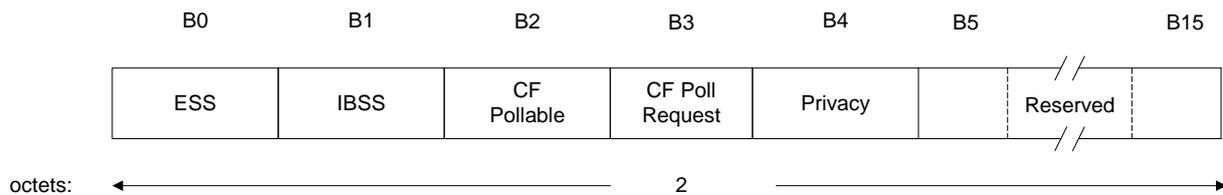
Δείχνει την τρέχουσα θέση της διαδικασίας αναγνώρισης σε μία διεξαγωγή αναγνώρισης πολλαπλών βημάτων.

Beacon Internal (2 bytes)

Δείχνει τον αριθμό K(μs) μεταξύ των TBTTs (Target Beacon Transmission Time)

Capability Information (2 bytes)

Περιέχει πληροφορία για τις δυνατότητες του σταθμού



Εικόνα : Capability Information Fixed Field

Τα APs θέτουν το ESS πεδίο σε 1 και IBSS πεδίο σε 0 στα πακέτα διαχείρισης 'Beacon' ή 'Probe Response'. Οι σταθμοί σε ένα IBSS θέτουν το πεδίο ESS σε 0 και το IBSS πεδίο σε 1. Οι σταθμοί θέτουν τα πεδία 'CF - Pollable' και 'CF - Poll Request' στα πακέτα διαχείρισης Συσχέτισης και Αποσυσχέτισης σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

CF - Pollable	CF - Poll Request	Meaning
0	0	STA is not CF - Pollable
0	1	STA is CF - Pollable, not requesting to be

		placed on the CF - Polling list
1	0	STA is CF - Pollable, requesting to be placed on the CF - Polling list
1	1	STA is CF - Pollable, requesting never to be polled

Πίνακας 16: STA Usage of CF - Pollable and CF - Poll Request

Τα APs θέτουν τα ίδια πεδία στα πακέτα διαχείρισης 'Beacon', 'Probe Response', 'Association Response' και 'Reassociation Response' σύμφωνα με τον πίνακα.

CF - Pollable	CF - Poll Request	Meaning
0	0	No Point Coordinator at AP
0	1	Point Coordinator at AP for delivery only (no polling)
1	0	Point Coordinator at AP for delivery and polling
1	1	Reserved

Πίνακας 17: AP Usage of CF - Pollable and CF - Poll Request

Τα APs θέτουν το πεδίο 'Privacy' σε 1 στα πακέτα διαχείρισης 'Beacon', 'Probe Response', 'Association Response' και 'Reassociation Response'. Οι σταθμοί σε ένα IBSS θέτουν το πεδίο 'Privacy' στα πακέτα διαχείρισης 'Beacon' ή 'Probe Response' αν έχει ζητηθεί κρυπτογραφία WEP.

Current AP address (2 bytes)

Περιέχει τη MAC address του AP με το οποίο ο σταθμός έχει συσχέτιση.

Listen Internal (2 bytes)

Δείχνει στο AP πόσο συχνά ο σταθμός ενεργοποιείται για να ακούσει για πακέτο διαχείρισης τύπου Beacon.

Reason Code (2 bytes)

Χρησιμοποιείται για να δείξει το λόγο που ένα αυτόκλητο πακέτο διαχείρισης τύπου Disassociation ή Deauthentication έχει αποσταλεί. Οι ακόλουθοι κωδικοί έχουν ορισθεί:

Reason Code	Meaning
0	Reserved
1	Unspecified Reason
2	Previous Authentication no longer valid

3	Deauthenticated because sending station is leaving (has left) IBSS or ESS
4	Disassociated due to inactivity
5	Disassociated because AP is unable to handle all currently associated stations
6	Class 2 frame received from non - Authenticated station
7	Class 3 frame received from non - Authenticated station
8	Deauthenticated because sending station is leaving (has left) BSS
9	Station requesting (Re)Association is not Authenticated with responding station
10 - 65535	Reserved

Πίνακας 18: Reason Codes

Association ID (AID) (2 bytes)

Είναι μια τιμή που δίνεται από το AP στη διάρκεια της συσχέτισης ενός σταθμού με τιμή από 1- 2007. Τα δύο MSBits έχουν πάντα την τιμή 1. Το AID = 0 για broadcast και multicast πακέτα σε Traffic Indication MB πακέτα.

Status Code

Χρησιμοποιείται σε απαντητικά πακέτα διαχείρισης για να δηλώσει επιτυχία και αποτυχία της αιτούμενης λειτουργίας. Σε περίπτωση επιτυχούς διεκπεραίωσης το πεδίο παίρνει την τιμή 0. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται ο λόγος της αποτυχίας μιας λειτουργίας.

Reason Code	Meaning
0	Successful
1	Unspecified Failure
2 – 9	Reserved
10	Cannot support all requested capabilities in the Capability Information Field
11	Reassociation denied due to inability to confirm that Association exists
12	Association denied due to reason outside the scope of this standard
13	Responding station does not support the specified Authentication Algorithm
14	Received an Authentication Frame with Authentication Transaction Sequence Number out of expected sequence
15	Authentication rejected because of challenge failure
16	Authentication rejected due to timeout waiting for next frame in sequence
17	Association denied because AP is unable to handle additional associated stations
18	Association denied due to requesting station not supporting all of the data rates in the BSSBasicRateSet parameter
19 – 65535	Reserved

Πίνακας 19: Status Codes

Timestamp (8 bytes)

Αντιστοιχεί στην τιμή του TSF TIMER από το σταθμό που έστειλε το πακέτο.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Έχουν μια κοινή γενική μορφή ή όποιο αποτελείται από 1 byte που αντιστοιχεί στο ID του στοιχείου, ένα byte που ορίζει το μήκος της πληροφορίας που ακολουθεί και την πληροφορία που είναι μεταβλητού μήκους. Το κάθε στοιχείο πληροφορίας παίρνει ένα μοναδικό ID που φαίνεται στον πίνακα 20.

Information Element	Element ID
SSID	0
Supported Rates	1
FH Parameter Set	2
DS Parameter Set	3
CF Parameter Set	4
TIM	5
IBSS Parameter Set	6
Reserved	7 - 15
Challenge Text	16
Reserve for Challenge Text extension	17 - 31
Reserved	32 - 255

Πίνακας 20: Element IDs

SSID (Service Set Identity) ID = 0 (2 - 34 bytes)

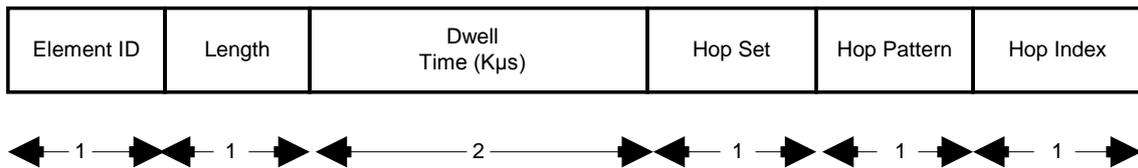
Καθορίζει την ταυτότητα ενός ESS ή ενός IBSS. Το μήκος της πληροφορίας είναι από 0 έως 32 byte. Το 0 δείχνει ένα broadcast SSID.

Supported Rates ID = 1 (3 - 10 bytes)

Το στοιχείο ορίζει τους ρυθμούς μετάδοσης με τους οποίους ο σταθμός μπορεί να λάβει δεδομένα. Το πεδίο της πληροφορίας περιέχει από 1 έως 8 byte στο οποίο κάθε byte περιγράφει ένα υποστηριζόμενο ρυθμό σε πολλαπλάσια των 500 hbits/sec.

FH Parameter Set ID = 2 (7 bytes)

Περιέχει το σύνολο των απαραίτητων παραμέτρων για να επιτευχθεί συγχρονισμός των σταθμών που χρησιμοποιούν Frequency Hopping (FH) στο φυσικό επίπεδο.



Εικόνα : FH Parameter Set Element Format

Dwell Time : περιέχει το χρόνο σε Κμs

Hop Sep : καθορίζει το ιδιαίτερο σύνολο των hop patterns

Hop Pattern : καθορίζει ένα pattern μέσα στο set

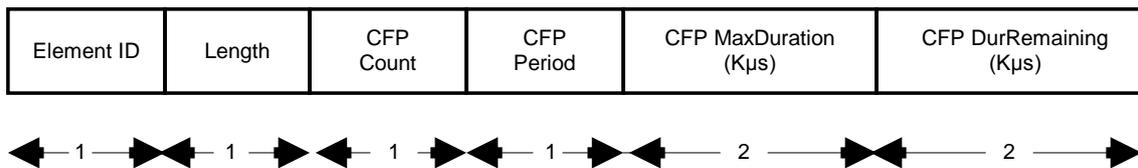
Hop Index : επιλέγει τον τρέχοντα δείκτη στο κανάλι για το συγκεκριμένο pattern

DS Parameter Set ID = 3 (3 bytes)

Περιέχει πληροφορία για την αναγνώριση του αριθμού του καναλιού από τους σταθμούς που χρησιμοποιούν Direct Sequence (DS) στο φυσικό επίπεδο. Η πληροφορία του καναλιού περιέχεται σε 1 byte.

CF Parameter Set ID = 4 (8 bytes)

Περιέχει τις απαραίτητες παραμέτρους για την υποστήριξη PCF (Point Coordinator Function)



Εικόνα : CF Parameter Set Element Format

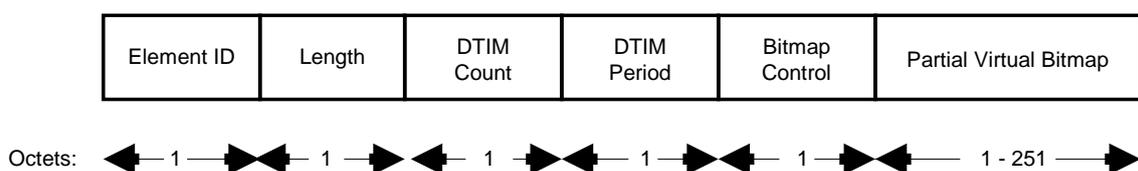
CFP Count : καθορίζει πόσα DTIMs (συμπεριλαμβανομένου και του τρέχοντος πακέτου) εμφανίζονται πριν αρχίσει το επόμενο CFP. CFP Count = 0 σημαίνει ότι το τρέχον DTIM σηματοδοτεί την αρχή του CFP (Contention Free Period)

CFP Period : καθορίζει ένα ακέραιο πολλαπλάσιο DTIM χρονικών διαστημάτων μεταξύ των CFPs

CFP Max Duration : δείχνει τη μέγιστη διάρκεια σε Κμs του CFP που μπορεί να ενεργοποιηθεί από αυτή την PCF

CFP Our Remaining : δείχνει το μέγιστο χρόνο σε Κμs που απομένει στο τρέχον CFP και γίνεται μηδέν στα CFP στοιχεία στα beacons που μεταδίδονται κατά τη διάρκεια της σύγκρουσης

TIM (ID = 5) (bytes 6 - 256)



Εικόνα : TIM Element Format

DTIM Count : καθορίζει πόσα Beacons εμφανίζονται μέχρι το επόμενο DTIM

DTIM Period : καθορίζει τον αριθμό των διαστημάτων Beacon μεταξύ επιτυχόντων DTIMs. Αν όλα τα TIMs είναι DTIMs τότε το πεδίο DTIM Period παίρνει την τιμή 1

Bitmap Control :

Portal Virtual Bitmap :

IBSS Parameter Set (ID = 6) (4 bytes)

Περιέχει τις απαραίτητες παραμέτρους για την υποστήριξη ενός IBSS. Το πεδίο ATIM Window αποτελείται από 2 χαρακτήρες και περιέχει το μέγεθος του ATIM Window σε Kms.

Challenge Text (ID = 16) (bytes 3 - 255)

Περιέχει το κείμενο στις ανταλλαγές που γίνονται κατά τη διάρκεια της Αναγνώρισης. Το μήκος του πεδίου με την πληροφορία εξαρτάται από τον αλγόριθμο και την θέση στην ακολουθία των ανταλλαγών.

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ

Υπηρεσίες Αναγνώρισης (Authentication)

Το 802.11 καθορίζει δύο υποτύπους αναγνώρισης: 'Open System' και 'Shared Key'. Το ποιος θα επιλεγεί φαίνεται στα αντίστοιχα πεδία στα πακέτα διαχείρισης. Έτσι τα πακέτα αναγνώρισης αυτοπροσδιορίζονται ως προς τον αλγόριθμο αναγνώρισης. Όλα τα πακέτα διαχείρισης με υποτύπο 'Αναγνώριση' είναι πακέτα μεταξύ δύο σταθμών. Η διαδικασία της Αναίρεσης Αναγνώρισης είναι πληροφοριακή και γι' αυτό μπορεί να σταλεί σε πακέτα που απευθύνονται σε ομάδες σταθμών. Η 'Αναγνώριση' μπορεί να γίνει μεταξύ των σταθμών και του ?AP σε ένα BSS ενώ στο IBSS η 'Αναγνώριση' γίνεται μεταξύ δύο σταθμών.

'Open System' Αναγνώρισης

Είναι ο απλούστερος τύπος αναγνώρισης αφού δεν γίνεται αναγνώριση. Κάθε σταθμός που ζητά Αναγνώριση με αυτό τον αλγόριθμο θα γίνεται αποδεκτός αν ο τύπος Αναγνώρισης στο δέκτη έχει τεθεί στον ίδιο αλγόριθμο. Η Αναγνώριση αυτού του τύπου γίνεται σε δύο βήματα. Στο πρώτο βήμα γίνεται η αίτηση για αναγνώριση. Το δεύτερο πακέτο στη σειρά περιλαμβάνει το αποτέλεσμα της αναγνώρισης. Αν το αποτέλεσμα είναι επιτυχές οι δύο σταθμοί είναι αμοιβαία αναγνωρίσιμοι.

'Shared Key' Αναγνώρισης

Με αυτό τον αλγόριθμο υποστηρίζεται η 'Αναγνώριση' σταθμών που είτε είναι μέλη μιας ομάδας σταθμών που γνωρίζουν το κοινό μυστικό κλειδί είτε όχι. Αυτό επιτυγχάνεται χωρίς να μεταδοθεί το κλειδί απροστάτευτο με την χρήση του μηχανισμού απομόνωσης WEP. Γι' αυτό το λόγο αυτός ο τρόπος Αναγνώρισης είναι διαθέσιμος μόνο όταν υλοποιείται ο WEP.

Το απαιτούμενο μυστικό κοινό κλειδί απαιτείται να έχει παραδοθεί στους σταθμούς που συμμετέχουν στο δίκτυο, μέσω ενός ασφαλούς καναλιού το οποίο είναι ανεξάρτητο από το 802.11. Αυτό το κλειδί καταχωρείται σε μια MIB με δυνατότητα μόνο εγγραφής μέσω του MAC καναλιού διαχείρισης. Το πεδίο είναι μόνο για εγγραφή ώστε το κλειδί να παραμένει εσωτερικό στο MAC επίπεδο.

Ο WEP αλγόριθμος

Η υποκλοπή των δεδομένων είναι ένα πρόβλημα στα ασύρματα δίκτυα. Το 802.11 καθορίζει έναν αλγόριθμο εμπιστοσύνης ισοδύναμο με ενσύρματα δίκτυα. Η ισοδύναμη με καλώδιο απομόνωση προστατεύει τους χρήστες των ασυρμάτων δικτύων από περιστασιακές υποκλοπές. Η αποφυγή των δεδομένων εξαρτάται από μια υπηρεσία διαχείρισης κλειδιών για τη διανομή κλειδιών κρυπτογράφησης/αποκρυπτογράφησης των δεδομένων.

Ιδιότητες του WEP αλγορίθμου

Σχετικά δυνατός

Η ασφάλεια που επιτυγχάνεται από τον αλγόριθμο στηρίζεται στη δυσκολία ανακάλυψης του κρυφού κλειδιού μέσω μιας πρωτόγονης ακριβής επίθεσης. Αυτό σχετίζεται με το μέγεθος του κλειδιού και την συχνότητα αλλαγής των κλειδιών. Ο WEP επιτρέπει την αλλαγή του κλειδιού (K) και την συχνή αλλαγή του διανύσματος εκκίνησης (IV).

Αυτοσυγχρονισμός

Ο WEP αυτοσυγχρονίζεται για κάθε μήνυμα. Αυτή η ιδιότητα είναι κρίσιμη για έναν αλγόριθμο κρυπτογραφίας στο data link επίπεδο, όπου υποθέτουμε τη μέγιστη δυνατή απόδοση με απώλειες πακέτων που μπορεί να είναι μεγάλες.

Αποτελεσματικός

Ο WEP είναι αποτελεσματικός και μπορεί να υλοποιηθεί με software ή με hardware.

Εξαγωγή

Η σχεδίαση της λειτουργίας του συστήματος του WEP έγινε με σκοπό να μεγιστοποιήσει την περίπτωση έγκρισης από το υπουργείο εμπορείου της Αμερικής την εξαγωγή προϊόντων που περιλαμβάνουν υλοποίηση του WEP.

Προαιρετικότητα

Η υλοποίηση και η χρήση του WEP είναι προαιρετικές στο 802.11.

Η θεωρία λειτουργίας του WEP

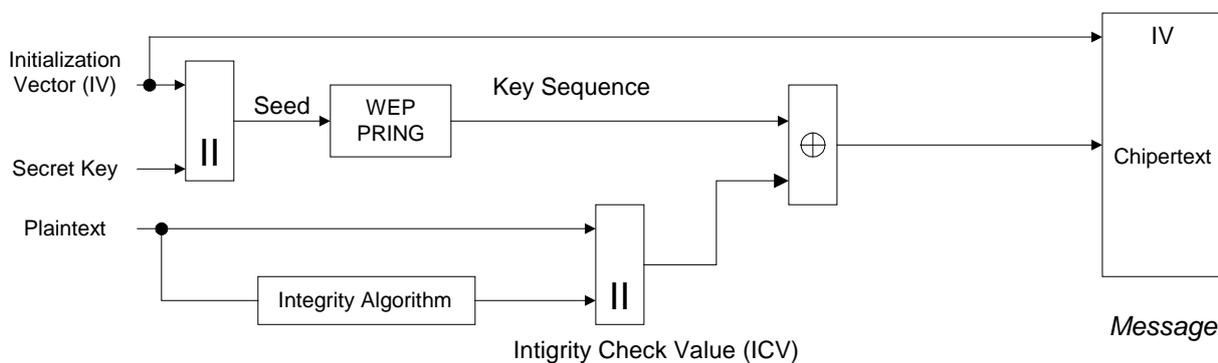
Η διαδικασία παραποίησης ψηφιακών δεδομένων με σκοπό την απόκρυψη της πληροφορίας λέγεται κρυπτογραφία. Ένας αλγόριθμος κρυπτογραφίας είναι μια μαθηματική συνάρτηση που χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση δεδομένων. Οι σύγχρονοι αλγόριθμοι χρησιμοποιούν μια ακολουθία κλειδιών (K) για τη μετατροπή των δεδομένων. Αν υποθέσουμε ότι συμβολίζουμε με P τα

δεδομένα πριν την κρυπτογράφηση και C τα δεδομένα μετά τότε η συνάρτηση κρυπτογράφησης (E) περιγράφεται από τον τύπο $E_K(P) = C$

Η συνάρτηση αποκρυπτογράφησης (D) που εφαρμόζεται στα δεδομένα C για την αναπαραγωγή των αρχικών δεδομένων είναι :

$$D_K(C) = P$$

Στον WEP αλγόριθμο το καθαρό κείμενο γίνεται XOR με μια ψευδοτυχαία ακολουθία κλειδιών ίσου μήκους. Η ακολουθία των κλειδιών δημιουργείται από τον WEP αλγόριθμο. Όπως φαίνεται στο σχήμα η κρυπτογράφηση αρχίζει με ένα ‘μυστικό κλειδί’ το οποίο έχει διαδοθεί στους συνεργαζόμενους σταθμούς με μια εξωτερική υπηρεσία διαχείρισης των κλειδιών. Ο WEP είναι συμμετρικός αλγόριθμος, δηλαδή το ίδιο κλειδί χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση και την αποκρυπτογράφηση των δεδομένων.



Εικόνα : WEP Encipherment Block Value (ICV)

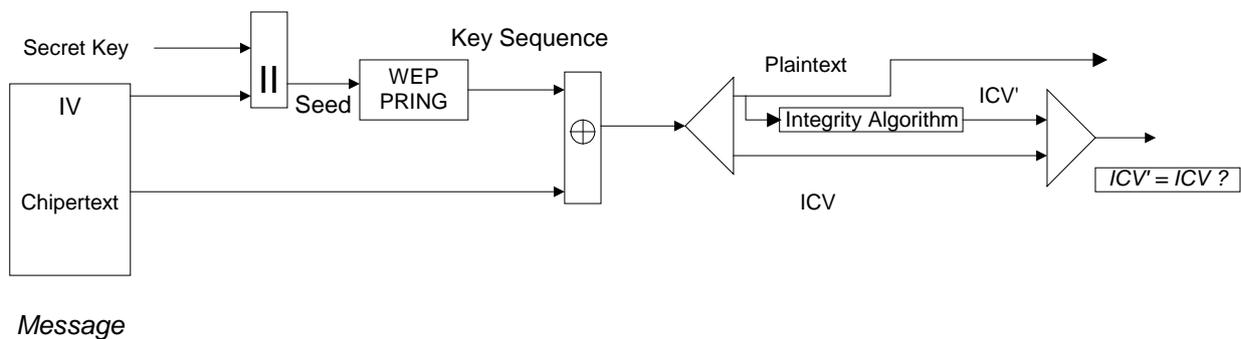
Το κλειδί εφαρμόζεται σε ένα διάνυσμα αρχικοποίησης και το αποτέλεσμα εφαρμόζεται σαν είσοδος σε μια ψευδοτυχαία γεννήτρια αριθμών ίσων σε μήκος με τον αριθμό των δεδομένων που πρέπει να μεταδοθούν (MPDU) αυξημένο κατά 4 αφού κρυπτογραφείται και η τιμή ελέγχου του πακέτου ICV (Integrity Check Value). Για προστασία κατά της μεταβολής των δεδομένων ένας αλγόριθμος αρτιότητας εφαρμόζεται στα δεδομένα για να δημιουργήσει το ICV. Η κρυπτογράφηση επιτυγχάνεται συνδυάζοντας μαθηματικά την ακολουθία των κλειδιών με τα δεδομένα και το ICV. Η έξοδος της παραπάνω διαδικασίας είναι ένα μήνυμα που περιέχει το διάνυσμα αρχικοποίησης (IV) και τα κρυπτογραφημένα δεδομένα.

Η γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών είναι το βασικό τμήμα της διαδικασίας καθώς μετατρέπει ένα σχετικά μικρό κλειδί σε μια αυθαίρετα μεγάλη ακολουθία κλειδιών. Αυτό απλοποιεί τη διανομή του κλειδιού καθώς μόνο ένα μυστικό κλειδί χρειάζεται να μεταδοθεί μεταξύ των σταθμών. Το διάνυσμα αρχικοποίησης (IV) μεγαλώνει το χρήσιμο χρόνο ζωής του κλειδιού και παρέχει την ιδιότητα αυτό-συγχρονισμού στον αλγόριθμο. Το κλειδί παραμένει σταθερό καθώς το IV αλλάζει περιοδικά. Κάθε νέο IV δίνει μια νέα τιμή (Seed) αρχικοποίησης της ψευδοτυχαίας γεννήτριας και άρα νέα ακολουθία κλειδιών (K) έχοντας έτσι μια μονοσήμαντη αντιστοιχία μεταξύ του IV και του K.

Το IV μπορεί να αλλάξει με κάθε MPDU και επειδή αποστέλλεται με το μήνυμα ο δέκτης θα μπορεί πάντα να αποκρυπτογραφήσει το μήνυμα. Το IV μεταδίδεται χωρίς κρυπτογράφηση αφού δεν παρέχει κάποια πληροφορία για το κλειδί και πρέπει να το γνωρίζει ο δέκτης. Όταν επιλέγεται η συχνότητα των

αλλαγών στην IV τιμή πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι κάποια πεδία των πρωτοκόλλων υψηλού επιπέδου ή η πληροφορία σ' αυτά τα πρωτόκολλα είναι σταθερή ή εύκολα προβλεπόμενη. Όταν αυτή η πληροφορία μεταδίδεται κρυπτογραφημένη με ένα συγκεκριμένο κλειδί και IV κάποιος που παρακολουθεί το κανάλι μπορεί εύκολα να αναγνωρίσει τμήματα της ακολουθίας που δημιουργείται με το ζευγάρι κλειδιού διανύσματος. Αν το ίδιο ζευγάρι χρησιμοποιείται για διαδοχικές MPDUs μειώνεται η ασφάλεια του WEP αλγορίθμου επιτρέποντας σε αυτόν που παρακολουθεί να αποκρυπτογραφήσει τμήματα των δεδομένων χωρίς να γνωρίζει το κλειδί. Η αλλαγή του IV σε κάθε MPDU είναι μια απλή μέθοδος για προφύλαξη του αλγορίθμου.

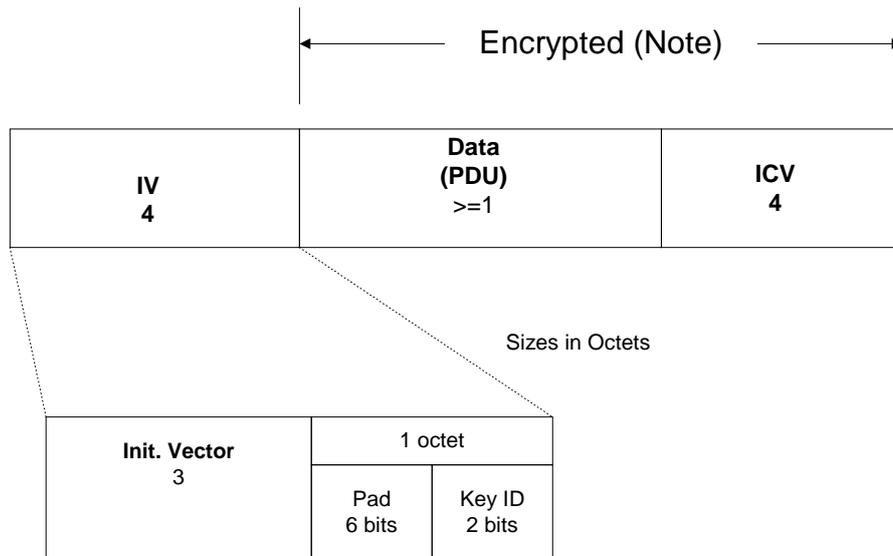
Ο WEP αλγόριθμος εφαρμόζεται στο κομμάτι των δεδομένων μιας MPDU. Στα δεδομένα ενός πακέτου αποστέλλεται το διάνυσμα αρχικοποίησης (IV), τα δεδομένα και η τιμή ελέγχου της ακεραιότητας των δεδομένων (ICV).



