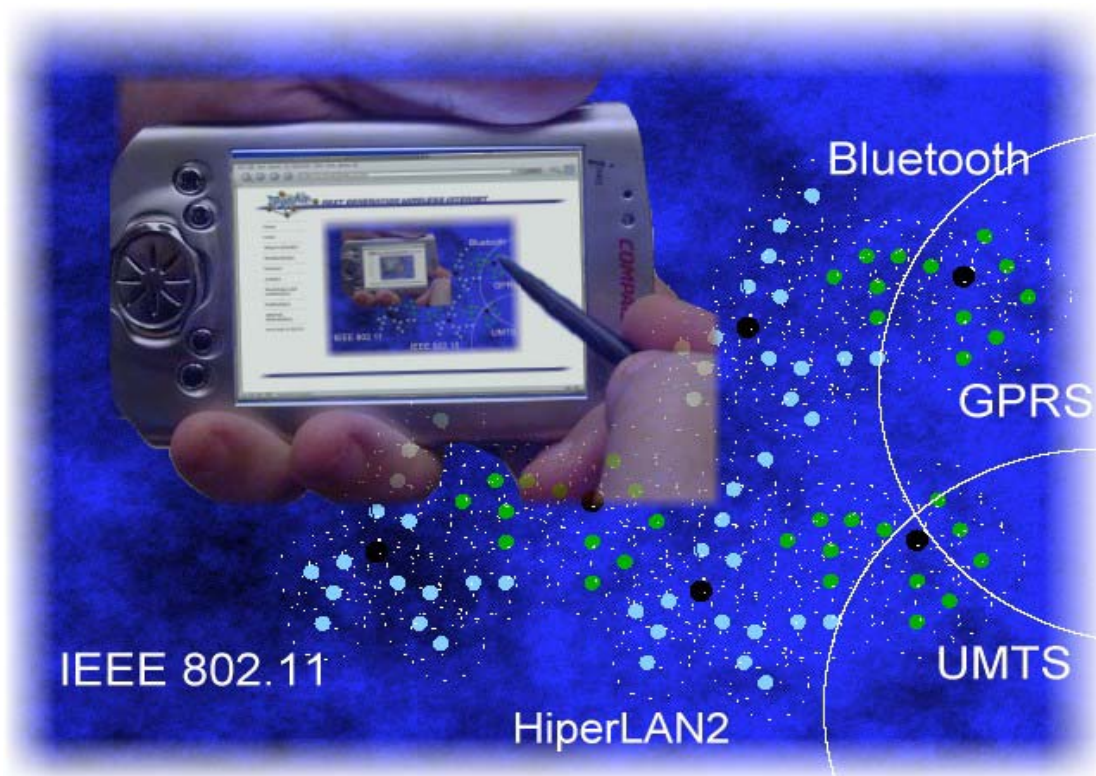




ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

Διπλωματική Εργασία: “ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ *AD HOC* ΔΙΚΤΥΑ ”



Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Σταυρακάκης

Ιωάννης Γραβάνης (Α.Μ: Μ283)
Αθανάσιος Βάιος (Α.Μ: Μ282)

ΑΘΗΝΑ
Μάιος 2002



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

“ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ *AD HOC* ΔΙΚΤΥΑ ”

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Σταυρακάκης

Ιωάννης Γραβάνης (Α.Μ: Μ283)

Αθανάσιος Βάιος (Α.Μ: Μ282)

**ΑΘΗΝΑ
Μάιος 2002**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα	i	
Πρόλογος	v	
Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή	1
1.1. Μοντέλο Λειτουργίας.....	3	
1.1.1. Συμμετρικές Ζεύξεις.....	5	
1.1.2. Λύσεις Ad Hoc Επιπέδου 2.....	6	
1.1.3. Πολυεκπομπή.....	7	
1.2. Εμπορικές Εφαρμογές Ad Hoc Δικτύων.....	7	
1.2.1. Συνεδριάσεις.....	8	
1.2.2. Οικιακό Δίκτυο.....	8	
1.2.3. Υπηρεσίες Ανάγκης.....	9	
1.2.4. Δίκτυα Αισθητήρων.....	10	
1.2.5. Άλλες Εφαρμογές.....	10	
1.3. Τεχνικοί και Επιχειρηματικοί Παράγοντες που Επηρεάζουν τα Ad Hoc Δίκτυα.....	11	
1.3.1 Δυνατότητα Επεκτασιμότητας.....	13	
1.3.2. Απαιτούμενη Ενέργεια – Καθυστέρηση.....	14	
1.3.3. Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων σε Ασύρματα Δίκτυα.....	15	
1.3.4. Επίπεδο Μόρφωσης Χρηστών.....	16	
1.3.5. Ζητήματα Ασφάλειας.....	17	
1.3.6. Ζητήματα Κάλυψης.....	17	
Κεφάλαιο 2	Πρωτόκολλα Δρομολόγησης	19
2.1. Table-Driven Προσεγγίσεις.....	20	
2.1.1. Destination Sequenced Distance Vector – DSDV.....	20	
2.1.2. Wireless Routing Protocol – WRP.....	21	
2.1.3. Cluster Switch Gateway Routing – CSGR.....	23	
2.2. Source Initiated/On Demand Προσεγγίσεις.....	24	
2.2.1. Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing – AODV.....	25	
2.2.2. Dynamic Source Routing – DSR.....	27	
2.3. Υβριδικά Σχήματα Δρομολόγησης.....	28	

2.3.1. Zone Routing Protocol – ZRP.....	28
2.4. Σύγχρονη Έρευνα πάνω σε Θέματα Δρομολόγησης στα Ad Hoc Δίκτυα.....	30
2.4.1. Εξοικονόμηση Ενέργειας.....	31
2.4.1.1. Request – Delay Routing Protocol – RDRP.....	33
2.4.1.2. Max – Min Routing Protocol – MMRP.....	35
2.4.2. Υποστήριξη QoS.....	36
2.4.2.1. Μετρικά Δρομολόγησης.....	39
2.4.2.2. Εφαρμογή στο DSR.....	40
Κεφάλαιο 3 Ad Hoc Προδιαγραφές	42
3.1. Bluetooth.....	42
3.1.1. Εφαρμογές.....	43
3.1.2. Βασική Αρχιτεκτονική Συστήματος.....	44
3.1.3. Εγκατάσταση Συνδέσεων.....	47
3.2. HIPERLAN/2.....	50
3.2.1. Το Δίκτυο HIPERLAN/2.....	51
3.2.2. Χαρακτηριστικά Στοιχεία του HIPERLAN/2.....	51
3.2.3. Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλου – Επίπεδα.....	54
3.2.3.1. Φυσικό Επίπεδο.....	55
3.2.3.2. DLC – Επίπεδο Ελέγχου Ζεύξης Δεδομένων.....	57
3.2.3.3. Πρωτόκολλο Ελέγχου Σφαλμάτων – EC.....	62
3.2.3.4. Σηματοδότηση και Έλεγχος.....	63
3.2.3.4.1. Λειτουργία Ελέγχου Συσχέτισης – ACF.....	63
3.2.3.4.2. Έλεγχος DLC Σύνδεσης Χρήστη – DCC.....	65
3.2.3.4.3. Έλεγχος Ραδιοπόρων – RRC.....	65
3.2.3.5. Επίπεδο Σύγκλισης – CL.....	67
3.2.3.5.1. Κοινό Μέρος.....	69
3.2.3.5.2. Υποεπίπεδο Σύγκλισης Υπηρεσίας Ethernet.....	69
3.2.4. Λειτουργία Ασύρματου Δικτύου.....	69
3.2.4.1. Δυναμική Επιλογή Συχνότητας – DFS.....	70
3.2.4.2. Προσαρμογή της Ζεύξης.....	70
3.2.4.3. Κεραίες.....	70
3.2.4.4. Μεταβίβαση.....	70
3.2.4.5. Έλεγχος Ισχύος.....	71
3.2.5. Παραχώρηση Φάσματος και Περιοχές Κάλυψης.....	71

5.1.4.1. Ο Προορισμός Βρίσκεται στην Περιοχή των Δύο Αλμάτων.....	127
5.1.4.2. Ο Προορισμός Βρίσκεται Έξω από την Περιοχή των Δύο Αλμάτων.....	128
5.1.4.3. Δρομολόγηση Μέσω των Υπέρ-κόμβων.....	131
5.1.4.4. Επιλογή Δρόμου από Κόμβο Προορισμού.....	134
5.1.5. Διατήρηση Δρόμου.....	136
5.1.6. Παραδείγματα Δρομολόγησης.....	139
5.1.6.1. Παράδειγμα Δρομολόγησης χωρίς τη Συμμετοχή των Υπέρ-κόμβων.....	139
5.1.6.2. Παράδειγμα Δρομολόγησης με Συμμετοχή των Υπέρ-κόμβων.....	141
5.1.6.3. Παράδειγμα Συντήρησης Δρόμου με Κίνηση Ενδιάμεσου Δρομολογητή.....	142
5.1.6.4. Παράδειγμα Συντήρησης Δρόμου με Κίνηση του Κόμβου Πηγής.....	143
5.1.6.5. Παράδειγμα Συντήρησης Δρόμου με τη Βοήθεια “Υποκλοπής”.....	144
5.1.6.6. Παράδειγμα Ανεπιτυχούς Αναζήτησης Διαδρομής.....	145
5.1.6.7. Κατάδειξη Πλεονεκτήματος Λόγω της Ύπαρξης Ασύρματων Τοπικών Δικτύων σε Ad Hoc Περιβάλλον.....	145
Παράρτημα 1	Είδη Πακέτων
Παράρτημα 2	Σχήματα
Συντομογραφίες	
Βιβλιογραφία	

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο τομέας των *ad hoc* δικτύων προβάλλεται έντονα ανάμεσα στην άνευ προηγουμένου ανάπτυξη, στην κλίμακα και την ποικιλία, των δικτυακών τοπολογιών. Έχουν εμφανιστεί νέοι ορίζοντες ασύρματης συνδεσιμότητας μαζί με μια νέα αίσθηση του αναπόφευκτου των ασύρματων μεταδόσεων δεδομένων, με την βοήθεια του πρωτοκόλλου IP (Internet Protocol). Με τα νέα ασύρματα προϊόντα, η έρευνα έχει εξοικειώσει σε μεγάλο ποσοστό τους μηχανικούς δικτύου με την παραδοχή ότι το ασύρματο μέσο είναι περίπου όσο καλό είναι και το ενσύρματο για την μετάδοση των δεδομένων – όσο κάποιος μπορεί να παραβλέψει τις διαφορές στις ταχύτητες μετάδοσης. Περίπου – ή ίσως ακόμη καλύτερο – επειδή τα κινητά δίκτυα υπόσχονται απίστευτα μεγαλύτερη ευκολία.

Δυστυχώς, υπάρχει ένας ακόμη λόγος που τα κινητά δίκτυα δεν είναι συχνά επακριβώς όσο κατάλληλα είναι τα καθιερωμένα δίκτυα. Το Internet δεν μπορεί ακόμη να αντιμετωπίσει τους κινητούς υπολογιστές πολύ καλά. Αν και αυτή η κατάσταση γρήγορα μεταβάλλεται, σχεδόν κανένας δεν θα διαφωνούσε ότι ένας σταθερός υπολογιστής με ενσύρματα μέσα προσφέρει ένα αρτιότερο δικτυακό και επικοινωνιακό περιβάλλον σε σύγκριση με έναν κινητό ασύρματο σταθμό. Το σύνολο των εργασιών μέχρι σήμερα εστιάζεται στον περιορισμό των μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν οι κινητοί υπολογιστές και τα ασύρματα μέσα έτσι, ώστε η εγγενής καταλληλότητα της κινητικότητας να μην υποφέρει πια από το βάρος ανεπαρκών και ακατάλληλων σχεδιασμών του δικτύου.

Μέρος της ανεπάρκειας των πρόσφατων σχεδιασμών για τα δίκτυα ξεκινά από τις ξεπερασμένες υποθέσεις που γίνονται στα πρωτόκολλα δρομολόγησης και δικτύου που αναπτύσσονται στο Internet σήμερα. Πολλές προσπάθειες να διορθωθούν τέτοιες απαρχαιωμένες αντιλήψεις στηρίζονται σε πρόσθετα στοιχεία σταθερής δομής για την διαχείριση των δεδομένων που σχετίζονται με τους κινητούς σταθμούς.

Ίσως φυσικά, η ευρεία ανάπτυξη του Internet έχει παράσχει μία επιπλέον ώθηση στην έρευνα των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν οι διαδικτυακοί υπολογιστές ακόμη και σε περιπτώσεις που ούτε το Internet το ίδιο, ούτε κάποιο άλλο διαδίκτυο είναι προσβάσιμο. Σε τέτοιες καταστάσεις, θα μπορούσε κάποιος ακόμη να ευχηθεί να χρησιμοποιεί οικεία προγράμματα δικτύων για να συνεχίσει τις ίδιες μορφές δικτυακής επικοινωνίας με τους γείτονες και τους συνεργάτες που βρίσκονται στην περιοχή. Τα προγράμματα δικτύων

μπορούν στην ουσία να εξακολουθούν να δουλεύουν για όσο διάστημα μπορούν να αναγνωρίσουν την IP διεύθυνση του επιθυμητού προορισμού και ένα μονοπάτι για μία ή περισσότερες δικτυακές ζεύξεις κατά την κατεύθυνση του προορισμού.

Η εύρεση τέτοιων μονοπατιών είναι η δουλειά των *ad hoc* πρωτοκόλλων και αλγορίθμων. Η περιήγηση αυτού του σχεδιαστικού χώρου έχει διαμορφώσει μία αυξανόμενη ενεργή περιοχή έρευνας τα τελευταία χρόνια. Είναι ελπίδα μας ότι οι αλγόριθμοι και τα πρωτόκολλα που παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία θα δώσουν στον αναγνώστη μία καλή ευκαιρία διαμόρφωσης γνώμης για τις πρόσφατες εξελίξεις στην ερευνητική δραστηριότητα της περιοχής των *ad hoc* δικτύων. Στη συνέχεια περιγράφουμε, με λίγα λόγια, τις θεματικές ενότητες που διαπραγματευόμαστε στα κεφάλαια που ακολουθούν.

Στο κεφάλαιο 1 εισάγουμε την έννοια των *ad hoc* δικτύων, εστιάζουμε στην σπουδαιότητα και σημασία τους στην εξέλιξη των δικτύων τρίτης γενιάς και παρουσιάζουμε με λεπτομέρεια τις σύγχρονες εφαρμογές τους. Η αλλαγή στις δομές των σύγχρονων επικοινωνιών και η ταχεία ανάπτυξη των μέσων για την αρτιότερη εξυπηρέτηση του χρήστη επιβάλλουν τη μελέτη και έρευνα *ad hoc* τοπολογιών, καθιερώνοντας τη λογική ενός συστήματος που μπορεί να λειτουργεί οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή με αξιοπιστία και αποδοτικότητα. Η εφαρμογή των *ad hoc* δικτύων έρχεται να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις μιας εξελισσόμενης κοινωνίας όπου οι υπηρεσίες κινητών επικοινωνιών οφείλουν να παρέχονται στον καταναλωτή χωρίς περιορισμούς και δυσκολίες.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζουμε τα πιο γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης που εφαρμόζονται στα *ad hoc* δίκτυα. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τέτοιων τοπολογιών όπως η έλλειψη σταθερής δομής, η έντονη και τυχαία κινητικότητα των κόμβων, τα προβλήματα που απορρέουν από το ασύρματο μέσο, η λειτουργία του κόμβου-δρομολογητή και ο χαρακτήρας της πολυαλματικής επικοινωνίας ανάγουν το θέμα της δρομολόγησης σε πρωτεύον και κυριότερο ζήτημα της ερευνητικής δραστηριότητας, με σκοπό την αρτιότερη λειτουργικότητα των *ad hoc* δικτύων και την αξιόπιστη μετάδοση των δεδομένων του χρήστη. Τα σχήματα δρομολόγησης δεν είναι υπεύθυνα μόνο για την ικανοποίηση των απαιτήσεων της κίνησης του δικτύου, αλλά θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους σημαντικά ζητήματα όπως είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και η υποστήριξη παραμέτρων QoS. Μία διαπίστωση που εξάγεται από την ανάλυση τέτοιων πρωτοκόλλων είναι ότι η απόδοση και η συμπεριφορά κάθε σχήματος δρομολόγησης εξαρτάται άμεσα από τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος και τις συνήθειες του χρήστη. Για αυτόν τον λόγο, όταν ερευνάται η καταλληλότητα και η αρτιότητα μιας μεθόδου δρομολόγησης της κίνησης πρέπει να

ληφθούν υπόψη παράγοντες και συνθήκες που επηρεάζουν με οποιονδήποτε τρόπο το συνολικό σύστημα και καθορίζουν τα δεδομένα της επικοινωνίας.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφουμε τις πιο γνωστές προδιαγραφές που έχουν εγκριθεί από σχετικούς επίσημους οργανισμούς διεθνώς, και υποστηρίζουν ή έχουν την δυνατότητα να υποστηρίξουν *ad hoc* τοπολογίες. Αρχικά, αναφερόμαστε στο Bluetooth που πρόκειται για μία τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας που έχει επιφέρει την επανάσταση στην αγορά της προσωπικής συνδεσιμότητας καθιστώντας δυνατές τις ζεύξεις μεταξύ κινητών υπολογιστών, κινητών τηλεφώνων και φορητών συσκευών ενώ επιτρέπει, ταυτόχρονα, την πρόσβαση στο Internet. Μπορεί να λειτουργήσει παντού, ενώ είναι χαμηλού κόστους και κατανάλωσης ισχύος με ευρεία βιομηχανική υποστήριξη των υπηρεσιών του. Στη συνέχεια περιγράφουμε το πρότυπο του HIPERLAN/2, που προσφέρει ασύρματες υπηρεσίες στα όρια τοπικών δικτύων με υψηλή ταχύτητα χρήστη και ποιοτικά χαρακτηριστικά απόδοσης (υποστήριξη QoS και κινητικότητας, πιστοποίηση αυθεντικότητας και εξοικονόμηση ενέργειας). Στην προδιαγραφή του προτύπου γίνεται αναφορά στην *ad hoc* λειτουργικότητα του δικτύου με τον χαρακτήρα της επικοινωνίας του ενός άλματος και μόνο. Τέλος, γίνεται μία προσπάθεια να αναδείξουμε την πολύ γνωστή προδιαγραφή της IEEE 802.11 ως ένα πρότυπο που έχει την δυνατότητα υποστήριξης των *ad hoc* τοπολογιών. Προσπαθούμε να περιγράψουμε ποιες θα είναι εκείνες οι ενότητες και τα σημεία της προδιαγραφής που πρέπει να αλλάξουν και με ποιο τρόπο είναι καλύτερο να συμβεί κάτι τέτοιο για να αντιμετωπιστούν δικτυακές περιπτώσεις *ad hoc* συμπεριφοράς.

Στο κεφάλαιο 4 αναλύουμε την ερευνητική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα στα πλαίσια ενός σεναρίου δικτυακής εφαρμογής με *ad hoc* προεκτάσεις. Ο συνδυασμός του HIPERLAN/2 στην συχνότητα των 5GHz με την *ad hoc* επέκταση του προτύπου στη συχνότητα των 60GHz είναι το κύριο θέμα προς συζήτηση. Κύριος στόχος είναι η περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του νέου συστήματος και η έκθεση των προβληματισμών και των θέσεών μας για: την επέκταση του μονοαλματικού τρόπου επικοινωνίας εισάγοντας τον χαρακτήρα των πολλαπλών αλμάτων στη νέα συχνότητα, την εισαγωγή νέων παραμέτρων για την υποστήριξη του QoS άλμα προς άλμα, την εξοικονόμηση ενέργειας για το συνολικό σύστημα και την διαφανή διαδικασία μεταβίβασης της ευθύνης της διαχείρισης της κίνησης ανάμεσα στις δύο συχνότητες. Ο κατευθυντήριος άξονας των προτεινόμενων αλλαγών και μετατροπών δίνεται από την ισχύουσα προδιαγραφή του HIPERLAN/2.

Στο κεφάλαιο 5 προτείνουμε ένα υβριδικό σχήμα δρομολόγησης που βρίσκει εφαρμογή σε δικτυακές τοπολογίες που περιλαμβάνουν και κάποιον αριθμό από τοπικά ασύρματα δίκτυα. Η παρουσία των WLANs αλλά και η ιδιαιτερότητα του περιβάλλοντος

(μέτρια κινητικότητα, υψηλή πυκνότητα κόμβων κοντά στα WLANs και χαμηλή μακριά από αυτά) καθιστούν μία χαρακτηριστική δικτυακή πραγματικότητα που χρήζει ξεχωριστής ερμηνείας και ιδιάζουσας αντιμετώπισης. Βασιζόμενο στα δεδομένα του προβλήματος, το πρωτόκολλο δρομολόγησης έρχεται να καλύψει τις ανάγκες κίνησης της τοπολογίας εκμεταλλευόμενο την σταθερή δομή των WLANs και τον υβριδικό *ad hoc* χαρακτήρα του συστήματος, προσφέροντας νέες δυνατότητες στη λειτουργικότητα των κόμβων και προσπαθώντας να αντιμετωπίσει τα προβλήματα εξοικονόμησης ενέργειας, συμφόρησης και συνδεσιμότητας των απομακρυσμένων κινητών σταθμών.

Κλείνοντας τη σύντομη αναφορά μας στην ύλη που διαπραγματεύεται η παρούσα εργασία, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς και θερμές ευχαριστίες μας στον καθηγητή μας κ.Ιωάννη Σταυρακάκη για την ευκαιρία που μας έδωσε να ασχοληθούμε με ένα τόσο επίκαιρο και σημαντικό επιστημονικό πεδίο, την καθοριστική συμβολή του στην ανάπτυξη και επίλυση των όποιων προβληματισμών σε θέματα που άπτονται της θεωρίας των *ad hoc* δικτύων και την αγαστή συνεργασία μας στις πανεπιστημιακές μας δραστηριότητες.

Γραβάνης Ιωάννης
Βάιος Αθανάσιος

Μάιος 2002

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση προσωπικών υπολογιστών από κινούμενους χρήστες παρουσιάζει ιδιαίτερη αύξηση. Η συνεχόμενη σμίκρυνση των συσκευών και η αύξηση της υπολογιστικής ισχύος των κινητών υπολογιστών (laptops), συνδυάζονται έτσι ώστε να δώσουν τη δυνατότητα καλύτερων εφαρμογών σε ένα αυξανόμενο τμήμα του πληθυσμού. Την ίδια στιγμή, οι αγορές ασύρματων τηλεφώνων και άλλων τηλεπικοινωνιακών συσκευών παρουσιάζουν σημαντική μεγέθυνση. Σύμφωνα με υπολογισμούς, μέχρι το έτος 2002 θα υπάρχουν σε χρήση περισσότερες από 1 δις τέτοιες συσκευές και θα πωλούνται κάθε χρόνο περισσότερες από 200 εκατομμύρια νέες. Η περαιτέρω ανάπτυξη της ασύρματης τηλεφωνίας θα αλλάξει την έννοια του όρου «βρίσκομαι σε επαφή». Ήδη πολλοί άνθρωποι χρησιμοποιούν το τηλέφωνο του γραφείου τους για να λαμβάνουν μηνύματα ενώ απουσιάζουν και βασίζονται στα κινητά τους τηλέφωνα για πιο σημαντικά ή βιαστικά μηνύματα. Πράγματι, τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούνται κυρίως για απλές εργασίες όπως ο εντοπισμός ενός συνεργάτη σε ένα κοσμοβριθές εμπορικό κέντρο ή ένα συνέδριο. Μια παρόμοια μεταστροφή αναμένεται και για τους χρήστες φορητών υπολογιστών οπότε θα δημιουργηθούν νέες εφαρμογές για εξίσου ανιαρές αλλά άμεσα εξυπηρετικές χρήσεις.

Το κυριότερο μέρος της εν λόγω μεταστροφής έχει να κάνει με τη διατήρηση της επαφής με το Internet. Συγκεκριμένα, περιμένουμε να έχουμε το δίκτυο στη διάθεσή μας για τις μικρές εξυπηρετήσεις που αυτό έχει εισάγει στην επαγγελματική μας ζωή. Είναι πιθανό να θέλουμε άμεσα να χρησιμοποιήσουμε ένα χάρτη για να εντοπίσουμε τι είναι διαθέσιμο στη συγκεκριμένη περιοχή. Επίσης, είναι πιθανό να θέλουμε να μας αποσταλούν οδηγίες κατεύθυνσης από κάποιο δικτυακό τόπο, οι οποίες θα βασίζονται στις πληροφορίες που προέρχονται από το σύστημα GPS που είναι εγκατεστημένο στο αυτοκίνητο. Ο συνδυασμός γρήγορων και φθηνών ασύρματων ζεύξεων με επίσης φθηνές συσκευές κινητών υπολογιστών, κάνουν σήμερα πραγματικότητα όλα τα παραπάνω. Στο μέλλον, ο μέσος ταξιδιώτης θα θεωρεί δεδομένες τέτοιες συσκευές.

Σήμερα παρατηρείται σημαντική επέκταση της τεχνολογίας για την υποστήριξη κινούμενων χρηστών υπολογιστών. Όχι μόνο οι υπολογιστές γίνονται πιο ικανοί, αλλά αναπτύσσονται νέες εφαρμογές και προϊόντα ασύρματης μεταφοράς δεδομένων που είναι πολύ πιο βελτιωμένα από αυτά του παρελθόντος. Το εύρος ζώνης που διατίθεται αυτή τη

στιγμή για φορητούς υπολογιστές πάνω από ραδιοζεύξεις και ζεύξεις υπερύθρων είναι 10 ως 100 φορές περισσότερο απ' ό τι 10 χρόνια πριν.

Αυτή η ταχύτατη τεχνολογική πρόοδος έχει ωθήσει εξίσου εντυπωσιακή ανάπτυξη στη ζήτηση για σύνδεση στο δίκτυο κινητών χρηστών. Στο ενσύρματο πεδίο του Ethernet, υπάρχει *plug-and-play* υλικό και λογισμικό, ούτως ώστε οι φορητοί υπολογιστές να μπορούν να επανασυνδέονται με ευκολία ανάλογα με το εκάστοτε τοπικό δίκτυο. Το Internet είναι διαθέσιμο σε όλο τον κόσμο σε όποιον είναι διατεθειμένος να πραγματοποιήσει μια *dial-up* σύνδεση με ένα τοπικό τηλεφωνικό αριθμό. Οι άνθρωποι αρχίζουν να συνηθίζουν στα πλεονεκτήματα του να έχουν μια συχνή και εξυπηρετική πρόσβαση στο Internet. Σαν αποτέλεσμα, όλο και περισσότερη λειτουργικότητα δικτύου θα θεωρείται δεδομένη από τους χρήστες φορητών συσκευών.

Καθώς οι κόμβοι ασύρματου δικτύου πολλαπλασιάζονται και ένας μεγαλύτερος αριθμός πελατών εξοικειώνεται με τις εφαρμογές που απαιτούν τη χρήση του διαδικτύου, είναι φυσικό να αναμένεται η πρόθεση για χρήση των δικτυακών εφαρμογών ακόμα και σε περιπτώσεις όπου το ίδιο το διαδίκτυο δεν είναι διαθέσιμο. Για παράδειγμα, χρήστες φορητών υπολογιστών σε ένα συνέδριο μπορεί να επιθυμούν να επικοινωνήσουν με έναν αριθμό από τρόπους, χωρίς τη μεσολάβηση του διαδικτύου. Όμως σήμερα αυτή η κατά τα άλλα απλή απαίτηση για επικοινωνία, δεν μπορεί να υλοποιηθεί εύκολα χρησιμοποιώντας τα γνωστά πρωτόκολλα του Internet. Οι προτάσεις που θα δούμε στη συνέχεια της εργασίας, δίνουν τη δυνατότητα στους χρήστες κινητών συσκευών να δημιουργήσουν ένα δίκτυο μικρής διάρκειας, για τις επικοινωνιακές ανάγκες της στιγμής, που με άλλα λόγια ονομάζεται *ad hoc* δίκτυο.

Την ίδια στιγμή, υπάρχει μια τεράστια πιθανή αγορά για ενσωματωμένες συσκευές δικτύου σε οχήματα, σε κινητά τηλέφωνα και ίσως ακόμα και σε παιχνίδια και ατομικές συσκευές. Σίγουρα, δεν είναι μακριά η μέρα όπου μια τυπική κούκλα ενός παιδιού θα φέρει μικροεπεξεργαστή και συσκευή τηλεχειρισμού και θα εξαρτάται από την πρόσβαση στο δίκτυο ώστε να αλληλεπιδράσει με την τηλεόραση και τα ηλεκτρονικά παιχνίδια.

Οποιοσδήποτε διαβάσει αυτή την εργασία θα συμφωνήσει ότι η σύγχρονη εποχή των δικτύων αντιπροσωπεύει ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της ανθρωπότητας. Ήδη θεωρούμε δεδομένα αρκετά τμήματά της. Συγκεκριμένα, συχνά θεωρούμε δεδομένη την υποδομή που απαιτείται για την υποστήριξη του τεράστιου εγχειρήματος που έχει να κάνει με τα δίκτυα. Αυτά που πετυχαίνουμε με ένα δίκτυο δεν εξαρτώνται τόσο από την υποδομή. Η ύπαρξη της υποδομής επεκτείνει την κάλυψη των δικτυακών εφαρμογών.

Μόλις συνηθίσουμε τις δυνατότητες των δικτυακών επικοινωνιών και την πραγματοποίηση των καθημερινών εργασιών με τη βοήθεια εφαρμογών που στηρίζονται στα δίκτυα, θα επιθυμούμε τη διαθεσιμότητα αυτών των εφαρμογών οποιαδήποτε στιγμή. Στην πραγματικότητα, πολλοί ερευνητές προβλέπουν ότι κάποια μέρα στο κοντινό μέλλον θα ενεργοποιούμε τις διάφορες εφαρμογές από οπουδήποτε και οποτεδήποτε, χρησιμοποιώντας τα ταχέως αναπτυσσόμενα δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών που κατασκευάζονται σήμερα. Οι επικοινωνιακοί δορυφόροι που περιβάλλουν τη γη θα συμπληρώνουν την υποδομή κυβελωτής (ασύρματης) τηλεφωνίας η οποία εξελίσσεται ακόμα πιο εντατικά στις περισσότερο αναπτυγμένες χώρες.

Οι φορητοί υπολογιστές και οι αντίστοιχες εφαρμογές θα γίνουν απαραίτητοι ακόμα και σε μέρη όπου δεν υπάρχει η κατάλληλη υποδομή. Οι ασύρματες συσκευές θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους ακόμα κι αν δεν υπάρχουν δρομολογητές ή σταθμοί βάσης ή παροχείς υπηρεσιών διαδικτύου (ISPs). Κατά την απουσία υποδομής, απαιτείται οι ίδιες οι ασύρματες συσκευές να πραγματοποιούν τις απαραίτητες λειτουργίες.

1.1. Μοντέλο Λειτουργίας

Σε γενικές γραμμές θα ασχοληθούμε με τους τρόπους που οι ασύρματες συσκευές πραγματοποιούν κρίσιμες για την τοπολογία του δικτύου λειτουργίες, οι οποίες συνήθως είναι δουλειά των δρομολογητών στην υποδομή του Internet. Ο εντοπισμός των συνδέσεων μεταξύ υπολογιστών είναι κάτι τόσο βασικό που ένα δίκτυο υπολογιστών δεν μπορεί εξ' ορισμού να υπάρξει χωρίς αυτό.

Υπάρχουν διαθέσιμα πολλά είδη πρωτοκόλλων που υποστηρίζονται από κάποια υποδομή, είτε σε κάποια συγκεκριμένη επιχείρηση ή στο διαδίκτυο γενικότερα. Τα τελευταία πρωτόκολλα αξίζουν μελέτη, αλλά χρειάζονται προσαρμογή πριν να καταστούν χρήσιμα σε ένα δίκτυο που δεν συνδέεται πλέον με την υποδομή του Internet. Μερικά από αυτά δεν θα είναι κατάλληλα για χρήση όταν δεν είναι διαθέσιμη η υποδομή. Για παράδειγμα, τέτοια είναι τα πρωτόκολλα επικύρωσης πιστωτικών καρτών και διαχείρισης δικτύου.

Από πλευράς ορισμού, ένα *ad hoc* δίκτυο είναι αυτό που δημιουργείται όταν χρειάζεται, χωρίς απαραίτητα την βοήθεια της υπάρχουσας υποδομής. Για παράδειγμα, κάποιος θα μπορούσε να ενεργοποιήσει 15 φορητούς υπολογιστές, ο καθένας από τους οποίους θα φέρει τον ίδιο προσαρμογέα επικοινωνίας μέσω υπέρυθρων ακτίνων, και να ελπίζει ότι θα μπορούσαν να δημιουργήσουν ένα δίκτυο μεταξύ τους. Στην πραγματικότητα,

μια τέτοια ιδιότητα θα ήταν χρήσιμη ακόμα και στη περίπτωση όπου οι υπολογιστές ήταν στάσιμοι.

Στο χώρο σχεδιασμού ενός *ad hoc* δικτύου υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία διαστάσεων. Σκεφθείτε για παράδειγμα, αν η περιοχή ασύρματης μετάδοσης πρέπει να είναι μεγάλη ή μικρή συγκρινόμενη με την γεωγραφική κατανομή των κινητών κόμβων. Αν όλοι οι κινητοί κόμβοι είναι εντός του μεταξύ τους εύρους, τότε δεν χρειάζεται δρομολόγηση και το *ad hoc* δίκτυο είναι εξ' ορισμού πλήρως συνδεδεμένο. Βέβαια ενώ στην πράξη μια τέτοια κατάσταση είναι ιδανική, δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον στον τομέα της δρομολόγησης. Επιπλέον, η ένταση της ισχύος που απαιτείται για επιτευχθεί πλήρης συνδεσιμότητα μπορεί να μην είναι πρακτική, να σπαταλάει υπερβολική ενέργεια, να είναι πολύ ευάλωτη σε εντοπισμό ή ακόμα και παράνομη.

Έτσι, θα συζητήσουμε τις προτάσεις που παρέχουν λύσεις στην περίπτωση που κάποιος από τους κινητούς κόμβους δεν βρίσκονται στην περιοχή κάλυψης των υπολοίπων. Συνδυαζόμενο με την απουσία δρομολογητών υποδομής, το περιορισμένο εύρος της ασύρματης μετάδοσης καταδεικνύει την ανάγκη για δρομολόγηση πολλαπλών αλμάτων (*multihop*).

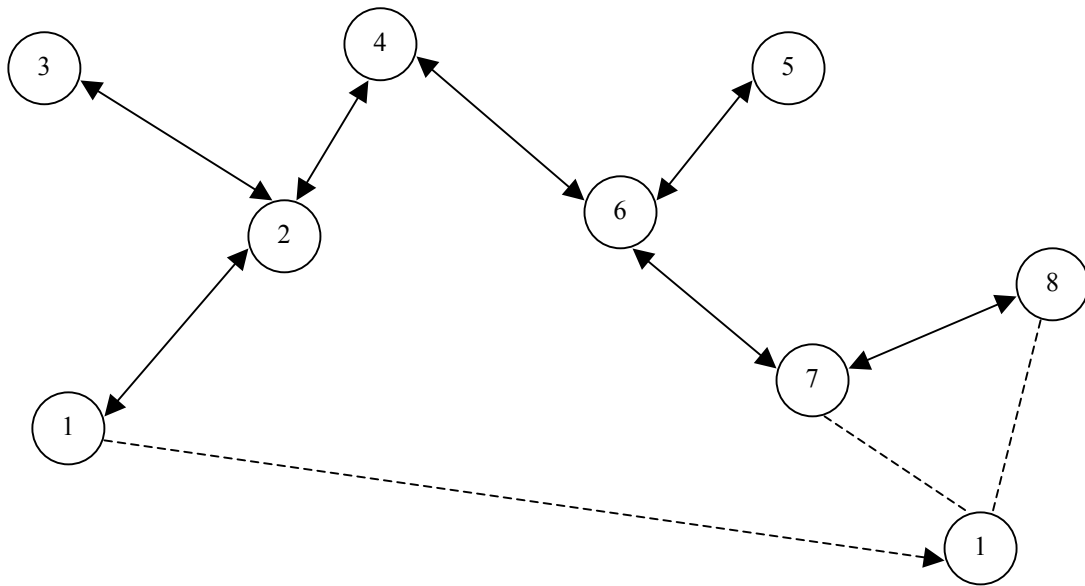
Σαν ένα επιπλέον παράδειγμα, μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι χρήστες των ασύρματων συσκευών μπορούν να μετρήσουν τις σχετικές τους θέσεις και κατ' επέκταση να διαμορφώσουν τους φορητούς υπολογιστές τους χρησιμοποιώντας τις μετρηθείσες αποστάσεις, έτσι ώστε οι απαραίτητες πληροφορίες ζεύξης να είναι διαθέσιμες σε όλους τους κόμβους. Μια τέτοια μορφή θα λειτουργούσε, αλλά δεν θα ήταν και τόσο εξυπηρετική. Ακόμα χειρότερα, οι πληροφορίες ζεύξης πιθανότατα θα άλλαζαν καθώς οι χρήστες κινούνται σε σχέση με τους υπολοίπους. Ουσιαστικά, δεν μας ενδιαφέρει το να απλοποιήσουμε το πρόβλημα σε βάρος της εξυπηρέτησης του χρήστη, αλλά θα περιορίσουμε την προσοχή μας στις προτάσεις που παρέχουν αυτόματη εγκατάσταση της τοπολογίας και δυναμική διαχείριση αυτής, δίνοντας στο χρήστη δυνατότητα κινητικότητας.

Στην εργασία αυτή, η ανάλυση στηρίζεται στα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Οι κόμβοι χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο δικτύου IP και φέρουν διευθύνσεις IP οι οποίες καθορίζονται από ακανόνιστα μέσα
- Οι κόμβοι είναι αρκετά μακριά έτσι ώστε να μην βρίσκονται όλοι στην περιοχή κάλυψης των υπολοίπων
- Οι κόμβοι μπορούν να είναι κινητοί, ούτως ώστε δύο κόμβοι που βρίσκονται στην ίδια περιοχή κάποια χρονική στιγμή να μην βρίσκονται στην ίδια περιοχή αργότερα

- Οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να βοηθούν τους υπολοίπους στη διαδικασία παράδοσης πακέτων δεδομένων.

Ένα παράδειγμα από ένα μικρό *ad hoc* δίκτυο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου παρατίθενται 8 κόμβοι με τις ζεύξεις μεταξύ τους. Οι κόμβοι αυτοί έχουν τη δυνατότητα να κινούνται σε σχέση με τους υπολοίπους. Καθώς συμβαίνει αυτό οι ζεύξεις μεταξύ τους καταστρέφονται και δημιουργούνται νέες. Στο σχήμα, ο κόμβος 1 κινείται μακριά από τον 2 και δημιουργεί καινούργιες ζεύξεις με τους 7 και 8.