Εικόνα : WEP Decipherment Block Diagram

Η αποκρυπτογράφηση ενός μηνύματος φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Το IV του μηνύματος χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της απαραίτητης ακολουθίας για την αποκρυπτογράφηση του μηνύματος. Ο συνδυασμός του κρυπτογραφημένου μηνύματος με την ακολουθία των κλειδιών δίνει το αποκωδικοποιημένο κείμενο και το IVC. Η σωστή αποκρυπτογράφηση επιβεβαιώνεται εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο στα δεδομένα και συγκρίνοντας το ICV' με το ICV που μεταδόθηκε με το μήνυμα. Αν είναι διαφορετικά μεταξύ τους στέλνεται ένδειξη λάθους στην υπηρεσία διαχείρισης του MAC και η πληροφορία δεν περνάει στο LLC.

Στο ακόλουθο σχήμα απεικονίζεται η δομή μιας κρυπτογραφημένης MPDU από τον WEP αλγόριθμο. Η διαδικασία της κρυπτογράφησης έχει προσθέσει 8 bytes στην αρχική MPDU.



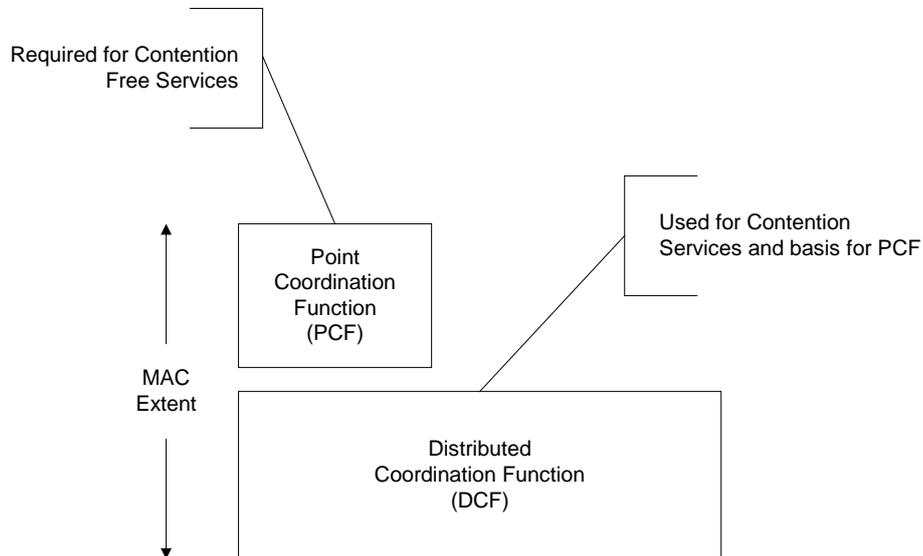
Εικόνα : Construction of Expanded WEP MPDU

Ο μηχανισμός του WEP δεν είναι προσπελάσιμος έξω από το 802.11 MAC επίπεδο.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ MAC ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ MAC

Η αρχιτεκτονική του MAC μπορεί να περιγραφεί με το ακόλουθο σχήμα όπου η συνάρτηση συντονισμού σημείου CPF (Point Coordinator Function).



Εικόνα : MAC Architecture

Κατανεμημένη Συνάρτηση Συντονισμού

Η βασική μέθοδος προσπέλασης του 802.11 MAC είναι μια κατανεμημένη συνάρτηση συντονισμού γνωστή σαν CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance). Η κατανεμημένη συνάρτηση συντονισμού πρέπει να υλοποιείται σε όλους τους σταθμούς για χρήση τόσο σε δίκτυο IBSS όσο και σε δίκτυο υποδομής.

Ένας σταθμός που θέλει να μεταδώσει πρέπει να ακούσει το μέσο μετάδοσης για να ελέγξει αν κάποιος άλλος σταθμός μεταδίδει. Αν το μέσο δεν είναι απασχολημένο η μετάδοση μπορεί να ξεκινήσει. Ο CSMA / CA αλγόριθμος ορίζει ότι ένα κενό προκαθορισμένης ελάχιστης διάρκειας υπάρχει μεταξύ μεταδόσεων συνεχών ακολουθιών πακέτων. Ένας σταθμός που μεταδίδει πρέπει να βεβαιωθεί ότι το μέσο μετάδοσης είναι ήρεμο για την απαιτούμενη χρονική διάρκεια πριν προσπαθήσει να μεταδώσει. Αν το μέσο ανιχνευθεί απασχολημένο, ο σταθμός θα αναβάλει τη μετάδοση μέχρι το τέλος της τρέχουσας μετάδοσης. Μετά την αναβολή ή πριν την προσπάθεια να ξαναμεταδώσει μετά από μια επιτυχή μετάδοση, ο σταθμός πρέπει να επιλέξει ένα τυχαίο μικρότερο χρονικό διάστημα και να μειώσει το μετρητή του 'backoff interval' όσο το μέσο είναι ήρεμο. Ο σταθμός που αποστέλλει και ο σταθμός που λαμβάνει δεδομένα ανταλλάσσουν μικρά πακέτα ελέγχου (RTS και CTS) αφού αναγνωρίσουν ότι το μέσο είναι ήρεμο και μετά από τις απαιτούμενες αναβολές πριν αρχίσουν τη μετάδοση. Αναλυτική περιγραφή του μηχανισμού θα γίνει παρακάτω.

Point Coordination Function (PCF) (Συνάρτηση Συντονισμού Σημείου)

Το 802.11 MAC μπορεί να ενσωματώνει μια προαιρετική μέθοδο προσπέλασης, της συνάρτησης συντονισμού σημείου τα οποία είναι χρήσιμα μόνο σε οργάνωση δικτύου με υποδίκτυα. Αυτή η μέθοδος

προσπέλασης χρησιμοποιεί συντονιστή σημείου, ο οποίος λειτουργεί σαν το AP του BSS για να ορίζει ποιος σταθμός έχει κάθε φορά το δικαίωμα να μεταδώσει. Η λειτουργία υλοποιείται με polling με τον συντονιστή σημείου να υλοποιεί τον έλεγχο της διαδικασίας. Η λειτουργία της συνάρτησης συντονισμού σημείου μπορεί να αποτελεί επιπρόσθετο συντονισμό, που δεν περιγράφεται από το πρότυπο, για να επιτραπεί ικανοποιητική λειτουργία όταν πολλαπλά BSS με συντονισμό σημείου θα διανέμει πληροφορία μέσα στα πακέτα διαχείρισης τύπου Beacon ώστε να αποκτά τον έλεγχο του μέσου θέτοντας στους σταθμούς την τιμή του NAV.

Επιπρόσθετα όλες οι μεταδόσεις πακέτων μέσω της συνάρτησης συντονισμού σημείου μπορούν να χρησιμοποιούν ένα IFS που είναι μικρότερο από τα IFS για πακέτα που μεταδίδονται μέσω της κατανεμημένης συνάρτησης συντονισμού. Το μικρότερο IFS σημαίνει ότι η κίνηση μέσω της συνάρτησης συντονισμού σημείου θα έχει προτεραιότητα στην προσπέλαση του μέσου έναντι των σταθμών επικαλυπτόμενων BSS που λειτουργούν με DCF μέθοδο προσπέλασης. Η προτεραιότητα πρόσβασης που παρέχεται από τη συνάρτηση συντονισμού σημείου ελέγχει τις μεταδόσεις πακέτων των σταθμών με σκοπό να εξαφανίσει τις συγκρούσεις για μια ορισμένη χρονική περίοδο.

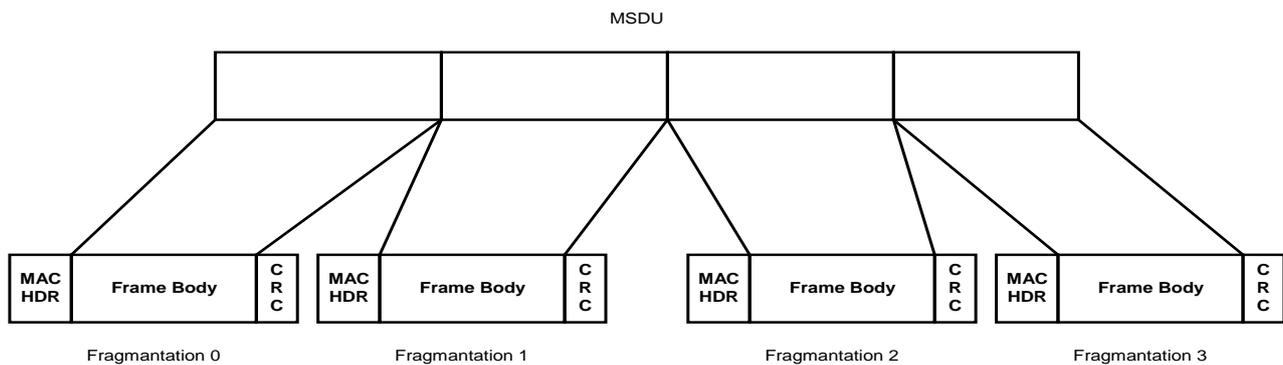
Συνύπαρξη του DCF και PCF

Η κατανεμημένη συνάρτηση συντονισμού και η συνάρτηση συντονισμού σημείου πρέπει να συνυπάρχουν με έναν τρόπο που επιτρέπει και τις δύο να λειτουργούν ταυτόχρονα στο ίδιο BSS. Όταν ένας συντονιστής σημείου λειτουργεί στο BSS οι δύο τρόποι προσπέλασης εναλλάσσονται με την περίοδο χωρίς συγκρούσεις να ακολουθεί από την περίοδο που είναι πιθανή η σύγκρουση κατά την πρόσβαση στο κανάλι.

Τεμαχισμός και Συναρμολόγηση

Η διαδικασία του μοιράσματος μιας MSDU (MAC service Data Unit) ή μια MMPDU (MAC Management Protocol Data Unit) σε μικρότερα πακέτα του MAC επιπέδου, MPDUs (MAC Protocol Data Units) καλείται τεμαχισμός (fragmentation). Με τον τεμαχισμό δημιουργούνται MPDUs μικρότερες σε μήκος από τις αρχικές MSDU ή MMPDUs για να αυξηθεί η αξιοπιστία στη λήψη για μεγαλύτερα πακέτα. Ο τεμαχισμός υλοποιείται σε κάθε πομπό. Η διαδικασία επανασυναρμολόγησης των MPDUs σε μια MSDU ή MMPDU ορίζεται ως συναρμολόγηση (Defragmentation). Η συναρμολόγηση υλοποιείται σε κάθε δέκτη.

Μόνο MPDUs με συγκεκριμένη διεύθυνση δέκτη μπορούν να τεμαχίζονται. Τα πακέτα με πολλαπλούς αποδέκτες δεν πρέπει να τεμαχίζονται ακόμη και όταν το μήκος τους ξεπερνά το όριο τεμαχισμού. Όταν μια MSDU ληφθεί από το LLC στο MAC ή μια MMPDU ληφθεί από το υποεπίπεδο διαχείρισης του MAC με μέγεθος μεγαλύτερο από το όριο τεμαχισμού, η MSDU ή η MMPDU πρέπει να τεμαχίζεται σε MPDUs όχι μεγαλύτερες από το όριο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα : Fragmentation

Οι MPDUs που προέρχονται από τον τεμαχισμό της MSDU ή MMPDU στέλνονται σαν ανεξάρτητα πακέτα για καθένα από τα οποία στέλνεται επιβεβαίωση. Με αυτό τον τρόπο έχουμε επανάληψη στην αποστολή κάθε τμήματος σε περίπτωση λάθους και όχι ολοκλήρωσης της MSDU ή MMPDU. Τα τμήματα μιας MSDU ή MMPDU στέλνονται σαν ριπή κατά τη διάρκεια μιας περιόδου πρόσβασης στο κανάλι χρησιμοποιώντας μια κλίση στη διαδικασία προσπέλασης στο κανάλι χρησιμοποιώντας μια κλίση στη διαδικασία προσπέλασης του μέσου με καταναμημένη συνάρτηση συντονισμού (DCF), εκτός αν η μετάδοση διακοπεί λόγω περιορισμών από τη χρησιμοποίηση του φυσικού επιπέδου. Τα κομμάτια μιας MSDU ή MMPDU στέλνονται κατά τη διάρκεια μίας περιόδου ελεύθερης από προστριβές (CFP) σαν ανεξάρτητα πακέτα σύμφωνα με τους κανόνες προσπέλασης του μέσου με συντονιστή σημείου.

MAC εξυπηρέτηση δεδομένων

Η εξυπηρέτηση δεδομένων στο MAC μεταφράζει αιτήσεις εξυπηρέτησης από το LLC. Σα σήματα εισόδου που εξυπηρετούνται από τη Μηχανή Καταστάσεων του MAC. Επίσης η εξυπηρέτηση δεδομένων του MAC μεταφράζει τα σήματα εξόδου της Μηχανής Καταστάσεων σε ενδείξεις εξυπηρέτησης προς το LLC.

Καταναμημένη Συνάρτηση Συντονισμού

Το βασικό πρωτόκολλο προσπέλασης του μέσου μετάδοσης είναι καταναμημένη συνάρτηση συντονισμού η οποία επιτρέπει το αυτόματο μοίρασμα του μέσου από τους πολλούς σταθμούς με τη χρήση του CSMA/CA μηχανισμού και ένα τυχαίο χρόνο καθυστέρησης όταν το μέσο είναι απασχολημένο. Επιπρόσθετα για όλη την κατευθυνόμενη πληροφορία χρησιμοποιείται θετική επιβεβαίωση (ACK πακέτα) και η επαναμετάδοση ενεργοποιείται από τον αποστολέα αν δεν ληφθεί ACK.

Το CSMA/CA πρωτόκολλο έχει σχεδιαστεί με στόχο να ελαχιστοποιήσει την πιθανότητα σύγκρουσης όταν πολλοί σταθμοί προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν το μέσο μετάδοσης. Τη στιγμή που το μέσο μετάδοσης είναι ήρεμο αμέσως μετά από μία μετάδοση υπάρχει η μεγαλύτερη πιθανότητα να συμβεί μια σύγκρουση, επειδή πολλοί σταθμοί μπορεί να περιμένανε την απελευθέρωση του μέσου. Λόγω αυτού του γεγονότος είναι απαραίτητη μια διαδικασία τυχαίας καθυστέρησης ώστε να αποφευχθούν συγκρούσεις στην πρόσβαση του μέσου.

Η αίσθηση του φορέα πρέπει να γίνεται τόσο με φυσικό όσο και με ουσιαστικό μηχανισμό. Η ουσιαστική αίσθηση του φορέα γίνεται με τη διανομή της πληροφορίας δέσμευσης του μέσου

ανακοινώνοντας την επικείμενη χρήση. Ένας τρόπος για να γίνει η διανομή αυτής της πληροφορίας είναι η ανταλλαγή RTS/CTS πακέτων πριν την ουσιαστική ανταλλαγή του πακέτου. Τα RTS και CTS πακέτα περιέχουν ένα πεδίο Duration/ID που καθορίζει τη χρονική διάρκεια που το μέσο θα είναι απασχολημένο από τη μετάδοση των δεδομένων και το πακέτο επιβεβαίωσης. Όλοι οι σταθμοί μέσα στην εμβέλεια είτε του σταθμού που στέλνει το πακέτο (ο οποίος μεταδίδει το RTS) είτε του σταθμού που λαμβάνει το πακέτο (ο οποίος μεταδίδει το CTS) θα μάθουν για τη δέσμευση του καναλιού.

Ένας άλλος τρόπος για να διαδοθεί η πληροφορία χρησιμοποίησης του μέσου είναι η χρήση του πεδίου Duration/ID σε κατευθυνόμενα πακέτα. Το πεδίο δείχνει το χρόνο που χρησιμοποιείται το μέσο, είτε μέχρι το τέλος του αμέσως επόμενου ACK, είτε στην περίπτωση μιας ακολουθίας τμημάτων ενός πακέτου, μέχρι το τέλος του ACK που ακολουθεί το επόμενο τμήμα. Η ανταλλαγή RTS/CTS πακέτων παρέχει τη δυνατότητα γρήγορης ανίχνευσης συγκρούσεων και ελέγχου του μέσου μετάδοσης. Αν το CTS δεν μπορεί να ανιχνευθεί από το σταθμό που έστειλε το RTS μπορεί να επαναλάβει τη διαδικασία γρηγορότερα απ' ότι θα χρειαζόταν για την αποστολή ενός μεγάλου πακέτου δεδομένων όπου το ACK πακέτο δεν είχε ληφθεί.

Ένα άλλο πλεονέκτημα από τη χρήση του RTS/CTS μηχανισμού προκύπτει όταν πολλά BSS χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι και επικαλύπτονται. Ο μηχανισμός δέσμευσης του μέσου ισχύει για τα όρια του BSA. Ο μηχανισμός του RTS/CTS μπορεί να βελτιώσει τη λειτουργία σε μια τυπική περίπτωση όπου όλοι οι σταθμοί μπορούν να λάβουν από το AP αλλά όχι από τους άλλους σταθμούς στην BSA.

Ο μηχανισμός RTS/CTS δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για MPDUs με πολλαπλούς αποδέκτες για το RTS και άρα πολλοί ταυτόχρονα σταθμοί που θα προσπαθήσουν να στείλουν το CTS. Ο μηχανισμός του RTS/CTS δεν χρειάζεται να χρησιμοποιείται για τη μετάδοση κάθε πακέτου δεδομένων. Λόγω του επιπρόσθετου όγκου πακέτων που αποστέλλονται με τα CTS και RTS πακέτα, πολλές φορές δεν δικαιολογείται η χρησιμοποίηση του μηχανισμού, ειδικά για μικρού μεγέθους πακέτα. Η χρήση του RTS/CTS ελέγχεται από τη μεταβλητή 'aRTSThreshold' η οποία μπορεί να είναι διαφορετική σε κάθε σταθμό. Ο μηχανισμός επιτρέπει διάφοροι σταθμοί να χρησιμοποιούν το RTS/CTS πάντα, ποτέ ή όταν τα πακέτα είναι μεγαλύτερα από κάποιο μέγεθος.

Όταν ένας σταθμός έχει προγραμματιστεί να μη χρησιμοποιεί τον RTS/CTS μηχανισμό θα συνεχίσει να ενημερώνει τον υπερβατό αισθητήρα του φορέα (CS) με την πληροφορία της διάρκειας που περιέχεται στα λαμβανόμενα RTS ή CTS πακέτα και πάντα; θα απαντά με CTS για κάθε RTS πακέτο που προορίζεται σ' αυτόν.

Το πρωτόκολλο πρόσβασης επιτρέπει στους σταθμούς να υποστηρίζουν διαφορετικούς ρυθμούς δεδομένων. Όλοι οι σταθμοί πρέπει να λαμβάνουν σε οποιοδήποτε ρυθμό μετάδοσης και να μεταδίδουν με ένα ή περισσότερους ρυθμούς. Τα πακέτα δεδομένων που στέλνονται με την κατανεμημένη συνάρτηση συντονισμού πρέπει να χρησιμοποιούν για τύπο πακέτου το 'Data' και για υποτύπο είτε 'Data' είτε 'Null Function'. Οι σταθμοί που λαμβάνουν πακέτα τύπου 'Data' θα πρέπει να θεωρούν μόνο το περιεχόμενο του πακέτου σαν πιθανή ένδειξη προς το LLC.

Ο μηχανισμός αίσθησης του μέσου

Πραγματική ή υπερβατή συνάρτηση αίσθησης του φορέα χρησιμοποιείται για να προσδιορισθεί η κατάσταση του μέσου μετάδοσης. Όταν οποιαδήποτε συνάρτηση αίσθησης δείχνει ότι το μέσο χρησιμοποιείται δεν μπορεί ο σταθμός να μεταδώσει. Ο πραγματικός μηχανισμός αίσθησης του μέσου γίνεται στο φυσικό (PHY) επίπεδο και θα περιγραφεί στη συνέχεια. Ο υπερβατός μηχανισμός αίσθησης παρέχεται από το MAC επίπεδο και αναφέρεται σαν διάνυμα καταμερισμού του δικτύου NAV (Network Allocation Vector). Το NAV διατηρεί μια πρόβλεψη για μελλοντική κίνηση του μέσου βασισμένο στην πληροφορία που υπάρχει στα RTS/CTS πακέτα πριν την ουσιαστική μετάδοση των δεδομένων.

Η πληροφορία της διάρκειας υπάρχει επίσης σε όλα τα MAC πακέτα εκτός των PS - Poll πακέτων ελέγχου. Ο μηχανισμός του μέσου συνδυάζει την κατάσταση του NAV και την κατάσταση του πομπού του σταθμού ο οποίος έχει πραγματική αίσθηση της κατάστασης του μέσου για να προσδιορίσει αν το μέσο είναι απασχολημένο ή ήρεμο. Το NAV μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας μετρητής που ελαττώνεται μέχρι να μηδενιστεί. Όταν μηδενιστεί η υπερβατή ένδειξη της κατάστασης του μέσου δείχνει ηρεμία. Το μέσο θεωρείται απασχολημένο όταν ο σταθμός μεταδίδει.

Επιβεβαιώσεις λήψης στο MAC επίπεδο

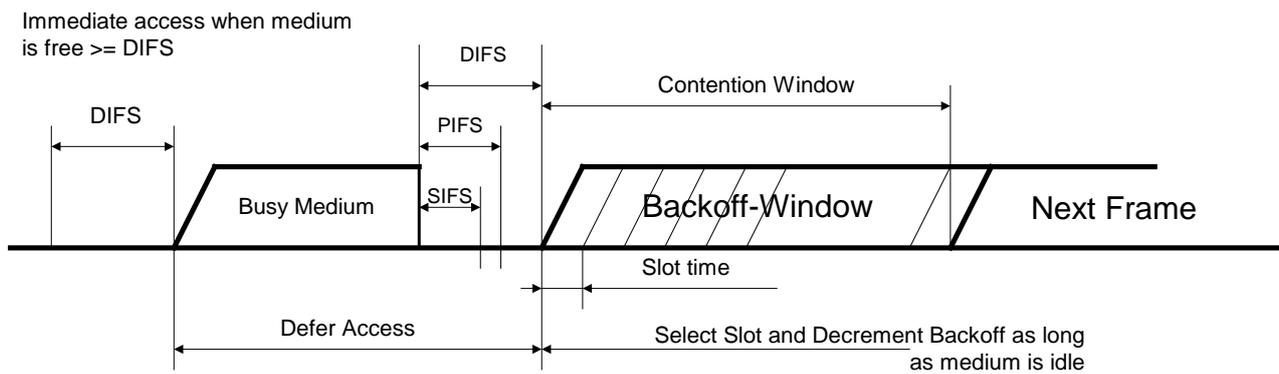
Η λήψη κάποιων πακέτων, απαιτεί ο σταθμός που τα έβαλε να απαντήσει με ένα πακέτο επιβεβαίωσης (ACK) αν το πεδίο FCS του πακέτου που έλαβε είναι σωστό. Η τεχνική είναι γνωστή σαν θετική επιβεβαίωση. Αποτυχία στη λήψη ενός ACK πακέτου δείχνει στο σταθμό που έστειλε τα δεδομένα ότι έχει συμβεί λάθος. Υπάρχει περίπτωση ο δέκτης να έχει λάβει σωστά το πακέτο και το λάθος να έχει συμβεί στη λήψη του ACK πακέτου. Αυτός που στέλνει το πακέτο δεν μπορεί να διακρίνει τι έχει συμβεί στην πραγματικότητα.

Χρονικό διάστημα μεταξύ πακέτων (IFS)

Το χρονικό διάστημα μεταξύ πακέτων είναι γνωστό ως IFS. Ένας σταθμός πρέπει να καταλάβει αν το μέσο είναι ήρεμο με τη χρήση της συνάρτησης αίσθησης του μέσου για κάποιο καθορισμένο διάστημα. Έχουν ορισθεί τέσσερα διαφορετικά IFS's για να παρέχουν επίπεδα προτεραιότητας στην πρόσβαση του μέσου. Από το μικρότερο προς το μεγαλύτερο είναι :

- a) SIFS : Short Interframe Space
- b) PIFS : Point Coordination Function (PCF) Interframe Space
- c) DIFS : DCF Interframe Space
- d) EIFS : Extended Interframe Space

Στο σχήμα φαίνεται η συσχέτιση αυτών των χρόνων.



Εικόνα : Μερικές IFS σχέσεις

Τα διάφορα διαστήματα είναι ανεξάρτητα από το ρυθμό μετάδοσης του σταθμού. Οι χρονισμοί των διαστημάτων πρέπει να ορίζονται σαν χρονικά κενά και πρέπει να είναι σταθερά για το φυσικό επίπεδο. Οι τιμές καθορίζονται από πεδία που υπάρχουν στη MIB του φυσικού επιπέδου.

SIFS

Το SIFS διάστημα μπορεί να χρησιμοποιείται για πακέτα επιβεβαίωσης (ACK), για πακέτα CTS, για τη δεύτερη ή επόμενη MPDUs μιας ριπής δεδομένων από ένα σταθμό που ανταποκρίνεται σε polling από τη συνάρτηση συντονισμού σημείου (PCF) και μπορεί να χρησιμοποιεί από τον συντονιστή σημείου για κάθε τύπο πακέτων κατά την περίοδο χωρίς διαμάχη πρόσβασης του μέσου. SIFS είναι ο χρόνος από το τέλος του τελευταίου χαρακτήρα του προηγούμενου πακέτου έως την αρχή του πρώτου χαρακτήρα της εισαγωγής (preamble) του επόμενου πακέτου όπως αυτό φαίνεται κατά τη μετάδοση του στον αέρα.

Ο χρονισμός των SIFS διαστημάτων επιτυγχάνεται όταν η μετάδοση διαδοχικών πακέτων αρχίζει στα όρια του TxSIFS διαστήματος. Μια υλοποίηση του 802.11 δεν πρέπει να επιτρέπει το κενό μεταξύ των πακέτων που πρέπει να είναι ίσο με SIFS χρόνο να διαφέρει περισσότερο του $\pm 10\%$ του ελάχιστου διαστήματος (slot time) που έχει οριστεί για το συγκεκριμένο φυσικό επίπεδο. Το SIFS διάστημα είναι το μικρότερο από τα διαστήματα μεταξύ της διαδοχικής μετάδοσης πακέτων. Πρέπει να χρησιμοποιείται όταν ο σταθμός έχει καταλάβει το μέσο και πρέπει να το κρατήσει για το χρόνο που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η ανταλλαγή ολόκληρου του πακέτου. Χρησιμοποιώντας το ελάχιστο χρονικό διάστημα μεταξύ μεταδόσεων εμποδίζει άλλους σταθμούς, που απαιτείται να περιμένουν περισσότερο χρόνο να είναι το μέσο ήρεμο, να προσπαθήσουν να χρησιμοποιήσουν το μέσο και έτσι δίνεται προτεραιότητα στην συμπλήρωση της αποστολής του πακέτου.

PIFS

Το PCF διάστημα μεταξύ πακέτων πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο από σταθμούς που λειτουργούν μόνο κάτω από PCF ώστε να έχουν προτεραιότητα στην προσπέλαση του μέσου στην αρχή της περιόδου CF. Ένας σταθμός που χρησιμοποιεί PCF μπορεί να μεταδώσει δεδομένα όταν ο μηχανισμός αίσθησης του μέσου αναγνωρίσει ότι το μέσο είναι ήρεμο στο TxSIFS χρονικό διάστημα.

DIFS

Το DCF διάστημα μεταξύ πακέτων πρέπει να χρησιμοποιείται από σταθμούς που λειτουργούν κάτω από DCF για τη μετάδοση πακέτων δεδομένων (MPDUs) ή πακέτων διαχείρισης (MMPDUs). Ένας σταθμός

που χρησιμοποιεί DCF θα πρέπει να μεταδώσει αν ο μηχανισμός ανίχνευσης του μέσου αναγνωρίζει ότι το μέσο είναι ήρεμο στο TxDIFS χρονικό διάστημα μετά από τη σωστή λήψη ενός πακέτου και μετά το τέλος του χρόνου καθυστέρησης. Ένας σταθμός που χρησιμοποιεί το DCF δεν πρέπει να μεταδώσει σ' αυτό το χρόνο αν λάβει από το φυσικό επίπεδο ένδειξη λάθους, ή αν το MAC υποδείξει ότι υπήρχε λάθος στο FCS, εκτός αν επόμενη λήψη πακέτου χωρίς λάθος επανασυγχρονίσει το σταθμό επιτρέποντας του να μεταδώσει χρησιμοποιώντας το DIFS διάστημα μετά τη λήψη του πακέτου.

EIFS

Η παρατεταμένη καθυστέρηση πρέπει να χρησιμοποιείται από το DCF όταν το φυσικό επίπεδο δείχνει στο MAC ότι η μετάδοση ενός πακέτου δεν είχε σαν αποτέλεσμα τη σωστή λήψη ολόκληρου του πακέτου ή το FCS ήταν λάθος. Το διάστημα EIFS αρχίζει από τη στιγμή που το φυσικό επίπεδο θα δείξει ότι το μέσο είναι ήρεμο χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψιν η ένδειξη του υπερβατού CS. Το διάστημα EIFS έχει οριστεί έτσι ώστε να παρέχει αρκετό χρόνο σε κάποιο άλλο σταθμό για να αναφέρει το λάθος στη λήψη του πακέτου πριν αυτός ο σταθμός επιχειρήσει να μεταδώσει νέο πακέτο. Η λήψη ενός πακέτου χωρίς λάθος κατά τη διάρκεια του EIFS επανασυγχρονίζει το σταθμό στην πραγματική κατάσταση του μέσου, τερματίζοντας τον EIFS και συνεχίζοντας την ομαλή προσπέλαση του μέσου (με τη χρήση του DIFS ή αν είναι απαραίτητη καθυστέρηση) μετά τη λήψη του πακέτου.

Τυχαίος χρόνος Καθυστέρησης (Backoff)

Ένας σταθμός που θέλει να μεταδώσει MPDUs δεδομένων ή MMPDUs διαχείρισης πρέπει μέσω του μηχανισμού αίσθησης του μέσου να αναγνωρίσει αν το μέσο μετάδοσης είναι κατειλημμένο ή ήρεμο. Αν το μέσο είναι απασχολημένο ο σταθμός περιμένει μέχρι να τελειώσει η μετάδοση και να παραμείνει ήρεμο για χρονικό διάστημα ίσο με DIFS όταν το τελευταίο πακέτο που ανιχνεύθηκε έφθασε σωστά ή ίσο με EIFS όταν υπάρχει πρόβλημα στη λήψη του πακέτου. Μετά από αυτό το χρόνο, DIFS ή EIFS, ο σταθμός θα ενεργοποιήσει έναν επιπρόσθετο τυχαίο χρόνο καθυστέρησης πριν μεταδώσει, εκτός να ο μετρητής της καθυστέρησης περιέχει μηδενική τιμή. Με αυτή τη διαδικασία ελαχιστοποιείται η πιθανότητα σύγκρουσης όταν πολλοί σταθμοί περιμένουν να μεταδώσουν μετά από κάποια στιγμή που ανιχνεύουν απασχολημένο το κανάλι.

$$\text{Χρόνος Καθυστέρησης} = \text{Random} () \times aSlotTime$$

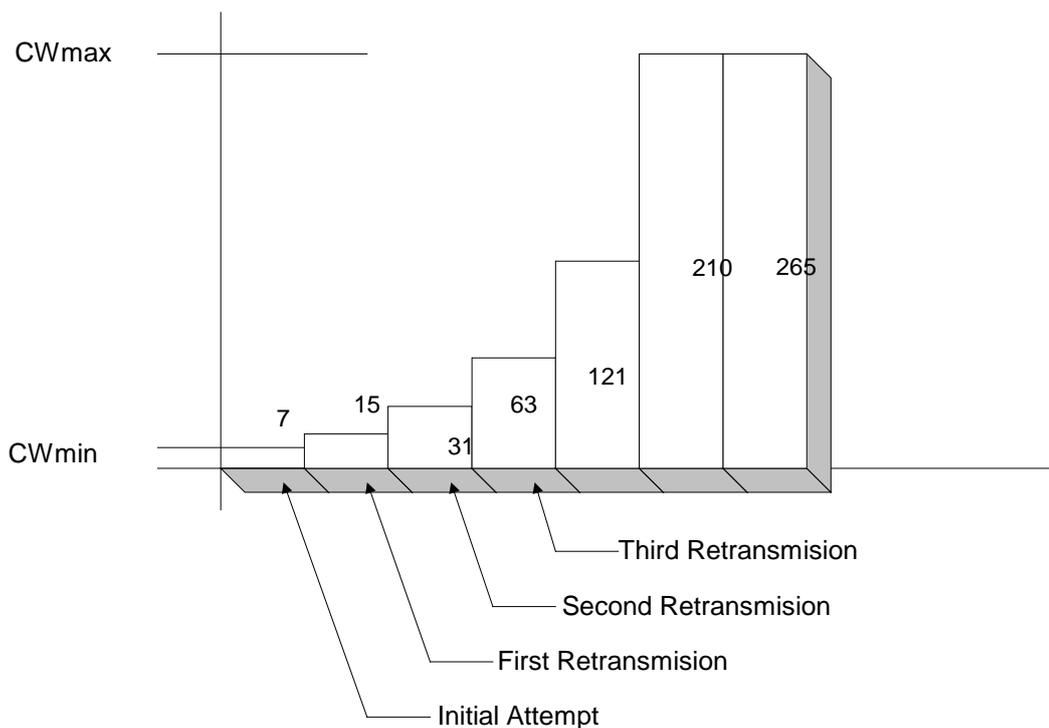
$\text{Random} ()$ = ένας ψευδοτυχαίος ακέραιος που εξάγεται με ομοιόμορφη κατανομή για ένα διάστημα $[0, CW]$ είναι ένας ακέραιος μεταξύ των ορίων που παίρνονται από της MIB, aCW_{min} και aCW_{max} .

$aSlotTime$ = η τιμή ενός πεδίου που είναι αποθηκευμένο στη MIB.

Η παράμετρος CW (Contention Window) αρχικά παίρνει την τιμή aCW_{min} . Κάθε σταθμός υλοποιεί ένα μετρητή για επαναμεταδώσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα SSRC (Station Short Retry Count) καθώς και ένα μετρητή επαναμεταδώσεων με μεγάλο διάστημα επανακαθυστέρησης SLRC (Station Long Retry

Count). Και οι δύο μετρητές αρχικά παίρνουν την τιμή μηδέν. Ο SSRC θα αυξάνεται όταν μια αντίστοιχα μικρή MSDU μεταδίδεται. Ο SLRC αυξάνεται όταν μεταδίδονται μεγάλες MSDUs. Το CW παίρνει την επόμενη τιμή στη σειρά κάθε φορά που γίνεται μια ανεπιτυχής προσπάθεια για μετάδοση μιας MPDU έως ότου φτάσει στην τιμή CWmax. Μια επαναπροσπάθεια έχουμε κάθε φορά που μια ακολουθία πακέτων στέλνεται με διάστημα SIFS μεταξύ των πακέτων. Όταν φτάσει την τιμή CWmax κρατάει αυτή την τιμή μέχρι του επαναπροσδιορισμού της. Με αυτό τον τρόπο βελτιώνεται η σταθερότητα του πρωτοκόλλου πρόσβασης σε περιπτώσεις μεγάλης κίνησης. Η αύξηση του CW απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.

Το CW ξαναπαίρνει την τιμή aCWmin μετά από κάθε επιτυχή προσπάθεια να μεταδώσει μια MSDU ή MMPDU, όταν ο SLRC φτάσει το όριο του aLongRetryLimit, ή όταν ο SSRC φτάσει το aShortRetryLimit. Το SSRC μηδενίζεται όταν ένα ACK πακέτο ληφθεί σε απάντηση μιας MSDU ή MMPDU μετάδοσης, ή όταν ένα πακέτο με μια διεύθυνση πολλαπλών χρηστών στο πεδίο Address 1 φτάσει στο σταθμό. Το SLRC μηδενίζεται όταν σταλεί μια MSDU ή MMPDU με μέγεθος μεγαλύτερο από aRTSThreshold, ή όταν σταλεί ένα πακέτο με διεύθυνση πολλαπλών χρηστών στο πεδίο Address 1.



Εικόνα : Παράδειγμα της εκθετικής αύξησης του CW

Οι τιμές του CW πρέπει να είναι συνεχώς αυξανόμενες ακέραιες τιμές, δυνάμεις του 2 μείον 1 αρχίζοντας από μια ελάχιστη τιμή aCWmin που εξαρτάται από το φυσικό επίπεδο, μέχρι μια μέγιστη τιμή aCWmax.

Κανόνες προσπέλασης του DCF

Η CSMA/CA μέθοδος προσπέλασης είναι η βάση της κατανεμημένης Συνάρτησης Συντονισμού. Οι κανόνες λειτουργίες διαφέρουν λίγο μεταξύ της Κατανεμημένης Συνάρτησης Συντονισμού και της Συνάρτησης Συντονισμού Σημείου.

Προσπέλαση

Με τον όρο προσπέλαση αναφερόμαστε στον κύριο μηχανισμό που ένας σταθμός χρησιμοποιεί για να προσδιορίσει αν μπορεί να μεταδώσει.

Γενικά ένας σταθμός μπορεί να μεταδώσει ένα πακέτο όταν λειτουργεί κάτω από την DCF μέθοδο προσπέλασης, είναι χωρίς την ύπαρξη συντονιστή σημείου ή κατά την περίοδο φιλονικίας της PCF μεθόδου προσπέλασης, για χρόνο μεγαλύτερο ή ίσο από DIFS ή EIFS αν η αμέσως προηγούμενη ένδειξη απασχολημένου μέσου ήταν αποτέλεσμα ενός πακέτου που δεν έγινε η λήψη σ' αυτό το σταθμό με σωστή τιμή FCS. Αν κάτω απ' αυτές τις συνθήκες το μέσο βρεθεί απασχολημένο όταν ο σταθμός θέλει να ξεκινήσει τη μετάδοση του αρχικού πακέτου, μη υπολογιζόμενης της CF περιόδου, πρέπει να ακολουθηθεί αλγόριθμος τυχαίας καθυστέρησης που αναφέρθηκε παραπάνω. Ο βασικός μηχανισμός προσπέλασης απεικονίζεται σε προηγούμενο σχήμα.

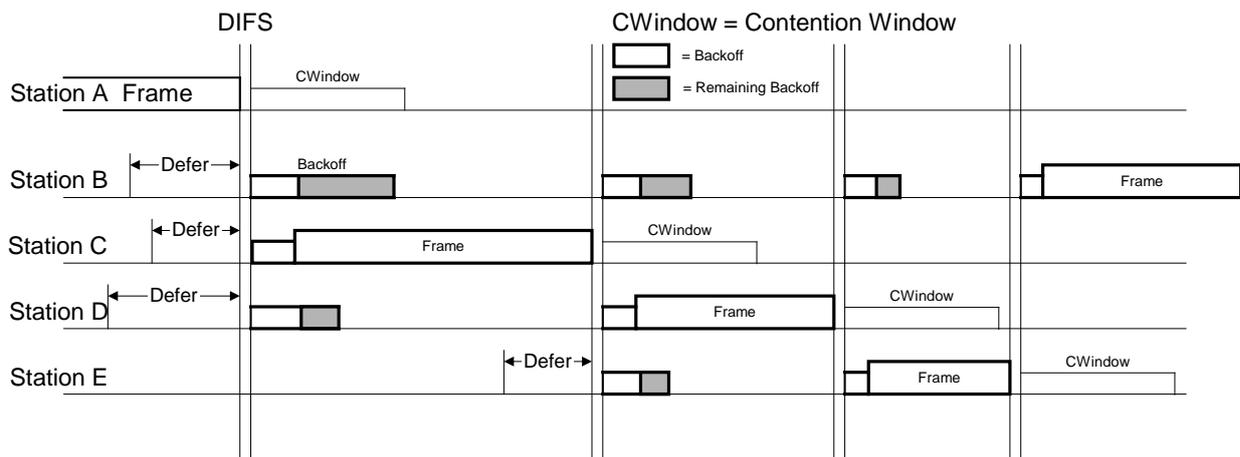
Η διαδικασία καθυστέρησης

Η διαδικασία καθυστέρησης πρέπει να χρησιμοποιείται κάθε φορά που ένας σταθμός θέλει να μεταδώσει ένα πακέτο και βρίσκει το μέσο απασχολημένο όπως φαίνεται είτε από τον φυσικό είτε από τον υπερβατό μηχανισμό αίσθησης του καναλιού. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και όταν ο σταθμός που μεταδίδει αναγνωρίσει ότι έχει γίνει λάθος στη μετάδοση.

Για να αρχίσει η διαδικασία καθυστέρησης, ο σταθμός πρέπει να θέσει το χρονόμετρο σε ένα τυχαίο χρόνο χρησιμοποιώντας την εξίσωση που περιγράψαμε παραπάνω. Ο χρόνος αυτός προστίθεται στην DIFS ή EIFS χρονική περίοδο που πρέπει το μέσο να μείνει αδρανές μετά από κάποια επιτυχημένη ή αποτυχημένη προσπάθεια μετάδοσης αντίστοιχα.

Όταν ένας σταθμός εκτελεί τη διαδικασία καθυστέρησης πρέπει να χρησιμοποιεί τον μηχανισμό αίσθησης του μέσου σε κάθε τμήμα (slot) της χρονικής περιόδου καθυστέρησης για να ξέρει αν υπάρχει κίνηση στο δίκτυο. Αν δεν υπάρχει κίνηση στη συγκεκριμένη χρονική περίοδο τότε η διαδικασία καθυστέρησης μειώνει το μετρητή χρόνου κατά μία τιμή aSlotTime.

Αν το μέσο βρεθεί κατειλημμένο σε κάποια χρονική περίοδο, τότε η διαδικασία καθυστέρησης παγώνει, δηλαδή, δεν γίνεται μείωση στην τιμή του μετρητή καθυστέρησης. Το μέσο πρέπει να μείνει ήρεμο για μια περίοδο DIFS ή EIFS ξανά πριν ενεργοποιηθεί ο μηχανισμός καθυστέρησης. Η μετάδοση θα ξεκινήσει μόλις ο μετρητής πάρει την τιμή μηδέν.



Εικόνα : Η διαδικασία καθυστέρησης

Η διαδικασία καθυστέρησης πρέπει να εκτελείται αμέσως μετά το τέλος κάθε μετάδοσης που το MoreFragment bit έχει την τιμή 0 σε MPDUs τύπου δεδομένων, διαχείρισης, ή ελέγχου με υποτύπο PS-Poll ακόμα και αν δεν υπάρχουν δεδομένα για μετάδοση. Στην περίπτωση επιτυχούς επιβεβαίωσης της μετάδοσης η διαδικασία καθυστέρησης πρέπει να ξεκινήσει στο τέλος της λήψης του ACK πακέτου. Σε περίπτωση μη επιτυχούς μετάδοσης που απαιτείται επιβεβαίωση η διαδικασία καθυστέρησης θα ξεκινήσει στο τέλος του χρόνου αναμονής του ACK. Αν η μετάδοση ήταν επιτυχής η τιμή CW επανέρχεται στην τιμή aCW_{min} πριν επιλεγεί ένα τυχαίο διάστημα καθυστέρησης και οι μετρητές, SSRC και SLRC ενημερώνονται όπως περιγράψαμε σε προηγούμενη παράγραφο. Με αυτό τον τρόπο είναι σίγουρο ότι τα μεταδιδόμενα πακέτα από ένα σταθμό ξεχωρίζουν πάντα κατά ένα τουλάχιστον διάστημα καθυστέρησης. Με αυτό τον τρόπο, όταν πολλοί σταθμοί αναβάλλουν μικρότερη τιμή καθυστέρησης που θα βγει από την ψευδοτυχαία γεννήτρια θα υπερισχύσει της διαμάχης.

Σε ένα IBSS, ο χρόνος καθυστέρησης για ένα πακέτο, εκτός από πακέτα Beacon και ATIM, δεν πρέπει να μειώνεται από το TBTT μέχρι τη λήξη του παραθύρου ATIM και ο χρόνος καθυστέρησης για ένα πακέτο διαχείρισης ATIM πρέπει να μειώνεται μόνο μέσα στο ATIM παράθυρο.

Διαδικασίες διόρθωσης και όρια επαναμετάδοσης

Για τη διόρθωση λαθών είναι πάντα υπεύθυνος ο σταθμός που αρχικοποιεί την ανταλλαγή των πακέτων. Πολλές περιπτώσεις μπορούν να προκαλέσουν κάποιο λάθος για το οποίο απαιτείται διόρθωση. Για παράδειγμα, το CTS πακέτο μπορεί να μην επιστραφεί μετά από τη μετάδοση του RTS. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω σύγκρουσης με άλλη μετάδοση, λόγω παρεμβολής στο κανάλι ή επειδή ο σταθμός που έλαβε το RTS πακέτο είχε μια ένδειξη απασχολημένου μέσου από τον υπερβατό μηχανισμό αίσθησης του φορέα.

Η διόρθωση του λάθους πρέπει να γίνει ξαναπροσπαθώντας τη μετάδοση ακολουθιών πακέτων για τα οποία ο σταθμός που τα δημιούργησε συμπεραίνει ότι χάθηκαν. Οι επαναμεταδόσεις πρέπει να συνεχίζονται για κάθε ακολουθία πακέτων που χάνεται, μέχρι την επιτυχή μετάδοση ή μέχρι να φτάσει ένα όριο αναφοράς. Γι' αυτό το σκοπό ο σταθμός κρατάει ένα μετρητή SRC και ένα μετρητή LRC για κάθε MSDU ή MMPDU για μετάδοση. Οι μετρητές αυξάνονται και μηδενίζονται ανεξάρτητα ο ένας από τον

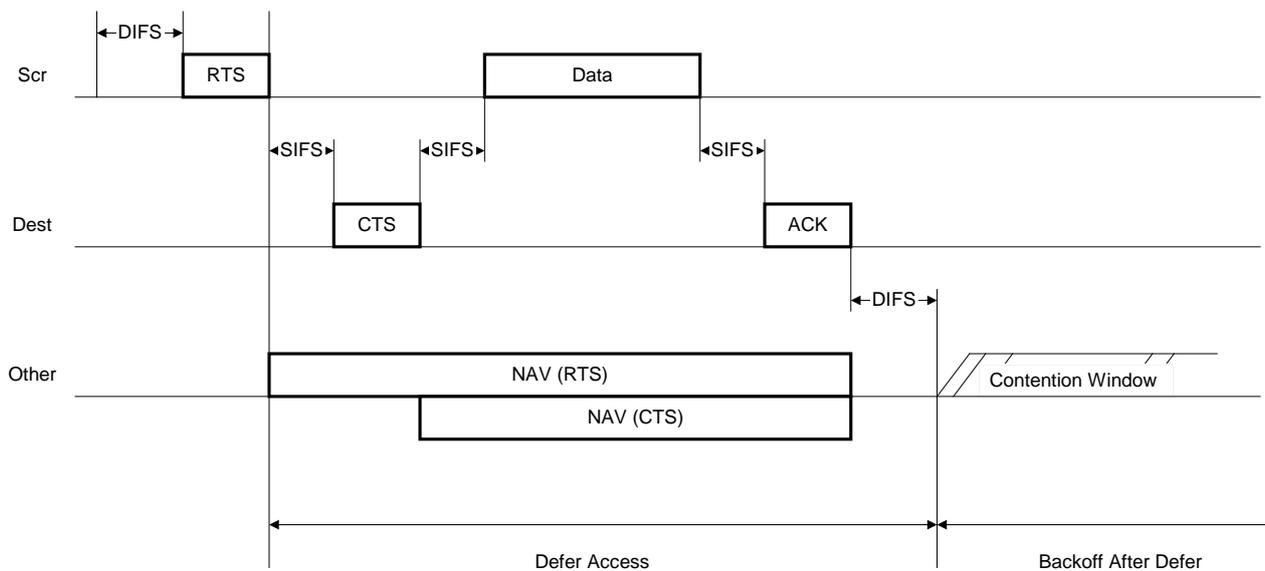
άλλο. Μετά τη μετάδοση ενός RTS πακέτου, ο σταθμός θα απαντήσει με CTS. Αν η μετάδοση του RTS αποτύχει ο SRC για το αντίστοιχο πακέτο θα αυξηθεί. Αυτή η διαδικασία θα επαναλαμβάνεται μέχρι το SRC φτάσει το aShortRetryLimit.

Μετά τη μετάδοση ενός πακέτου που χρειάζεται επιβεβαίωση, ο σταθμός θα απαντήσει με ACK πακέτα. Ο SRC θα αυξάνεται κάθε φορά που η μετάδοση ενός MAC πακέτου μήκους μικρότερου από aRTSThreshold αποτυγχάνει. Ο SRC θα αυξάνεται κάθε φορά που το MAC πακέτο φτάνει με επιτυχία. Ο LRC αυξάνεται κάθε φορά που ένα MAC πακέτο με μήκος μεγαλύτερο από aRTSThreshold χάνεται για μια MSDU ή MMPDU και μηδενίζεται όταν το πακέτο φτάνει σωστά στον προορισμό του. Οι επαναμεταδόσεις ενός πακέτου που δεν έχει επιβεβαιωθεί μια ή περισσότερες φορές πρέπει να γίνεται με το πεδίο Retry να παίρνει την τιμή 1. Οι επαναμεταδόσεις πρέπει να συνεχίζονται μέχρι οι SRC ή LRC φτάσουν τα όρια aShortRetryLimit ή aLongRetryLimit αντίστοιχα. Όταν κάποιο από τα όρια ξεπεραστεί πρέπει να σταματήσουν οι επαναμεταδόσεις και η MSDU ή MMPDU να απορριφθεί.

Ένας σταθμός σε λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης σε ένα ESS, ξεκινάει μια ακολουθία ανταλλαγής πακέτων μεταδίδοντας ένα PS - Poll πακέτο για να ζητήσει δεδομένα από ένα AP. Σε περίπτωση που δεν λάβει κάποιο ACK πακέτο ή πακέτο δεδομένων θα ξαναστείλει ένα PS - Poll πακέτο. Αν το AP στείλει ένα πακέτο δεδομένων σε απόκριση του PS - Poll αλλά δεν λάβει την επιβεβαίωση στο πακέτο δεδομένων, το επόμενο PS - Poll πακέτο από τον ίδιο σταθμό θα προκαλέσει την επαναμετάδοση του ίδιου πακέτου δεδομένων. Το διπλό πακέτο πρέπει να αναγνωρισθεί στο δέκτη χρησιμοποιώντας το μηχανισμό φιλτραρίσματος διπλών πακέτων. Αν το AP απαντήσει στο PS - Poll μεταδίδοντας ένα ACK πακέτο η ευθύνη διόρθωσης του λάθους μετάδοσης ενός πακέτου δεδομένων περνάει στο AP γιατί τα δεδομένα μεταδίδονται με την επόμενη ανταλλαγή πακέτων η οποία ξεκινάει από το AP. Το AP πρέπει να προσπαθήσει να παραδώσει μια MSDU στο σταθμό που μετέδωσε το PS - Poll χρησιμοποιώντας την ενδεδειγμένη ακολουθία πακέτων για την συγκεκριμένη MSDU. Αν ο σταθμός που μετέδωσε το PS - Poll επιστρέψει σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης μετά την μετάδοση του ACK πακέτου σε απάντηση μιας επιτυχούς λήψης αλλά το AP αποτύχει να λάβει αυτό το πακέτο, το AP θα ξαναστείλει το ίδιο πακέτο μέχρι να πιάσει το αντίστοιχο όριο επαναμεταδόσεων.

Ρύθμιση και επαναρύθμιση του NAV (Network Allocation Vector)

Οι σταθμοί που λαμβάνουν ένα σωστό πακέτο πρέπει να ενημερώσουν την τιμή του NAV με την πληροφορία που υπήρχε στο πεδίο Duration/ID στο πακέτο που έλαβαν, όταν η νέα τιμή του NAV είναι μεγαλύτερη από την τρέχουσα τιμή και όταν το πακέτο δεν έχει προορισμό τον συγκεκριμένο δέκτη. Διάφορες άλλες συνθήκες μπορούν να θέσουν ή να επαναρυθμίσουν το NAV όπως θα δούμε αργότερα. Στο σχήμα δείχνεται το NAV για σταθμούς που μπορούν να λάβουν το RTS πακέτο, όταν άλλοι σταθμοί μπορεί να λάβουν μόνο το CTS πακέτο. Το αποτέλεσμα είναι η μικρότερη NAV μπάρα του σχήματος.

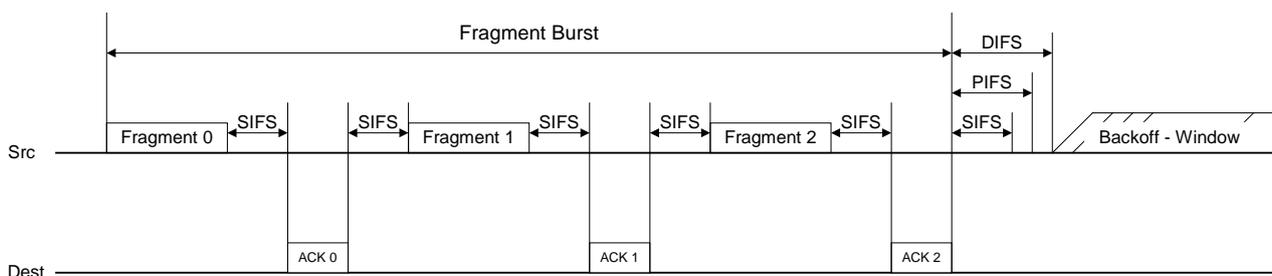


Εικόνα : RTS/CTS/Data/ACK και NAV ρύθμιση

Ένας σταθμός που χρησιμοποιήσει πληροφορία από ένα RTS πακέτο για να ενημερώσει το NAV μπορεί να το αλλάξει αν δεν λάβει PHY - PXSTART.indication από το PHY για μια χρονική περίοδο ίση με $(2 \times aSIFTime) + (CTS_Time) + (2 \times aSlotTime)$ με αρχή την PHY - PXEND.indication χρονική στιγμή που αντιστοιχεί στην ανίχνευση του RTS πακέτου. Το 'CTS - Time' πρέπει να υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το μήκος του πακέτου και το ρυθμό μετάδοσης στον οποίο έγινε η λήψη του τελευταίου RTS πακέτου που χρησιμοποιήθηκε για την ρύθμιση του NAV.

Ο έλεγχος του καναλιού

Το χρονικό διάστημα SIFS χρησιμοποιείται για να υπάρχει ένας αποτελεσματικός μηχανισμός αποστολής μιας MSDU. Όταν ένας σταθμός έχει ανταγωνισθεί για την κατοχή του καναλιού και την έχει αποκτήσει, θα συνεχίσει να στέλνει πακέτα μέχρι όλα τα τμήματα μιας MSDU ή MMPDU θα φτάσουν στον προορισμό τους, ή μέχρι ένα πακέτο επιβεβαίωσης να μην φτάσει έγκαιρα, ή λόγω χρονικών περιορισμών που μπορεί να μπαίνουν από το dwell χρονικό όριο και δεν είναι δυνατή η αποστολή όλων των πακέτων. Όταν η αποστολή των πακέτων σταματήσει για έναν από τους παραπάνω λόγους ο σταθμός θα ξεκινήσει την επαναμετάδοση με την πρώτη ευκαιρία. Στο σχήμα φαίνεται η μετάδοση ενός πακέτου που αποτελείται από πολλά τμήματα (fragment burst) χρησιμοποιώντας τα SIFS.