Σχήμα 1.1: Ad hoc δίκτυο με κινητούς κόμβους

Οι περισσότεροι αλγόριθμοι επιτρέπουν την εμφάνιση νέων κόμβων και την εξαφάνιση παλαιότερων.

1.1.1. Συμμετρικές Ζεύξεις

Κάποια από τα μοντέλα που θα ασχοληθούμε εξαρτώνται από την ύπαρξη συμμετρικών ζεύξεων επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων σε ένα *ad hoc* δίκτυο. Δυστυχώς, οι ασύρματες ζεύξεις στον πραγματικό κόσμο δεν συμβαδίζουν απαραίτητα με τον παραπάνω συμβιβασμό. Η υπόθεση της συμμετρίας γίνεται επειδή η δρομολόγηση σε δίκτυα με μονόπλευρες ζεύξεις είναι ως γνωστόν αρκετά δύσκολη. Βέβαια, αν το δίκτυο παρουσιάζει υψηλό βαθμό συνδεσιμότητας και σχετικά χαμηλό αριθμό μονόπλευρων ζεύξεων, τότε

μπορούν να εντοπιστούν εναλλακτικές διαδρομές που περιλαμβάνουν αποκλειστικά συμμετρικές ζεύξεις.

Υπάρχει ακόμα ένας παράγοντας που μετριάζει τη σημασία της απόφασης να αγνοηθούν οι ασύμμετρες διαδρομές. Μια μονόπλευρη ζεύξη είναι μερικές φορές στα πρόθυρα κατάρρευσης ούτως ή άλλως. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η επέκταση του βασικού πρωτοκόλλου των *ad hoc* δικτύων έτσι ώστε να αντιμετωπίζει τις μονόπλευρες ζεύξεις μπορεί να προκαλέσει τον προσδιορισμό λιγότερο εύρωστων διαδρομών, πράγμα που οδηγεί σε πρόωρη κατάρρευση του συστήματος και κατ' επέκταση στην ανάγκη για νέο κύκλο αναζήτησης διαδρομής, ο οποίος συνήθως είναι πιο περίπλοκος.

1.1.2. Λύσεις *Ad Hoc* Επιπέδου 2

Τα πρωτόκολλα *ad hoc* δικτύων που θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια της εργασίας στοχεύουν κυρίως στη λειτουργία του επιπέδου 3. Είναι δυνατόν, πρακτικά σε όλες τις περιπτώσεις, να προσαρμοστεί το πρωτόκολλο για χρήση στο επίπεδο 2. Για να γίνει αυτό θα πρέπει αρχικά το πεδίο διεύθυνσης IP να μεγεθυνθεί ώστε να περιλαμβάνει 48 (ή περισσότερα) bits αντί για 32 που απαιτούνται στο IP, αφού η διεύθυνση IEEE MAC έχει τυπικό μήκος 48 ή 64 bits. Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα αφού μια τέτοια προσαρμογή θα χρειαστεί ούτως ή άλλως για να δοθεί η δυνατότητα στο πρωτόκολλο να λειτουργεί σε δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούν διευθυνσιοδότηση IPv6.

Παρόλα αυτά, δεδομένης της ανάπτυξης των εφαρμογών IP στη δημιουργία δικτύων, κάθε εφαρμογή τελικά θα προκαλέσει σε ένα υποσύστημα επικοινωνιών την ανάγκη να «μεταφράσει» τη διεύθυνση IP σε μια γειτονική διεύθυνση του επιπέδου 2, ή αλλιώς σε μια διεύθυνση επιπέδου 2 ενός κόμβου στη γειτονιά, που μπορεί να μεταφέρει τα πακέτα προς την IP διεύθυνση του επιθυμητού προορισμού. Όταν ο πίνακας δρομολόγησης στον κόμβο πηγής έχει τις IP διευθύνσεις των επιθυμητών προορισμών, τότε η προώθηση μέσω IP πλαισιώνει τα δεδομένα με μια επικεφαλίδα επιπέδου 2 που περιέχει τη διεύθυνση προορισμού του επιπέδου 2 για το επόμενο άλμα κατά μήκος του μονοπατιού προς τον τελικό προορισμό.

Η ευχάριστη αυτή κατάσταση εξαλείφεται όμως όταν η δρομολόγηση βασίζεται σε διευθύνσεις επιπέδου 2. Σε αυτή την περίπτωση ο πίνακας δρομολόγησης περιλαμβάνει διευθύνσεις προορισμού επιπέδου 2. Αυτό υπονοεί ότι η IP διεύθυνση του προορισμού θα πρέπει να «μεταφραστεί» σε μια διεύθυνση προορισμού επιπέδου 2 ακόμα κι αν ο

προορισμός βρίσκεται αρκετά άλματα μακριά. Τότε, εκτός αν η αναζήτηση διαδρομής στο επίπεδο 2 κατέχει τις απαραίτητες πληροφορίες διευθυνσιοδότησης επιπέδου 3 με τις κατάλληλες προεκτάσεις, θα απαιτηθούν επιπλέον λειτουργίες αναζήτησης μέσω ευρυεκπομπής. Αν οι πληροφορίες επιπέδου 3 περιλαμβάνονται για καλύτερη απόδοση, τότε η όλη λειτουργία μπορεί να θεωρηθεί ως μια αναζήτηση διαδρομής επιπέδου 3 ούτως ή άλλως, παρά την ασυνήθιστη δομή των δεδομένων για την αποθήκευση των διαδρομών.

1.1.3. Πολυεκπομπή (multicast)

Τα *ad hoc* δίκτυα παρουσιάζουν ενδιαφέρον σε μεγάλο βαθμό λόγω της πρόκλησης να διατηρηθεί το μονοπάτι επικοινωνίας μεταξύ πηγής και προορισμού, ακόμα κι όταν κάποιος από τους ενδιάμεσους κόμβους αναμετάδοσης δεν είναι δυνατό να συνεχίσουν να μεταδίδουν τα πακέτα και πρέπει να αντικατασταθούν από άλλους κόμβους σε εναλλακτικά μονοπάτια. Η διατήρηση μονοπατιών ανάμεσα σε μια πηγή και πολλαπλούς προορισμούς είναι σχετικά πιο δύσκολη εργασία. Δεδομένης της αυξανόμενης σημασίας της πολυεκπομπής σαν μέσο για μείωση της χρήσης του εύρους ζώνης κατά τη μαζική μετάδοση δεδομένων και της πιεστικής ανάγκης για εξοικονόμηση του σπάνιου εύρους ζώνης σε ασύρματα μέσα, είναι φυσικό ότι η δρομολόγηση πολυεκπομπής θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα στα *ad hoc* δίκτυα.

Ένα ανοικτό ερώτημα είναι αν οι αλγόριθμοι δρομολόγησης πολυεκπομπής θα πρέπει να ενσωματωθούν με τους αλγόριθμους δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μονοπατιών επικοινωνίας ανάμεσα σε μοναδικούς κόμβους. Από τη μια πλευρά, το πρόβλημα μπορεί να είναι αρκετά διαφορετικό, ώστε το να προσπαθήσει κάποιος να δημιουργήσει έναν απλό αλγόριθμο που να εξυπηρετεί και τις δυο περιπτώσεις να είναι ανέφικτο. Από την άλλη πλευρά, το πρόβλημα της επαναδημιουργίας μονοπατιών που δημιουργήθηκε από την κίνηση των ενδιάμεσων κόμβων σε μια διαδρομή ή ένα δένδρο μπορεί να υπερισχύει και στις δυο περιπτώσεις.

1.2. Εμπορικές Εφαρμογές *Ad Hoc* Δικτύων

Σε αυτό το τμήμα της εισαγωγής μας θα μελετήσουμε κάποιες πιθανές εφαρμογές για *ad hoc* δίκτυα, οι οποίες μπορούν να παρέχουν τη βάση για εμπορικά επιτυχή προϊόντα. Στην πραγματικότητα, κάθε εμπορικά επιτυχής δικτυακή εφαρμογή μπορεί να θεωρηθεί

υποψήφια για χρήσιμη ανάπτυξη με κόμβους που μπορούν να δημιουργήσουν *ad hoc* δίκτυα. Για παράδειγμα, οι χρήστες των κόμβων σε ένα *ad hoc* δίκτυο μπορεί να επιθυμούν τη μεταφορά ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Αν κάποιοι κόμβοι σε ένα *ad hoc* δίκτυο παρέχουν υπηρεσίες διαδικτύου, οι άλλοι κόμβοι που επιθυμούν να κάνουν χρήση αυτής της υπηρεσίας θα πρέπει να συνδεθούν στον κατάλληλο εξυπηρετητή (server) και να υποστηρίξουν τη συνήθη HTTP κίνηση.

1.2.1. Συνεδριάσεις

Ενδεχομένως η πρώτη εφαρμογή που απαιτεί τη δημιουργία ενός *ad hoc* δικτύου είναι οι τηλεδιασκέψεις. Όταν κάποιοι χρήστες κινητών υπολογιστών βρίσκονται έξω από το συνηθισμένο περιβάλλον εργασίας τους, απουσιάζει όπως είναι φυσικό η υποδομή δικτύου της επιχείρησής τους. Αλλά η ανάγκη για συνεργασία μέσω υπολογιστή είναι μεγαλύτερη σε αυτή την περίπτωση παρά στο περιβάλλον γραφείου. Πράγματι, η όλη ιδέα της συνάντησης μπορεί να είναι η πρόοδος σε ένα συγκεκριμένο κοινό έργο. Με δεδομένο ότι οι σημερινές εργασίες στηρίζονται ιδιαίτερα στους υπολογιστές, για τέτοιες εργασίες που μοιράζονται σε διάφορες εταιρίες είναι απαραίτητη η δυνατότητα δημιουργίας δικτύου *ad hoc*.

Όπως φαίνεται, η εγκατάσταση ενός *ad hoc* δικτύου για συνεργαζόμενους χρήστες κινητών συσκευών είναι απαραίτητη ακόμα και όταν είναι διαθέσιμη η υποδομή του διαδικτύου. Αυτό προκύπτει από το πιθανό *overhead* που απαιτείται όταν χρησιμοποιούνται σταθερές ζεύξεις, οι οποίες συνεπάγονται μη βέλτιστη δρομολόγηση μεταξύ των σημαντικά διαχωρισμένων περιβαλλόντων εργασίας.

1.2.2. Οικιακό Δίκτυο

Σαν ένα άλλο παράδειγμα, σκεφθείτε το σενάριο που θα προκύψει όταν οι ασύρματοι υπολογιστές γίνουν δημοφιλείς στο οικιακό περιβάλλον. Αυτοί οι υπολογιστές θα μεταφέρονται στο περιβάλλον εργασίας αλλά και σε επαγγελματικά ταξίδια. Είναι πολύ πιθανό ότι αυτοί οι υπολογιστές δεν θα έχουν διευθύνσεις IP που να σχετίζονται με την τοπολογία, ειδικά αν συνδέονται για παράδειγμα στο γραφείο των γονιών ή στο σχολείο ενός παιδιού. Έχοντας υπόψη την ευκολία που προσφέρει στο χρήστη η σταθερή διεύθυνση IP, θα ήταν καλό να επιτρέπουμε στις διάφορες κινητές συσκευές να δημιουργούν ένα *ad hoc*

δίκτυο στο σπίτι, ακόμα κι αν στο οικιακό περιβάλλον υπάρχουν ήδη σταθεροί κόμβοι υποδικτύου.

Προσθέστε σε αυτό το γεγονός ότι αποδίδοντας πολλαπλές IP διευθύνσεις σε κάθε κινητό κόμβο με σκοπό την αναγνώριση, θα επιβάλλει επιπλέον διαχειριστικό φόρτο, τότε η εναλλακτική της ανάπτυξης ενός *ad hoc* δικτύου (δημιουργείται αυτόματα όταν και όπου χρειάζεται) φαντάζει πολύ πιο ελκυστική. Τα δίκτυα *ad hoc* προσφέρουν την προοπτική της συνδεσιμότητας σε όλους τους κόμβους του σπιτιού, ανεξάρτητα από το σταθερό σημείο σύνδεσής τους, το οποίο καταδεικνύεται από το πρόθεμα του δικτύου που είναι τμήμα κάθε IP διεύθυνσης. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα όπως το Mobile IP, οι κόμβοι στα οικιακά *ad hoc* δίκτυα λειτουργούν σα να ήταν συνδεδεμένοι στο σταθερό τους περιβάλλον και επιπρόσθετα συμμετέχουν (με μεγαλύτερη απόδοση) σε ένα τοπικό *ad hoc* δίκτυο.

1.2.3. Υπηρεσίες Ανάγκης

Όταν δημιουργείται στο σπίτι ή και μακριά από αυτό, σε μια συνάντηση, ένα *ad hoc* δίκτυο, αντισταθμίζει την έλλειψη υποδομής. Αλλά τι γίνεται στην περίπτωση που η υπάρχουσα υποδομή έχει καταστραφεί ή δεν λειτουργεί για άλλους λόγους; Είμαστε εξοικειωμένοι με περιπτώσεις τοπικής απώλειας ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικών καταστροφών που δοκιμάζουν τη ζωή των ανθρώπων σε ολόκληρο τον κόσμο. Καθώς μεγαλώνει η σημασία του Internet, η απώλεια της σύνδεσης με το δίκτυο σε τέτοιες έκτακτες περιστάσεις γίνεται όλο και πιο αισθητή. Επιπροσθέτως, οι δικτυακές εφαρμογές θα γίνουν πιο σημαντικές για τις υπηρεσίες ανάγκης και έτσι είναι σημαντικό να βρεθούν τρόποι ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία δικτύων ακόμα και αν τα στοιχεία της υποδομής δεν λειτουργούν πλέον σαν αποτέλεσμα μιας καταστροφής.

Τα *ad hoc* δίκτυα μπορούν να βοηθήσουν στο να ξεπεραστεί η βλάβη των δικτύων κατά τη διάρκεια της έκτακτης ανάγκης. Οι κινητές μονάδες θα φέρουν δικτυακό εξοπλισμό σαν υποστήριξη λειτουργιών δρομολόγησης για τις στιγμές που το διαδίκτυο είναι διαθέσιμο και η υποδομή λειτουργεί κανονικά. Με κάποιες από τις τεχνικές και τα πρωτόκολλα που θα δούμε σε επόμενα κεφάλαια οι κινητές μονάδες μπορούν να επεκτείνουν τη χρησιμότητα του δικτυακού εξοπλισμού τους στη διάρκεια κρίσεων. Για παράδειγμα, τα αυτοκίνητα της αστυνομίας και της πυροσβεστικής μπορούν να διατηρούν επαφή για περισσότερο χρόνο και να παρέχουν πληροφορίες πιο γρήγορα όταν συνεργάζονται για τη δημιουργία ενός *ad hoc* δικτύου σε μέρη που ούτως ή άλλως δεν προσφέρεται σύνδεση με το Internet.

1.2.4. Δίκτυα Αισθητήρων

Τελευταία, έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις ιδέες συντονισμού των λειτουργιών και των αναφορών ενός πλήθους μικροσκοπικών αισθητήρων. Τέτοιες συσκευές, φθηνές στην κατασκευή μεγάλων ποσοτήτων, θα μπορούσαν να παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες για το έδαφος ή σε επικίνδυνες περιβαλλοντικές συνθήκες. Επίσης μπορεί να φέρουν ενδείκτες θέσης που θα χρησιμεύουν στον προσδιορισμό της απόστασης (σε μορφή αλμάτων) του κάθε αισθητήρα από ένα σταθερό κόμβο συλλογής στοιχείων.

Τέτοια δίκτυα αισθητήρων έχουν δύο χαρακτηριστικά που επηρεάζουν το σχεδιασμό δικτύων για συλλογή δεδομένων:

- Αφού τοποθετηθούν, οι αισθητήρες παραμένουν στάσιμοι
- Ο πληθυσμός είναι σχεδόν πλήρως ομογενής
- Η ενέργεια των κόμβων είναι περιορισμένη και γι' αυτό απαιτούνται εξεζητημένοι τρόποι προγραμματισμού των μεταδόσεων
- Στην πραγματικότητα, ο χρόνος ζωής της μπαταρίας θα καθορίσει και το χρόνο ζωής του κόμβου

Σαν ένα παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι κάποια επικίνδυνα χημικά διασκορπίστηκαν κατά κάποιο άγνωστο τρόπο λόγω μιας έκρηξης ή κάποιου άλλου είδους ατυχήματος. Αντί λοιπόν να σταλεί προσωπικό έκτακτης ανάγκης που θα μπορούσε να κινδυνεύσει λόγω των επικίνδυνων αερίων και θα έπρεπε να εργάζεται φέροντας άβολο εξοπλισμό προστασίας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αισθητήρες με ασύρματους πομποδέκτες ρίχνοντάς τους από ένα αεροπλάνο που εκτελεί χαμηλή πτήση. Οι αισθητήρες θα δημιουργήσουν τότε ένα *ad hoc* δίκτυο και θα συνεργαστούν ώστε να συγκεντρώσουν τις απαραίτητες πληροφορίες για την αναγνώριση του χημικού. Στρατιωτικές εφαρμογές παρουσιάζουν επίσης σημαντικό ενδιαφέρον.

1.2.5. Άλλες Εφαρμογές

Όταν τα δυναμικά πρωτόκολλα δρομολόγησης εφαρμοστούν ευρέως, τα *ad hoc* δίκτυα θα καταστούν πλήρως διαθέσιμα και θα είναι χρήσιμα με πολλούς τρόπους τους οποίους δεν μπορούμε ακόμα να αντιληφθούμε με δεδομένη την τωρινή εμπειρία μας. Για παράδειγμα, οι πανεπιστημιακοί χώροι μπορούν να γίνουν μεγάλα *ad hoc* δίκτυα καθώς οι φοιτητές και το προσωπικό μαθαίνουν να στηρίζονται στις φορητές συσκευές τους για

επικοινωνία. Η μετάδοση μηνυμάτων και η αναζήτηση πληροφοριών ελέγχεται από τη διατιθέμενη ασύρματη υποδομή ή από τις συνδέσεις *ad hoc* μορφής, ανάλογα με το ποιο είναι πιο εύκολο την κάθε στιγμή.

Όμοια, σε νοσοκομεία, οι απασχολημένοι γιατροί και νοσοκόμες θέλουν να βασίζονται στην υπάρχουσα υποδομή κάποιες στιγμές και στις άμεσες ζεύξεις κάποιες άλλες. Οι επισκέπτες γιατροί και οι τραυματιοφορείς θα μπορούν να επικοινωνούν με τους εσωτερικούς γιατρούς και να λαμβάνουν ή να μεταδίδουν πληροφορίες από τον κατάλληλο εξοπλισμό. Οι εργασίες αυτές θα πραγματοποιούνται τις περισσότερες φορές μέσω της υποδομής αλλά θα πρέπει οι ίδιες επικοινωνίες να μπορούν να υλοποιηθούν και χωρίς τη μεσολάβηση της υποδομής.

Βλέποντάς το βέβαια από άλλη γωνία, το να αναζητούμε εφαρμογές ώστε να δικαιολογήσουμε την ανάπτυξη των *ad hoc* δικτύων είναι σαν να βάζουμε το κάρο πριν από το άλογο. Αυτό που πραγματικά έχει σημασία είναι να κάνουμε την τεχνολογία των επικοινωνιών χρήσιμη για τους ανθρώπους παντού, ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή τη φύση της υπάρχουσας υποδομής.