Εικόνα : Μετάδοση πακέτου που αποτελείται από πολλά τμήματα χρησιμοποιώντας τα SIFS.

Όταν ο σταθμός στείλει ένα πακέτο να ελευθερώσει τα κανάλια, μετά θα παρακολουθεί το κανάλι για την επιβεβαίωση (ACK). Όταν αν αποδέκτης τελειώσει με τη αποστολή της επιβεβαίωσης, χρόνος SIFS μετά την επιβεβαίωση πρέπει να δεσμευθεί για να μπορέσει ο αποστολέας να στείλει το επόμενο τμήμα του πακέτου (αν υπάρχει).

Αν ο σταθμός που στέλνει το πακέτο δεν λάβει επιβεβαίωση θα προσπαθήσει να μεταδώσει το ίδιο ή άλλο πακέτο μετά τη διαδικασία καθυστέρησης και την διαδικασία κατάληψης του καναλιού. Όταν ένας σταθμός διεκδικήσει το κανάλι για να επαναμεταδώσει ένα τμήμα πακέτου μιας MSDU πρέπει να αρχίσει με το τελευταίο κομμάτι που δεν έχει επιβεβαιωθεί η λήψη του. Με αυτό τον τρόπο ο δέκτης λαμβάνει τα πακέτα σε σειρά, υπάρχει όμως η πιθανότητα να λάβει ένα τμήμα δύο φορές. Είναι ευθύνη του δέκτη να αναγνωρίσει και να απορρίψει διπλά πακέτα.

Ένα σταθμός θα μεταδώσει μετά από χρόνο SIFS μόνο κάτω από τις ακόλουθες συνθήκες σ' ένα συρμό πακέτων.

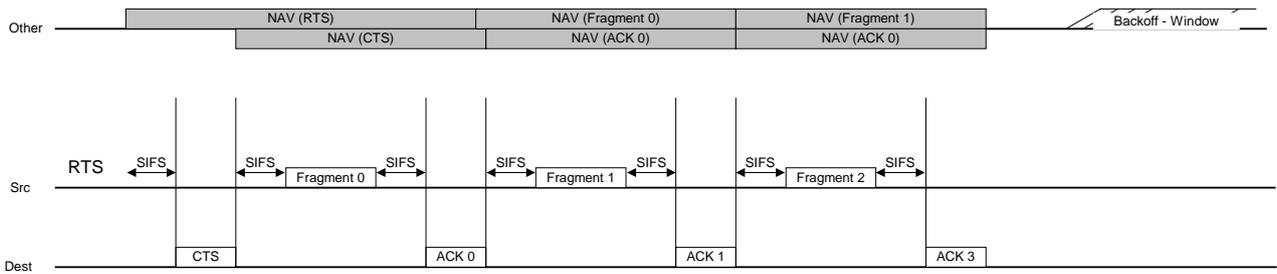
- Ο σταθμός μόλις έλαβε ένα πακέτο που απαιτεί επιβεβαίωση.
- Ο αποστολέας σταθμός έλαβε μια επιβεβαίωση για ένα προηγούμενο τμήμα, έχει και άλλα τμήματα της ίδιας MSDU να μεταδώσει, και υπάρχει αρκετός χρόνος πριν το προηγούμενο dwell όριο για να στείλει το επόμενο και να λάβει την επιβεβαίωση.

Οι ακόλουθοι κανόνες επίσης ισχύουν:

- Όταν ένας σταθμός έχει μεταδώσει ένα πακέτο ή κάποιο ενδιάμεσο, ο σταθμός δεν θα μεταδώσει στο κανάλι μετά την επιβεβαίωση του τελευταίου πακέτου, χωρίς να υλοποιήσει την διαδικασία καθυστέρησης.
- Όταν μια MSDU έχει μεταδοθεί με επιτυχία ή όταν όλες οι προσπάθειες επαναμετάδοσης έχουν αποτύχει και ο σταθμός έχει μια νέα MSDU για αποστολή τότε ο σταθμός πρέπει να υλοποιήσει τη διαδικασία καθυστέρησης.
- Μόνο τα μη επιβεβαιωμένα τμήματα ενός πακέτου επαναμετάδοσης

Η χρήση του RTS/CTS με τεμαχοποίηση πακέτων

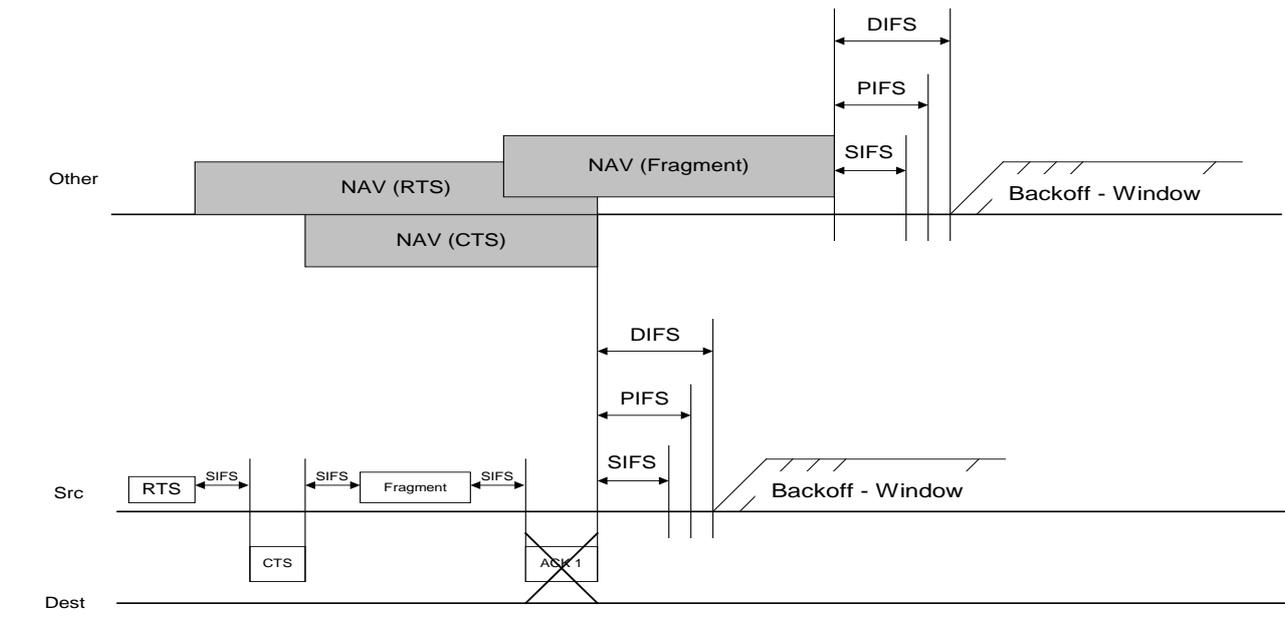
Για την αποστολή μιας MSDU ή MMPDU η οποία χρειάζεται να χωρισθεί σε μικρότερα πακέτα τα RTS/CTS καθορίζουν τη διάρκεια του πρώτου τμήματος με την επιβεβαίωση του. Το πεδίο Duration/ID στο πακέτο δεδομένων και στο πακέτο επιβεβαίωσης καθορίζει την συνολική διάρκεια του επόμενου τμήματος με την επιβεβαίωση όπως αυτό φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα : Τα RTS/CTS με τεμαχοποιημένα MSDU

Κάθε πακέτο περιλαμβάνει πληροφορία που καθορίζει τη διάρκεια της επόμενης μετάδοσης. Η πληροφορία της διάρκειας στο RTS πακέτο πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την ενημέρωση του NAV ώστε να δείχνει απασχολημένο μέχρι το τέλος του ACK 0, όπως επίσης και η πληροφορία του CTS πακέτου. Το τμήμα 0 και το ACK 0 θα περιέχουν πληροφορία για ενημέρωση του NAV μέχρι το τέλος του ACK 1. Αυτό θα συνεχιστεί μέχρι το τελευταίο τμήμα στο οποίο θα περιέχεται πληροφορία για τη διάρκεια ενός ACK πακέτου συν χρόνο SIFS και στο ACK πακέτο το πεδίο Duration/ID θα έχει την τιμή 0. Κάθε τμήμα λειτουργεί σαν ένα υπερβατό RTS και CTS πακέτο. Έτσι, δεν χρειάζεται να στέλνονται νέα RTS/CTS πακέτα από τη στιγμή που έχει ξεκινήσει η ανταλλαγή των πακέτων ακόμη και αν τα τμήματα είναι μεγαλύτερα από την τιμή aRTSThreshold.

Στην περίπτωση που η επιβεβαίωση ενός πακέτου σταλεί αλλά δεν ληφθεί από το σταθμό που έστειλε τα δεδομένα, οι σταθμοί που έχουν 'ακούσει' τα δεδομένα και την επιβεβαίωση θα θεωρήσουν το κανάλι απασχολημένο λόγω της τιμής του NAV που έχει ανανεωθεί. Αυτή η κατάσταση απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα και αποτελεί την χειρότερη περίπτωση χρήσης του καναλιού. Αν η επιβεβαίωση δεν σταλεί, οι σταθμοί που μπορούν να ακούσουν μόνο το δέκτη σταθμό δεν θα επαναρυθμίσουν το NAV και μπορούν να προσπαθήσουν να προσπελάσουν το κανάλι όταν το NAV που είχε τεθεί από το προηγούμενο πακέτο πάρει την τιμή μηδέν. Όλοι οι σταθμοί που ακούν τον αποστολέα θα μπορούν να έχουν πρόσβαση στο κανάλι μετά την λήξη του νέου NAV.



Εικόνα : Τα RTS/CTS με

Η διαδικασία CTS

Ένας σταθμός που έχει λάβει ένα RTS πακέτο θα μεταδώσει ένα CTS πακέτο μετά από SIFS χρόνο αν το NAV του σταθμού δείχνει ότι το μέσο είναι ήρεμο. Αν το NAV στο σταθμό που έλαβε το RTS δείχνει ότι το μέσο δεν είναι ήρεμο ο σταθμός δεν θα απαντήσει. Το πεδίο RA του CTS πακέτου πρέπει να έχει την τιμή του TA πεδίου του RTS πακέτου στο οποίο το CTS πακέτο αποτελεί απάντηση. Το πεδίο Duration/ID στο CTS πακέτο έχει την τιμή του αντίστοιχου πεδίου του RTS πακέτου ελαττωμένο κατά aSIFSTime και το χρόνο σε msec που απαιτείται για τη μετάδοση του CTS πακέτου με το ρυθμό μετάδοσης που θα γίνει η αποστολή του πακέτου.

Μετά τη μετάδοση ενός RTS πακέτου, ο σταθμός θα περιμένει για ένα διάστημα CTSTimeout, το οποίο αρχίζει από την PHY - TXEND_confirm στιγμή. Αν η ένδειξη PHY - RXSTART_indication δεν συμβεί κατά το παραπάνω διάστημα ο σταθμός θα θεωρήσει ότι η μετάδοση του RTS απέτυχε και ο σταθμός θα μπει στη διαδικασία καθυστέρησης αμέσως μετά τη λήξη του CTSTimeout. Αν η ένδειξη PHY - RXSTART_indication συμβεί στο αναμενόμενο χρονικό διάστημα ο σταθμός θα περιμένει την ένδειξη PHY - RXEND_indication για να καθορίσει αν η μετάδοση του RTS ήταν επιτυχής. Η αναγνώριση ενός CTS πακέτου από τον αποδέκτη του RTS πακέτου, που αντιστοιχεί στην παραπάνω PHY - RXEND_indication, πρέπει να θεωρείται σαν επιτυχής απόκριση, επιτρέποντας την μετάδοση της ακολουθίας των πακέτων. Η λήψη οτιδήποτε άλλου, συμπεριλαμβανομένου ενός άλλου σωστού πακέτου, πρέπει να θεωρηθεί ως αποτυχία της μετάδοσης του RTS. Σε αυτή την περίπτωση ο σταθμός θα μπει στη διαδικασία καθυστέρησης με την ένδειξη PHY - RXEND_indication και μπορεί να επεξεργαστεί το πακέτο που έλαβε.

Διαδικασία μετάδοσης μιας κατευθυνόμενης MPDU

Ένας σταθμός θα πρέπει να χρησιμοποιεί την ανταλλαγή RTS/CTS για κατευθυνόμενα πακέτα όταν το μήκος της MPDU είναι μεγαλύτερο από το όριο που δείχνει η μεταβλητή aRTSThreshold που βρίσκεται στη βάση (MIB) του MAC. Αυτή η τιμή τίθεται και διαβάζεται από την οντότητα διαχείρισης του MAC επιπέδου. Η τιμή 0 χρησιμοποιείται για να δηλώσει ότι όλες οι MPDUs πρέπει να στέλνονται με τη χρήση

του RTS/CTS μηχανισμού, ενώ τιμές μεγαλύτερες από το μέγιστο επιτρεπόμενο μέγεθος της MPDU δηλώνουν ότι η αποστολή των πακέτων πρέπει να γίνεται χωρίς τη χρήση του RTS/CTS μηχανισμού.

Όταν έχουμε χρήση του RTS/CTS, το πακέτο των δεδομένων θα πρέπει να μεταδοθεί SIFS χρόνο μετά το τέλος του CTS πακέτου. Όταν μεταδίδεται το πακέτο των δεδομένων δεν χρειάζεται να ελέγχεται η κατάσταση του μέσου μετάδοσης. Όταν δεν έχουμε ανταλλαγή RTS/CTS πακέτων το πακέτο δεδομένων πρέπει να μεταδίδεται ακολουθώντας την βασική διαδικασία προσπέλασης του μέσου. Με ή χωρίς τη χρήση του RTS/CTS μηχανισμού ο σταθμός που είναι ο δέκτης του πακέτου δεδομένων πρέπει να ακολουθήσει τη διαδικασία επιβεβαίωσης.

Διαδικασία μετάδοσης μιας MPDU με πολλαπλούς δέκτες

Όταν το δίκτυο λειτουργεί χωρίς τη συνάρτηση συντονισμού σημείου (PCF) και MPDUs προς πολλαπλούς αποδέκτες μεταδίδονται από ένα σταθμό με το πεδίο. Το DS να έχει την τιμή μηδέν, μόνο η βασική διαδικασία προσπέλασης πρέπει να χρησιμοποιείται. Ανεξαρτήτως του μεγέθους του πακέτου δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ο RTS/CTS μηχανισμός. Επιπρόσθετα από τους δέκτες του πακέτου δεν πρέπει να αποσταλεί κανενός είδους επιβεβαίωση. Κάθε πακέτο με προορισμός πολλαπλούς αποδέκτες με το πεδίο Το DS να έχει την τιμή ένα, εκτός από την υλοποίηση των κανόνων προσπέλασης όπως ορίζονται στο CSMA/CA πρωτόκολλο, πρέπει να τηρούνται και οι κανόνες ανταλλαγής RTS/CTS πακέτων αφού τα δεδομένα προορίζονται προς το AP. Το πακέτο πολλαπλών αποδεκτών πρέπει να διανεμηθεί στο BSS και ο σταθμός που έστειλε το μήνυμα θα το ξαναλάβει. Γι' αυτό το λόγο όλοι οι σταθμοί πρέπει να αναγνωρίζουν και να απορρίπτουν τα πακέτα που περιέχουν τη διεύθυνση τους σαν source address. Οι MSDUs πολλαπλών αποδεκτών πρέπει να μεταδίδονται στο ESS.

Για τα πακέτα πολλαπλών αποδεκτών (με το πεδίο Το DS = 0) δεν υπάρχει μηχανισμός αναγνώριση λαθών στο MAC επίπεδο. Γι' αυτό το λόγο η αξιοπιστία αυτής της κίνησης είναι μειωμένη σε σχέση με την αξιοπιστία της κατευθυνόμενης κίνησης, λόγω της αυξημένης πιθανότητας να χαθεί κάποιο πακέτο από παρεμβολές, συγκρούσεις ή χρονικά μεταβαλλόμενες ιδιότητες του καναλιού.

Η διαδικασία επιβεβαίωσης

Μετά την επιτυχή λήψη από ένα AP ενός πακέτου του οποίου ο τύπος απαιτεί επιβεβαίωση και το πεδίο Το DS έχει την τιμή ένα, το AP πρέπει να δημιουργήσει ένα πακέτο επιβεβαίωσης. Πακέτο επιβεβαίωσης πρέπει να αποσταλεί και από ένα αποδέκτη σταθμό, ο οποίος έλαβε επιτυχώς κάποιο πακέτο τύπου που απαιτεί επιβεβαίωση μόνο όταν το πακέτο δεν απευθύνεται σε πολλαπλούς αποδέκτες. Μετά την επιτυχή λήψη ενός πακέτου που απαιτεί επιβεβαίωση ή μετάδοση του ACK πρέπει να γίνει SIFS χρόνο μετά τη λήψη του πακέτου χωρίς να γίνει έλεγχος της κατάστασης του μέσου μετάδοσης. Ο σταθμός που αρχικά έστειλε το πακέτο θα περιμένει την επιβεβαίωση για χρόνο ACKTimeout πριν θεωρήσει ότι η αποστολή της MPDU απέτυχε.

Αναγνώριση διπλών πακέτων και διόρθωση

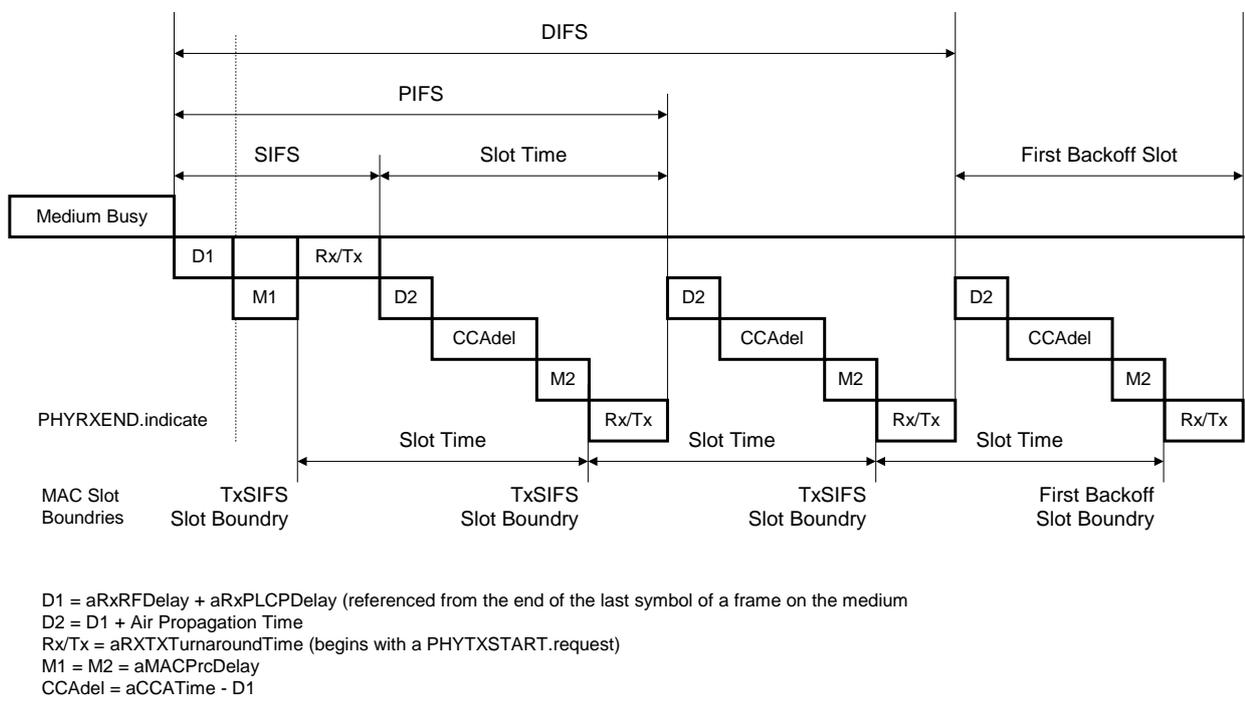
Καθώς το πρωτόκολλο στο MAC επίπεδο προβλέπει επιβεβαιώσεις και επαναμεταδόσεις υπάρχει πιθανότητα ένα πακέτο να ληφθεί περισσότερες από μια φορές. Αυτά τα διπλά πακέτα πρέπει να

απορρίπτεται στο MAC του δέκτη. Η απόρριψη των διπλών πακέτων επιτυγχάνεται με την ύπαρξη ενός πεδίου ελέγχου της ακολουθίας (αποτελούμενες από ένα αριθμός ακολουθίας και ένα αριθμό τμήματος) στα πακέτα δεδομένων και διαχείρισης. Οι MPDUs που είναι κομμάτια της ίδιας MSDU έχουν διαφορετικό αριθμό ακολουθίας, ενώ διαφορετικές MSDU έχουν διαφορετικό αριθμό ακολουθίας (με μεγάλη πιθανότητα). Ο αριθμός ακολουθίας δημιουργείται από τον σταθμό που δημιουργεί τα πακέτα και αυξάνεται σε ακέραιους αριθμούς.

Κάθε δέκτης σταθμός πρέπει να κρατάει τα στοιχεία των πιο πρόσφατων πακέτων (Διεύθυνση 2, αριθμός ακολουθίας, αριθμός τμήματος) Σ' αυτά τα στοιχεία ο σταθμός πρέπει να κρατάει μόνο την πληροφορία από το τελευταίο κομμάτι κάθε MSDU, ενώ μπορεί να διαγράφει πληροφορία από πακέτα πολλαπλών αποδεκτών. Ο αποδέκτης σταθμός θα πρέπει να απορρίπτει κάθε πακέτο που έχει λάβει ο σταθμός. Η πιθανότητα να απορριφθεί από λάθος ένα πακέτο είναι πολύ μικρή και θα έχει ως αποτέλεσμα να χαθεί το πακέτο. Ο δέκτης σταθμός θα απαντήσει με ένα ACK πακέτο ακόμα και για τα πακέτα που απορρίπτει λόγω της αναγνώρισης ως διπλό πακέτο.

Χρονικές συσχετίσεις στη Συνάρτηση Κατανεμημένου Συντονισμού

Οι σχέσεις των χρονικών διαστημάτων μεταξύ διαδοχικών πακέτων που μεταδίδονται στον αέρα φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα. Οι σχετικές μεταβλητές παρέχονται από το συγκεκριμένο PHY που χρησιμοποιείται κάθε φορά από την MIB του επιπέδου.



Εικόνα : Σχέσεις χρόνου DCF

Οι χρόνοι aSIFSTime και aSlotTime ορίζονται στη MIB και είναι σταθεροί για το PHY.

$$aSIFSTime = aRxRFDelay + aRxPLCPDelay + aMACPrcDelay + aRXTXTurnaroundTime$$

$$aSlotTime = aCCATime + aRxTxTurnaroundTime + aAirPropagationTime + aMACPrcDelay$$

Οι χρόνοι PIFS και DIFS δίνονται από τις ακόλουθες εξισώσεις

$$PIFS = aSIFSTime + aSlotTime$$

$$DIFS = aSIFSTime + 2 * aSlotTime$$

Ο χρόνος EIFS εξαρτάται από τους χρόνους SIFS, DIFS και το χρόνο που χρειάζεται να μεταδοθεί ένα ACK πακέτο στο 1 Mbits/s.

$$EIFS = aSIFSTime + (8 * ACKSize) + aPreambleLength + aPLCPHeaderLength + DIFS$$

Στο προηγούμενο σχήμα φαίνονται ακόμη οι χρόνοι TxSIFS, TxPIFS και TxDIFS που καθορίζουν ποια χρονική στιγμή πρέπει να ενεργοποιηθεί ο πομπός από το MAC για να επιτύχει τα διάφορα χρονικά διαστήματα μεταξύ διαδοχικών πακέτων μετά την αναγνώριση της αλλαγής του CCA από το προηγούμενο Slot Time. Οι ακόλουθες εξισώσεις ορίζουν τα όρια του MAC με μεταβλητές που υπάρχουν στη MIB, οι οποίες είναι τέτοιες ώστε να αντισταθμίζουν χρονικές μεταβολές λόγω διαφορετικών υλοποιήσεων.

$$TxSIFS = SIFS - aRxTxTurnaroundTime$$

$$TxPIFS = TxSIFS + aSlotTime$$

$$TxDIFS = TxSIFS + 2 * aSlotTime$$

Συνάρτηση Συντονισμού Σημείου (PC)

Η συνάρτηση συντονισμού σημείου παρέχει τη δυνατότητα μετάδοσης χωρίς τη διεκδίκηση του μέσου μετάδοσης από το σταθμό. Ο συντονιστής σημείου πρέπει να βρίσκεται στο AP. Ένα AP μπορεί να έχει τη δυνατότητα να γίνει PC. Όλοι οι σταθμοί από το σχεδιασμό τους υπακούουν στους κανόνες πρόσβασης του μέσου για τη συνάρτηση συντονισμού σημείου αφού αυτοί οι κανόνες βασίζονται στη DCF, και θέτουν το NAV στην αρχή κάθε CFP (περίοδος χωρίς διεκδίκηση). Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της PCF είναι τέτοια ώστε όλοι οι σταθμοί να μπορούν να λειτουργούν χωρίς πρόβλημα σε ένα BSS στο οποίο λειτουργεί ένας συντονιστής σημείου και αν είναι συσχετισμένο με ένα BSS συντονισμού σημείου να μπορούν να λάβουν όλα τα πακέτα που στάλθηκαν υπό τον έλεγχο του PCF. Υπάρχει ακόμα μια δυνατότητα για ένα σταθμό να μπορεί να απαντήσει σε ένα πακέτο CF - Poll που έχει σταλεί από το συντονιστή σημείου. Ένας σταθμός που μπορεί να απαντήσει σε τέτοια πακέτα αναφέρεται ως CF - Pollable και μπορεί να απαιτήσει να ελέγχεται (to be polled) από ένα ενεργό συντονιστή σημείου.

Οι CF - Pollable σταθμοί και ο συντονιστής σημείου δεν χρησιμοποιούν RTS/CTS στην CF περίοδο. Όταν ελέγχεται από το συντονιστή σημείου ο σταθμός μπορεί να μεταδώσει μια μόνο MPDU προς οποιοδήποτε προορισμό και ταυτόχρονα να περάσει την επιβεβαίωση ενός πακέτου που έλαβε από τον συντονιστή σημείου χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους υποτύπους πακέτων δεδομένων για την μετάδοση. Αν για το πακέτο δεδομένων δεν ληφθεί η επιβεβαίωση ο CF - Pollable σταθμός θα επιβεβαιώσει το πακέτο χρησιμοποιώντας τους κανόνες επιβεβαίωσης του DCF πριν ο συντονιστής σημείου επανακτήσει τον έλεγχο του μέσου. Ο συντονιστής σημείου μπορεί να χρησιμοποιεί CF μετάδοση πακέτων μόνο για τη μετάδοση

πακέτων στους σταθμούς και όχι για να ελέγξει μη CF - Pollable σταθμούς. Ο συντονιστής σημείου μπορεί να επαναμεταδώσει ένα μη επιβεβαιωμένο πακέτο κατά τη διάρκεια της CFP μετά από PIFS χρόνο, έχει μια λίστα ελέγχου να επαναμεταδώσει το μη επιβεβαιωμένο πακέτο την επόμενη φορά που ο συγκεκριμένος δείκτης συσχέτισης AID (Association ID) βρεθεί στην κορυφή της λίστας.

Όταν περισσότερα από ένα BSS συντονισμένα από σημείο λειτουργούν στο ίδιο PHY κανάλι σε αλληλοκαλυπτόμενες περιοχές υπάρχει η πιθανότητα συγκρούσεων κατά τη διάρκεια PCF μεταδόσεων από τους ανεξάρτητους συντονιστές σημείου. Ένας ενεργός συντονιστής σημείου πρέπει να βρίσκεται σε ένα AP το οποίο περιορίζει την PCF λειτουργία σε δίκτυα υποδομής. Η PCF ενεργοποιείται σε ένα AP θέτοντας την παράμετρο CFPMaxDuration στο CF σετ παραμέτρων του MLMEStart.request σε μια μη μηδενική τιμή. Τα πακέτα δεδομένων που στέλνονται κάτω από τη DCF πρέπει να χρησιμοποιούν τους υποτύπους δεδομένων Data ή Null Function.

Ένας συντονιστής σημείου και ένας CF - Pollable σταθμός μπορεί να στέλνει πακέτα δεδομένων με υποτύπο:

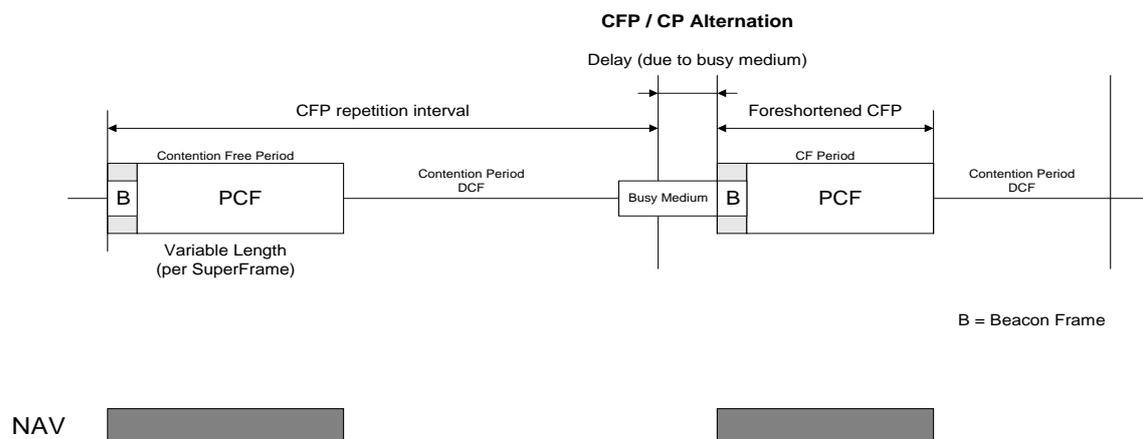
Data, Data + CF-Ach, Null Function, CF-Ach,

ενώ μόνο ο συντονιστής σημείου μπορεί να χρησιμοποιεί τους ακόλουθους υποτύπους δεδομένων κατά τη διάρκεια περιόδου χωρίς διεκδίκηση του μέσου

Data + CF-Poll, Data + CF-Ack + CF-Poll, CF-Poll, CF-Ack + CF-Poll

Η δομή και ο χρονισμός της περιόδου χωρίς διεκδίκηση του μέσου (CFP)

Η συνάρτηση συντονισμού σημείου ελέγχει τη μεταφορά πακέτων κατά την CFP. Η CFP πρέπει να εναλλάσσεται με μια CP όπου η κατανεμημένη συνάρτηση συντονισμού ελέγχει τη μετάδοση δεδομένων όπως φαίνεται στο σχήμα. Κάθε CFP πρέπει να αρχίζει με ένα πακέτο Beacon το οποίο περιέχει την DTIM πληροφορία. Οι CFPs θα επαναλαμβάνονται σε προκαθορισμένες χρονικές στιγμές οι οποίες θα συγχρονίζονται με τα Beacon πακέτα.

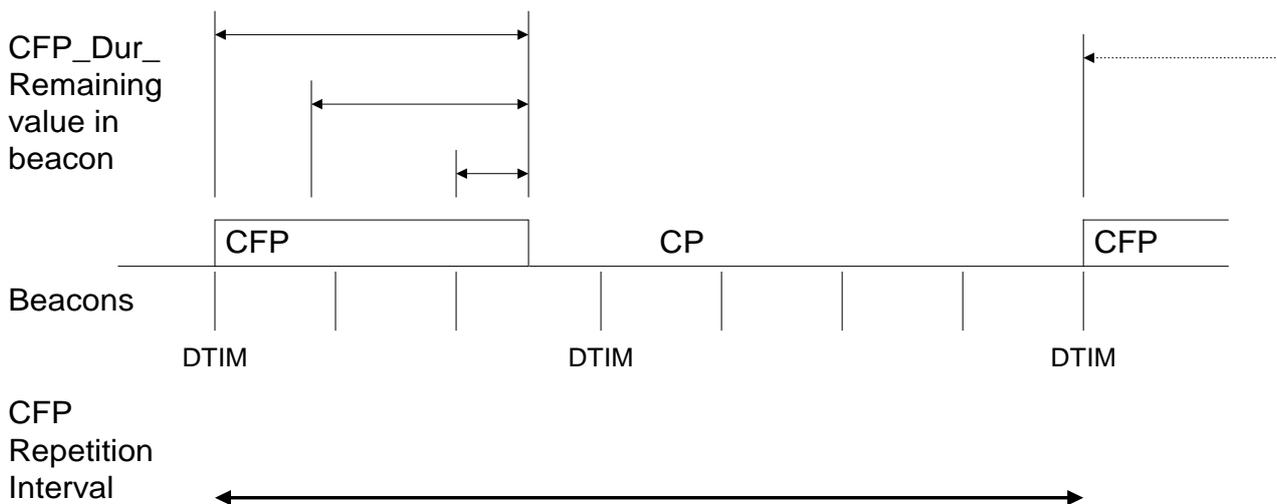


Εικόνα : Η εναλλαγή του CFP/CP

Ο συντονιστής σημείου δημιουργεί CFPs με κάποιο ρυθμό επανάληψης που ορίζεται σαν πολλαπλάσιο του DTIM διαστήματος. Ο συντονιστής σημείου θα καθορίσει το ρυθμό των CFP

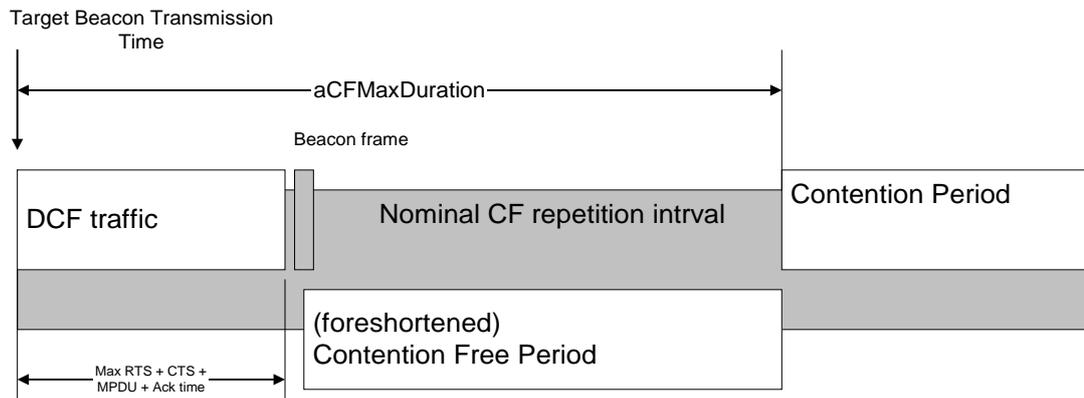
διαστημάτων από την CFPRate παράμετρο στο CF σει παραμέτρων. Αυτή η τιμή, σε πολλαπλάσια από DTIM διαστήματα, θα μεταδίδεται σε άλλους σταθμούς του BSS στο πεδίο CFPPeriod των Beacon πακέτων. Το σει CF παραμέτρων πρέπει να βρίσκεται μόνο σε πακέτα Beacon και Probe Response που μεταδίδονται από σταθμούς που περιέχουν ένα ενεργό συντονιστή σημείου.

Η διάρκεια της CFP ελέγχεται από το PC με τη μέγιστη τιμή να ορίζεται από την τιμή της παραμέτρου CFPMaxDuration. Ούτε η μέγιστη διάρκεια, ούτε η πραγματική διάρκεια (που σηματοδοτείται με ένα πακέτο ελέγχου με υποτύπο CF-End ή CF-End + ACK από τον συντονιστή σημείου) περιορίζονται σε ένα πολλαπλάσιο του Beacon διαστήματος. Αν η διάρκεια της CFP είναι μεγαλύτερη από το Beacon διάστημα, ο συντονιστής σημείου θα μεταδίδει Beacons στις κατάλληλες στιγμές κατά τη διάρκεια της CFP (οι οποίες μπορούν να καθυστερούν λόγω κίνησης στις κανονικές στιγμές, όπως με όλα τα Beacons). Στο σει των CF παραμέτρων σε όλα τα Beacons στην αρχή ή μέσα στη CFP πρέπει να περιέχεται μια μη μηδενική τιμή στο πεδίο CFPDurRemaining. Αυτή η τιμή σε μονάδες Kms πρέπει να ορίζει τη μέγιστη τιμή από τη μετάδοση αυτού του Beacon μέχρι το τέλος της CFP. Η τιμή του CFPDurRemaining είναι μηδέν σε Beacons που στέλνονται στην CP. Ένα παράδειγμα αυτής της σχέσης φαίνεται στο σχήμα όπου η CFP επαναλαμβάνεται κάθε 2 DTIM διαστήματα, το κάθε DTIM έχει μέγεθος 3 Beacon διαστήματα και η τιμή της παραμέτρου aCFPMaxDuration είναι περίπου 2,5 Beacon διαστήματα.



Εικόνα

Ο συντονιστής σημείου μπορεί να τερματίσει κάθε CFP στο όριο ή πριν την μέγιστη τιμή, βασισμένος στη διαθέσιμη κίνηση και το μέγεθος της λίστας για polling. Επειδή το beacon μπορεί να καθυστερήσει λόγω του απασχολούμενου μέσου μετάδοσης από την αναμενόμενη χρονική στιγμή μετάδοσης, η CFP θα είναι συντομότερη κατά τον αντίστοιχο χρόνο. Σε περίπτωση που το μέσο είναι απασχολημένο λόγω DCF κίνησης, το beacon θα καθυστερήσει για το χρόνο που απαιτείται για να ολοκληρωθεί για να ολοκληρωθεί η ανταλλαγή των πακέτων. Οι σχέσεις των χρονικών διαστημάτων σ' αυτή την περίπτωση φαίνονται στο σχήμα.



Εικόνα.

Διαδικασία Πρόσβασης της PCF

Το πρωτόκολλο μετάδοσης χωρίς διεκδίκηση βασίζεται σε ένα μηχανισμό rolling που ελέγχεται από τον συντονιστή σημείου ο οποίος λειτουργεί στο AP του BSS. Ο συντονιστής σημείου παίρνει τον έλεγχο του μέσου στην αρχή της CFP και προσπαθεί να κρατήσει τον έλεγχο μέχρι το τέλος της CFP περιμένοντας ένα μικρότερο χρόνο μεταξύ των μεταδόσεων από τους σταθμούς που χρησιμοποιούν την DCF διαδικασία προσπέλασης. Όλοι οι σταθμοί στο BSS (εκτός του συντονιστή σημείου) θέτουν το NAV στην τιμή CFPMaDuration την κανονική στιγμή έναρξης του CFP. Αυτό αποτρέπει τυχόν διεκδικήσεις του καναλιού, απαγορεύοντας μεταδόσεις χωρίς polling απ' όλους τους σταθμούς είτε αυτοί είναι CF - Pollable είτε όχι. Η επιβεβαίωση των πακέτων μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας πακέτα DATA + CF-ACK, CF-ACK, DATA + CF -ACK + CF-POLL (για πακέτα που μεταδίδονται από τον συντονιστή σημείου) ή CF -ACK + CF-POLL (για πακέτα που μεταδίδονται από ένα CF - Pollable σταθμό) στις περιπτώσεις που ένα πακέτο δεδομένων (ή Null) ακολουθεί αμέσως μετά το πακέτο που πρέπει να επιβεβαιωθεί, αποφεύγοντας με αυτό τον τρόπο την επιπλέον κίνηση ξεχωριστών ACK πακέτων ελέγχου. Μη CF - Pollable σταθμοί ή CF - Pollable σταθμοί που δεν έχουν δεχθεί poll επιβεβαιώνουν τα πακέτα κατά τη διάρκεια της CFP με χρήση της DCF διαδικασίας επιβεβαίωσης.

Βασική πρόσβαση

Στην κανονική αρχή κάθε CFP, ο συντονιστής ελέγχει το μέσο. Όταν το μέσο καθορισθεί ότι είναι ήρεμο για μια PIFS χρονική διάρκεια, ο συντονιστής σημείου, θα στείλει ένα πακέτο beacon που θα περιέχει το στοιχείο με τις CF παραμέτρους και το στοιχείο DTIM. Μετά το αρχικό beacon πακέτο ο συντονιστής σημείου θα περιμένει τουλάχιστον SIFS διάστημα και στη συνέχεια θα μεταδώσει ένα από τα ακόλουθα: πακέτο δεδομένων, πακέτο CF-Poll, πακέτο δεδομένων + CF-Poll ή πακέτο CF-End αν δεν υπάρχει κίνηση προς μετάδοση ή πακέτα poll για αποστολή.

Οι σταθμοί που λαμβάνουν κατευθυνόμενη κίνηση, χωρίς λάθη από το συντονιστή σημείου αναμένεται να αποκριθεί μετά από SIFS χρονική περίοδο όπως ορίζεται στις διαδικασίες που θα περιγράψουμε παρακάτω. Αν ο δέκτης σταθμός δεν είναι CF-Pollable ή απαντήσει στη λήψη ενός πακέτου δεδομένων χωρίς λάθη είναι πάντα ένα ACK πακέτο.

Η λειτουργία του NAV κατά τη διάρκεια της CFP

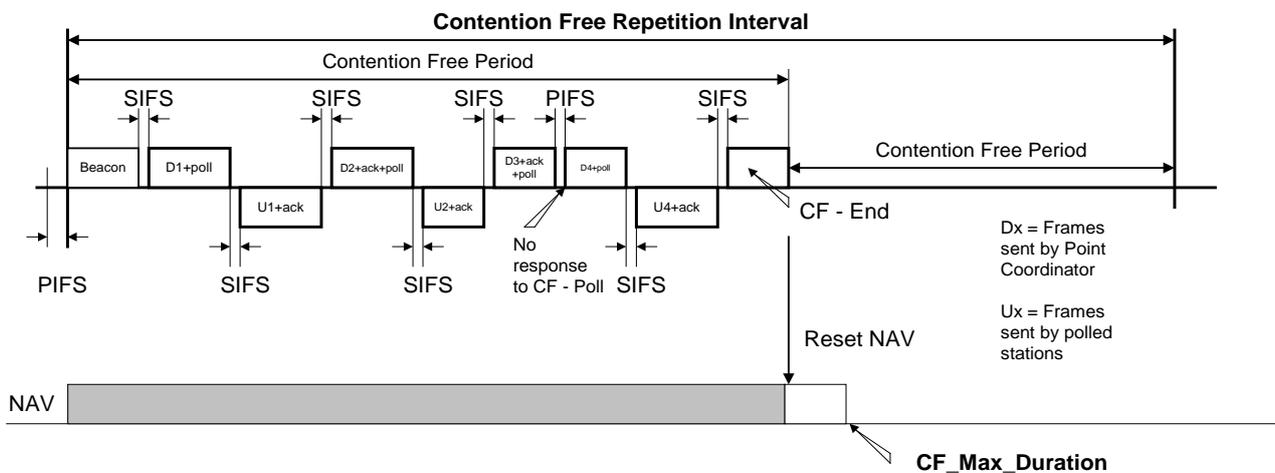
Ο μηχανισμός διαχείρισης του NAV κατά τη CFP σχεδιάστηκε για να διευκολύνει τη λειτουργία επικαλυπτόμενων BSS που χρησιμοποιούν το CFP μηχανισμό. Κάθε σταθμός εκτός του συντονιστή πρέπει να θέτει την τιμή του NAV στην τιμή CFPMaDuration σε κάθε TBTT (Target Beacon Transmission Time) στην οποία μια CFP έχει προγραμματιστεί να αρχίσει και θα το ανανεώνει χρησιμοποιώντας την τιμή CFDurRemaining από το στοιχείο των CF παραμέτρων ενός πακέτου beacon που λαμβάνει ο σταθμός. Αυτό περιλαμβάνει και τα αντίστοιχα πεδία από beacon πακέτα άλλων επικαλυπτόμενων BSS.

Αυτές οι ενέργειες αποτρέπουν τους σταθμούς από το να παίρνουν τον έλεγχο του μέσου κατά τη διάρκεια της CFP, το οποίο είναι σημαντικό όταν η CFP εκτείνεται σε πολλαπλά διαστήματα. Με τη χρησιμοποίηση του NAV κατ' αυτό τον τρόπο ελαττώνεται το ρίσκο των κρυμμένων σταθμών που μπορεί να θεωρήσουν ότι το μέσο είναι ήρεμο κατά DIFS διάστημα κατά τη διάρκεια της CFP και να καταστρέψουν την τρέχουσα μετάδοση.

Ένας σταθμός που συνδέεται σε ένα BSS που λειτουργεί με ένα συντονιστή σημείου θα πρέπει να χρησιμοποιήσει την πληροφορία CFDurRemaining στο στοιχείο των CF παραμέτρων του πρώτου πακέτου beacon ή Probe Response που θα λάβει για να αρχικοποιήσει το NAV του πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε μετάδοση. Ο συντονιστής σημείου πρέπει να μεταδώσει ένα CF - End ή CF - End + Ack πακέτο στο τέλος κάθε CFP περιόδου. Ο σταθμός που θα λάβει τέτοιο πακέτο, από οποιοδήποτε BSS, μηδενίζει το NAV.

Η PCF διαδικασία μετάδοσης

Η μετάδοση πακέτων κάτω από την συνάρτηση συντονισμού σημείου αποτελείται από πακέτα που στέλνονται από και προς το AP/PC. Κατά τη διάρκεια της CFP η ρύθμιση αυτών των μεταδόσεων και ο σταθμός που επιτρέπεται να μεταδώσει πακέτα στο συντονιστή σημείου σε κάθε χρονική στιγμή θα ελέγχεται από το συντονιστή σημείου. Στο σχήμα απεικονίζεται η μετάδοση πακέτων κατά τη διάρκεια μιας τυπικής CFP.



Εικόνα.

PCF μεταδόσεις όταν ο PCF σταθμός είναι αποστολέας ή αποδέκτης

Ο συντονιστής σημείου θα μεταδίδει πακέτα μεταξύ του Beacon που δηλώνει την αρχή της CFP και του πακέτου CFP - End χρησιμοποιώντας το SIFS εκτός από τις περιπτώσεις που η μετάδοση από ένα άλλο σταθμό αναμένεται από τον συντονιστή σημείου και η περίοδος SIFS περνάει χωρίς τη λήψη της αναμενόμενης μετάδοσης. Σ' αυτές τις περιπτώσεις ο συντονιστής σημείου μπορεί να στείλει το επόμενο πακέτο σε χρόνο PIFS μετά το τέλος της προηγούμενης μετάδοσης. Αυτό επιτρέπει στον συντονιστή σημείου να κρατήσει τον έλεγχο του μέσου σε περίπτωση επικαλυμμένων BSS. Ο συντονιστής σημείων μπορεί να μεταδώσει τους ακόλουθους τύπους πακέτων σε CF - Pollable σταθμούς.

Data : χρησιμοποιείται για να σταλούν δεδομένα από τον συντονιστή σημείου όταν ο συγκεκριμένος δέκτης δεν έχει γίνει polled και δεν υπάρχει προηγούμενο πακέτο για επιβεβαίωση.

Data + CF - Ack : χρησιμοποιείται για να σταλούν δεδομένα από τον συντονιστή σημείου όταν ο συγκεκριμένος δέκτης δεν έχει γίνει polled και ο συντονιστής σημείου χρειάζεται να επιβεβαιώσει τη λήψη ενός πακέτου που έχει πάρει από ένα CF - Pollable σταθμό σε SIFS χρόνο πριν αρχίσει η μετάδοση.

Data + CF - Poll : χρησιμοποιείται για να στείλει δεδομένα από το συντονιστή σημείου όταν ο συγκεκριμένος δέκτης είναι ο επόμενος σταθμός που θα του επιτρέψει να μεταδώσει κατά τη διάρκεια αυτής της CFP και δεν υπάρχει προηγούμενο πακέτο για επιβεβαίωση.

Data + CF - Ack + CF - Poll : χρησιμοποιείται για να στείλει δεδομένα από το συντονιστή σημείου όταν ο συγκεκριμένος δέκτης είναι ο επόμενος σταθμός που θα του επιτρέψει να μεταδώσει κατά τη διάρκεια αυτής της CFP και ο συντονιστής σημείου χρειάζεται να επιβεβαιώσει τη λήψη ενός πακέτου που ήρθε από ένα CF - Pollable σταθμό, SIFS χρόνο πριν αρχίσει αυτή η μετάδοση.

CF - Poll : χρησιμοποιείται όταν ο συντονιστής σημείου δεν στέλνει δεδομένα στον συγκεκριμένο σταθμό, αλλά ο δέκτης του πακέτου είναι ο επόμενος σταθμός που θα του επιτραπεί να μεταδώσει κατά τη διάρκεια αυτής της CFP και δεν υπάρχει προηγούμενο πακέτο για επιβεβαίωση.

CF - Ack + CF - Poll : χρησιμοποιείται όταν ο συντονιστής σημείου δεν στέλνει δεδομένα στον συγκεκριμένο σταθμό, αλλά ο δέκτης του πακέτου είναι ο επόμενος σταθμός που θα του επιτραπεί να μεταδώσει κατά τη διάρκεια αυτής της CFP και ο συντονιστής σημείου χρειάζεται να επιβεβαιώσει τη λήψη ενός πακέτου από ένα CF - Pollable σταθμό, SIFS χρόνο πριν αρχίσει αυτή η μετάδοση.

CF - Ack : χρησιμοποιείται όταν ο συντονιστής σημείου δεν στέλνει δεδομένα η poll σε ένα συγκεκριμένο σταθμό αλλά πρέπει να επιβεβαιώσει τη λήψη ενός πακέτου από ένα CF - Pollable σταθμό, SIFS χρόνο πριν αρχίσει αυτή η μετάδοση (χρειάζεται όταν η επόμενη μετάδοση από τον συντονιστή σημείου είναι ένα πακέτο διαχείρισης π.χ. beacon).

Κάθε πακέτο διαχείρισης το οποίο είναι κατάλληλο να σταλεί από το AP σύμφωνα με τους κανόνες αυτού του πακέτου.

Ο συντονιστής σημείου μπορεί να μεταδώσει δεδομένα ή πακέτα διαχείρισης σε μη CF - Pollable σταθμούς και χωρίς δυνατότητα χαμηλής κατανάλωσης σταθμούς κατά τη διάρκεια της CFP. Επειδή ένα πακέτο beacon που αρχικοποιεί τη CFP περιέχει ένα DTIM στοιχείο, αν υπάρχουν σταθμοί με δυνατότητα λειτουργίας σε χαμηλή κατανάλωση, τα πακέτα πολλαπλών αποδεκτών προς μετάδοση πρέπει να στέλνονται αμέσως μετά το beacon που περιέχει ένα TIM στοιχείο με ένα πεδίο DTIM μετρητή με τιμή 0.

Ένας CF - Pollable σταθμός που λαμβάνει ένα πακέτο δεδομένων με συγκεκριμένο παραλήπτη με οποιοδήποτε από τους υποτύπους περιέχει το CF - Poll μπορεί να μεταδώσει ένα πακέτο δεδομένων SIFS χρόνο μετά τη λήψη του CF - Poll. Οι CF - Pollable σταθμοί που λαμβάνουν ένα πακέτο με παραλήπτη του μόνο τον εαυτό τους κατά τη CFP θα μεταδώσουν το Ack αλλά δεν θα μηδενίσουν το NAV.

Για πακέτα που απαιτούν επιβεβαίωση στο Mac επίπεδο, οι CF - Pollable σταθμοί που λαμβάνουν ένα CF - Poll (οποιοδήποτε τύπου) μπορούν να κάνουν την επιβεβαίωση χρησιμοποιώντας τον DATA + CF-ACK υποτύπο σε απόκριση του CF - Poll. Για παράδειγμα στο προηγούμενο σχήμα περιέχει την επιβεβαίωση στο προηγούμενο D1 πακέτο και το D2 πακέτο περιέχει την επιβεβαίωση στο προηγούμενο U1 πακέτο. Ο συντονιστής σημείου μπορεί να χρησιμοποιεί το CF-ACK υποτύπο για να επιβεβαιώσει ένα πακέτο ακόμα και αν το πακέτο δεδομένων που στέλνεται με τον CF-ACK υποτύπο έχει σαν αποδέκτη ένα διαφορετικό σταθμό από αυτό που επιβεβαιώνεται CF - Pollable σταθμό που περιμένουν επιβεβαίωση πρέπει να αποκωδικοποιούν τον υποτύπο του πακέτου (αν υπάρχει) που αποστέλλεται από το συντονιστή σημείου SIFS χρόνο μετά τη μετάδοση του σταθμού προς το συντονιστή σημείου. Αν ένα πακέτο που απαιτεί επιβεβαίωση στο MAC επίπεδο ληφθεί από ένα μη CF - Pollable σταθμό, ο σταθμός δεν θα επεξεργαστεί την ένδειξη CF - Poll (αν υπάρχει) και θα επιβεβαιώσει το πακέτο στέλνοντας ένα ACK πακέτο ελέγχου μετά από χρόνο SIFS.

Τα μήκη των πακέτων μπορεί να είναι μεταβλητά με τους περιορισμούς που μπαίνουν από το μέγιστο μήκος πακέτου ή τμήματος πακέτου που ισχύουν για το BSS. Αν ένας CF - Pollable σταθμός δεν αποκρίνεται σε ένα CF - Poll ή ένας μη CF - Pollable σταθμός δεν επιστρέφει το ACK πακέτο στο ίδιο διάστημα τότε ο συντονιστής σημείου θα πάρει πάλι τον έλεγχο για να μεταδώσει το επόμενο πακέτο μετά από PIFS χρόνο από το τέλος της τελευταίας μετάδοσης του.

Ένας CF - Pollable σταθμός θα πρέπει πάντα να αποκρίνεται σε ένα CF - Poll με κατεύθυνση την MAC διεύθυνση του σταθμού που έχει λάβει χωρίς λάθος. Αν ο σταθμός δεν έχει πακέτο να στείλει όταν του ζητηθεί ή απαντήσει πρέπει να είναι ένα Null πακέτο. Αν ο σταθμός δεν έχει πακέτο για να στείλει όταν του ζητηθεί αλλά απαιτείται επιβεβαίωση του πακέτου που ήρθε μαζί με το CF - Poll η απόκριση πρέπει να είναι πακέτο CF-ACK. Η null απόκριση απαιτείται για να επιτρέψει τον διαχωρισμό της περίπτωσης που δεν υπάρχει κίνηση από την σύγκρουση δύο επικαλυπτόμενων συντονιστών σημείου.