Όταν κάποιοι άνθρωποι βρίσκονται εντός της περιοχής ασύρματης κάλυψης των υπολοίπων, είναι ατυχές το γεγονός ότι με βάση την παλαιότερη τεχνολογία είναι απαραίτητη η χρήση υποδομής. Με τα *ad hoc* δίκτυα, οι τοπικές επικοινωνίες μπορούν να βασιστούν αποκλειστικά σε τοπικά επικοινωνιακά κανάλια, τεχνολογίες μετάδοσης και αντίστοιχα πρωτόκολλα. Καθώς η τοπική τεχνολογία κερδίζει έδαφος, αναμένουμε να αποδοθεί το κατάλληλο φάσμα για την τοπική χρήση, με δεδομένο ότι το φάσμα στην μπάντα ISM δεν θα επαρκεί για να ικανοποιήσει τις μελλοντικές ανάγκες. Η άνθιση της ασύρματης κυβελωτής τηλεφωνίας σε συνδυασμό με τα *ad hoc* δίκτυα, μπορεί να παρέχει ένα παράδειγμα δημόσιας χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων.

1.3. Τεχνικοί και Επιχειρηματικοί Παράγοντες που Επηρεάζουν τα Ad Hoc Δίκτυα

Οι κόμβοι που περιλαμβάνονται σε ένα *ad hoc* δίκτυο, συχνά θεωρείται ότι φέρουν προκαθορισμένες IP διευθύνσεις ή καθορισμένες με κάποιο τρόπο που δε συνδέεται άμεσα με την θέση τους σε σχέση με την υπόλοιπη τοπολογία του δικτύου. Αυτό διαφέρει σημαντικά από τον τρόπο με τον οποίο προσδίδεται μια IP διεύθυνση σε ένα κόμβο στο Internet. Η δρομολόγηση στο σημερινό διαδίκτυο βασίζεται στην ικανότητα να

συσσωρεύεται πληροφορία συνδεσιμότητας στους IP κόμβους. Η συσσώρευση αυτή βασίζεται στην ανάθεση των IP διευθύνσεων στους κόμβους έτσι ώστε όλοι οι κόμβοι που ανήκουν στην ίδια σύνδεση δικτύου να φέρουν το ίδιο πρόθεμα δρομολόγησης. Στην πράξη, η καλή διαχείριση δικτύου απαιτεί τα γειτονικά δίκτυα να έχουν παρόμοια προθέματα. Το πρωτόκολλο CIDR (Classless Inter-Domain Routing) είναι πολύ αποτελεσματικό στο να μειώνει τον αριθμό των προθεμάτων που πρέπει να μεταδοθούν κατά μήκος του Internet και έτσι επιτρέπει στο σημερινό υλικό δρομολόγησης να διατηρεί τη διευθυνσιοδότηση του Internet. Η διαδικασία συσσώρευσης μπορεί να επαναλαμβάνεται κατά κόρον αν οι διαχειριστές του δικτύου για γειτονικούς τόπους συνεργάζονται χρησιμοποιώντας προθέματα που περιλαμβάνουν μια κοινή αρχική δέσμη bits (π.χ. κοινό μικρότερο πρόθεμα).

Αυτό δημιουργεί μια ιεραρχία από προθέματα – μικρότερα προθέματα που ταιριάζουν στα υψηλότερα επίπεδα της ιεραρχίας. Η συνδεσιμότητα για όλους τους κόμβους στην ιεραρχία μπορεί να περιγραφεί μεταδίδοντας ένα απλό μικρό πρόθεμα. Το γεγονός αυτό μειώνει δραστικά την ποσότητα της πληροφορίας δρομολόγησης που πρέπει να μεταδοθεί και παρέχει την απαραίτητη οικονομία ώστε το διαδίκτυο να συνεχίσει να αναπτύσσεται. Μπορούμε να πούμε λοιπόν ότι η συσσώρευση των πληροφοριών δρομολόγησης είναι το κλειδί για τη δυνατότητα επέκτασης του Internet.

Με τα *ad hoc* δίκτυα όμως μια τέτοια επέκταση δεν είναι εφικτή. Κάποιες προτεινόμενες μέθοδοι προσπαθούν να επανεισάγουν τη συσσώρευση ελέγχοντας τις IP διευθύνσεις των κινητών κόμβων, αλλά αυτό απαιτεί την αλλαγή των διευθύνσεων και κατ' επέκταση των πληροφοριών δρομολόγησης που σχετίζονται με τον κινητό κόμβο, ανάλογα με τη σχετική κίνηση των κόμβων. Δε θα λέγαμε ότι είναι προφανές το κέρδος από την βελτιωμένη συσσώρευση έναντι της περίπλοκης ανακατανομής των διευθύνσεων και των ενημερώσεων των πινάκων δρομολόγησης. Έτσι, η δυνατότητα επεκτασιμότητας που επιτυγχάνεται μέσω της συσσώρευσης στο Internet, δεν είναι διαθέσιμη στα *ad hoc* δίκτυα. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί στη βιωσιμότητα των *ad hoc* αλγορίθμων για υπερβολικά μεγάλο αριθμό κινητών χρηστών. Τα όρια αυτά βασίζονται στη σχετική ταχύτητα της κίνησης μεταξύ των κόμβων. Περισσότερη κίνηση σημαίνει περισσότερη συντήρηση, έτσι ώστε οι διαθέσιμες πληροφορίες δρομολόγησης να παραμένουν χρήσιμες. Στην περίπτωση μη ελεγχόμενης αύξησης της κινητικότητας των κόμβων, κάθε *ad hoc* δίκτυο θα απαιτεί τελικά τόσο πολλή συντήρηση διαδρομών που δεν θα απομένει εύρος ζώνης για τη μετάδοση πακέτων δεδομένων.

1.3.1. Δυνατότητα Επεκτασιμότητας

Λόγω του ότι τα *ad hoc* δίκτυα δεν επιτρέπουν τυπικά την ίδια συσσώρευση που είναι διαθέσιμη στα γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης του Internet, είναι ευάλωτα σε προβλήματα επεκτασιμότητας. Συγκεκριμένα, η απώλεια συσσώρευσης οδηγεί σε μεγαλύτερους πίνακες δρομολόγησης. Υπάρχουν τρόποι να διατηρηθεί η συσσώρευση στα *ad hoc* δίκτυα. Η συσσώρευση και η διευθυνσιοδότηση που χρησιμοποιείται στη δρομολόγηση δε βασίζεται στο IP. Συνεπώς, τα *ad hoc* πρωτόκολλα που βασίζονται στο IP συχνά πρέπει να χρησιμοποιούν επιπλέον μνήμη για να αποθηκεύουν τους πίνακες δρομολόγησης και κύκλους επεξεργασίας ώστε να τους ανατρέχουν.

Η κινητικότητα των κόμβων εισάγει άλλα είδη προβλημάτων επεκτασιμότητας για τα *ad hoc* πρωτόκολλα. Αφού η διαδρομή αλλάζει καθώς ο κόμβος κινείται, θα πρέπει να σταλούν σε όλο το δίκτυο μηνύματα ελέγχου που αντιπροσωπεύουν τις τρέχουσες πληροφορίες συνδεσιμότητας. Αυτά τα μηνύματα ελέγχου θα μεταδίδονται πιο συχνά αν οι κόμβοι κινούνται πιο γρήγορα σε σχέση με τους υπολοίπους γιατί οι ζεύξεις θα καταστρέφονται ή θα δημιουργούνται νέες. Αυτό συνήθως συμβαίνει πραγματικά, εκτός αν η κίνηση των κόμβων παρουσιάζει υψηλή συσχέτιση.

Ο αυξημένος αριθμός μηνυμάτων ελέγχου προσθέτει ένα ακόμη φόρτο στο διαθέσιμο εύρος ζώνης το οποίο είναι ήδη ένας περιοριστικός παράγοντας στην επικοινωνία μεταξύ των κόμβων. Έτσι, τα *ad hoc* πρωτόκολλα έχουν τυπικά σχεδιαστεί ώστε να μειώνουν τον αριθμό των μηνυμάτων ελέγχου, συχνά διατηρώντας πληροφορίες κατάστασης σε καθορισμένους κόμβους. Το μειονέκτημα της διατήρησης αυτών των πληροφοριών είναι ότι μπορεί να ξεπεραστούν και η μόνη λύση για την ενημέρωσή τους είναι η εισαγωγή περισσότερων μηνυμάτων ελέγχου.

Ανάλογα με τις λεπτομέρειες του αλγορίθμου, η μετάδοση των μηνυμάτων ελέγχου μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητο φόρτο στα επιμέρους στοιχεία επεξεργασίας ή επίσης και στο διαθέσιμο εύρος ζώνης. Για παράδειγμα, πρωτόκολλα που υπολογίζουν εκ νέου την τοπολογία ολόκληρου του δικτύου όταν λαμβάνεται μια καινούργια πληροφορία δρομολόγησης επειδή ένας κόμβος δημιούργησε ή κατήργησε μια σύνδεση με ένα από τους γείτονές του, παρουσιάζουν αυξημένους χρόνους σύγκλισης. Τα δεδομένα σε μια τέτοια ενημέρωση διαδρομών πρέπει να επεξεργάζονται σε πολύ μικρό χρόνο σε σχέση με δύο συνεχόμενα γεγονότα που συμβαίνουν στο δίκτυο και οφείλονται στην κινητικότητα των κόμβων. Αλλιώς, το *ad hoc* δίκτυο δεν πρόκειται να σταθεροποιηθεί. Η αστάθεια των

διαδρομών είναι πιθανό να προκαλέσει βρόχους οι οποίοι προκαλούν με τη σειρά τους αναίτια κατανάλωση εύρους ζώνης. Σύμφωνα με το «νόμο του Murphy» αυτά τα προβλήματα εμφανίζονται τη στιγμή που δεν είναι ευπρόσδεκτα ή όταν η επικοινωνία είναι πολύ κρίσιμη.

Οι αλγόριθμοι για τα *ad hoc* δίκτυα πρέπει να αξιολογούνται προσεκτικά και να συγκρίνονται ως προς τη σχετική τους επεκτασιμότητα σε σχέση με την αύξηση του πλήθους των κόμβων και την αυξανόμενη κινητικότητά τους. Αν είναι γνωστές οι μέγιστες τιμές για αυτούς τους αριθμούς, είναι λογικό να υπολογίσουμε πόσα μηνύματα ελέγχου απαιτούνται για τη διαχείριση του δικτύου και να συγκρίνουμε τη συνολική κίνηση λόγω των μηνυμάτων ελέγχου σε σχέση με το συνολικό διαθέσιμο εύρος ζώνης. Όσο η κίνηση ελέγχου καταλαμβάνει ένα μικρό τμήμα του ολικού εύρους ζώνης, τότε το πρωτόκολλο μπορεί να θεωρείται αποδεκτό. Όμοια, ο χρόνος που απαιτείται για τη σύγκλιση θα πρέπει να υπολογίζεται με βάση μια γνωστή τιμή για τη μέγιστη κινητικότητα των κόμβων.

1.3.2. Απαιτούμενη Ενέργεια - Καθυστέρηση

Στα περισσότερα είδη *ad hoc* δικτύων, οι κινητοί κόμβοι λειτουργούν με μπαταρία. Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους γίνεται αυτό. Πρώτον, μεταδίδουν τα δεδομένα στον επιθυμητό αποδέκτη. Αυτή η χρήση της ισχύος δεν αποτελεί τμήμα του *overhead* των *ad hoc* δικτύων. Δεύτερον, ένας κινητός κόμβος μπορεί να προσφέρει τον εαυτό του σαν ενδιάμεσο κόμβο προώθησης των δεδομένων που πρέπει να μεταφερθούν μεταξύ δύο άλλων κόμβων του δικτύου. Η παροχή μιας τέτοιας υπηρεσίας θα κοστίζει σε κατανάλωση ισχύος, αλλά χωρίς αυτή δεν μπορεί να υπάρξει *ad hoc* δίκτυο.

Υπάρχουν ενδιαφέρουσες ερωτήσεις για το πότε ένας κόμβος θα πρέπει να προωθεί κίνηση. Για παράδειγμα, ένας κόμβος με πλήρη ισχύ θα πρέπει να είναι πιο πρόθυμος να προωθήσει δεδομένα για τους γείτονές του από έναν άλλο η ισχύς του οποίου έχει σχεδόν εξαντληθεί. Οι κόμβοι με μειωμένη ενέργεια θα περιορίζουν τις δραστηριότητές τους στο να μεταδίδουν και να λαμβάνουν επείγοντα ή υψηλής προτεραιότητας μηνύματα. Οι κόμβοι – εξυπηρετητές θα προσπαθούν να εξοικονομήσουν εύρος ζώνης για μετάδοση προσωπικών τους δεδομένων στηριζόμενοι στους γειτονικούς τους κόμβους για τη δημιουργία διαδρομών ανάμεσα σε άλλους κόμβους. Άλλοι κόμβοι θα προσπαθούν να ανεξαρτητοποιηθούν από τους γείτονές τους εκμεταλλευόμενοι τις υπηρεσίες προώθησής τους χωρίς όμως να προσφέρουν τίποτα σε αντάλλαγμα. Αν εμφανιστεί μια τέτοια συμπεριφορά θα πρέπει να

ληφθούν μέτρα ώστε αυτοί οι κόμβοι να απομονωθούν και θα πρέπει οι υπηρεσίες να προσφέρονται μόνο σε συνεργάσιμους κόμβους. Το να εντοπιστεί βέβαια μια τέτοια συμπεριφορά είναι πολύ δύσκολο, αν όχι αδύνατο. Για παράδειγμα, η συμπεριφορά ενός κόμβου – φύλλου δεν μπορεί να διαχωριστεί από αυτή ενός μη συνεργάσιμου κόμβου.

Η συμπεριφορά των κόμβων σε ένα *ad hoc* δίκτυο με δεδομένο τον περιορισμό ενέργειας, θα επηρεάζει την ευκολία με την οποία μπορούν να δημιουργηθούν δρόμοι μεταξύ των επιθυμητών σημείων. Αν χρειαστούν περισσότερα μηνύματα ελέγχου για εντοπιστεί ή να διατηρηθεί μια διαδρομή, μπορεί να αυξηθεί η καθυστέρηση. Αν μεταδίδονται περιοδικά κατά μήκος του δικτύου πληροφορίες δρομολόγησης, τότε θα επιβάλλονται μεγαλύτερες απαιτήσεις στην ενέργεια του κάθε κόμβου. Όμως, όσο περισσότερες πληροφορίες δρομολόγησης είναι διαθέσιμες, είναι πιο πιθανό να εντοπιστεί μια καλή διαδρομή όταν απαιτηθεί, χωρίς επιπλέον λειτουργίες ελέγχου. Αυτό γίνεται πραγματικότητα καθώς αυξάνει η συχνότητα περιοδικής μετάδοσης γιατί έτσι είναι πιο πιθανό να ισχύουν οι αποθηκευμένες πληροφορίες. Το να βρεθεί το σημείο ισορροπίας μεταξύ της συχνότητας μετάδοσης των ενημερώσεων μιας διαδρομής και της κατανάλωσης ενέργειας είναι μια πολύ σημαντική σχεδιαστική απόφαση για τα πρωτόκολλα *ad hoc*.

1.3.3. Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων σε Ασύρματα Δίκτυα

Ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια για την πλήρη υιοθέτηση των *ad hoc* δικτύων είναι ο μειωμένος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων – το ίδιο πρόβλημα που καθυστέρησε την υιοθέτηση των ασύρματων υπολογιστών κατά την τελευταία δεκαετία. Τυπικά, μπορούμε να παρατηρήσουμε διαφορά μιας τάξης μεγέθους στην ταχύτητα των ενσύρματων και των ασύρματων δικτύων. Για παράδειγμα, ενώ οι περισσότεροι χρήστες είναι συνηθισμένοι σε ταχύτητες της τάξης των 100 Mbit/sec στο τοπικό Ethernet, οι ασύρματοι χρήστες με μεγάλη δυσκολία πετυχαίνουν ένα αξιόπιστο 10 Mbit/sec. Η πιο κοινές ταχύτητες είναι 1 με 2 Mbit/sec.

Πλέον τείνει να ισχύσει ότι οι ασύρματοι υπολογιστές δεν μπορούν να είναι γενικής χρήσης. Οι ασύρματοι χρήστες πρέπει να προσέχουν να μην χρησιμοποιούν εφαρμογές που απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης. Καθώς όμως πολλές από τις σημερινές εφαρμογές περιλαμβάνουν συναλλαγές με το διαδίκτυο δεν είναι εύκολο ο χρήστης να αποφύγει αυτό το πρόβλημα. Κάθε στιγμή, η επόμενη επιλογή του χρήστη μπορεί να απαιτεί τη «φόρτωση» κάποιας εφαρμογής με μεγάλο κόστος σε εύρος ζώνης ή σε απογοήτευση καθώς ο χρήστης

προσπαθεί να αντιληφθεί τι πήγε στραβά. Συχνά είναι δύσκολο να προσδιοριστεί αν απέτυχε το ίδιο το δίκτυο ή η επιλεγμένη εικόνα για παράδειγμα είναι τόσο μεγάλη που μπλοκάρει όλα τα διαθέσιμα μονοπάτια επικοινωνίας.

Ένα επίσης σχετικό πρόβλημα είναι ο υψηλότερος ρυθμός σφαλμάτων που παρουσιάζουν τα ασύρματα μέσα, σε αντίθεση με τα ενσύρματα. Το πρωτόκολλο TCP έχει σχεδιαστεί ώστε να εκλαμβάνει ένα χαμένο πακέτο ως ένδειξη συμφόρησης του δικτύου και γι' αυτό τείνει να μην αντιδρά σωστά όταν ένα πακέτο χάνεται ή απορρίπτεται λόγω σφαλμάτων. Έτσι, ο ασύρματος χρήστης παρατηρεί ακόμα μεγαλύτερη απώλεια απόδοσης όταν ένας παροδικός θόρυβος ή κάποιο εμπόδιο προκαλέσουν μια προσωρινή αύξηση των σφαλμάτων. Το πρόβλημα αυτό, ενώ απολαμβάνει ιδιαίτερης προσοχής τελευταία, δεν βρίσκεται κοντά στη λύση του. Επιπρόσθετα, υπάρχουν ενδείξεις ότι το TCP αποδίδει χειρότερα από το αναμενόμενο κατά μήκος πολλαπλών ασύρματων αλμάτων.

Καθώς οι υπάρχουσες εφαρμογές διαδικτύου χρησιμοποιούν το TCP και οι ίδιες εφαρμογές αναμένεται να χρησιμοποιηθούν στα *ad hoc* δίκτυα, το TCP θα είναι το πρώτο σε ενδιαφέρον πρωτόκολλο μεταφοράς και στα *ad hoc* δίκτυα. Έτσι, τα προβλήματα με το ρυθμό σφαλμάτων είναι ιδιαίτερης σημασίας για τους σχεδιαστές *ad hoc* δικτύων.

1.3.4. Επίπεδο Μόρφωσης Χρηστών

Πολλά από τα εμπόδια στην εξάπλωση των ασύρματων υπηρεσιών δεδομένων προέρχονται από το επίπεδο μόρφωσης και κουλτούρας των χρηστών. Η επιλογή καταλόγου, η αποφυγή δικτυακών τόπων με τεράστια αρχεία εικόνων και η είσοδος αλφαριθμητικών δεδομένων σε μικρές συσκευές είναι προβληματικές καταστάσεις για τους αμήητους. Όμως, αυτά τα εμπόδια σιγά σιγά εξαφανίζονται καθώς αυξάνεται ο πληθυσμός των PDAs και των τερματικών με WAP. Οι περιορισμοί στις εισόδους από το χρήστη μετριάζονται με τη χρήση απλοποιημένων επιλογών καταλόγου από ειδικά σχεδιασμένους δικτυακούς τόπους.