Η CFP πρέπει να τελειώνει μετά την πάροδο CFPDurRemaining χρόνο από το Beacon πακέτο που ξεκίνησε η CFP ή όταν ο συντονιστής σημείου δεν έχει περαιτέρω πακέτα να μεταδώσει ή να ελέγξει άλλους σταθμούς. Σε οποιαδήποτε περίπτωση το τέλος της CFP σηματοδοτείται με ένα πακέτο CF-End από τον συντονιστή σημείου. Αν υπάρχει κάποιο εισερχόμενο πακέτο που απαιτεί επιβεβαίωση τη στιγμή που πρέπει

να μεταδοθεί το CF-End ο συντονιστής σημείου θα μεταδώσει ένα CF-End + ACK πακέτο. Όλοι οι σταθμοί του BSS που θα λάβουν αυτό το πακέτο θα μηδενίσουν το NAV έτσι ώστε να μπορούν να μεταδώσουν κατά τη διάρκεια της περιόδου συγκρούσεων.

Λειτουργία επικαλυπτόμενων BSS με συντονιστές σημείου

Επειδή η συνάρτηση συντονισμού σημείου χωρίς το CSMA/CA παράθυρο σύγκρουσης, και την τυχαία καθυστέρηση του DCF, υπάρχει ο κίνδυνος των επαναλαμβανόμενων συγκρούσεων, αν πολλά επικαλυπτόμενα BSS με συντονιστή σημείου λειτουργούν στο ίδιο κανάλι στο PHY επίπεδο και ο ρυθμός των CFP και του χρόνου αποστολής των beacon είναι περίπου ίσος. Για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου να χαθούν πολλά πακέτα λόγω συγκρούσεων, ο συντονιστής σημείου πρέπει να χρησιμοποιεί ένα χρόνο DIFS συν ένα τυχαίο χρόνο καθυστέρησης για να αρχίσει την CFP όταν το αρχικό beacon καθυστερήσει λόγω αναβολής που οφείλεται σε απασχολημένο μέσο. Ο συντονιστής μπορεί προαιρετικά να χρησιμοποιεί αυτή την καθυστέρηση κατά τη διάρκεια της CFP πριν επαναμεταδώσει πακέτο δεδομένων ή διαχείρισης.

Για να μειωθεί περαιτέρω η ευαισθησία σε συγκρούσεις μεταξύ των συντονιστών, ένας συντονιστής σημείου θα πρέπει να απαιτεί το μέσο να παραμείνει ήρεμο για χρόνο DIFS συν ένα τυχαίο αριθμό χρονικών διαστημάτων μια φορά κάθε aMediumOccupancyLimits (Κμς) σε κάθε CFP. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια του ελέγχου του μέσου σε επικαλυπτόμενο BSS ή κρυμμένους σταθμούς, επειδή οι σταθμοί σ' αυτό το BSS απαγορεύεται να μεταδώσουν λόγω της τιμής του NAV που έχει πάρει την τιμή CFPMaxDuration ή CFPDurRemaining.

Το όριο CFPMaxDuration

Η τιμή του CFPMaxDuration πρέπει να περιορίζεται ώστε να επιτραπεί η ταυτόχρονη ύπαρξη κίνησης με και χωρίς προστριβές. Η ελάχιστη τιμή της CFPMaxDuration είναι δύο φορές η MaxMPDUTime συν ο χρόνος που απαιτείται για να σταλεί το αρχικό πακέτο Beacon και το πακέτο CF-End. Αυτό παρέχει αρκετό χρόνο στο AP να στείλει ένα πακέτο δεδομένων σ' ένα σταθμό καθώς κάνει poll σ' αυτό το σταθμό και ο σταθμός να απαντήσει με ένα πακέτο δεδομένων. Η μέγιστη τιμή είναι η διάρκεια του $(\text{Beacon} \times \text{DTIMPeriod} \times \text{CFPRate}) - (\text{MaxMPDUTime} + (2 \times \text{aSIFSTime}) + (2 \times \text{aSlotTime}) + (8 \times \text{ACKSize}))$ σε msec. Αυτό επιτρέπει αρκετό χρόνο να σταλεί τουλάχιστον ένα πακέτο δεδομένων κατά τη διάρκεια της περιόδου συγκρούσεων.

Κανόνες χρήσης της CF

Ένας συντονιστής σημείου μπορεί να στέλνει πακέτα πολλαπλών αποδεκτών ή κατευθυνόμενα πακέτα δεδομένων ή διαχείρισης σε οποιαδήποτε ενεργό σταθμό ή CF-Pollable σταθμούς θα πρέπει να επιβεβαιώσουν μέσα σε SIFS χρόνο τη λήψη κάθε Data + CF-Poll ή Data + CF-ACK + CF-Poll πακέτο χρησιμοποιώντας Data + CF-ACK πακέτα, τη λήψη κάθε CF-Poll χρησιμοποιώντας Null πακέτο και τη λήψη όλων των υπολοίπων πακέτων δεδομένων ή διαχείρισης χρησιμοποιώντας ACK πακέτα ελέγχου. Οι μη CF-Pollable σταθμοί θα πρέπει να επιβεβαιώνουν τη λήψη των πακέτων με ACK πακέτα μετά από SIFS χρόνο.

Ένας CF-Pollable σταθμός που έχει γίνει poll αλλά αναγνωρίζει ότι ο χρόνος πριν το τέλος του CFP δεν είναι αρκετός για να στείλει την MPDU και να λάβει την επιβεβαίωση, πρέπει να απαντήσει

μεταδίδοντας ένα Null πακέτο ή ένα CF-ACK πακέτο αν έγινε poll με Data + CF-Poll ή Data + CF-ACK + CF-Poll, μετά από SIFS χρόνο. Ο CF-Pollable σταθμός μπορεί να θέσει το bit MoreData στην απάντηση του ώστε να επιτρέψει στο συντονιστή σημείου να το ξεχωρίσει μεταξύ της περίπτωσης ενός σταθμού χωρίς δεδομένα για μετάδοση και μιας απάντησης που οφείλεται σε ελλιπή χρόνο για τη μετάδοση της MPDU. Ο συντονιστής σημείου δεν πρέπει να στέλνει πακέτα τύπου CF-Poll όταν ο χρόνος που απομένει δεν είναι αρκετός για τη μετάδοση από τον σταθμό που ζητήθηκε να μεταδώσει μια MPDU με το ελάχιστο μήκος.

Λίστα Polling της CF

Αν ο συντονιστής σημείου επιτρέπει τη χρήση της CFP για παραλαβή και παράδοση πακέτων τότε θα πρέπει να κρατάει μια λίστα για polling την οποία θα χρησιμοποιεί για να διαλέγει τους σταθμούς που μπορούν να λάβουν CF - Polls κατά τη διάρκεια της CFP. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της λίστας περιγράφονται παρακάτω. Αν ο συντονιστής σημείου υποστηρίζει τη χρήση της CFP μόνο για παράδοση πακέτων, τότε δεν χρειάζεται τη λίστα και δεν θα δημιουργήσει ποτέ πακέτα δεδομένων με υποτύπο CF - Poll. Η μορφή της υποστήριξης που παρέχεται από το συντονιστή σημείου αναγνωρίζεται από το πεδίο Capability Information στα πακέτα διαχείρισης Beacon, Association Response, Reassociation Response και Probe Response, τα οποία στέλνονται από τα AP. Τα αντίστοιχα πακέτα που στέλνονται από τους σταθμούς πρέπει να έχουν τα αντίστοιχα bit σε μηδέν.

Η λίστα polling χρησιμοποιείται για να γίνει το polling των CF - Pollable σταθμών, είτε ο συντονιστής σημείου έχει κίνηση προς μετάδοση στους σταθμούς είτε όχι. Η λίστα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει τη χρήση των Data + CF-Poll και Data + CF-ACK + CF-Poll τύπων για τη μετάδοση πακέτων δεδομένων που στέλνονται σε CF - Pollable σταθμούς από το συντονιστή σημείου.

Η λίστα για polling είναι μια λογική δομή που μένει εσωτερική στο AP. Ένα ελάχιστο σετ τεχνικών διαχείρισης της λίστας είναι απαραίτητες για να είναι δυνατή η συνεννόηση ανεξάρτητων CF - Pollable σταθμών σε BSSs που ελέγχονται από ανεξάρτητα AP με ενεργούς συντονιστές σημείου. Τα AP μπορεί να υλοποιούν πρόσθετες τεχνικές διαχείρισης οι οποίοι δεν περιγράφονται σε αυτό το πρότυπο.

Διαχείριση της λίστας polling

Ο συντονιστής σημείου θα στείλει ένα CF-Poll σε τουλάχιστον ένα σταθμό κατά τη διάρκεια κάθε CFP όταν υπάρχουν εγγραφές στη λίστα. Κατά τη διάρκεια κάθε CFP ο συντονιστής σημείου θα πρέπει να στείλει polls σε ένα υποσύνολο από τους σταθμούς στη λίστα με αύξουσα σειρά της τιμής AID (Association Identifier). Όσο απομένει χρόνος στη CFP, η παράδοση όλων των CF πακέτων έχει ολοκληρωθεί και όλοι οι σταθμοί στη λίστα έχουν γίνει poll, ο συντονιστής σημείου μπορεί να δημιουργήσει ένα ή περισσότερα CF - Polls σε οποιουδήποτε σταθμούς της λίστας και να στείλει πακέτα δεδομένων ή διαχείρισης σε οποιουδήποτε σταθμούς.

Διαδικασία ανανέωσης της λίστας

Ένας σταθμός δηλώνει ότι είναι CF - Pollable χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο υποπεδίο του πεδίου Capability Information των πακέτων Association Request και Reassociation Request. Αν ένας σταθμός επιθυμεί να αλλάξει την καταγραφή του συντονιστή σημείου για το αν ο σταθμός είναι CF - Pollable τότε θα πρέπει να ζητηθεί Reassociation. Κατά τη διάρκεια του Association, ένας CF - Pollable σταθμός μπορεί να

ζητήσει να Association με το υποπεδίο CF - Pollable και το υποπεδίο CF - Poll Request στην τιμή FALSE. Το να μη γίνεται ποτέ poll ένας σταθμός είναι χρήσιμο για CF - Pollable σταθμούς που χρησιμοποιούν την κατάσταση εξοικονόμησης ισχύος, αφού μπορούν να δεχθούν την κίνηση κατά τη CFP (αφού πρέπει να είναι ενεργοί για να λάβουν το DTIM που αρχικοποιεί τη CFP) αλλά δεν είναι ανάγκη να μένουν ενεργοί για τη λήψη των CF - Polls όταν δεν έχουν κίνηση να στείλουν.

Οι CF - Pollable σταθμοί που δεν είναι στη λίστα, αλλά δεν έχουν απαιτήσει να μη γίνονται poll ποτέ κατά τη διάρκεια της τελευταίας διαδικασίας association, μπορούν δυναμικά να τοποθετηθούν στη λίστα από τον συντονιστή σημείου για να διαχειριστεί διαδοχικά πακέτα από ένα σταθμό.

Τεμαχισμός

Το MAC μπορεί να τεμαχίζει και να επαναδημιουργήσει MSDUs ή MPDUs με προορισμό ένα σταθμό. Οι μηχανισμοί τεμαχισμού και επαναδημιουργίας επιτρέπουν την επαναμετάδοση των τμημάτων. Το μήκος κάθε τμήματος (MPDU) πρέπει να είναι το ίδιο για όλα τα τμήματα εκτός από το τελευταίο που μπορεί να είναι μικρότερο. Κάθε τμήμα πρέπει να αποτελείται από ζυγό αριθμό χαρακτήρων εκτός του τελευταίου. Το μέγεθος κάθε τμήματος δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από aFragmentationThreshold εκτός να είναι ενεργοποιημένος ο WEP. Σ' αυτή την περίπτωση η MPDU μπορεί να είναι μεγαλύτερη κατά το μήκος του IV και του ICV (8 bytes). Το μέγεθος κάθε τμήματος πρέπει να παραμένει σταθερό σ' όλες τις τυχόν επαναμεταδόσεις του πακέτου. Ένας σταθμός πρέπει να λάβει τμήματα οποιουδήποτε μεγέθους.

Αν ένα τμήμα απαιτεί επαναμετάδοση, τα περιεχόμενα του πακέτου και το μήκος πρέπει να είναι σταθερά. Σε κάθε τμήμα υπάρχει το πεδίο Sequence Control που αποτελείται από τον 'Sequence Number' ο οποίος παραμένει σταθερός για όλα τα τμήματα μιας MSDU και τον 'Fragment Number' έως το μέγιστο. Στο πεδίο 'Frame Control' το bit 'More Fragments' είναι ίσο με μηδέν στο τελευταίο τμήμα για να δείξει το τέλος της MSDU. Ο αποστολέας μιας MSDU πρέπει να ενεργοποιεί ένα χρονομέτρη μετάδοσης της MSDU. Η μεταβλητή aMaxTransmit MSDU Lifetime ορίζει το μέγιστο χρόνο που μπορεί να μεταδοθεί η MSDU. Αν ο χρονομέτρης μηδενιστεί χωρίς να ολοκληρωθεί η μετάδοση τα υπόλοιπα τμήματα του πακέτου απορρίπτονται αυτόματα.

Επανασυναρμολόγηση

Κάθε τμήμα περιέχει πληροφορία που επιτρέπει την επανασυναρμολόγηση ολόκληρης της MSDU από τα συστατικά της. Σε κάθε πακέτο υπάρχει η απαραίτητη πληροφορία για την επανασυναρμολόγηση του πακέτου στο δέκτη ή όποια είναι :

Ο τύπος του πακέτου.

Η διεύθυνση του αποστολέα, παίρνεται από το πεδίο Address 2.

Η διεύθυνση του παραλήπτη.

Το πεδίο 'Sequence Control'

Το πεδίο 'More Fragments'

Ο αποδέκτης σταθμός θα επαναδημιουργήσει την MSDU ή την MMPDU συνθέτοντας τα τμήματα με τη σειρά του Fragment Number στο Sequence Control πεδίο. Αν στο τμήμα έχει εφαρμοσθεί ο WEP θα πρέπει να γίνει η αποκρυπτογράφηση πριν χρησιμοποιηθεί το τμήμα για τη δημιουργία της MSDU ή

MMPDU. Όλοι οι σταθμοί πρέπει να υποστηρίζουν την ταυτόχρονη λήψη τμημάτων από τουλάχιστον τρεις MSDUs ή MMPDUs ταυτόχρονα μπορεί να παρατηρήσει μεγάλη αύξηση του αριθμού των απορριφθέντων πακέτων.

Ο αποδέκτης σταθμός πρέπει να ενεργοποιεί ένα χρονομέτρη για κάθε MSDU ή MMPDU που λαμβάνεται για τουλάχιστον 3 MSDUs ή MMPDUs. Ο σταθμός μπορεί να απορρίπτει τα πακέτα για τα οποία δεν υπάρχει χρονομέτρης, ενώ ο μέγιστος χρόνος λήψης μιας MSDU ή MMPDU δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερος από `aMaxReceiveLifeTime` οπότε και γίνεται η απόρριψη όλων των τμημάτων που έχουν ληφθεί μέχρι τότε. Αν περισσότερα τμήματα φτάσουν μετά τη λήξη του χρονομέτρη αυτά επιβεβαιώνονται και απορρίπτονται από το δέκτη.

Για τη σωστή επανασυναρμολόγηση των MPDUs σε MSDU ή MMPDU ο δέκτης θα πρέπει να απορρίπτει τα διπλά τμήματα που τυχόν θα λάβει. Για οποιοδήποτε διπλό τμήμα ληφθεί πρέπει να στέλνεται η επιβεβαίωση στον αποστολέα.

Υποστήριξη πολλαπλού ρυθμού μετάδοσης

Μερικά PHY επίπεδα έχουν ικανότητα πολλαπλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων γεγονός που επιτρέπει η υλοποίηση του αλγόριθμου να κάνει δυναμικά αλλαγή στο ρυθμό μετάδοσης με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης. Ο αλγόριθμος για τον τρόπο που θα γίνει η αλλαγή του ρυθμού είναι έξω από το σκοπό του προτύπου αλλά για να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών PHY επιπέδων το πρότυπο ορίζει ένα σύνολο κανόνων το οποίο πρέπει να ακολουθείτε από όλους τους σταθμούς.

Όλα τα πακέτα έλεγχου πρέπει να μεταδίδονται σε ένα από τους ρυθμούς μετάδοσης του `BSSBasicRateSet` ώστε να είναι κατανοητά απ' όλους τους σταθμούς. Όλα τα πακέτα πολλαπλών αποδεκτών πρέπει να μεταδίδονται σε ένα από τους ρυθμούς που περιλαμβάνονται στο `BSSBasicRateSet`, ανεξάρτητα από τους υποτύπους.

Οι MPDUs δεδομένων ή διαχείρισης με διεύθυνση προορισμού συγκεκριμένο αποδέκτη θα πρέπει να στέλνεται με οποιοδήποτε από τους υποστηριζόμενους ρυθμούς μετάδοσης η επιλογή του οποίου θα γίνεται από το μηχανισμό αλλαγής ρυθμού (του οποίου η έξοδος είναι μια εσωτερική μεταβλητή του MAC που λέγεται `MACCurrentRate`, ορίζεται σε μονάδες των 500 Kbit/sec και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του πεδίου `Duration/ID` κάθε πακέτου). Ένας σταθμός δεν πρέπει να μεταδίδει με ρυθμό που είναι γνωστό ότι δεν υποστηρίζεται από το δέκτη, όπως έχει αναφερθεί από το στοιχείο `SupportedRates` στα πακέτα διαχείρισης. Πακέτα τύπου `Data + CF-ACK + CF-Poll` πρέπει να μεταδίδονται με ρυθμό που υποστηρίζεται και από το σταθμό που θα δεχθεί τα δεδομένα και από το σταθμό που περιμένει την επιβεβαίωση.

Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει κάποιος σταθμός να ξεκινήσει μετάδοση πακέτου δεδομένων ή διαχείρισης με ρυθμό μεγαλύτερο από `MaxRate`, ο οποίος αποτελεί παράμετρο του `MLMEJOIN.request` στοιχείου.

Ακολουθίες ανταλλαγής πακέτων

Οι επιτρεπόμενες ακολουθίες ανταλλαγής πακέτων περιγράφονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 21.

Sequence	Frames in Sequence	Usage
Data (bc/mc)	1	Broadcast or multicast MSDU
Mgmt (bc)	1	Broadcast MMPDU
{RTS - CTS - } [Frag - ACK -] Last - ACK	2 - 22	directed MSDU or MMPDU
PS-Poll - ACK	2	deferred PS-POLL response
PS-Poll - [Frag - ACK -] Last - ACK	3 - 21	immediate PS-POLL response
DTIM(CF) - [Frag - ACK -] {CF - End}	2 or more	start of Contention-Free period
[<CF - Sequence> -] {CF - End}	2 or more	continuation of Contention-Free period after missing ACK or medium occupancy boundary

Όπου:

Τα αντικείμενα που περιέχονται σε [...] μπορεί να συμβούν μηδέν ή περισσότερες φορές στη σειρά.

Τα αντικείμενα που περιέχονται σε {...} μηδέν ή μία φορά.

Το σύμβολο " _ " αντιστοιχεί σε διάστημα SIFS μεταξύ των διαδοχικών πακέτων.

bc : broadcast

mc : multicast

Πίνακας 22.

Sequence	Frames in Sequence	Usage
Beacon (CF)	1	
Data (bc/mc)	1	broadcast or multicast MSDU
Mgmt (bc)	1 or 2	broadcast MMPDU
Mgmt (dir) - ACK	2 or 3	directed MMPDU
Data(dir)+CF-Poll{+CF-Ack} - Data(dir)+CF-Ack - {CF-Ack(no data)}	2	poll and ack sent with MPDUs
Data(dir)+CF-Poll{+CF-Ack} - CF-Ack(no data)	2	poll of station with empty queue or insufficient time for queued MPDU or too little time remaining before a dwell or medium occupancy boundary to send a queued frame
CF-Poll(no data){+CF-Ack} - Data(dir) - {CF-Ack(no data)}	2	separate poll, ack sent with MPDU
CF-Poll(no data){+CF-Ack} - Data(dir) - ACK	3	polled station sends to station in BSS
CF-Poll(no data){+CF-Ack} - Null(no	2	separate poll, station queue empty or

data)		insufficient time for queued MPDU or too little time remaining before a dwell or medium occupancy boundary to send a queued frame
Data(dir){+CF-Ack} - ACK	2	ack if not CF-Pollable or not polled

Περιορισμοί στη μετάδοση της MSDU

Με σκοπό την αποφυγή αναδιάταξης των MSDU μεταξύ ζευγών από LLC οντότητες και/ή την απόρριψη των MSDUs οι ακόλουθοι περιορισμοί πρέπει να ισχύουν σε κάθε σταθμό με δυνατότητα να διαχειρίζεται ταυτόχρονα πάνω σε μια MSDU για μετάδοση. Ένας σταθμός πρέπει να εξασφαλίσει ότι μόνο μια MSDU ή MMPDU από ένα σταθμό (SA) προς ένα σταθμό (RA) είναι έτοιμη προς μετάδοση κάθε χρονική στιγμή. Σ' ένα σταθμό που έχει υλοποιηθεί η προαιρετική υπηρεσία του Strictly Ordered πρέπει να εξασφαλισθεί ότι δεν υπάρχει MSDU με πολλαπλούς αποδέκτες για την παραπάνω υπηρεσία. Προτείνεται ο σταθμός να επιλέγει μια τιμή για τη μεταβλητή aMaxMSDUTransmitLifeTime αρκετά μεγάλη ώστε να μη γίνεται απόρριψη της MSDU υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

ΜΕΡΟΣ 2°

Αρχιτεκτονική, σχεδίαση και παρουσίαση μιας κάρτας για την υλοποίηση πρωτοκόλλων για ασύρματα δίκτυα. (V-Net)

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα παρουσιάσουμε μια κάρτα (emulator board) που αναπτύχθηκε σαν ένα ερευνητικό πρόγραμμα της ευρωπαϊκής ένωσης για να αναπτύξει το MAC επίπεδο ενός ασύρματου πρωτοκόλλου πριν γίνει η ολοκλήρωσή του σε ένα chip.

Το **V-Net** είναι ένα OMI (Open Microprocessor Initiative) πρόγραμμα και έχει σα στόχο να υλοποιήσει μία ασύρματη κάρτα δικτύου μικρής εμβέλειας, επιδεικνύοντας τη χρήση OMI εργαλείων και τεχνικών για ταχεία ανάπτυξη συστημάτων όπως η ολοκλήρωση ενός επεξεργαστή στο σύστημα. Στο σύστημα χρησιμοποιήθηκε ο πυρήνας του ARM, ο οποίος είναι ένας RISC επεξεργαστής που αναπτύχθηκε στα πλαίσια άλλων OMI ευρωπαϊκών προγραμμάτων, για την υλοποίηση του MAC πρωτοκόλλου ενός ασύρματου δικτύου. Γύρω από αυτόν τον πυρήνα αναπτύχθηκε η απαραίτητη λογική για να παρέχει την πρόσβαση τόσο στον PCMCIA διάλο όσο και στο φυσικό επίπεδο το οποίο είναι ένας RF πομποδέκτης από τη Harris Semiconductors στη μπάντα των 2.4GHz, γνωστή και ως ISM (Industrial, Scientific, Medicine) χρησιμοποιώντας μετάδοση DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) .

Γενική περιγραφή της αρχιτεκτονικής

Αρχιτεκτονικά, το V-Net μπορεί να χωριστεί σε τρία κομμάτια όπως αυτά φαίνονται στο επόμενο σχήμα:

1. Το φυσικό επίπεδο.
2. Το MAC επίπεδο και
3. Η προσαρμογή του MAC σε ένα διάλο (PCMCIA).

Το φυσικό επίπεδο υλοποιείται από το PRISM chip set της εταιρείας Harris Semiconductors, ενώ τόσο το MAC όσο και η προσαρμογή με τον διάλο PCMCIA υλοποιείται από το σύστημα το οποίο σχεδιάστηκε στα πλαίσια του προγράμματος V-Net. Η επιλογή του PCMCIA έγινε λόγω του χαρακτήρα της εφαρμογής.



Εικόνα : Τα βασικά τμήματα του V-Net.

Το φυσικό επίπεδο

Η ανάπτυξη συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας σε παγκόσμιο επίπεδο έχει συγκεντρώσει το ενδιαφέρον πολλών κατασκευαστών. Η τυποποίηση για την υλοποίηση του στόχου είναι απαραίτητη. Το IEEE 802.11 [1] πρωτόκολλο προδιαγράφει τόσο τις διαδικασίες που πρέπει να υλοποιούνται τόσο στο MAC επίπεδο όσο

και τον τρόπο μετάδοσης στο φυσικό επίπεδο. Από τη στιγμή που το πρωτόκολλο έγινε αποδεκτό ως πρότυπο τον Ιούνιο του 1997 η αποδοχή του ήταν ευρεία από την βιομηχανία. Έτσι πολλές εταιρείες έχουν ετοιμάσει προϊόντα που να είναι συμβατά με το πρότυπο ανεξάρτητα από τυχόν επιπλέον δυνατότητες που θα έχουν τα προϊόντα τους. Στο πρότυπο προβλέπεται η μετάδοση τόσο με υπέρυθρη ακτινοβολία όσο και με ραδιοσυχνότητες στη μπάντα των 2.4GHz, η οποία αφενός είναι διαθέσιμη παγκοσμίως αφετέρου παρέχει μεγάλους ρυθμούς μεταφοράς και καλύτερη απομόνωση μεταξύ γειτονικών καναλιών και συνεπώς είναι η πλέον κατάλληλη για γρήγορη και φθηνή μεταφορά δεδομένων. Οι τεχνική μετάδοσης μπορεί να είναι είτε DSSS είτε FHSS. Για το σύστημα μας επιλέχθηκε για την υλοποίηση του φυσικού επιπέδου η λύση που πρότεινε η Harris Semiconductors με το Prism Chip-set [2] που θα παρουσιάσουμε αναλυτικότερα στη συνέχεια του κεφαλαίου. Οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή αυτού του προϊόντος συνοψίζονται σε:

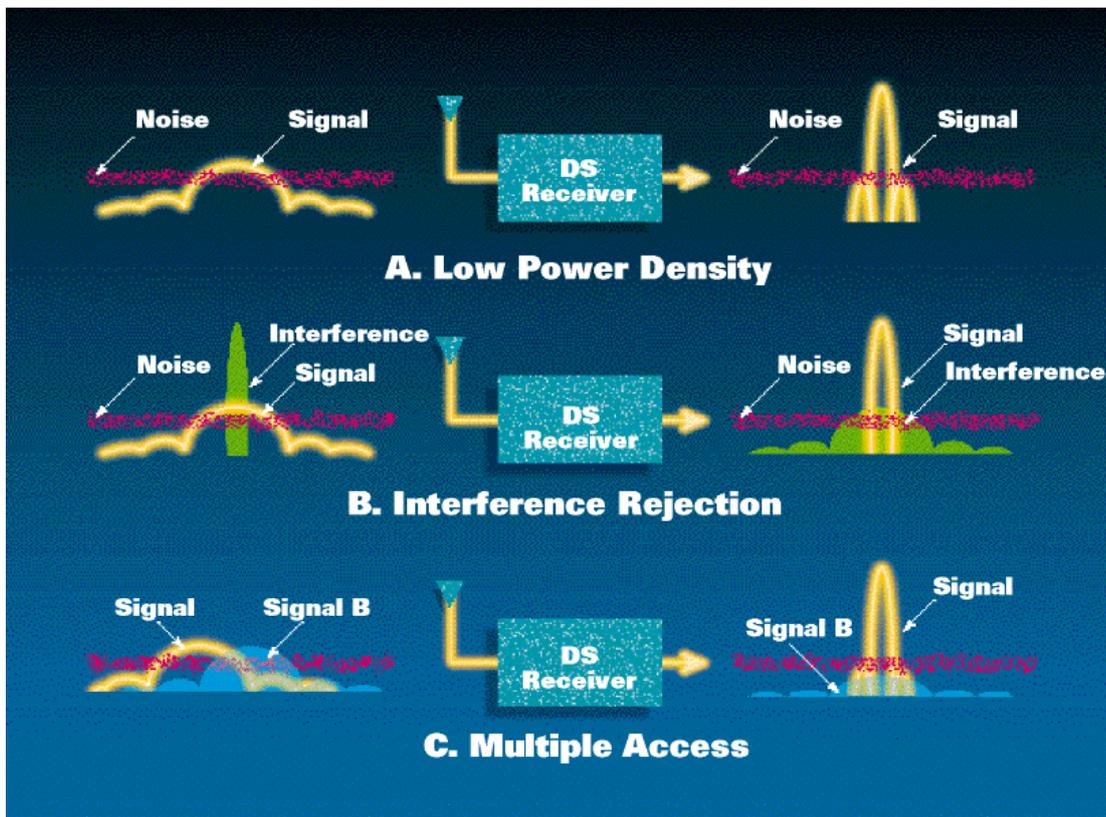
Είναι συμβατό με το IEEE 802.11 πρότυπο που υποστηρίζει μετάδοση 1-2 Mbit/sec δίνει όμως τη δυνατότητα για μεταδόσεις μέχρι 4 Mbit/sec.

Αποτελείτε από 5 ICs η συνεργασία των οποίων είναι δοκιμασμένη και το αποτέλεσμα υψηλής ποιότητας. Η χρήση του chip-set μειώνει το χρόνο σχεδίασης σημαντικά αφού χρειάζεται η υλοποίηση μόνο του κυκλώματος προσαρμογής για την οποία παρέχεται μεγάλος όγκος πληροφορίας.

Χρησιμοποιεί την DSSS τεχνική μετάδοσης η οποία έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα συγκρινόμενη με τις άλλες τεχνικές μετάδοσης:

- Υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης ως αποτέλεσμα του μεγάλου εύρους διαμόρφωσης και της συνεχής μετάδοσης.
- Πιο αποδοτική τεχνική διαμόρφωσης (PSK Phase Shift Keying)
- Εξαιρετικό για μικρά μηνύματα που απαιτείται γρήγορος συγχρονισμός.
- Απαλλαγή από παρεμβολές λόγω του κέρδους από την επεξεργασία.
- Η φασματική πυκνότητα χαμηλής ισχύος δεν δημιουργεί παρεμβολές

Οι ιδιότητες της DSSS τεχνικής, σχήμα, είναι η πυκνότητα χαμηλής ισχύος, η απόρριψη παρεμβολών και η ταυτόχρονη προσπέλαση του μέσου από πολλούς χρήστες σε γειτονικές συχνότητες.



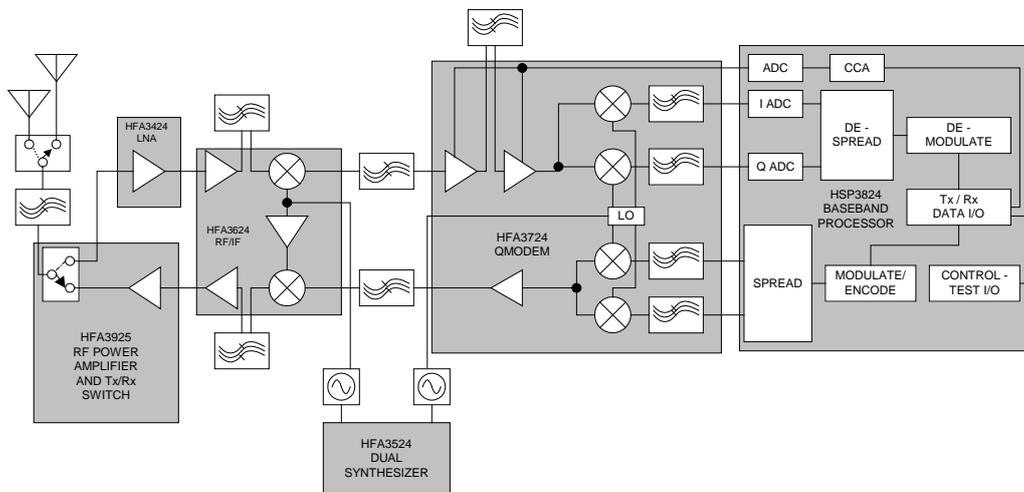
Εικόνα : Ιδιότητες της DSSS τεχνικής.

Το φυσικό επίπεδο παρέχει μεταφορά αστηρά ορισμένων πακέτων δεδομένων (MAC PDU) μεταξύ δύο MAC και να υποδεικνύει την διαθεσιμότητα του καναλιού. Στην ουσία είναι ικανό να πραγματοποιεί 3 κύριες συναρτήσεις: PLCP (Physical Layer Convergence Procedure), PMD (Physical Medium Dependent function) και PLME (Physical Layer Management function) οι οποίες είναι και οι συναρτήσεις που υλοποιεί κάθε φυσικό επίπεδο. Εν συντομία η PLCP είναι υπεύθυνη για την μετατροπή των MAC PDU σε PDU με την προσθήκη και τον έλεγχο πληροφοριών μετάδοσης (κώδικα ανίχνευσης κ.ο.κ), η PLME είναι υπεύθυνη για την συνεργασία με την οντότητα διαχείρισης του MAC επιπέδου και η PMD ορίζει τα χαρακτηριστικά και την μέθοδο αποστολής / λήψης δεδομένων από τον ασύρματο διαμορφωτή / αποδιαμορφωτή.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το PRISM chip set (θα αναφέρεται στο εξής ως PRISM) είναι στην ουσία ένα σύνολο από πέντε ολοκληρωμένα για RF μετάδοση που χρησιμοποιεί την DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) τεχνική μετάδοσης. Η υψηλή ολοκλήρωση των διαδικασιών μετάδοσης - λήψης υλοποιούνται στα ακόλουθα ολοκληρωμένα :

- το HFA3624 2.4GHz Μετατροπέας μεταξύ RF και IF,
- το HFA3724 400MHz Quadrature IF Διαμορφωτής / Αποδιαμορφωτής,
- το HFA3524 2.5GHz/600MHz Διπλός Ψηφιακός Συνθέτης,
- το HSP3824 DSSS Επεξεργαστής Βασικής Ζώνης και
- το HFA3925 2.4GHz Ενισχυτής Ισχύος.

Επιπλέον μπορεί να προστεθεί και το HFA 3424 (ενισχυτής χαμηλού θορύβου) για αυξημένη ευαισθησία στο δέκτη. Η αρχιτεκτονική του φυσικού επιπέδου με τη χρήση αυτών των ολοκληρωμένων φαίνεται στο σχήμα :



Εικόνα : Η αρχιτεκτονική του φυσικού επιπέδου

Κάθε ένα από τα ολοκληρωμένα χρησιμοποιείται ως εξής :

HFA3424 Ενισχυτής χαμηλού θορύβου: Παρέχει αυξημένη ευαισθησία και αν και όχι απαραίτητος είναι ιδιαίτερα επιθυμητός για προϊόντα με στόχο τις προδιαγραφές του 802.11

HFA3624 2.4GHz Μετατροπέας μεταξύ RF και IF: Είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποστολής / λήψης ραδιοσυχνοτήτων. Αποτελείται από έναν προενισχυτή χαμηλού θορύβου στο τμήμα μετάδοσης και κυκλώματα μετατροπής ενδιάμεσης συχνότητας. Λειτουργεί σε συχνότητες μεταξύ 2.4 και 2.5GHz. Λειτουργεί με 2.7 έως 5.5 V και παρέχει λειτουργίες για εξοικονόμηση ενέργειας.

HFA3724 400MHz Quadrature IF Διαμορφωτής / Αποδιαμορφωτής: Είναι ένας μετατροπέας βασικής ζώνης για half duplex ασύρματες εφαρμογές και διαθέτει όλα τα απαραίτητα κυκλώματα για διαμόρφωση / αποδιαμόρφωση βασικής ζώνης. Κάθε βασικό κύκλωμα έχει ξεχωριστή είσοδο για εξοικονόμηση ενέργειας.

HFA3524 2.5GHz/600MHz Διπλός Ψηφιακός Συνθέτης: Η μονάδα αυτή έχει από έναν κρύσταλλο για τα RF και IF στάδια. Το RF στάδιο μπορεί να φτάσει τα 2.5GHz ενώ το IF τα 600 MHz. Σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας καταναλώνει μόλις 1μΑ και παρέχει ευαισθησία εισόδου για RF και 10dBm για IF.

HSP3824 DSSS Επεξεργαστής Βασικής Ζώνης: Εκτελεί όλες τις λειτουργίες πομπού δέκτη για full ή half duplex επικοινωνία δεδομένων βασικής ζώνης και είναι το βασικότερο από τα ολοκληρωμένα του PRISM. Περιλαμβάνει A/D μετατροπείς, κυκλώματα κωδικοποίησης / αποκωδικοποίησης BPSK / QPSK, εξομάλυνσης δεδομένων. Τέλος παρέχει σαν έξοδο μια ένδειξη για το αν το κανάλι είναι κατειλημμένο ή όχι.

HFA3925 2.4GHz Ενισχυτής Ισχύος: Περιλαμβάνει έναν αυτοματοποιημένο διακόπτη μεταξύ αποστολής - λήψης. Παρέχει +27dB κέρδους με υψηλή απόδοση και μπορεί να τροφοδοτηθεί ακόμη και με 2.7V.

Το MAC επίπεδο και η προσαρμογή στο PCMCIA

Η υλοποίηση ενός MAC πρωτοκόλλου για ασύρματα δίκτυα απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Σ' ένα ασύρματο δίκτυο λειτουργούν συνήθως φορητές συσκευές. Ο δίαυλος που υπάρχει σε τέτοιες συσκευές είναι σε μεγάλο ποσοστό PCMCIA. Ένας κρίσιμος παράγοντας για τα περιφερειακά που συνδέονται στις φορητές συσκευές είναι η χαμηλή κατανάλωση, που δίνει μεγαλύτερη αυτονομία στο σύστημα. Επίσης σε μια PCMCIA κάρτα υπάρχει περιορισμένος χώρος για τη χρήση διακριτών στοιχείων για την υλοποίηση του συστήματος. Οι παραπάνω λόγοι οδήγησαν στην απόφαση να σχεδιαστεί σε ένα μόνο chip ένα σύστημα στο οποίο θα υλοποιούνται εκτός από τις συναρτήσεις του MAC επιπέδου και οι απαραίτητες διαδικασίες για την σύνδεση του με τα περιφερειακά χωρίς τη χρήση εξωτερικής λογικής. Η απόφαση αυτή έκανε το σύστημα πολύπλοκο και τις πιθανότητες να υλοποιηθεί επιτυχώς σε ένα ASIC μόνο με εξομοίωση που δίνουν τα αντίστοιχα εργαλεία, ελάχιστες. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε η ανάπτυξη ενός συστήματος προσομοίωσης που θα έδινε τη δυνατότητα ελέγχου των λειτουργιών πριν την ολοκλήρωσή τους σε chip το οποίο στη συνέχεια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για την ανάπτυξη του λογισμικού που θα υλοποιούσε τις συναρτήσεις του πρωτοκόλλου έως ότου επέστρεφε το chip από το εργοστάσιο.

Ο σχεδιασμός του συστήματος βασίστηκε στον επεξεργαστή ARM7TDMI της Advanced Risc Machines (ARM). Η επιλογή του συγκεκριμένου επεξεργαστή έγινε για διάφορους λόγους όπως:

Η διαθεσιμότητά του σε μορφή πυρήνα (core), για την ενσωμάτωσή του σε ένα ASIC.

Η δυνατότητά του να λειτουργεί σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης.

Η RISC αρχιτεκτονική του.

Το γεγονός ότι ήταν ένα προϊόν προηγούμενων OMI ευρωπαϊκών προγραμμάτων.

Η ύπαρξη των εργαλείων και η εμπειρία που είχε αποκτηθεί στον συγκεκριμένο επεξεργαστή από προηγούμενα προγράμματα.

Συνέπεια αυτού ήταν όλη η αρχιτεκτονική αυτού του ολοκληρωμένου να αναπτυχθεί βάσει των προδιαγραφών των διαύλων για αυτόν τον επεξεργαστή. Για τον ARM επεξεργαστή προβλέπονται 2 ξεχωριστοί δίαυλοι:

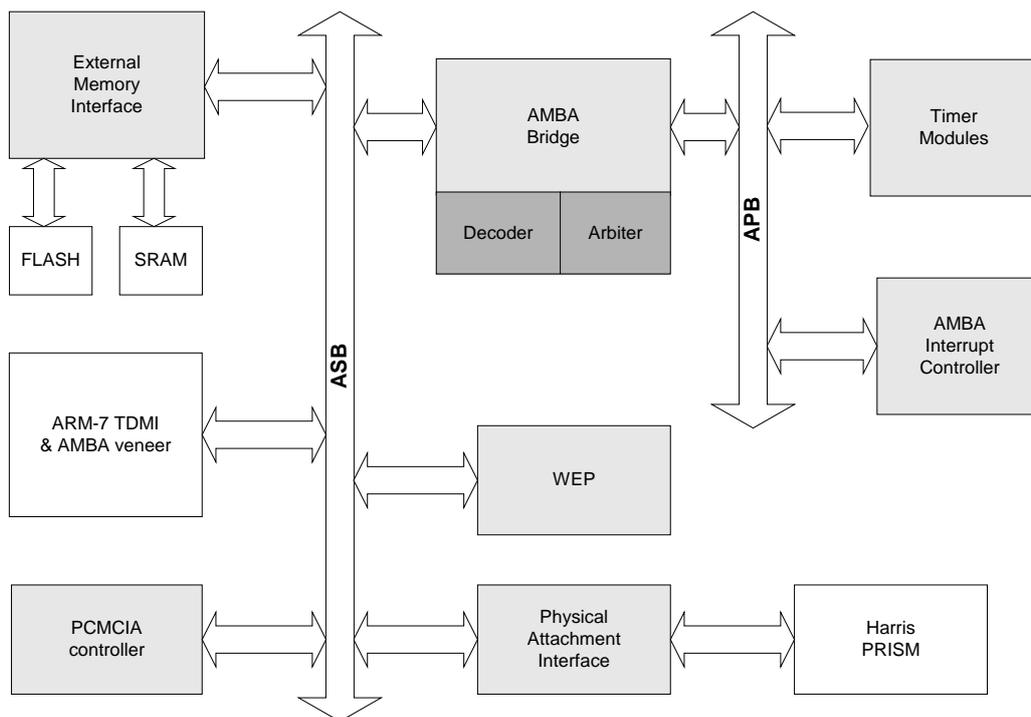
1. Ο γρήγορος ASB (Advanced System Bus) δίαυλος που χρησιμοποιείται από τον επεξεργαστή αλλά και από όλα τα κομμάτια του σχεδιασμού που είναι ικανά να το οδηγήσουν και έχουν ανάγκη από την ταχύτητα που προσφέρει και
2. Το πιο αργό αλλά και χαμηλής κατανάλωσης APB (Advanced Peripheral Bus) το οποίο διατίθεται στα πιο αργά περιφερειακά.

Αρχιτεκτονικά, το σύστημα μπορεί να διαιρεθεί στα εξής λειτουργικά κομμάτια :

1. Ο πυρήνας του επεξεργαστή (ARM7/TDMI).
2. Ο προσαρμογέας εξωτερικής μνήμης (External Memory Interface)
3. Ο προσαρμογέας επικοινωνίας με τον υπολογιστή (PCMCIA interface)
4. Η οντότητα κρυπτογράφησης / αποκρυπτογράφησης των δεδομένων (WEP)

5. Η γέφυρα μεταξύ των δύο διαύλων (AMBA bridge)
6. Ο επόπτης του ASB (ASB arbiter).
7. Ο αποκωδικοποιητής διευθύνσεων (Address Decoder)
8. Ο ελεγκτής διακοπών (interrupt controller) και
9. Οι μετρητές χρόνου (timers)
10. Ο προσαρμογέας του φυσικού επιπέδου (Physical Attachment Interface)

που συσχετίζονται όπως φαίνεται στο σχήμα :



Εικόνα : Η αρχιτεκτονική του συστήματος.

Στο σχήμα όλα τα τμήματα με γκριζό φόντο έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια του προγράμματος V-Net ενώ τα λευκά είναι έτοιμες μονάδες που ενσωματώθηκαν στην αρχιτεκτονική του συστήματος. Στη συνέχεια θα δοθεί αναλυτικότερη περιγραφή για κάθε μονάδα του συστήματος.

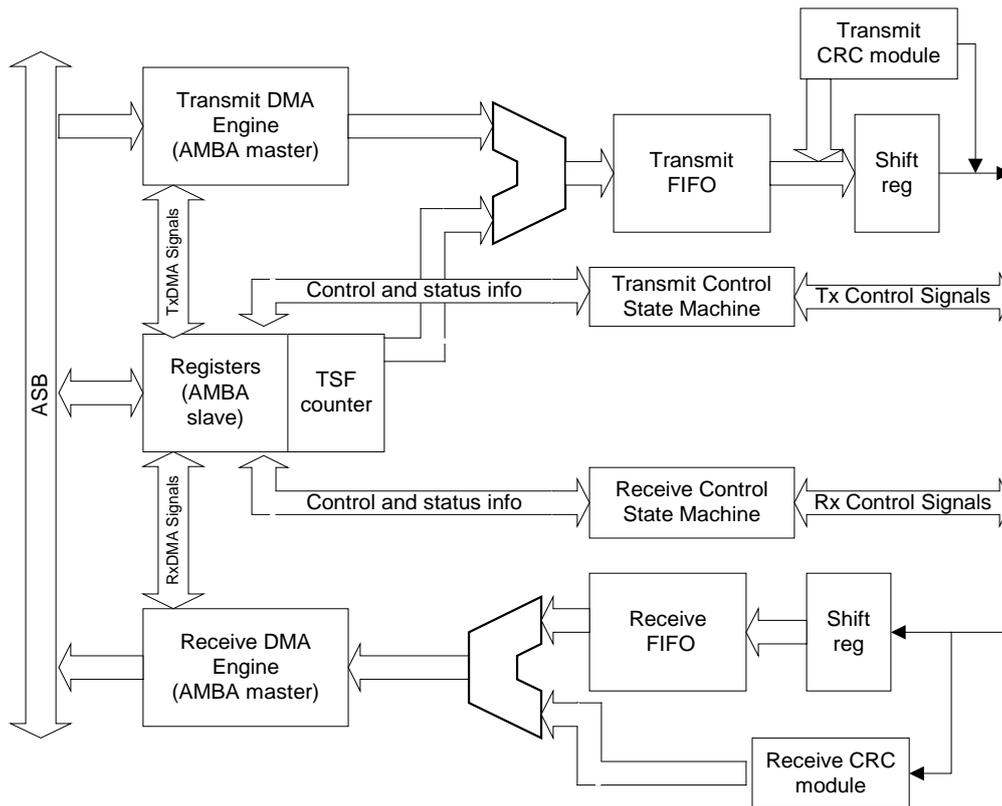
- Ο πυρήνας του ARM-7/TDMI με το AMBA Veneer: Στον ARM υλοποιούνται όλες οι συναρτήσεις του MAC πρωτοκόλλου όπως η μορφοποίηση του πακέτου, ο τεμαχισμός, η επανασυναρμολόγηση, η επαναμετάδοση μη επιβεβαιωμένων πακέτων με τη ανάπτυξη του απαραίτητου λογισμικού. Ο ARM-7/TDMI υποστηρίζει δύο σύνολα εντολών [3]: (a) ένα ισχυρό σύνολο εντολών 32-bit (όταν βρίσκεται στην κατάσταση ARM) για την ανάπτυξη εφαρμογών που απαιτούν υψηλή ταχύτητα επεξεργασίας, και (b) ένα υποσύνολο εντολών 16-bit (Thumb κατάσταση) για πιο συμπαγείς υλοποιήσεις. Στο σύστημα μας χρησιμοποιούμε τον ARM σε Thumb κατάσταση λειτουργίας επειδή το PCMCIA έχει εύρος 8-bit και η ταχύτητες μετάδοσης είναι σχετικά μικρές ώστε να δημιουργηθεί πρόβλημα στο χρόνο εξυπηρέτησης. Γι' αυτό το λόγο δόθηκε έμφαση σε όσο το δυνατόν πιο συμπαγή σχεδίαση. Το AMBA Veneer μετατρέπει

τον ARM σε συσκευή που μπορεί να διεκδικήσει τον AMBA δίαυλο σύμφωνα με τις προδιαγραφές του AMBA [4].

- Ο προσαρμογέας εξωτερικής μνήμης EMI (External Memory Interface): Η εξωτερική μνήμη του συστήματος αποτελείται τόσο από ολοκληρωμένα στατικής μνήμης όσο και από ολοκληρωμένα μνήμης τύπου flash. Στη στατική μνήμη αποθηκεύονται τα δεδομένα που προέρχονται από το δίκτυο ή από τον PCMCIA δίαυλο, καθώς επίσης και οι μεταβλητές από την εκτέλεση του προγράμματος χαμηλού επιπέδου (firmware). Στη μνήμη τύπου flash αποθηκεύεται τόσο το εκτελέσιμο πρόγραμμα, καθώς και πληροφορίες απαραίτητες για την αναγνώριση της κάρτας κατά την λειτουργία Plug & Play από το λειτουργικό σύστημα. Ο προσαρμογέας εξωτερικής μνήμης είναι απαραίτητος γιατί το μέγεθος των απαιτήσεων του συγκεκριμένου επεξεργαστή δεν είναι συγκεκριμένο και συνεπώς θα πρέπει να μεταφράζεται ανάλογα με το εύρος της μνήμης σε έναν αριθμό από προσπελάσεις σε αυτή. Υποστηρίζει προσπέλαση σε byte, half-word και word. Επιπλέον ο προσαρμογέας της εξωτερικής μνήμης μπορεί να εισάγει προγραμματιζόμενο αριθμό από κύκλους καθυστέρησης στην όλη λειτουργία της μνήμης παρέχοντας την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά ολοκληρωμένα μνήμης από πλευράς χρονικής απόδοσης και κόστους. Έχει υλοποιηθεί σαν μια AMBA bus slave οντότητα.
- Ο προσαρμογέας επικοινωνίας με τον υπολογιστή (PCMCIA interface): Ο προσαρμογέας έχει σκοπό την επικοινωνία μεταξύ του υπολογιστή (host) και του MAC επιπέδου. Υλοποιείται το PCMCIA 2.1/JEIDA 4.2 Plug & Play πρότυπο [5]. Επίσης δίνεται η δυνατότητα ο υπολογιστής να μπορεί να προσπελάσει τη στατική μνήμη της κάρτας σαν χώρο που αποκωδικοποιούνται δικές του διευθύνσεις υπερβατικής μνήμης (virtual memory mapping) με σκοπό την γρηγορότερη δυνατή μεταφορά των δεδομένων από και προς το δίκτυο. Επιπλέον μέσω του PCMCIA προσαρμογέα μπορεί να γίνει ο προγραμματισμός όλων των καταχωρητών του συστήματος. Έχει υλοποιηθεί σαν μια AMBA bus master οντότητα.
- Η οντότητα κρυπτογράφησης / αποκρυπτογράφησης των δεδομένων (WEP): Επειδή ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης των δεδομένων απαιτεί αρκετή υπολογιστική ισχύ και πρέπει να εφαρμόζεται στα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο αποφασίστηκε ο αλγόριθμος να υλοποιηθεί σε hardware. Υλοποιείται ο RC4 αλγόριθμος [6]. Έχει υλοποιηθεί σαν μια AMBA bus master οντότητα.
- Η γέφυρα μεταξύ των δύο διαύλων (AMBA bridge): Ο σκοπός της είναι να παρέχει την επιπρόσθετη λογική για την διασύνδεση αργών περιφερειακών από το APB στο ASB όπως προβλέπεται από τις προδιαγραφές. Οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο APB λειτουργούν με το 1/3 της ταχύτητας του ASB διαύλου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η κατανάλωση των περιφερειακών που είναι συνδεδεμένα σε αυτό το δίαυλο να είναι το 1/3 αυτής που θα είχαν αν ήταν συνδεδεμένα στο ASB, ενώ ο σχεδιασμός τους έχει μικρότερη πολυπλοκότητα.
- Ο επόπτης του ASB (ASB arbiter): Επιλέγει μία από τις οντότητες που μπορεί να γίνει master στο δίαυλο και να το οδηγήσει για τη μεταφορά δεδομένων. Υλοποιεί ένα απλό αλγόριθμο προτεραιότητας, σύμφωνα με τον οποίο το PAI έχει την μεγαλύτερη προτεραιότητα, και ακολουθούν το WEP, το

PCMCIA και ο ARM. Ο επόπτης του ASB χρησιμοποιεί δύο σήματα για κάθε οντότητα που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση της μηχανής καταστάσεων.