Τις περισσότερες φορές τα εμπόδια στην αποδοχή των χρηστών είναι οι πιο τετριμμένες ιδιότητες. Οι σύγχρονες ασύρματες συσκευές βασίζονται σε εξωτερικές κεραίες για αξιόπιστη λειτουργία. Όμως παρά τη χρησιμότητά τους οι κεραίες γίνονται πολύ συχνά αντικείμενα ενόχλησης. Για παράδειγμα, κάποιο κινητά τηλέφωνα φέρουν κεραίες που μπορούν να επεκταθούν ώστε να “βελτιώσουν” την ποιότητα της φωνής. Όμως μια τέτοια συσκευή κινδυνεύει συνεχώς να καταστραφεί από την απρόσεκτη χρήση.

1.3.5. Ζητήματα Ασφάλειας

Όπως σε κάθε περίπτωση ασύρματης επικοινωνίας, η κίνηση σε ένα *ad hoc* δίκτυο είναι τρωτή όσον αφορά την ασφάλεια. Το ιδιαίτερο σημείο σε ένα *ad hoc* δίκτυο είναι ότι επιπλέον κίνδυνοι επεκτείνονται ακόμα και στη βασική δομή του δικτύου. Έτσι, οι υπάρχουσες τεχνικές διασφάλισης των πρωτοκόλλων συναλλαγής των ενσύρματων δικτύων θα πρέπει να εφαρμοστούν και στα *ad hoc* δίκτυα. Δυστυχώς αυτό είναι πιο εύκολο να το λες παρά να το κάνεις.

Σε πρώτη φάση, η ασφάλεια των πρωτοκόλλων δρομολόγησης βασίζεται αποκλειστικά στην κατάλληλη μετάδοση ενός κλειδιού που επιτρέπει τη δημιουργία αδιάβλητων στοιχείων αναγνώρισης. Ο σχεδιασμός της ασφαλούς μετάδοσης του κλειδιού σε ένα *ad hoc* δίκτυο είναι μια τρομακτική προοπτική. Κάθε προσπάθεια να βασιστούμε σε μια αρχή πιστοποίησης μοιάζει από πριν καταδικασμένη για τον ίδιο λόγο που είναι προβληματική η κεντρική αρχή. Η κεντροποίηση είναι αντίθετη με τις αρχές των *ad hoc* δικτύων.

Πέρα από αυτό όμως, υπάρχουν επιπλέον προβλήματα με το αυξημένο μήκος των πακέτων που απαιτείται για την πιστοποίηση. Είναι πιθανό ότι όσο πιο ασφαλές γίνεται ένα πρωτόκολλο, γίνεται παράλληλα πιο αργό και δύσκαμπτο. Αυτός ο συνδυασμός χαμηλής απόδοσης και ανιαρής αλλά και μη εξυπηρετικής μετάδοσης και διαμόρφωσης των κλειδιών θα σημαίνει πιθανώς ότι τα πρωτόκολλα *ad hoc* θα παραμείνουν χαρακτηριστικά μη ασφαλή. Η τεχνική Diffie – Hellman για τη μετάδοση κλειδιών θα βοηθήσει στη δημιουργία προσωρινής ασφάλειας μεταξύ συγκεκριμένων τελικών σημείων, αλλά είναι τρωτή σε “επιθέσεις εκ των έσω” πράγμα που είναι ιδιαίτερα δύσκολο να αντιμετωπιστεί σε *ad hoc* περιβάλλον.

1.3.6. Ζητήματα Κάλυψης

Τα κενά στην ασύρματη κάλυψη είναι ταυτόχρονα ένα πρόβλημα αλλά και μια ευκαιρία για τις ομότιμες συσκευές που έχουν τη δυνατότητα δημιουργίας *ad hoc* δικτύων. Απ’ τη μια πλευρά, τα κενά στην κάλυψη δεν δίνουν τη δυνατότητα στους ανθρώπους που βρίσκονται σε αυτές τις περιοχές να επενδύσουν στις περισσότερες υπάρχουσες ασύρματες συσκευές, αφού η λειτουργία αυτών απαιτεί την ύπαρξη υποδομής.

Απ' την άλλη πλευρά, οι άνθρωποι που είναι συνηθισμένοι σε ασύρματη σύνδεση με το διαδίκτυο θα πρέπει πολλές φορές να ταξιδεύουν διαμέσου περιοχών με μη ικανοποιητική κάλυψη. Αυτοί οι άνθρωποι έχουν τα κίνητρα να χρησιμοποιήσουν προϊόντα *ad hoc* δικτύων, έτσι ώστε να επιτείνουν την τοπική συνδεσιμότητα ακόμα και όταν η υποδομή ευρείας κάλυψης δεν μπορεί να λειτουργήσει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

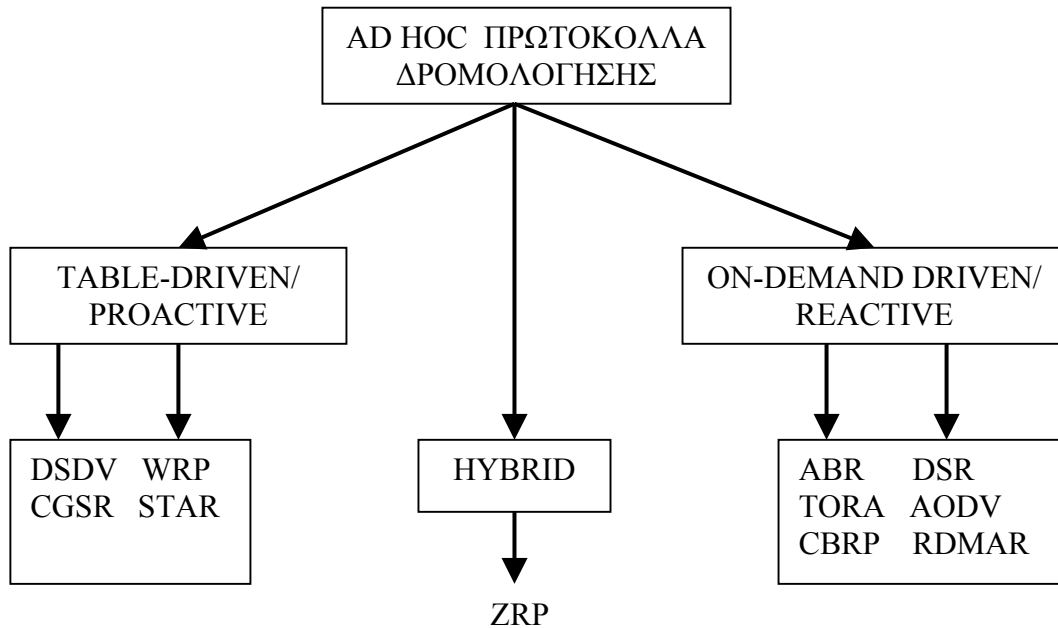
Κάθε κόμβος σε ένα *ad hoc* δίκτυο, εάν προσφερθεί να μεταφέρει μέρος της κίνησης των δεδομένων, συμμετέχει στη δημιουργία της δικτυακής τοπολογίας. Όλη η διαδικασία είναι σχεδόν παρόμοια με τον τρόπο που ενδιαμέσοι κόμβοι, για τις ανάγκες του Internet, ή στα πλαίσια ενός συλλογικού δικτύου, συνεργάζονται για την κατασκευή της σταθερής δομής δρομολόγησης. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για το Internet παρέχουν την αναγκαία πληροφορία για κάθε κόμβο, ώστε να προωθηθούν τα πακέτα στο επόμενο άλμα προς την κατεύθυνση του τελικού προορισμού.

Αυτή η παρατήρηση δίνει το κίνητρο σε όποια προσπάθεια προσαρμογής ήδη υπαρχόντων πρωτοκόλλων δρομολόγησης προς χρήση σε *ad hoc* δίκτυα. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι αυτό-εκκινούμενα, προσαρμόζονται στις αλλαγές ενός δικτύου, και σχεδόν εξ ορισμού προσφέρουν μονοπάτια πολλαπλών αλμάτων διαμέσου του δικτύου, από την πηγή προς τον προορισμό. Από την περιγραφή αυτή, είναι εύκολο να διαπιστώσει κανείς γιατί θα ήταν επιθυμητό να διαχειριζόμαστε τις αλλαγές της τοπολογίας σε ένα *ad hoc* δίκτυο ζητώντας από όλους τους ενδιαμέσους κόμβους – κατά την προώθηση της πληροφορίας – να λειτουργούν κατά έναν όμοιο τρόπο πρωτοκόλλου δρομολόγησης.

Επομένως, η τυχαιότητα και η μεταβλητότητα της τοπολογίας ενός *ad hoc* δικτύου απαιτούν την διαμόρφωση κανόνων σύμφωνα με τους οποίους δρομολογείται η κίνηση των δεδομένων ανάμεσα στους κόμβους. Σ' αυτό το σημείο έγκειται και ο ουσιαστικός ρόλος που πρέπει να παίζουν τα σχήματα δρομολόγησης.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1, αυτά τα πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν γενικά να κατηγοριοποιηθούν στα: α) *table-driven/proactive* και β) *source-initiated/on-demand*. Υπάρχει επίσης η κατηγορία των υβριδικών (*hybrid*) σχημάτων δρομολόγησης που, στην ουσία, συνδυάζει χαρακτηριστικά και των δύο παραπάνω κατηγοριών.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου, θα περιγράψουμε την φιλοσοφία των κυριότερων πρωτοκόλλων δρομολόγησης που συναντούμε στη βιβλιογραφία και θα καταλήξουμε σε αναφορές στις πρόσφατες ερευνητικές δραστηριότητες σχετικά με το θέμα της δρομολόγησης στα *ad hoc* δίκτυα.



Σχήμα 2.1: Κατηγορίες σχημάτων δρομολόγησης

2.1. Table-driven Προσεγγίσεις

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που ανήκουν στην κατηγορία των *table-driven* προσεγγίσεων επιδιώκουν να διατηρήσουν συνεκτική και συνεχώς ενημερωμένη την πληροφορία δρομολόγησης από κάθε κόμβο σε οποιοδήποτε άλλο κόμβο στο δίκτυο. Αυτά τα σχήματα δρομολόγησης απαιτούν από κάθε κόμβο να διατηρεί έναν ή περισσότερους πίνακες ώστε να συντηρεί την πληροφορία δρομολόγησης, και να έχει τη δυνατότητα να ανταποκρίνεται στις αλλαγές της δικτυακής τοπολογίας με την διάδοση αναφορών για τους υπάρχοντες δρόμους για την συντήρηση μίας συνεκτικής άποψης για το δίκτυο. Οι περιοχές όπου διαφέρουν είναι ο αριθμός των απαραίτητων πινάκων που σχετίζονται με τη δρομολόγηση και οι μέθοδοι με τις οποίες γνωστοποιούνται οι αλλαγές στην δομή του δικτύου στο σύνολο των κόμβων.

2.1.1. Destination Sequenced Distance Vector – DSDV

Το σχήμα δρομολόγησης DSDV ανήκει στην κατηγορία των πρωτοκόλλων *table-driven* και βασίζεται στον κλασικό αλγόριθμο δρομολόγησης των Bellman - Ford. Η βελτίωση που έγινε είναι η αποφυγή των βρόχων δρομολόγησης σε ένα κινητό δίκτυο από δρομολογητές. Κάθε κόμβος στο κινητό δίκτυο διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης μέσα στον οποίο καταγράφονται όλοι οι πιθανοί προορισμοί μέσα στα όρια του δικτύου, με τους

οποίους μπορεί να συνδεθεί, και ο αριθμός των αλμάτων για κάθε προορισμό. Επομένως, η πληροφορία δρομολόγησης είναι πάντοτε άμεσα διαθέσιμη, άσχετα από το αν ο κόμβος της πηγής χρειάζεται μία διαδρομή ή όχι.

Ένα σύστημα διαδοχικής αρίθμησης χρησιμοποιείται για να επιτραπεί στους κινητούς χρήστες να διακρίνουν παλιές και άκυρες διαδρομές από τις νέες. Οι ενημερώσεις των πινάκων δρομολόγησης στέλνονται περιοδικά σε όλο το δίκτυο για να διατηρήσουν τη συνοχή τους. Αυτό μπορεί, μολαταύτα, να προκαλέσει μεγάλη κίνηση πακέτων ελέγχου στο δίκτυο, υποβάλλοντας μία μη αποδοτική χρησιμοποίηση των δικτυακών πόρων. Για να προσπεραστεί αυτό το πρόβλημα, το DSDV εφαρμόζει δύο τύπους πακέτων για την ενημέρωση των διαδρομών. Το πρώτο είναι γνωστό ως *full dump*. Αυτός ο τύπος πακέτου μεταφέρει όλη την διαθέσιμη πληροφορία δρομολόγησης και μπορεί να απαιτεί πολλαπλές μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου δικτύου (Network Protocol Data Units – NPDUs). Κατά την διάρκεια περιόδων συνήθους κίνησης, αυτά τα πακέτα δεν μεταδίδονται συχνά. Μικρότερα *incremental* πακέτα χρησιμοποιούνται για την προώθηση μόνο της πληροφορίας που έχει αλλάξει από το τελευταίο *full dump*.

Οι νέες ευρυεκπομπές για διαδρομές θα περιέχουν την διεύθυνση του κόμβου προορισμού, τον αριθμό των αλμάτων που απαιτούνται για τον εν λόγω προορισμό, τον αριθμό σειράς της λαμβανόμενης πληροφορίας που σχετίζεται με τον προορισμό, όπως επίσης και ένα νέο σειριακό αριθμό, μοναδικό για κάθε ευρυεκπομπή. Ο δρόμος που έχει μαρκαριστεί με τον πιο πρόσφατο σειριακό αριθμό (σε αύξουσα σειρά) επιλέγεται πάντα. Στην περίπτωση που δύο ενημερώσεις έχουν τον ίδιο σειριακό αριθμό, χρησιμοποιείται εκείνη με τον μικρότερο αριθμό αλμάτων.

2.1.2. *Wireless Routing Protocol* – WRP

Η καινοτομία του WRP σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η αποφυγή βρόχων. Στο WRP, οι κόμβοι δρομολόγησης επικοινωνούν και ανταλλάσσουν πληροφορία για την απόσταση και τα άλματα από το δεύτερο μέχρι και το τελευταίο, για κάθε προορισμό στο ασύρματο δίκτυο. Το WRP ανήκει στην κατηγορία των αλγορίθμων εύρεσης μονοπατιού με μία σημαντική εξαίρεση. Αποφεύγει τα προβλήματα μέτρησης μέχρι το άπειρο με το να υποχρεώνει κάθε κόμβο να εκτελεί ελέγχους συνοχής σε προηγούμενες πληροφορίες που αναφέρθηκαν από όλους τους γείτονές του. Αυτό τελικά περιορίζει κάθε

πιθανότητα βρόχου και παρέχει ταχύτερη σύγκλιση δρόμου όταν συμβαίνει ένα γεγονός αποτυχίας μίας ζεύξης.

Στο WRP, οι κόμβοι μαθαίνουν για την ύπαρξη των γειτόνων τους από την απόδειξη των επιβεβαιώσεων και άλλα μηνύματα. Αν ένας κόμβος δεν στέλνει πακέτα, πρέπει να στείλει ένα HELLO μήνυμα μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ώστε να διασφαλίσει την έγκυρη κι άμεση πληροφορία συνδεσιμότητας. Αλλιώς, η έλλειψη μηνυμάτων από τον κόμβο μπορεί να υποδείξει την αποτυχία αυτής της ασύρματης ζεύξης, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει λανθασμένο συναγερμό. Όταν ένα κινητό λαμβάνει ένα HELLO μήνυμα από ένα νέο κόμβο, αυτή η νέα πληροφορία για τον κόμβο προστίθεται στον πίνακα δρομολόγησης του κινητού, και το κινητό στέλνει στο νέο κόμβο ένα αντίγραφο από την πληροφορία που έχει στον πίνακα δρομολόγησής του.

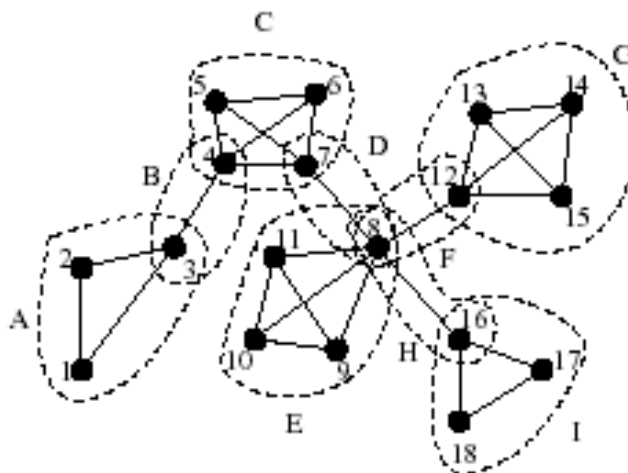
Το WRP πρέπει να διατηρεί τέσσερις πίνακες, ονομαστικά: α) πίνακας απόστασης, β) πίνακας δρομολόγησης, γ) πίνακας κόστους ζεύξης, και δ) πίνακας λίστας επαναμεταδιδόμενων μηνυμάτων (Message Retransmission List – MRL). Ο πίνακας απόστασης αναφέρει τον αριθμό αλμάτων μεταξύ ενός κόμβου και του προορισμού του. Ο πίνακας δρομολόγησης αναφέρει τον κόμβο κατά το επόμενο άλμα. Ο πίνακας κόστους ζεύξης αντανακλά την συσχέτιση μεταξύ καθυστέρησης και μίας συγκεκριμένης ζεύξης. Ο MRL περιλαμβάνει τον σειριακό αριθμό των μηνυμάτων ενημέρωσης, έναν μετρητή επαναμετάδοσης, ένα διάνυσμα σημαίας που απαιτεί επιβεβαίωση, και μία λίστα από επιβεβαιώσεις που στάλθηκαν με τα αντίστοιχα μηνύματα. Ο MRL καταγράφει ποιες ενημερώσεις σε ένα μήνυμα πρέπει να ξαναμεταδοθούν και ποιοι γείτονες πρέπει να επιβεβαιώσουν την επαναμετάδοση.

Για να διασφαλιστεί η ακρίβεια της πληροφορίας δρομολόγησης, τα κινητά στέλνουν περιοδικά μηνύματα ενημέρωσης στους γείτονές τους. Ένα τέτοιο μήνυμα περιλαμβάνει μία λίστα από ενημερώσεις (τον προορισμό, την απόσταση από τον προορισμό, τον προκάτοχο του προορισμού), όπως επίσης και μία λίστα από απαντήσεις που υποδεικνύουν ποιο κινητό τερματικό θα έπρεπε να επιβεβαιώσει την ενημέρωση. Ένα κινητό στέλνει μηνύματα ενημέρωσης αφού επεξεργαστεί τις ενημερώσεις από τους γείτονες ή όταν ανιχνεύσει μία αλλαγή στη ζεύξη. Στην περίπτωση μιας αποτυχίας στην ζεύξη, οι κόμβοι που ανιχνεύουν τη βλάβη θα στείλουν μηνύματα ενημέρωσης στους γείτονές τους, και αυτοί οι γείτονες θα τροποποιήσουν τις εισόδους στους πίνακες απόστασης και θα ελέγξουν για νέα πιθανά μονοπάτια μέσω άλλων κόμβων.

2.1.3. Cluster Switch Gateway Routing – CSGR

Το CSGR είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης όπου οι κινητοί κόμβοι ταξινομούνται σε ομάδες και κάθε ομάδα έχει έναν επικεφαλής. Αυτή η ομαδοποίηση εισάγει μία μορφή ιεραρχίας. Ένας επικεφαλής ομάδας μπορεί να ελέγξει έναν αριθμό από κινητά τερματικά, και η ομαδοποίηση προσφέρει ένα πλαίσιο εργασίας για το διαχωρισμό του κώδικα (ανάμεσα στις ομάδες), την πρόσβαση στο μέσο, τη δρομολόγηση, και την παραχώρηση εύρους ζώνης. Για την επιλογή του επικεφαλής, εφαρμόζεται ένας καταναμημένος αλγόριθμος επιλογής. Αν και η χρησιμοποίηση ενός επικεφαλής ομάδας επιτρέπει κάποιο βαθμό ελέγχου και συνεργασίας, από την άλλη πλευρά υποθέτει την εξάρτηση από άλλους κόμβους μέσα στην ομάδα. Όταν ένας επικεφαλής της ομάδας κινηθεί μακριά, κάποιος άλλος επικεφαλής πρέπει να εκλεγεί. Αυτό μπορεί να είναι προβληματικό αν ένας επικεφαλής αλλάζει συχνά και οι κόμβοι σπαταλούν μεγάλο μέρος του χρόνου συγκλίνοντας προς το νέο επικεφαλής αντί να προωθούν δεδομένα προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Για να αποφευχθεί η πρόκληση επανεκλογής επικεφαλής κάθε φορά που η σύσταση της ομάδας αλλάζει, εισάγεται ένας αλγόριθμος κατά τον οποίο οι επικεφαλής αλλάζουν μόνο όταν δύο επικεφαλής έρθουν σε επαφή ή όταν ένας κόμβος κινηθεί έξω από τα όρια όλων των άλλων επικεφαλής.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.2, παραπάνω, ένας αριθμός από κόμβους (18 στην συγκεκριμένη περίπτωση) μπορούν να χωριστούν σε ομάδες (Α μέχρι Ι) ανάλογα με την τοπολογία του δικτύου που συνιστούν και την συνδεσιμότητα κάθε κινητού τερματικού. Στη συνέχεια, σε κάθε ομάδα επιλέγεται ο επικεφαλής και γίνεται διαπραγμάτευση για τους κόμβους-πύλες που θα είναι υπεύθυνοι για την ανταλλαγή της πληροφορίας με τις άλλες ομάδες.



Σχήμα 2.2: Ομαδοποίηση των κόμβων

Το CGSR χρησιμοποιεί το DSDV ως υποκείμενο σχήμα δρομολόγησης. Παρόλ' αυτά, τροποποιεί το DSDV χρησιμοποιώντας μία ιεραρχική προσέγγιση δρομολόγησης με την βοήθεια της σύνδεσης του επικεφαλής μίας ομάδας και του κόμβου-πύλης για τη δρομολόγηση της κίνησης από την πηγή προς τον προορισμό. Οι κόμβοι-πύλες είναι κόμβοι που βρίσκονται μέσα στην περιοχή εμβέλειας δύο ή περισσότερων επικεφαλής ομάδων. Ένα πακέτο που στέλνεται από ένα κόμβο δρομολογείται, αρχικά, προς τον επικεφαλής, κι έπειτα το πακέτο κατευθύνεται από τον επικεφαλής προς μία πύλη για έναν άλλο επικεφαλής, και ούτω καθεξής μέχρι να βρεθεί ο επικεφαλής της ομάδας στην οποία ανήκει ο κόμβος του προορισμού.

Στο CGSR, κάθε κόμβος πρέπει να διατηρεί ένα πίνακα μελών της ομάδας, όπου αποθηκεύει τον επικεφαλής-κόμβο προορισμού για κάθε ένα κινητό τερματικό στο δίκτυο. Αυτοί οι πίνακες εκπέμπονται παντού, περιοδικά, από κάθε κόμβο με την βοήθεια του πρωτοκόλλου DSDV. Οι κόμβοι που θα λάβουν αυτή την ενημέρωση θα ανανεώσουν τους δικούς τους πίνακες ώστε να διασφαλίσουν την εγκυρότητά τους. Επιπρόσθετα, κάθε κόμβος πρέπει να διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης, ο οποίος χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του επόμενου άλματος προς την κατεύθυνση του προορισμού. Μόλις λάβει ένα πακέτο, ένας κόμβος θα συμβουλευτεί τους πίνακες δρομολόγησης και μελών ομάδας ώστε να καθορίσει τον κοντινότερο επικεφαλής κατά μήκος της διαδρομής προς τον προορισμό. Ο κόμβος, στη συνέχεια, ελέγχει τον πίνακα δρομολόγησης του για να καθορίσει τον κόμβο του επόμενου άλματος ώστε να φθάσει στον επικεφαλής της ομάδας. Συνοπτικά, οι ενημερώσεις χρειάζονται τόσο για τον πίνακα δρομολόγησης όσο και για τον πίνακα μελών ομάδας στο CSGR.

2.2. Source initiated/On demand Προσεγγίσεις

Αυτός ο τύπος δρομολόγησης δημιουργεί μονοπάτια μόνο όταν είναι επιθυμητό από τον κόμβο της πηγής. Όταν ο κόμβος απαιτεί ένα δρόμο για τον προορισμό, εκκινεί μία διαδικασία εύρεσης δρόμου μέσα στα όρια του δικτύου. Αυτή η διεργασία ολοκληρώνεται μόλις βρεθεί μία διαδρομή έχουν εξεταστεί όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί δρόμων. Όταν ανακαλυφθεί κι εγκατασταθεί μία διαδρομή, διατηρείται με την βοήθεια ενός είδους διαδικασίας συντήρησης του δρόμου μέχρι είτε ο προορισμός να καταστεί μη προσβάσιμος από οποιοδήποτε μονοπάτι από την πηγή, είτε η διαδρομή να μην είναι πλέον επιθυμητή.

2.2.1. *Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing – AODV*

Το AODV πρωτόκολλο δρομολόγησης βασίζεται στην δομή του αλγορίθμου DSDV που περιγράφηκε παραπάνω. Το AODV είναι μία βελτιωμένη έκδοση του DSDV επειδή, τυπικά, ελαχιστοποιεί τον αριθμό των απαιτούμενων ευρυεκπομπών με το να δημιουργεί διαδρομές μόνο κατ' απαίτηση, ερχόμενο σε αντίθεση με την φιλοσοφία της διατήρησης μίας ολόκληρης λίστας από διαδρομές, όπως συνέβαινε στον αλγόριθμο DSDV. Οι κόμβοι, που δεν συμμετέχουν σε ένα επιλεγθέν δρόμο, δεν διατηρούν πληροφορία δρομολόγησης ή συμμετέχουν σε ανταλλαγές των πινάκων δρομολόγησης.

Όταν ο κόμβος της πηγής θέλει να στείλει ένα μήνυμα σε κάποιον προορισμό και δεν έχει ήδη έναν έγκυρο δρόμο επικοινωνίας για αυτόν, εκκινεί μία διαδικασία εύρεσης δρόμου ώστε να προσδιορίσει το πού βρίσκεται ο άλλος κόμβος. Στέλνει παντού μία αίτηση δρόμου (RouteREQuest – RREQ) υπό την μορφή πακέτου στους γειτονικούς κόμβους, οι οποίοι, με την σειρά τους, προωθούν την αίτηση στους δικούς τους γείτονες, μέχρι να βρεθεί ο επιθυμητός κόμβος ή να προσδιοριστεί ένας ενδιάμεσος κόμβος που έχει έγκυρη πληροφορία για τον προορισμό. Το AODV χρησιμοποιεί σειριακούς αριθμούς απόστασης για να εξασφαλίσει ότι όλες οι διαδρομές δεν θα περιέχουν βρόχους και να περιλάβει την πιο πρόσφατη κι έγκυρη πληροφορία δρομολόγησης. Κάθε κόμβος διατηρεί το δικό του σειριακό αριθμό, όπως επίσης κι ένα αναγνωριστικό ευρυεκπομπής ID. Το ID αυξάνεται για κάθε RREQ που εκκινείται από τον κόμβο, και μαζί με την διεύθυνση IP του κινητού, πιστοποιεί μοναδικά ένα πακέτο RREQ. Εκτός από τον σειριακό του αριθμό και το ID, ο κόμβος της πηγής περιλαμβάνει στο RREQ τον πιο πρόσφατο σειριακό αριθμό που έχει για τον προορισμό. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι μπορούν να απαντήσουν στο RREQ μόνο όταν έχουν μία διαδρομή προς τον προορισμό με αντίστοιχο σειριακό αριθμό μεγαλύτερο ή ίσο με αυτό που περιέχεται στο RREQ.

Κατά την διεργασία της προώθησης του RREQ, οι ενδιάμεσοι κόμβοι καταγράφουν στους πίνακες δρομολόγησής τους τις διευθύνσεις των γειτόνων από τους οποίους έλαβαν το πρώτο αντίγραφο του πακέτου ευρυεκπομπής, κι έτσι καταστρώνουν ένα αντίστροφο μονοπάτι. Εάν πρόσθετα αντίγραφα του ίδιου RREQ ληφθούν αργότερα, αυτά τα πακέτα θα απορριφθούν σιωπηρά. Μόλις το RREQ πακέτο φθάσει στον προορισμό ή σε έναν ενδιάμεσο κόμβο με πρόσφατη πληροφορία για τον προορισμό, ο προορισμός/ενδιάμεσος κόμβος απαντά στέλλοντας μία απάντηση δρόμου (RouteREPLY – RREP) σε μορφή πακέτου πίσω στον γειτονικό κόμβο από τον οποίο έλαβε πρώτα το RREQ. Όπως το RREP

δρομολογείται πίσω κατά την αντίστροφη πορεία, οι κόμβοι κατά μήκος αυτής της διαδρομής ενημερώνουν τους πίνακες δρομολόγησης τις εισόδους της πρόσθιας διαδρομής που σχετίζονται με τον κόμβο από τον οποίο προήλθε το RREP πακέτο. Με αυτό τον τρόπο υποδεικνύεται και ο ενεργός πρόσθιος δρόμος. Με κάθε είσοδο της διαδρομής συσχετίζεται ένας χρονιστής, ο οποίος και προκαλεί την διαγραφή της εισόδου αν δεν χρησιμοποιείται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Επειδή ένα RREP προωθείται από το μονοπάτι που δημιουργήθηκε από ένα RREQ, το AODV υποστηρίζει μόνο την χρησιμοποίηση συμμετρικών ζεύξεων.

Στο AODV, οι ζεύξεις διατηρούνται με τον εξής τρόπο: εάν ένας κόμβος κινηθεί, πρέπει να επανεκκινήσει το πρωτόκολλο εύρεσης διαδρομής ώστε να βρει ένα νέο δρόμο για τον προορισμό. Αν κάποιος ενδιάμεσος, προς τον προορισμό, κόμβος κινηθεί, ο κείμενος προς την αντίθετη πορεία γείτονάς του αντιλαμβάνεται την κίνηση και μεταδίδει ένα μήνυμα γνωστοποίησης αποτυχίας της ζεύξης σε κάθε ένα από τους ενεργούς γείτονες - προς την αντίθετη από την κατεύθυνση του προορισμού πορεία – ώστε να τους ενημερώσει για την διαγραφή αυτού του κομματιού του δρόμου. Αυτοί οι κόμβοι, στην συνέχεια, διαδίδουν την γνωστοποίηση της αποτυχίας της ζεύξης προς τους κείμενους κατά την αντίθετη πορεία γειτονικούς κόμβους, και ούτω καθεξής, μέχρι να βρεθεί ο κόμβος της πηγής. Ο κόμβος της πηγής μπορεί έπειτα να επιλέξει την επανεκκίνηση της εύρεσης δρόμου για τον συγκεκριμένο προορισμό εάν είναι επιθυμητός κάποιος δρόμος για τις ανάγκες της επικοινωνίας.

Μία πρόσθετη πλευρά του πρωτοκόλλου είναι η χρησιμοποίηση των μηνυμάτων HELLO που είναι περιοδικές τοπικές ευρυεκπομπές που γίνονται από έναν κόμβο για να πληροφορήσει κάθε κινητό τερματικό για άλλους κόμβους στην γειτονιά τους. Τα μηνύματα HELLO μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διατηρήσουν την τοπική συνδεσιμότητα ενός κόμβου. Παρόλ' αυτά, δεν είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση των HELLO μηνυμάτων. Οι κόμβοι ακούν τις επαναμεταδόσεις των πακέτων δεδομένων ώστε να διασφαλίσουν ότι το επόμενο άλμα εξακολουθεί να βρίσκεται εντός της περιοχής εμβέλειας-επαφής. Εάν μία τέτοια επαναμετάδοση δεν ακουστεί, ο κόμβος μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε από μία πλειάδα τεχνικών, συμπεριλαμβανομένης και της αποδοχής των μηνυμάτων HELLO. Τα HELLO μηνύματα μπορούν να καταγράψουν τους άλλους κόμβους από τους οποίους ένα κινητό έχει ακουστεί, και με αυτό τον τρόπο να παράγουν μεγαλύτερη γνώση για την συνδεσιμότητα του δικτύου.

2.2.2. *Dynamic Source Routing - DSR*

Το DSR πρωτόκολλο είναι ένα σχήμα δρομολόγησης που βασίζεται στην ιδέα της δρομολόγησης της πηγής. Απαιτείται από το μέρος των κινητών σταθμών να διατηρούν στη μνήμη τους διαδρομές που περιλαμβάνουν μονοπάτια τα οποία είναι γνωστά στους κόμβους. Οι εισοδοί σε αυτές τις κρυφές διαδρομές ενημερώνονται συνεχώς για ολοένα και περισσότερους δρόμους.

Το πρωτόκολλο αποτελείται από δύο βασικές φάσεις: α) εύρεση διαδρομής, και β) διατήρηση δρόμου. Όταν ένα κινητό τερματικό έχει ένα πακέτο για να στείλει σε κάποιο προορισμό, συμβουλευέται πρώτα τις διαδρομές που διατηρεί στην μνήμη του (κρυφές διαδρομές), για το κατά πόσο γνωρίζει, ήδη, μία διαδρομή προς τον προορισμό. Εάν έχει στην διάθεσή του μία έγκυρη διαδρομή για τον κόμβο του προορισμού, θα χρησιμοποιήσει το δρόμο αυτό για να στείλει το πακέτο. Από την άλλη πλευρά, εάν ο κόμβος δεν έχει μία τέτοια διαδρομή, εκκινεί την διαδικασία εύρεσης δρόμου στέλνοντας με την μέθοδο της ευρεκτομής ένα πακέτο RREQ. Αυτό το πακέτο αίτησης δρόμου περιλαμβάνει την διεύθυνση του προορισμού, μαζί με την διεύθυνση του κόμβου της πηγής και ένα μοναδικό αναγνωριστικό αριθμό. Κάθε κόμβος που λαμβάνει το πακέτο ελέγχει για το αν γνωρίζει μία διαδρομή προς τον προορισμό. Εάν δεν γνωρίζει, προσθέτει την δικιά του διεύθυνση στο αρχείο της διαδρομής που περιλαμβάνεται στο πακέτο και, έπειτα, προωθεί το πακέτο στις απερχόμενες ζεύξεις. Για να περιορίσει τον αριθμό των αιτήσεων δρόμου που μεταδίδονται στις απερχόμενες ζεύξεις ενός κόμβου, το κινητό προωθεί το πακέτο αίτησης μονάχα όταν η αίτηση δεν έχει ήδη εξυπηρετηθεί από τερματικό και αν η διεύθυνση του κόμβου δεν έχει ακόμη εμφανιστεί στο αρχείο δρόμου. Η απάντηση δρόμου (RREP) παράγεται όταν είτε η αίτηση δρόμου φθάνει στον προορισμό από μόνη της, είτε φθάνει σε κάποιον ενδιάμεσο κόμβο που περιλαμβάνει στις κρυφές διαδρομές ένα έγκυρο μονοπάτι επικοινωνίας για τον προορισμό. Από την στιγμή που το πακέτο φτάσει είτε στον προορισμό είτε σε έναν τέτοιο ενδιάμεσο κόμβο, περιλαμβάνει ένα αρχείο δρόμου που υποδεικνύει την σειρά των αλμάτων που πραγματοποιήθηκαν.

Αν ο κόμβος που παράγει το RREP πακέτο είναι ο προορισμός, τοποθετεί το αρχείο δρόμου που περιλαμβάνεται στο RREQ μέσα στο RREP. Αν ο αποκρινόμενος κόμβος είναι ένας ενδιάμεσος κόμβος, επισυνάπτει την κρυφή του διαδρομή στο αρχείο δρόμου και έπειτα παράγει το πακέτο RREP. Για να επιστρέψει το RREP, ο αποκρινόμενος κόμβος πρέπει να έχει μία διαδρομή προς τον εκκινήτη της διαδικασίας εύρεσης του δρόμου. Εάν έχει έναν

δρόμο προς τον κόμβο-εκκινητή στην μνήμη που διατηρεί τις διαδρομές, μπορεί να τον χρησιμοποιήσει. Σε διαφορετική περίπτωση, εάν υποστηρίζονται συμμετρικές ζεύξεις, ο κόμβος μπορεί να αντιστρέψει την πορεία που διαγράφεται μέσω του αρχείου δρόμου. Αν δεν υποστηρίζονται συμμετρικές ζεύξεις, το κινητό ενδέχεται να εκκινήσει μία δικιά του διαδικασία εύρεσης δρόμου και προσαρτεί το RREP πάνω σε ένα νέο RREQ.

Η διατήρηση του δρόμου επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης των πακέτων σφάλματος δρόμου (RouteError) και επιβεβαιώσεων. Τα πακέτα RERR παράγονται σε ένα κόμβο όταν το επίπεδο ζεύξης δεδομένων αντιμετωπίζει ένα αναπόφευκτο πρόβλημα μετάδοσης. Η πηγή πάντοτε σταματά να εκπέμπει όταν διακόπτεται ο δρόμος. Όταν λαμβάνεται ένα πακέτο RERR, το άλμα στο οποίο παρουσιάζεται το σφάλμα απομακρύνεται από την κρυφή μνήμη του κόμβου και όλες οι διαδρομές που περιλαμβάνουν αυτό το άλμα διακόπτονται στο σημείο αυτό. Επιπρόσθετα με τα μηνύματα RERR, χρησιμοποιούνται επιβεβαιώσεις για την επαλήθευση της σωστής λειτουργίας των ζεύξεων της διαδρομής. Τέτοιες επιβεβαιώσεις περιλαμβάνουν παθητικές επιβεβαιώσεις (όταν ένα κινητό είναι ικανό να ακούσει το επόμενο άλμα και στην συνέχεια να προωθήσει το πακέτο κατά μήκος της διαδρομής).

2.3. Υβριδικά Σχήματα Δρομολόγησης

Τα υβριδικά σχήματα δρομολόγησης εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα τόσο των *reactive* όσο και των *proactive* πρωτοκόλλων. Με αυτό τον τρόπο επινοούνται πρωτόκολλα δρομολόγησης με μεγαλύτερες δυνατότητες και ευρύτερο φάσμα εφαρμογών στις περιπτώσεις τοπολογιών με μεγάλη τυχαιότητα και έντονη κινητικότητα.

2.3.1. Zone Routing Protocol – ZRP

Το ZRP ανήκει στην κατηγορία των υβριδικών πρωτοκόλλων ενσωματώνοντας τις δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα και των δύο βασικών κατηγοριών σχημάτων δρομολόγησης. Μία ζώνη δρομολόγησης είναι παρόμοια με μία ομάδα (cluster) με την διαφορά ότι κάθε κόμβος ενεργεί ως επικεφαλής μιας ομάδας και μέλος άλλων ομάδων. Οι ζώνες μπορεί να αλληλεπικαλύπτονται. Κάθε κόμβος προσδιορίζει μία ακτίνα ζώνης με όρους ραδιοαλμάτων. Το μέγεθος μιας επιλεγμένης ζώνης μπορεί, επομένως, να επηρεάσει την απόδοση της επικοινωνίας *ad hoc*.