- Ο αποκωδικοποιητής διευθύνσεων (Address Decoder): Η λειτουργία του αποκωδικοποιητή είναι να επιλέγει την συσκευή πάνω στον ASB δίαυλο που πρέπει να αποκριθεί σε μία αίτηση μιας master οντότητας. Για κάθε συσκευή χρησιμοποιείται ένα σήμα επιλογής.
 - Ο ελεγκτής διακοπών (interrupt controller): Οδηγεί την γραμμή FIQ (Fast Interrupt Request) και τη γραμμή IRQ (Interrupt Request) του ARM ενώ δέχεται αιτήσεις διακοπής από τις υπόλοιπες οντότητες και επιλέγει την αντίστοιχη γραμμή διακοπής ανάλογα με τις προκαθορισμένες προτεραιότητες που έχουν ανατεθεί σε κάθε οντότητα. Πιθανά γεγονότα που θα προκαλέσουν διακοπή στον επεξεργαστή είναι η άφιξη ενός πακέτου, η ολοκλήρωση μιας μετάδοσης, το τέλος προγραμματισμένου χρόνου κάποιου από τους μετρητές χρόνου κλ.π. Έχει υλοποιηθεί σαν μια περιφερειακή συσκευή συνδεδεμένη στο APB.
 - Οι μετρητές χρόνου (timers): Χρησιμοποιούνται για την μέτρηση χρόνων που απαιτούνται για συγκεκριμένες συναρτήσεις του MAC που απαιτούν ακριβείς μετρήσεις του χρόνου. Αποτελείται από δύο 32-bit μετρητές με ανεξάρτητη δυνατότητα προγραμματισμού της ακρίβειας για τον κάθε ένα. Ελάχιστος χρόνος μέτρησης τα 50 nsec.
 - Ο προσαρμογέας του φυσικού επιπέδου (Physical Attachment Interface - PAI): Το PAI έχει σαν σκοπό την επικοινωνία του συστήματος με το φυσικό επίπεδο. Είναι μία από τις τέσσερις οντότητες που μπορεί να οδηγήσει το ASB. Αναλυτικό διάγραμμα του PAI δίνεται στο σχήμα.
1. Παρέχει το interface για τον προγραμματισμό του φυσικού επιπέδου καθώς και τις αποκρίσεις του προς τα πιο πάνω επίπεδα.
 2. Εκτελεί τις μεταφορές των δεδομένων του δικτύου από και προς τη μνήμη.
 3. Μπορεί να προγραμματιστεί για την αυτόματη υλοποίηση βασικών λειτουργιών του MAC πρωτοκόλλου (π.χ. συγχρονισμός, επίβλεψη κατάστασης φυσικού μέσου κ.ο.κ)



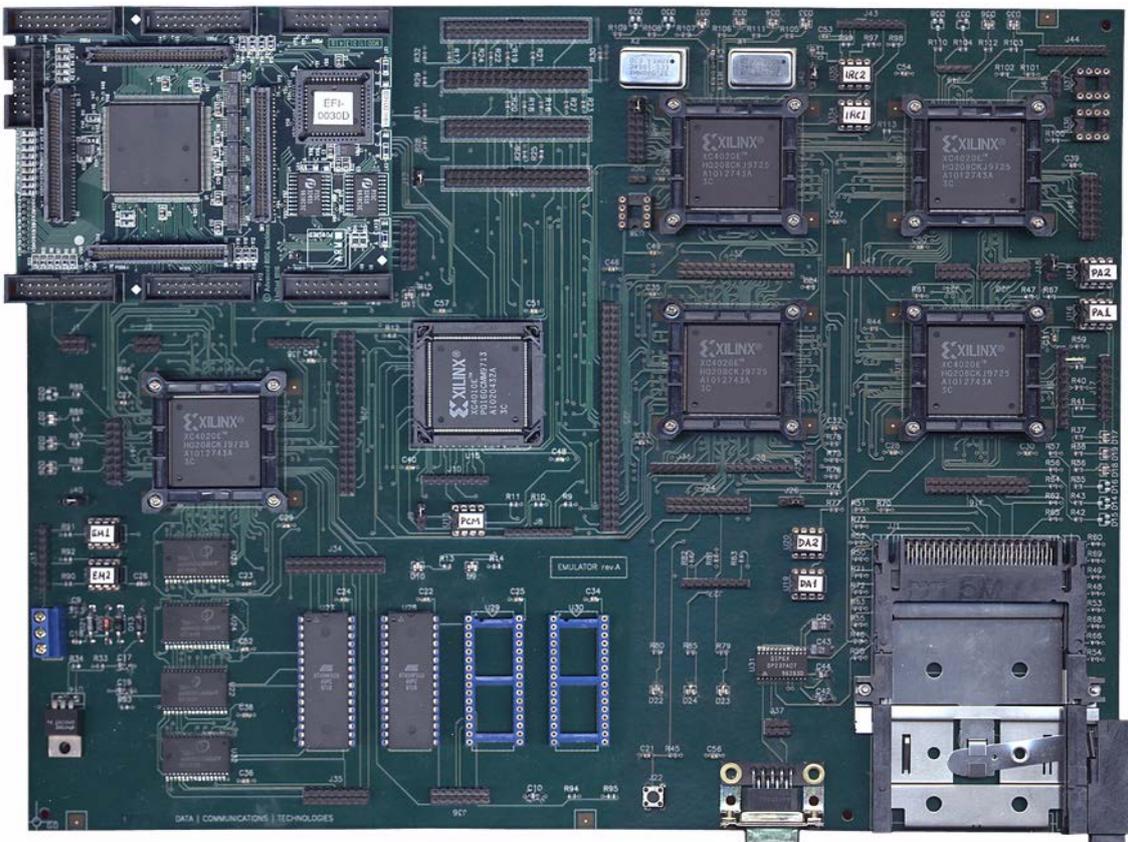
Εικόνα : Το PIE (Physical Attachment Interface)

Το PAI αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα:

- Την μηχανή καταστάσεων Εκπομπής και Λήψης μέσω της οποίας γίνεται ο έλεγχος όλων των τμημάτων του PIE ανάλογα με την πληροφορία που περιέχεται στους καταχωρητές του AMBA και την πληροφορία που έρχεται για την κατάσταση του δικτύου.
- Οι δύο DMA οντότητες (Transmit και Receive) οι οποίες υλοποιούν τη μεταφορά δεδομένων από και προς τη στατική μνήμη του συστήματος ανεξάρτητα από τον επεξεργαστή. Γι' αυτό το λόγο εμπεριέχουν τη λογική του bus master.
- Τους AMBA slave καταχωρητές που αποθηκεύεται όλη η πληροφορία ελέγχου και κατάστασης (control/status) που προέρχεται από το λογισμικό και τη μηχανή διαδοχικών καταστάσεων.
- Το μετρητή 64-bit ο οποίος μπορεί να προγραμματισθεί στην απαιτούμενη ακρίβεια για να υλοποιεί συναρτήσεις συγχρονισμού (Time Synchronization Function) οι οποίες είναι απαραίτητες στην υλοποίηση πρωτοκόλλων για ασύρματα δίκτυα.
- Δύο FIFOs μήκους 64 byte (Transmit και Receive) από τις οποίες η μία χρησιμοποιείται για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων που πρέπει να μεταδοθούν στο δίκτυο και η άλλη για τα δεδομένα που έρχονται από το δίκτυο.
- Δύο μηχανές παραγωγής CRC-32 δεδομένων ελέγχου για τα δεδομένα που λαμβάνονται ή μεταδίδονται αντίστοιχα και τους shift registers για τη μετατροπή των δεδομένων από παράλληλη σε σειριακή μορφή.

Η κάρτα προσομοίωσης (Emulator)

Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάσαμε την αρχιτεκτονική ενός συστήματος για τις απαιτήσεις του προγράμματος V-Net. Σκοπός του V-Net είναι η ανάπτυξη κάποιας αλλά και η παραγωγή προϊόντος από αυτή την τεχνολογία. Στα πλαίσια του προγράμματος θα κατασκευαστεί ένας επεξεργαστής με δυνατότητες υλοποίησης τηλεπικοινωνιακών πρωτοκόλλων για ασύρματα δίκτυα, λογισμικό για την υλοποίηση αυτού του πρωτοκόλλου και μια σειρά από περιφερειακά γενικού σκοπού που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε μελλοντικά συστήματα. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω λόγω της πολυπλοκότητας του συστήματος αποφασίστηκε η κατασκευή ενός προσομοιωτή του συστήματος για την ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων να κατασκευάσουμε ένα chip με λάθη. Ο προσομοιωτής θα έδινε τη δυνατότητα να ξεκινήσει η ανάπτυξη του λογισμικού και την διεξαγωγή δοκιμών εγκατάστασης ενός ασύρματου δικτύου, κατά το χρονικό διάστημα που το chip θα βρισκόταν στο εργοστάσιο. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε η κάρτα που φαίνεται στο σχήμα η οποία αποτελείται από 6 FPGAs (Field Programmable Gate Arrays), μία υποδοχή για PCMCIA κάρτες που θα δεχθεί το MAC-less της Harris και υποδοχές για την τοποθέτηση του ARM υπό τη μορφή ενός daughter-board. Ακόμα περιέχει στατική και flash μνήμη. Στον προσομοιωτή υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης και ελέγχου (debug) του λογισμικού αλλά και ο έλεγχος τμημάτων του hardware λόγω της ύπαρξης των FPGAs.



Εικόνα : Η κάρτα προσομοίωσης

Στην παραπάνω κάρτα έχουν γίνει όλα οι έλεγχοι για τη λειτουργία του συστήματος όπως το περιγράψαμε στα παραπάνω κεφάλαια. Έχει επίσης αναπτυχθεί ο driver για την αυτόματη αναγνώριση του συστήματος από τα Microsoft Windows 95, 98 και NT γεγονός που επιτρέπει την ανάπτυξη εφαρμογών σε αυτό το περιβάλλον.

ΜΕΡΟΣ 3^ο

Παρουσίαση της εφαρμογής V-Net Sniffer.

Γενικά

Το V-Net Sniffer είναι ένα σημαντικό εργαλείο που επιτρέπει εύκολα τη παρακολούθηση καταγραφή και ανάλυση όλων των πακέτων σε ένα ασύρματο 802.11 δίκτυο επικοινωνίας. Είναι βασισμένο στο chip που παρουσιάστηκε πιο πάνω.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για αναπτυξιακούς όσο και εκπαιδευτικούς σκοπούς αφού επιτρέπει την παρακολούθηση της κίνησης σε πραγματικό χρόνο. Επίσης έχει τη δυνατότητα του φιλτραρίσματος των πακέτων που καταγράφει για καλύτερη παρακολούθηση του δικτύου.

Δυνατότητες καταγραφής

Το V-Net Sniffer έχει τη δυνατότητα να καταγράφει και να αποδικοποιήσει τα ακόλουθα πακέτα που προβλέπει το 802.11

Control Frames

- PS – Poll: Power - Save Poll frame.
- RTS: Request To Send frame.
- CTS: Clear To Send frame.
- ACK: Acknowledgement frame.
- CF - End frame.
- CF - End frame + CF - Acknowledgment frame.

Management Frames

- Association Request frame.
- Association Response frame.
- Reassociation Request frame.
- Reassociation Response frame.
- Probe Request frame.
- Probe Response frame.
- Beacon frame.
- ATIM: Announcement Traffic Indication Message frame.
- Disassociation frame.
- Authentication frame.
- Deauthentication frame.

Data Frames.

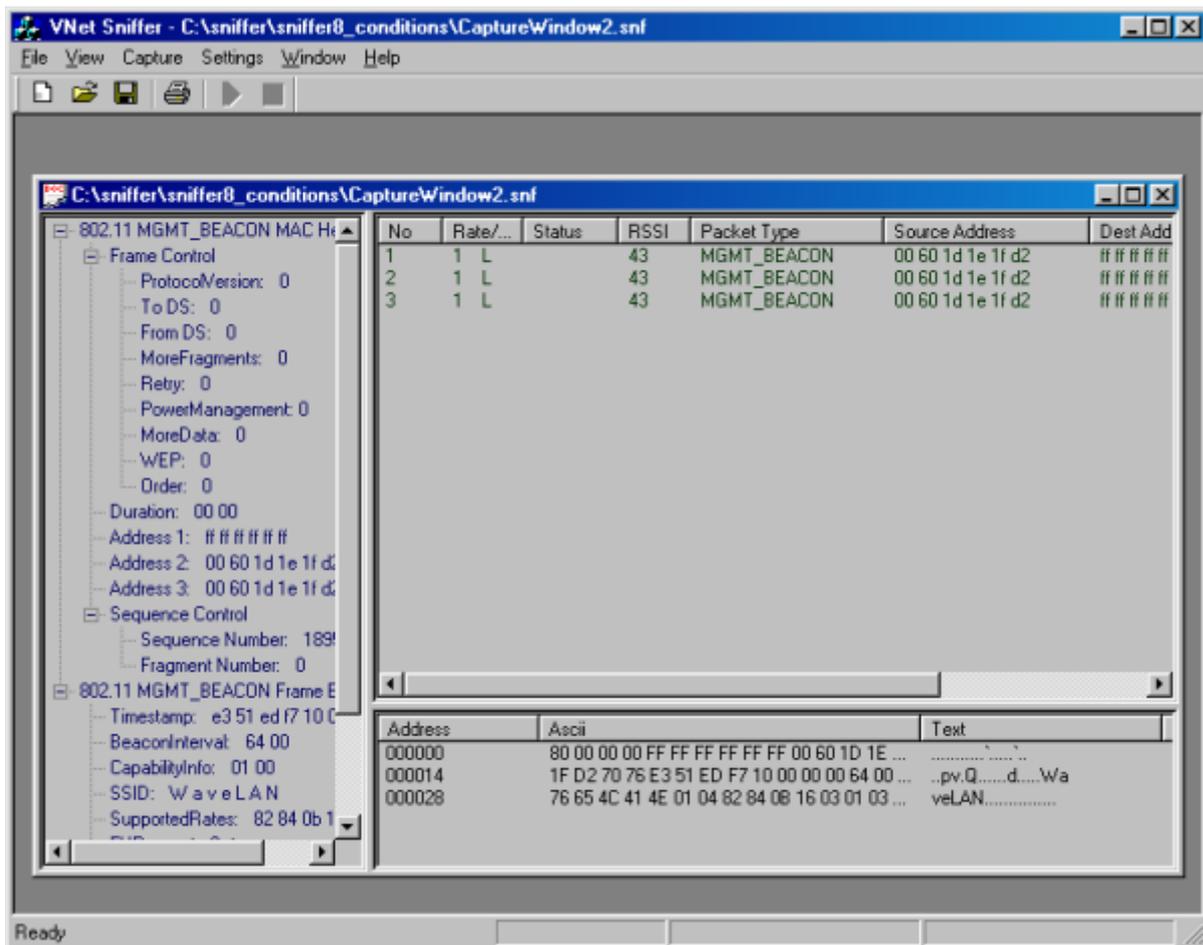
- Data frame.
- CF - Acknowledgment frame.
- CF - Poll frame.
- CF - Acknowledgment CF - Poll frame.

Null frame.

Δυνατότητες φιλτραρίσματος

Το V-Net Sniffer δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να φιλτράρει τα πακέτα που καταγράφει σύμφωνα με τις απαιτήσεις του. Έχει τη δυνατότητα να δεχτεί πακέτα μόνο συγκεκριμένου τύπου ή κάποιους τύπους πακέτων από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Επίσης μπορεί να δεχτεί πακέτα μόνο κάποιας συγκεκριμένης source ή destination address.

Φόρμα καταγραφής και ανάλυσης των πακέτων.



Φόρμα 1.

Στη παραπάνω φόρμα γίνεται η καταγραφή και ανάλυση των πακέτων του 802.11 δικτύου. Υπάρχουν τρεις οθόνες.

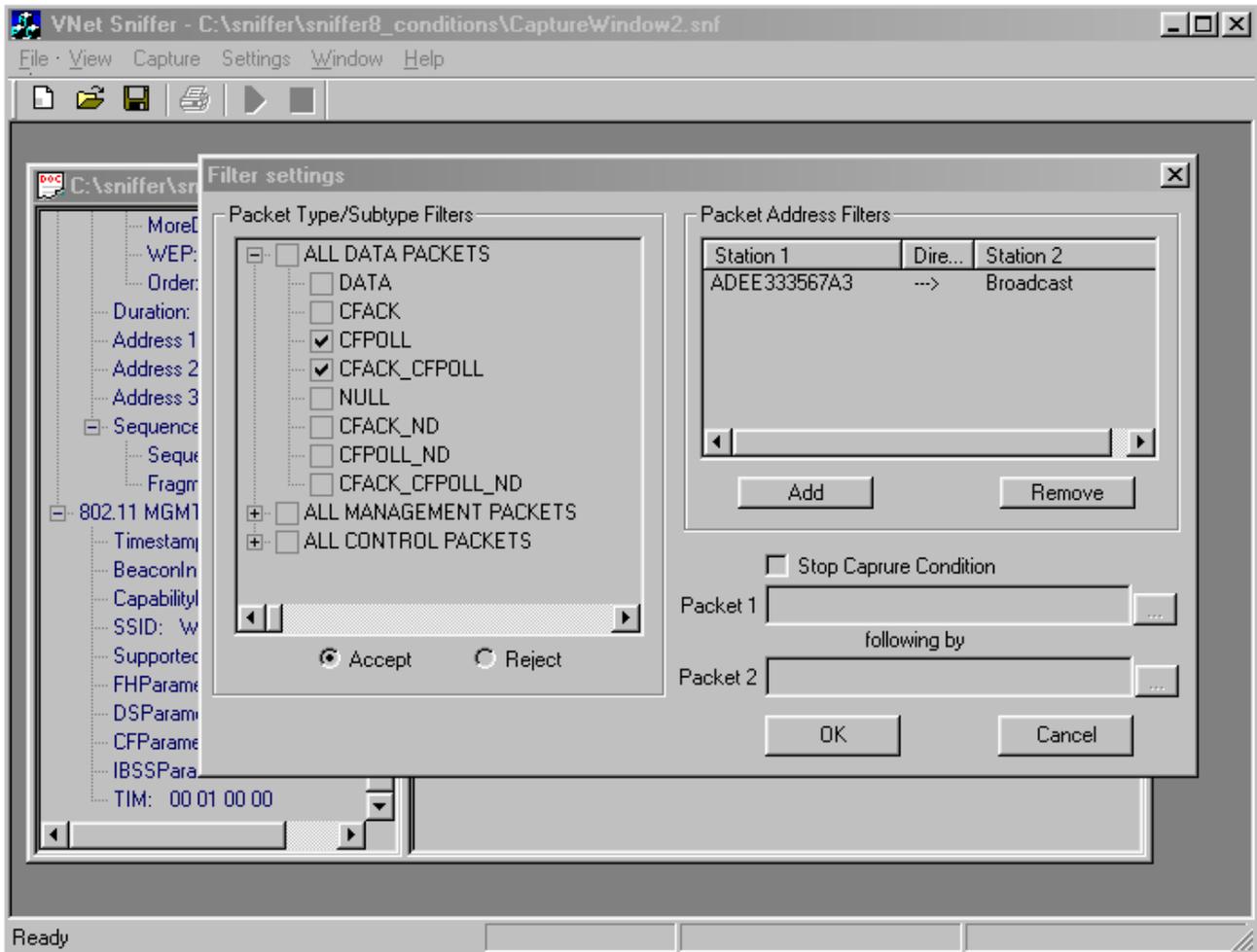
Στη μια γίνεται η παρουσίαση των πακέτων της κίνησης όπου απεικονίζονται το είδος, η source και destination διεύθυνση, το μήκος, ο χρόνος λήψης και η κατάσταση(success και bad) του πακέτου.

Στη δεύτερη γίνεται η ανάλυση του κάθε πακέτου στα επιμέρους πεδία του.

Στην τρίτη γίνεται η απεικόνιση του κάθε πακέτου σε text μορφή.

Στη φόρμα αυτή υπάρχει επίσης η επιλογή του φιλτραρίσματος των πακέτων όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει διάφορα φίλτρα καταγραφής όπως επίσης και η επιλογή της αποθήκευσης των πακέτων σε αρχείο.

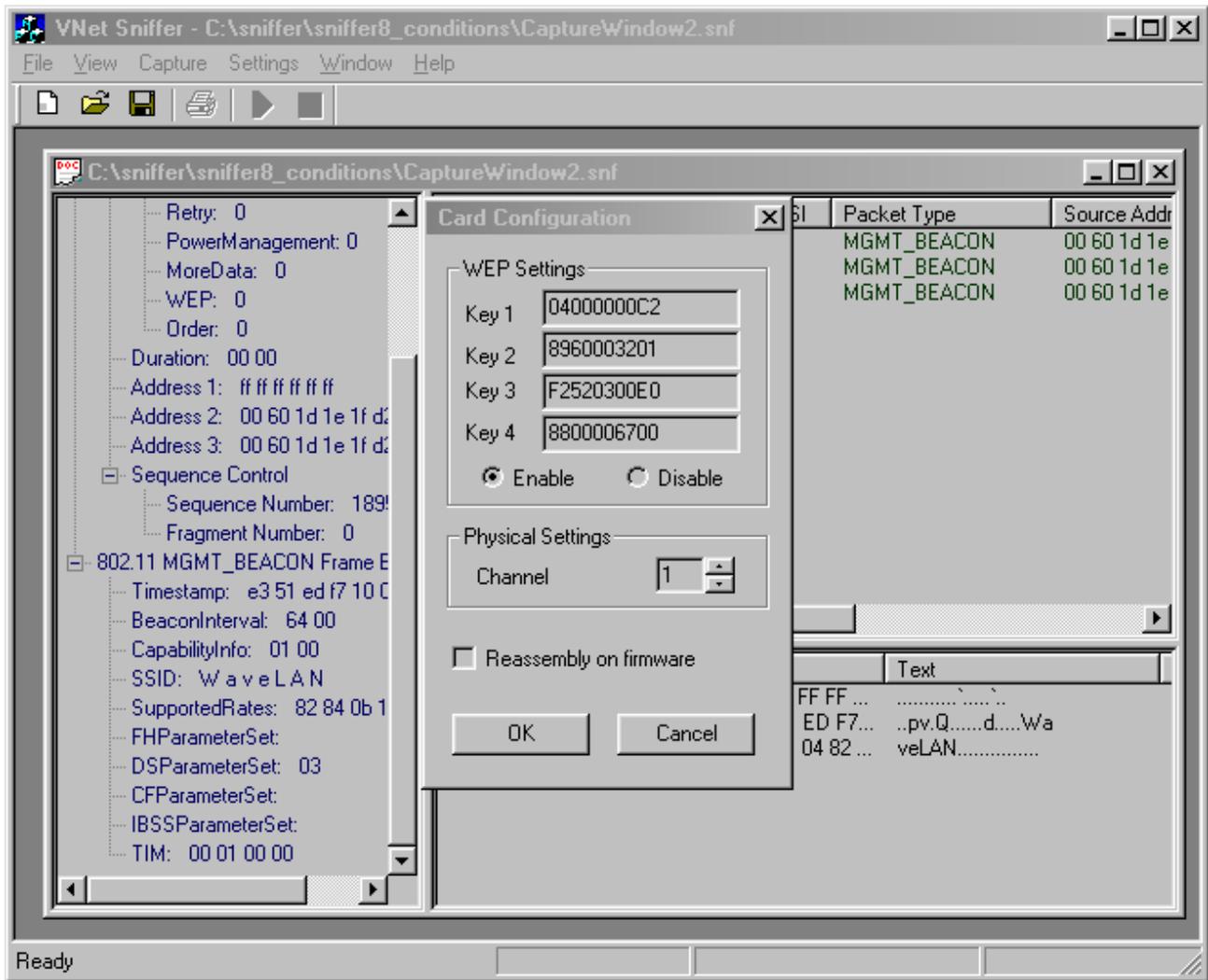
Φόρμα φιλτραρίσματος των εισερχόμενων πακέτων.



Φόρμα 2.

Στη παραπάνω φόρμα ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να θέσει φίλτρα που τον βοηθούν να παρακολουθήσει και να καταγράψει τα πακέτα εκείνα που τον ενδιαφέρουν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του. Αυτά μπορεί να αναφέρονται στο τύπο του πακέτου ή στη source και destination διεύθυνση.

Φόρμα ρύθμισης της κάρτας.

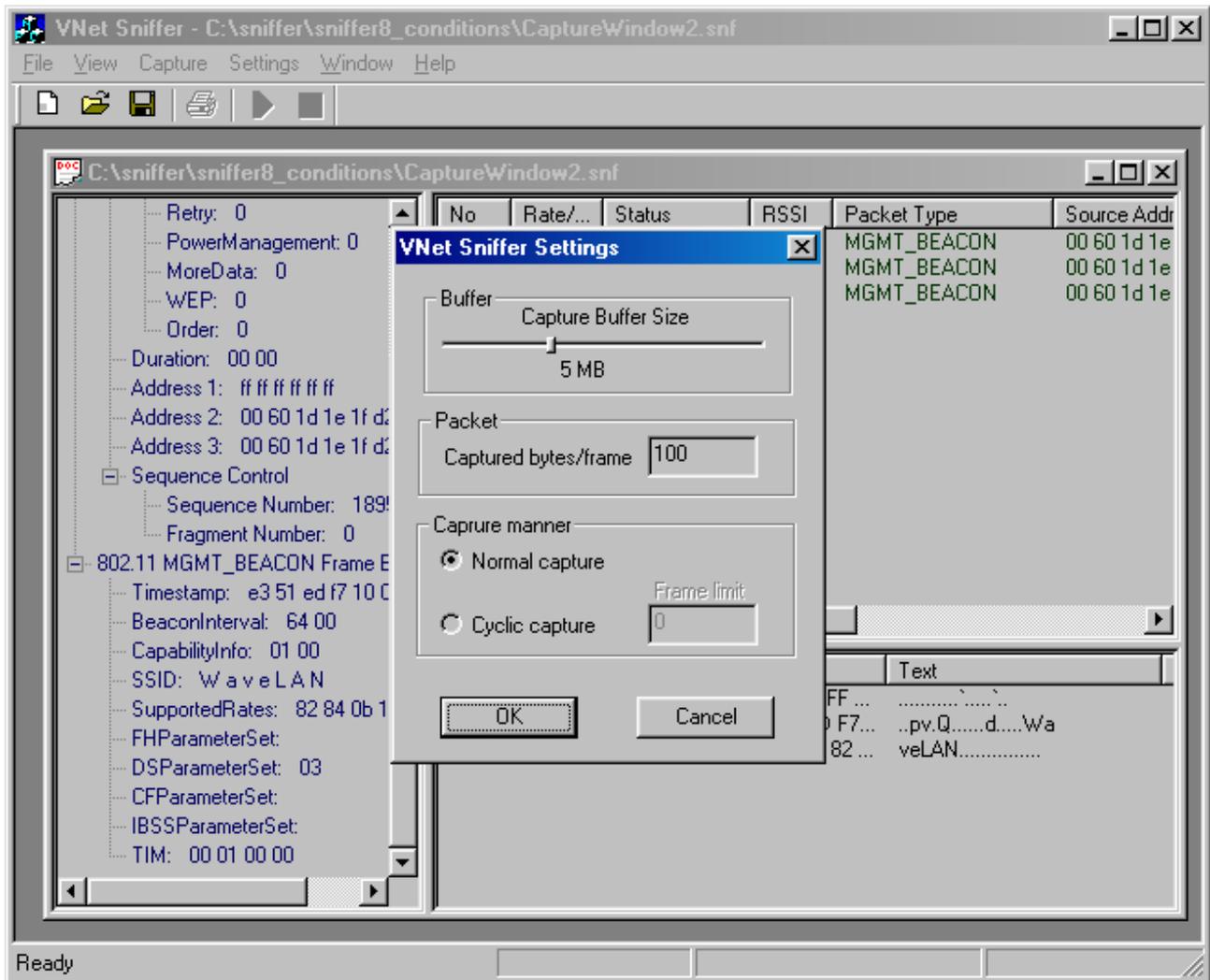


Φόρμα 3.

Στη παραπάνω φόρμα ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να θέσει στη κάρτα το κανάλι στο οποίο θα γίνεται η καταγραφή, τα κλειδιά του WEP αλγορίθμου και την reassembly επιλογή.

Θέτοντας τον WEP αλγόριθμο Enable με τα κατάλληλα κλειδιά, τα encrypted πακέτα που καταγράφονται αποκωδικοποιούνται και μετά εμφανίζονται. Διαφορετικά εμφανίζονται κωδικοποιημένα.

Φόρμα ρύθμισης της εφαρμογής.



Φόρμα 4.

Στη παραπάνω φόρμα ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να θέσει στην εφαρμογή επιλογές, όπως το μέγεθος του buffer στον οποίο θα γίνεται η αποθήκευση των πακέτων, τον αριθμό των bytes που αποθηκεύεται για κάθε πακέτο και τον τρόπο με τον οποίο θα γίνεται η καταγραφή. Ο τρόπος της καταγραφής ορίζεται σε κανονικό και κυκλικό. Η διαφορά είναι ότι στον κυκλικό τρόπο η εφαρμογή τρέχει επ'άοριστο εως ότου την σταματήσει ο χρήστης κρατώντας μόνο έναν αριθμό από τα τελευταία πακέτα. Ενώ στο κανονικό τρόπο όλα τα πακέτα καταγράφονται.

Αναφορές

- [1] IEEE Std 802.11-1997: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification.
- [2] PRISM 2.4GHz Direct Sequence Spread Spectrum Wireless LAN, Application Note, No. AN9624.3, Harris Semiconductor, February 1997.
- [3] Advanced RISC Machines Ltd., “ARM Architecture Reference Manual”, Document No: ARM DDI 0100B, Prentice Hall, 1996.
- [4] Advanced RISC Machines Ltd., “Introduction to AMBA”, Document No: ARM DVI 0010A, 1996
- [5] PCMCIA/JEIDA, “PCMCIA Card Standard, Electrical Specification”, Vol.2, Document No: 0595-02-1000, 1995.
- [6] Bruce Schneier, “Applied Cryptography: Protocols, Algorithms and Source Code in C”, 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-471-11709-9.