Στο ZRP, μία ζώνη δρομολόγησης αποτελείται από μερικούς κινητούς κόμβους μέσα στα πλαίσια ενός, δύο, ή περισσότερων αλμάτων μακριά από τον κεντρικό κόμβο. Μέσα στα όρια της ζώνης, χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που βασίζεται και εκκινείται από την διατήρηση πινάκων (table-driven). Αυτό σημαίνει ότι οι ενημερώσεις για τους δρόμους διενεργούνται για τους κόμβους μέσα στα όρια κάθε ζώνης. Κάθε κινητό τερματικό, επομένως, έχει μία διαδρομή για οποιοδήποτε άλλο κόμβο μέσα στην ζώνη που ανήκει. Αν ο κόμβος του προορισμού βρίσκεται έξω από την ζώνη της πηγής, χρησιμοποιείται μία μέθοδος εύρεσης δρόμου που βασίζεται σε διαδικασίες κατ' απαίτηση (on-demand).

Το ZRP έχει τρία υπό-πρωτόκολλα: (α) το *proactive Intrazone Routing Protocol* (IARP), (β) το *reactive Interzone Routing Protocol* (IERP), και (γ) το *Bordercast Resolution Protocol* (BRP). Το IARP μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας μεθόδους δρομολόγησης που βασίζονται στις καταστάσεις των ζεύξεων και στα διανύσματα απόστασης. Η παραγόμενη πληροφορία δρομολόγησης διαδίδεται μέχρι το σύνορο της ζώνης δρομολόγησης και όχι σε όλο το δίκτυο.

Το IARP στηρίζεται σε ένα υποκείμενο πρωτόκολλο ανεύρεσης γειτόνων για την ανίχνευση της παρουσίας και απουσίας γειτονικών κόμβων, κι επομένως, την αξιολόγηση της συνδεσιμότητας των ζεύξεων αυτών των κόμβων. Ο βασικός του ρόλος είναι η διασφάλιση ότι κάθε κόμβος μέσα στην ζώνη έχει ένα συνεκτικό πίνακα δρομολόγησης που είναι πλήρως, εγκαίρως και επαρκώς ενημερωμένος, ενώ ταυτόχρονα απεικονίζει την πληροφορία για το πώς κάποιο κινητό μπορεί να φθάσει οποιοδήποτε άλλο κόμβο μέσα στην ζώνη.

Το IERP, από την άλλη πλευρά, στηρίζεται στους συνοριακούς κινητούς σταθμούς οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την εκτέλεση του *reactive* κομματιού δρομολόγησης για να βρεθεί η απαραίτητη πληροφορία για τα κινητά που ανήκουν σε άλλες ζώνες. Αντί να επιτρέπεται η ευρυεκπομπή των αιτήσεων να διεισδύσει στο σύνολο των κόμβων μέσα στις άλλες ζώνες, οι συνοριακοί σταθμοί σε άλλες ζώνες που λαμβάνουν αυτό το μήνυμα δεν θα το προωθήσουν περαιτέρω. Το IERP χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο ανάλυσης της συνοριακής εκπομπής.

Επειδή σε μέρη ενός *ad hoc* δρόμου εφαρμόζονται διαφορετικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, τα χαρακτηριστικά αυτών θα είναι στην ουσία διαφορετικά. Μερικά μέρη της διαδρομής εξαρτώνται από την καθαυτή σύγκλιση του δρόμου, ενώ τα υπόλοιπα εξαρτώνται από το κατά πόσο ακριβής είναι η ευρεθείσα διαδρομή μέσα στα όρια της ίδιας της ζώνης. Αυτό μπορεί να εξασφαλίσει τη σταθερότητα ενός δρόμου με ιδιαίτερη δυσκολία.

Χωρίς τον κατάλληλο έλεγχο των αιτήσεων, το ZRP μπορεί, πραγματικά, να αποδίδει χειρότερα από τα προδιαγραμμένα πρωτόκολλα που βασίζονται στην μέθοδο της πλημμύρας.

Η διεργασία της εύρεσης δρόμου του ZRP είναι, επομένως, μία εξέταση στον πίνακα δρομολόγησης και /ή μία έρευνα εύρεσης δρόμου μέσα στα πλαίσια της ζώνης. Όταν ένας δρόμος δεν είναι πλέον έγκυρος εξαιτίας της κινητικότητας των κόμβων, εάν η πηγή της κινητικότητας βρίσκεται μέσα στην ζώνη, θα αντιμετωπιστεί όπως και ένα γεγονός αλλαγής της κατάστασης μιας ζεύξης και θα προκληθεί η παραγωγή και διάδοση ενημερώσεων όπως και στην *proactive* μέθοδο, ενημερώνοντας όλους τους κόμβους μέσα στην ζώνη. Αν η πηγή της κινητικότητας είναι αποτέλεσμα ενός συνοριακού κόμβου ή άλλων κινητών τερματικών στη ζώνη, τότε η αποκατάσταση της διαδρομής εκτελείται με την μορφή της έρευνας για ένα δρόμο, ή στην χειρότερη περίπτωση, ο κόμβος της πηγής ενημερώνεται για την αποτυχία του δρόμου.

Πρέπει να σημειώσουμε, κλείνοντας την αναφορά μας στα πιο γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης, ότι αρκετά ακόμη είναι τα ευρέως γνωστά σχήματα που συναντάμε στην βιβλιογραφία, όπως:

- ***Temporally Ordered Routing Algorithm – TORA***
- ***Signal Stability Routing –SSR***
- ***Location-Aided Routing – LAR***
- ***Source Tree Adaptive Routing – STAR***
- ***Associativity-Based long-lived Routing – ABR***

2.4. Σύγχρονη Έρευνα πάνω σε Θέματα Δρομολόγησης στα *Ad Hoc* Δίκτυα

Οι ερευνητικές τάσεις πάνω σε θέματα δρομολόγησης για τα *ad hoc* δίκτυα σχετίζονται, κυρίως, με την προσπάθεια εφαρμογής ενός αλγορίθμου που θα αντιμετωπίζει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τέτοιων τοπολογιών και θα δρομολογεί με αποδοτικό τρόπο και αξιόπιστα τα πακέτα δεδομένων μέσα στα όρια του δικτύου.

Οι έρευνες κατευθύνονται προς δύο σημαντικές παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν κάνουμε λόγο για δρομολόγηση σε *ad hoc* δίκτυα:

- Εξοικονόμηση ενέργειας
- Υποστήριξη QoS

2.4.1. Εξοικονόμηση Ενέργειας

Ένα *ad hoc* δίκτυο αποτελείται από μία ομάδα από κινητούς, ασύρματους κόμβους που συνεργάζονται για την προώθηση των πακέτων με τρόπο πολυαλματικό και χωρίς την βοήθεια κεντροποιημένης διαχείρισης. Στα *ad hoc* δίκτυα, κάθε κινητός σταθμός λειτουργεί και σαν δρομολογητής και σαν τερματικός κόμβος είτε πρόκειται για την πηγή είτε για τον προορισμό. Επομένως, η αποτυχία της λειτουργίας κάποιου κόμβου μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του δικτύου, ακόμη και να επηρεάσει την βασική διαθεσιμότητά του, για παράδειγμα σε θέματα δρομολόγησης. Από την στιγμή που οι κινητοί κόμβοι συνήθως λειτουργούν με την υποστήριξη μπαταρίας στα *ad hoc* δίκτυα, η ενεργειακή εξάντληση αυτών έχει γίνει μία από τις βασικές απειλές για την διαθεσιμότητα τέτοιων δικτύων.

Τα τελευταία χρόνια, ένας αριθμός από μελέτες έχουν γίνει σε διαφορετικά επίπεδα, όπως το επίπεδο MAC και το επίπεδο εφαρμογών για να επιτευχθεί η επιθυμητή διατήρηση της ενέργειας των κόμβων. Παρακάτω θα ασχοληθούμε μόνο, ενδεικτικά, με την δρομολόγηση στο επίπεδο του δικτύου. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που δεν λαμβάνουν υπόψη τους θέματα ενέργειας τείνουν να χρησιμοποιούν τα ίδια μονοπάτια για συγκεκριμένες απαιτήσεις κίνησης, με αποτέλεσμα την γρήγορη εξάντληση ενέργειας από τους κόμβους που λαμβάνουν μέρος στους ενεργούς δρόμους, εάν οι απαιτήσεις κίνησης είναι υψηλές και συγκεντρωμένες σε μέρος, μόνο, του δικτύου. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να γίνει πολύ σοβαρό όταν υποστηρίζονται εφαρμογές πολυμέσων, από την στιγμή που η κίνηση διαρκεί πολύ και ο όγκος των δεδομένων που μεταφέρονται είναι σχετικά υψηλός, για παράδειγμα η διανομή φωνής ή ροής *video*. Καθώς η χρήση των εφαρμογών πολυμέσων γίνεται ολοένα και περισσότερο ευρέως διαδεδομένη στα *ad hoc* περιβάλλοντα, τα ζητήματα που ανακύπτουν από την προσπάθεια διατήρησης της ενέργειας καθίστανται ιδιαίτερα σημαντικά.

Ενώ μια σειρά από προσεγγίσεις σε σχήματα δρομολόγησης, που λαμβάνουν υπόψη τους ενεργειακά θέματα, έχει προταθεί, αυτές μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τους επιδιωκόμενους στόχους τους. Ο στόχος της πρώτης κατηγορίας εστιάζεται στην προσπάθεια ελαχιστοποίησης της συνολικά καταναλωθείσας ενέργειας κατά την μετάδοση πακέτων, το οποίο και ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας ανά πακέτο. Παρόλ' αυτά, αυτές οι προσεγγίσεις μπορεί να διακρίνονται για το ίδιο μειονέκτημα που παρουσιάζουν και οι κλασικές μέθοδοι δρομολόγησης, εάν τα ίδια μονοπάτια

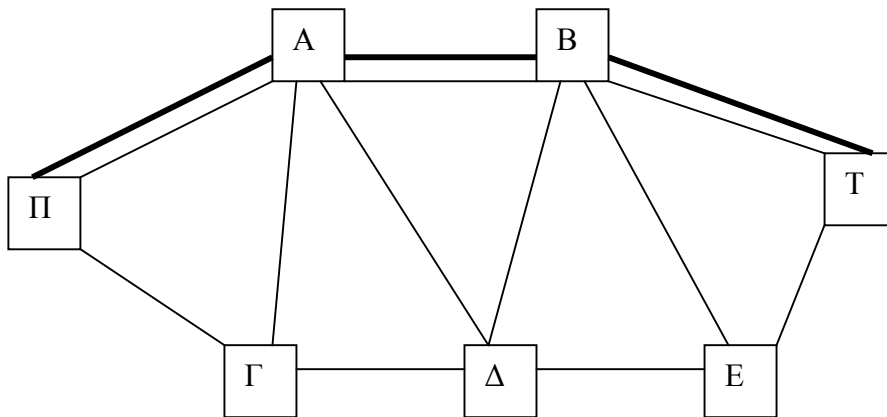
χρησιμοποιούνται επανειλημμένως, κι αυτό εξαιτίας της ελάχιστης κατανάλωσης ενέργειας. Ο στόχος της δεύτερης κατηγορίας είναι η μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής του συστήματος που ορίζεται ως η διάρκεια από την εκκίνηση της υπηρεσίας μέχρι την πρώτη στιγμή που κάποιος από τους κόμβους εξαντλεί τα ενεργειακά του αποθέματα. Αυτή η οπτική δείχνει περισσότερο ενδιαφέρον στην εξισορρόπηση του φόρτου ανάμεσα στους κόμβους ώστε να επιμηκυνθεί ο χρόνος της υπηρεσίας, παρά στην ελαχιστοποίηση της ενέργειας για κάθε ανεξάρτητη μετάδοση πακέτου. Οι αλγόριθμοι που προτείνονται στοχεύουν στην μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής του συστήματος στην περίπτωση μίας στατικής τοπολογίας με πλήρη γνώση των απαιτήσεων κίνησης.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα ασχοληθούμε με δύο πρωτόκολλα που λαμβάνουν υπόψη τους το ζήτημα της ενέργειας: (α) το *Request-Delay Routing Protocol* (RDRP) και (β) το *Max-Min Routing Protocol* (MMRP). Αυτά, έχουν ως στόχο την μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής του συστήματος σε ένα δυναμικό *ad hoc* δίκτυο χωρίς καμία, εκ των προτέρων, πληροφορία για απαιτήσεις κίνησης. Με μια μικρή τροποποίηση στον μηχανισμό εύρεσης δρόμου του DSR, τα παρουσιαζόμενα σχήματα δρομολόγησης μπορούν να επιτύχουν καλύτερη διανομή του φόρτου ανάμεσα στους κόμβους, που έχει σαν αποτέλεσμα έναν μεγαλύτερο χρόνο ζωής για το δίκτυο.

Το DSR, θυμίζουμε, ότι είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που λειτουργεί κατά απαίτηση ενός δρόμου επικοινωνίας κι εφαρμόζεται σε μικρού μεγέθους *ad hoc* δίκτυα. Όταν μία πηγή επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον προορισμό, εκκινεί μία διαδικασία εύρεσης δρόμου πλημμυρίζοντας ένα πακέτο αίτησης δρόμου που περιέχει κάποιο αναγνωριστικό. Καθώς τα πακέτα αίτησης πλημμυρίζουν το δίκτυο, κάθε κόμβος προσθέτει την δικιά του διεύθυνση σε ένα πίνακα δρομολόγησης μέσα σε αυτά τα πακέτα. Για να περιοριστούν τα παραγόμενα αντίγραφα των πακέτων αιτήσεων, με το που λαμβάνει κάποιος κόμβος μία αίτηση, την ελέγχει και αν βρει την δικιά του διεύθυνση ήδη καταχωρημένη στην διαδρομή ή έχει από πριν μεταδώσει ένα παλιότερο αντίγραφο με τον ίδιο αναγνωριστικό αριθμό, την απορρίπτει. Όταν ο προορισμός λαμβάνει ένα πακέτο αίτησης, μπορεί απλά να αντιστρέψει την καταχωρημένη διαδρομή για να επικοινωνήσει με την πηγή, ή να χρησιμοποιήσει την ίδια διαδικασία εύρεσης δρόμου μέχρι την αρχική πηγή. Σε κάθε κινητό τερματικό, οι διαδρομές γίνονται γνωστές κατά την διάρκεια της διαδικασίας εύρεσης δρόμου και διατηρούνται για κάποιο χρονικό διάστημα με σκοπό την μελλοντική τους χρήση σε μεταδόσεις.

Η διατήρηση κρυφών διαδρομών από πλευράς του DSR, του επιτρέπει να έχει την καλύτερη απόδοση, σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας, συγκριτικά με πολλά

πρωτόκολλα δρομολόγησης. Χωρίς, όμως, την εκτίμηση ενεργειακών θεμάτων, οποιοδήποτε σχήμα δρομολόγησης μπορεί να υποφέρει από ταχεία διακοπή της λειτουργία του δικτύου υπό την παρουσία της συγκεντρωμένης μορφής της κίνησης. Στην περίπτωση του DSR, από την στιγμή που κάθε κόμβος θα μεταδίδει μόνο το πρώτο αντίγραφο κάθε αίτησης, ο δρόμος στο πρώτο πακέτο που λαμβάνεται από ένα κόμβο προορισμού, είναι συνήθως το μικρότερο μονοπάτι το οποίο και θα χρησιμοποιείται συνεχόμενα. Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε την περίπτωση όπου μία δικτυακή τοπολογία (σχήμα 3) παρουσιάζει υψηλή κίνηση μεταξύ των κόμβων Π και Τ. Η συνεχόμενη χρήση του μονοπατιού (Π, Α, Β, Τ) θα αδειάσει, σύντομα, τις μπαταρίες των κόμβων Α και Β, που στην συνέχεια, τελικά, θα μειώσει τον χρόνο ζωής του συνολικού συστήματος.



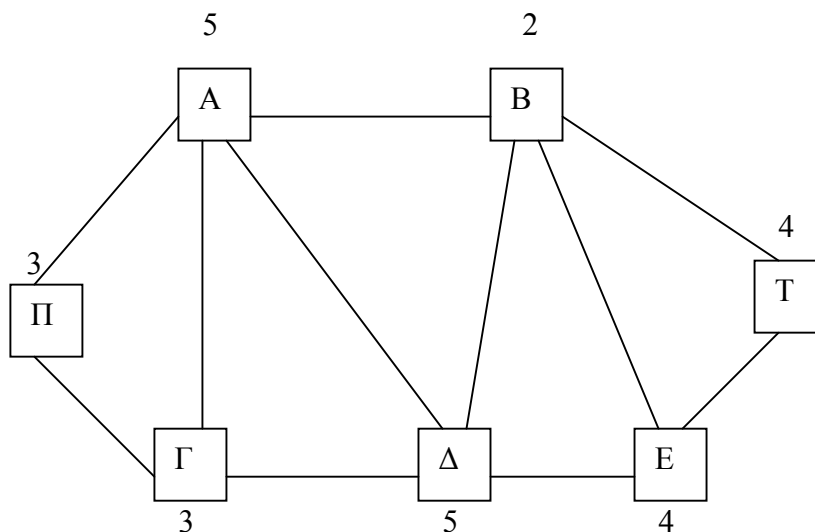
Σχήμα 2.3: Παράδειγμα δικτύου

2.4.1.1. Request-Delay Routing Protocol – RDRP

Η κοινή λογική των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που λαμβάνουν υπόψη τους τα θέματα ενέργειας είναι ότι οι αποφάσεις δρομολόγησης θα έπρεπε να βασίζονται στο ενεργειακό επίπεδο του κάθε κόμβου. Ο κύριος στόχος των προσεγγίσεων που θα παρουσιάσουμε είναι μία άρτια εξισορρόπηση της ενέργειας μεταξύ των κινητών τερματικών, η οποία και τελικά θα έχει ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη διάρκεια της υπηρεσίας στο δίκτυο. Αν αναλογιστούμε το παράδειγμα του σχήματος 3, μπορούμε καθαρά να διαπιστώσουμε ότι η χρησιμοποίηση του ίδιου συντομότερου μονοπατιού θα μείωνε τον χρόνο ζωής του συστήματος και, συνεπώς, θα πρέπει να αποφεύγεται. Άρα, η βασική ιδέα που κρύβεται πίσω από τέτοια σχήματα δρομολόγησης είναι η χρησιμοποίηση διαφορετικών

δρόμων για την επικοινωνία αντί της συνεχόμενης χρησιμοποίησης μιας μοναδικής διαδρομής.

Η ιδέα του πρωτοκόλλου RDRP είναι η ακόλουθη: Με την λήψη ενός πακέτου αίτησης δρόμου, κάθε κόμβος αρχικά κρατάει το πακέτο για μία χρονική περίοδο που είναι αντιστρόφως ανάλογη με την τρέχουσα ενεργειακή του κατάσταση. Μετά από αυτή την περίοδο αναμονής, ο κόμβος προωθεί την αίτηση. Αυτός ο απλός μηχανισμός καθυστέρησης στηρίζεται στο γεγονός ότι κάθε κινητό τερματικό δέχεται μόνο την αίτηση που έφθασε πιο νωρίς και απορρίπτει όλες τις υπόλοιπες που είναι όμοιες. Με τον μηχανισμό αυτό, τα πακέτα αιτήσεων που προέρχονται από τους κόμβους με χαμηλό ενεργειακό επίπεδο μεταδίδονται μετά από μεγαλύτερη καθυστέρηση στους γείτονες. Έτσι, είναι πολύ πιθανό να απορριφθούν σε σχέση με εκείνα τα πακέτα που προέρχονται από τους κόμβους με υψηλότερα επίπεδα ενέργειας. Αυτή η διαδικασία εύρεσης δρόμου συνεχίζει μέχρι να λάβει ο κόμβος του προορισμού το πρώτο πακέτο αίτησης, του οποίου τα καταχωρημένα μονοπάτια, ίσως, να αποτελούνται από τα κινητά τερματικά με τα μεγαλύτερα ενεργειακά αποθέματα. Για παράδειγμα ας σκεφτούμε ένα *ad hoc* δίκτυο του σχήματος 2.4, όπου φαίνεται το ενεργειακό επίπεδο κάθε κόμβου.



Σχήμα 2.4: Παράδειγμα δικτύου με επίπεδο ενέργειας

Ο δρόμος επικοινωνίας από τον κόμβο Π στον κόμβο Τ μπορεί να είναι το μονοπάτι (Π, A, Δ, E, T) αν χρησιμοποιηθεί το σχήμα RDRP, από την στιγμή που οι κόμβοι Γ ή Δ μπορούν να καθυστερήσουν την προώθηση του πακέτου περισσότερο από τους υπόλοιπους εξαιτίας του χαμηλού επιπέδου ενέργειας. Το πρωτόκολλο αυτό δίνει την δυνατότητα σε αυτά τα πακέτα αιτήσεων που διασχίζουν τους κόμβους του δικτύου που έχουν υψηλά ενεργειακά αποθέματα να φτάνουν στον προορισμό πρώτα. Σημειώνουμε ότι η εφαρμογή

του RDRP απαιτεί την ελάχιστη τροποποίηση στους τοπικούς κόμβους προσθέτοντας έναν μηχανισμό καθυστέρησης. Παρόλ' αυτά, το τίμημα αυτής της μεθόδου είναι η εισαγωγή καθυστέρησης στην διαδικασία εύρεσης δρόμου.

2.4.1.2. *Max-Min Routing Protocol* – MMRP

Το δεύτερο πρωτόκολλο είναι το MMRP. Αυτό το σχήμα δρομολόγησης απαιτεί ένα πεδίο τιμής για την ενέργεια, που θα περιλαμβάνεται σε ένα πακέτο αίτησης. Κάθε φορά που ένας κόμβος προωθεί ένα πακέτο αίτησης δρόμου, προσθέτει, μαζί με την διεύθυνσή του, στο πακέτο αίτησης την τρέχουσα ενεργειακή του κατάσταση. Εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι ένας κόμβος του προορισμού μπορεί να έχει πολλαπλά πακέτα αιτήσεων που περιλαμβάνουν διαφορετική πληροφορία για την δρομολόγηση. Στο DSR, ο προορισμός δέχεται μονάχα το πρώτο πακέτο αίτησης που πιθανά να περιέχει το συντομότερο μονοπάτι, και απορρίπτει οποιοδήποτε επόμενο όμοιο πακέτο. Παρόλ' αυτά, η βασική ιδέα πίσω από το MMRP είναι να αφήσει τον κόμβο του προορισμού να χρησιμοποιήσει επιπρόσθετη πληροφορία δρόμου από τα πολλαπλά πακέτα αίτησης δρόμου. Μόλις ο κόμβος του προορισμού λάβει το πρώτο πακέτο αίτησης, θέτει σε λειτουργία ένα χρονόμετρο και περιμένει για περισσότερα πακέτα αίτησης δρόμου που περιέχουν πρόσθετη πληροφορία δρομολόγησης. Ο προορισμός επιλέγει μία διαδρομή επικοινωνίας από αυτά τα διαθέσιμα πολλαπλά μονοπάτια. Σημειωτέον ότι τα μονοπάτια αυτά είναι ασυσχέτιστα μεταξύ τους, δηλαδή δεν περιέχουν κοινούς κόμβους εκτός της πηγής και του προορισμού. Αυτό συμβαίνει επειδή κάθε κινητό τερματικό απορρίπτει πακέτα αίτησης με τον ίδιο αναγνωριστικό αριθμό. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε το σχήμα 2.4, όπου το πρώτο μονοπάτι είναι το $P(1) = (\Pi, A, B, T)$ από τον Π στον T , κι έτσι το μονοπάτι $(\Pi, \Gamma, \Delta, B, T)$ δεν είναι διαθέσιμο από την στιγμή που ο B θα απορρίψει όλα τα επόμενα πακέτα αίτησης δρόμου εκτός του αρχικού. Άρα το επόμενο μονοπάτι θα είναι το $P(2) = (\Pi, \Gamma, \Delta, E, T)$. Αφού η τιμή ενέργειας καταγράφεται σε ένα πακέτο αίτησης, κάθε δρόμος μπορεί να συσχετιστεί με ένα διάνυσμα ενέργειας του οποίου τα στοιχεία θα αντιπροσωπεύουν τα επίπεδα ενέργειας των αντίστοιχων κόμβων. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι στο σχήμα 2.4, το μονοπάτι (Π, A, B, T) απεικονίζεται από το ενεργειακό διάνυσμα $(3, 5, 2, 4)$. Υποθέτουμε ότι το $\min P(k)$ είναι η ελάχιστη ενεργειακή τιμή του κόμβου από εκείνους που συνιστούν το μονοπάτι $P(k)$. Τότε, το πρωτόκολλο MMRP θα επιλέξει έναν δρόμο που έχει την μέγιστη τιμή από τα $\min P(k)$. Αν υπάρχουν πολλές ίδιες ελάχιστες τιμές μεταξύ των

μονοπατιών, συγκρίνεται η επόμενη μικρότερη τιμή. Στην περίπτωση του σχήματός μας, αν υποθέσουμε ότι τα υποψήφια μονοπάτια είναι τα P(1) και P(2), τότε ο αλγόριθμος που παρουσιάζουμε θα επιλέξει το P(2) ακόμη κι αν ένα πακέτο αίτησης που θα περιέχει το μονοπάτι P(1) φθάνει νωρίτερα από ένα άλλο που περιέχει το P(2). Διαισθητικά, αυτό το σχήμα δρομολόγησης επιδιώκει να αποφύγει την χρησιμοποίηση των ήδη ενεργειακά εξαντλημένων κόμβων όταν πρόκειται για την λήψη αποφάσεων δρομολόγησης.

Εκτός από την πρόσθεση ενός χρονομέτρου, μπορεί να υπάρξει η προσθήκη ενός μηχανισμού μέτρησης: Μόλις ληφθεί ένας καθορισμένος αριθμός από πακέτα αίτησης δρόμου, ο προορισμός εκτελεί άμεσα τον MMRP αλγόριθμο χωρίς να περιμένει την εκπνοή του χρόνου.

Σημειωτέον ότι, παρόμοια, το RDRP και το MMRP επιδιώκουν την διατήρηση της ενέργειας σε βάρος της καθυστέρησης στον κόμβο του προορισμού, γεγονός που μπορεί να επιφέρει την κατάκτηση μιας γενικότερης πληροφόρησης για τα ενεργειακά ζητήματα του δικτύου.

2.4.2. Υποστήριξη QoS

Η προσφορά υπηρεσιών QoS είναι πιο δύσκολη στα *ad hoc* δίκτυα εξαιτίας τουλάχιστον δύο λόγων. Ο πρώτος έχει να κάνει με την φύση των ασύρματων επικοινωνιών. Δηλαδή κάθε κόμβος μπορεί να ακούσει τον γειτονικό του – αφού η μορφή των μεταδόσεων είναι αυτή της ευρυεκπομπής – κι έτσι, το εύρος ζώνης κάθε ζεύξης επηρεάζεται από τις δραστηριότητες εκπομπής/λήψης των γειτονικών της ζεύξεων. Δεύτερο, αντίθετα με τα κυβελωτά δίκτυα, όπου υπάρχει μόνο ένα άλμα ασύρματης επικοινωνίας, ένα *ad hoc* δίκτυο χρειάζεται να εγγυηθεί παραμέτρους QoS για ένα πολυαλματικό ασύρματο μονοπάτι. Επιπλέον, οι κινητοί σταθμοί μπορεί να συμμετέχουν στο δίκτυο, να φεύγουν και να επανέρχονται από/σε αυτό οποιαδήποτε στιγμή και προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Οι υπάρχουσες ζεύξεις μπορούν να εξαφανίζονται και τυχαία να δημιουργούνται νέες.

Στην πραγματικότητα, πολλά σχήματα δρομολόγησης έχουν προταθεί που αντιμετώπισαν τα προβλήματα εγκατάστασης και διατήρησης των διαδρομών σε μία δυναμικά μεταβαλλόμενη τοπολογία. Παρόλ' αυτά, σε πολλές από αυτές τις προτάσεις, οι αλγόριθμοι δρομολόγησης μελετήθηκαν και επινοήθηκαν χωρίς να ληφθεί λεπτομερειακά υπόψη το ζήτημα των χαμηλότερων επιπέδων, συμπεριλαμβανομένων της μεταβλητής χωρητικότητας της ζεύξης στο φυσικό επίπεδο, του επιπέδου συγκρούσεων στο επίπεδο

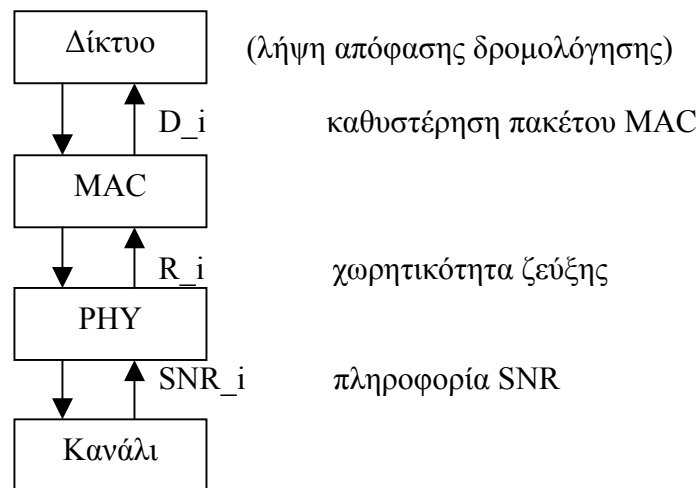
MAC ή της συχνής συμφόρησης εξαιτίας της δρομολόγησης σύμφωνα με το συντομότερο μονοπάτι. Άρα, μία διαφαινόμενη πρόκληση είναι ένα δι-επιπεδικό σύστημα που θα έχει γνώση των χρονικά μεταβαλλόμενων συνθηκών του καναλιού, θα προσαρμόζει τις αποφάσεις δρομολόγησης με σκοπό την πιο αποδοτική χρήση του διαθέσιμου φάσματος, και θα λειτουργεί εύρωστα υπό συνθήκες διαφορετικής κινητικότητας και διαφορετικών σεναρίων κίνησης.

Πρόσφατα, έχουν προταθεί προσαρμοστικές τεχνικές διαμόρφωσης μετάδοσης για τις ανάγκες των κυψελωτών δικτύων ως ένας τρόπος για την πραγματοποίηση χωρητικότητας σε μία σημείο προς σημείο ζεύξη. Όταν η εκτίμηση του καναλιού είναι διαθέσιμη στον πομπό, το σχήμα εκπομπών μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του καναλιού. Έχει δειχθεί ότι η αποδοτικότητα του φάσματος βελτιστοποιείται μέσω της προσαρμογής τόσο του ρυθμού όσο και της ισχύος στην περίπτωση που χρησιμοποιείται πλήρης πληροφόρηση από την πλευρά του καναλιού.

Αν και η προσαρμοστική τεχνική διαμόρφωσης έχει υπάρξει ένα ζωτικό κομμάτι του ερευνητικού χώρου στον τομέα του κυψελωτού παραδείγματος, είναι σχετικά νέο πρόβλημα για τα *ad hoc* δίκτυα. Σημειώνουμε ότι ο προαιρετικός μηχανισμός πρόσβασης στο μέσο στο 802.11 με την βοήθεια της ανταλλαγής των μηνυμάτων RTS/CTS παρέχει την φυσική δυνατότητα επανατροφοδότησης του πομπού με την πληροφορία που κατέχει ο δέκτης. Έχουν εισαχθεί μηχανισμοί προσαρμογής του ρυθμού για συστήματα με άλματα συχνότητας. Ο ρυθμός μετάδοσης προσαρμόζεται με βάση την εμπειρική μέτρηση του αριθμού των σφαλμάτων και διαγραφών στα πακέτα του δέκτη. Επίσης, έχουν μελετηθεί πρωτόκολλα προσαρμοσμένου ρυθμού MAC, το οποίο μπορεί να εξηγηθεί με συντομία ως εξής: Υποθέτουμε ότι ο κόμβος-*ι* επιθυμεί να στείλει εάν πακέτο στον γείτονά του *κ*. Πρώτα, ο κόμβος-*ι* στέλνει ένα RTS (Ready-To-Send) πακέτο στον κόμβο-*κ* για να κρατήσει το κανάλι. Όταν ο κόμβος-*κ* λάβει το RTS πακέτο, εκτελεί μία εκτίμηση καναλιού ώστε να διαπιστώσει και να καθορίσει το λαμβανόμενο σηματοθορυβικό λόγο SNR (Signal-Noise Ratio). Το SNR προσαρτάται, στη συνέχεια, στο πακέτο CTS (Clear-To-Send) και στέλνεται πίσω στον κόμβο-*ι*. Ο κόμβος-*ι*, έπειτα, απεικονίζει το λαμβανόμενο SNR στον ρυθμό μετάδοσης του πακέτου δεδομένων.

Η εφαρμογή της προσαρμογής του ρυθμού μπορεί να είναι ένα μέσο για την επίτευξη υψηλότερης ρυθμαπόδοσης σε μία ζεύξη. Τεχνικές δρομολόγησης που εκμεταλλεύονται την ασυμφωνία της χωρητικότητας μίας ζεύξης δεν έχουν μελετηθεί. Θα ήταν επιθυμητό για έναν αλγόριθμο δρομολόγησης να χρησιμοποιεί ζεύξεις μεγάλου εύρους ζώνης ώστε να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου. Για αυτό τον σκοπό προτείνεται ένα σχήμα

δρομολόγησης με προσαρμογή ρυθμού. Κύριος σκοπός είναι να καταδειχθεί ότι οι επικοινωνίες μεταξύ του φυσικού, του MAC, και του επιπέδου δικτύου θα βελτιώσει την χωρητικότητα μεταφερόμενης κίνησης για το δίκτυο. Υπάρχουν δύο κύριες συνεισφορές σε αυτή την δουλειά. Πρώτα, παρουσιάζεται ένα σχήμα προσαρμογής ρυθμού για *ad hoc* δίκτυα που είναι αποδοτικό από πλευράς φάσματος και λειτουργεί στην κορυφή του MAC πρωτοκόλλου του 802.11. Δεύτερο, μερικά νέα μετρικά δρομολόγησης, που μπορούν να δημιουργηθούν βάσει της πληροφορίας από τα κατώτερα επίπεδα, λαμβάνονται υπόψη και οι διαφορές στην απόδοση εκτιμώνται με εκτεταμένες προσομοιώσεις. Οι αποφάσεις για την δρομολόγηση λαμβάνονται με βάση την πληροφορία που φτάνει μέσω του επιπέδου MAC. Το ένα εμπλέκει την επικοινωνία μεταξύ φυσικού και MAC επιπέδου ενώ το άλλο εμπεριέχει την επικοινωνία μεταξύ του επιπέδου δικτύου και του MAC. Ο τρόπος με τον οποίο αλληλεπιδρούν τα διάφορα επίπεδα με σκοπό την υποστήριξη παραμέτρων QoS μέσα από την προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης, φαίνεται γραφικά στο σχήμα 2.5, παρακάτω.



Σχήμα 2.5: Γραφική αναπαράσταση της δι-επιπεδικής επικοινωνίας στο δίκτυο

Στο φυσικό επίπεδο, διενεργείται μέτρηση του καναλιού ώστε να εκτιμηθεί η στιγμιαία τιμή του SNR της ζεύξης. Στο επίπεδο της ζεύξης ένας εκπομπός επιλέγει έναν ρυθμό μετάδοσης R_I που βασίζεται στο SNR στην πλευρά του δέκτη. Αυτό, με την σειρά του, επηρεάζει την καθυστέρηση της ζεύξης στο επίπεδο MAC (D_i) κατά την διάρκεια μιας εκπομπής. Στο επίπεδο του δικτύου, οι αποφάσεις δρομολόγησης λαμβάνονται βάσει των τιμών που έχουν τα μετρικά δρομολόγησης κατά μήκος των μονοπατιών. Αυτές οι αποφάσεις δρομολόγησης, στη συνέχεια, επηρεάζουν την κατανομή του προσφερόμενου

φόρτου στις ασύρματες ζεύξεις. Επομένως, οι επικοινωνίες των διαφόρων επιπέδων σχετίζονται μεταξύ τους.

2.4.2.1. Μετρικά Δρομολόγησης

Θυμίζουμε τον τρόπο με τον οποίο στην προδιαγραφή του 802.11 παραχωρούνται οι πόροι του συστήματος για τις ανάγκες μιας επικοινωνίας: Συγκεκριμένα τα πλαίσια RTS και CTS μεταφέρουν την πληροφορία του μήκους του πακέτου που πρόκειται να μεταδοθεί. Αυτή η πληροφορία διαβάζεται από όλους τους σταθμούς που ακούνε, και οι οποίοι ενημερώνουν το αποκαλούμενο διάνυσμα παραχώρησης δικτύου (Network Allocation Vector – NAV) που περιέχει την πληροφορία της περιόδου του χρόνου για την οποία το κανάλι θα παραμείνει απασχολημένο. Άρα, όταν ένας κόμβος είναι κρυμμένος είτε από τον εκπομπό είτε από τον δέκτη – δεν βρίσκεται, δηλαδή, στην περιοχή εμβέλειας ή άμεσης επικοινωνίας αυτών, μπορεί να καθυστερήσει περαιτέρω την μετάδοση και να αποφύγει μία σύγκρουση με το να ανιχνεύσει είτε το RTS είτε το CTS.

Προκειμένου να διευκολυνθούν οι επικοινωνίες μεταξύ των επιπέδων δικτύου και MAC, προτείνεται η χρησιμοποίηση μετρικών δρομολόγησης. Η πληροφορία που προέρχεται από το επίπεδο MAC προωθείται στην στοίβα του δικτύου με την μορφή ενός μετρικού δρομολόγησης. Επομένως, σε κάθε ζεύξη παραχωρείται μια συγκεκριμένη τιμή, η οποία υποδεικνύει τον βαθμό επιθυμίας χρησιμοποίησης της ζεύξης υπό ορισμένα κριτήρια. Ο αλγόριθμος του συντομότερου μονοπατιού υπολογίζεται μεταξύ της πηγής και του προορισμού έτσι, ώστε το άθροισμα των προσαρτημένων βαρών κατά μήκος του επιλεγμένου δρόμου να είναι το ελάχιστο. Ανάλογα με την πληροφορία που στέλνεται πίσω από τα κατώτερα επίπεδα, οι αλγόριθμοι δρομολόγησης παρουσιάζουν διάφορες επιθυμητές ιδιότητες σε ότι αφορά την απόδοση σε σχέση με το εύρος ζώνης, το επίπεδο παρεμβολής και την συμφόρηση. Αυτά τα μετρικά αναπτύσσονται σε γενικές γραμμές παρακάτω:

- **Δρομολόγηση με βάση το εύρος ζώνης**

Ο ρυθμός μετάδοσης $R(k,j)$ μιας ζεύξης μεταξύ των κόμβων k και j τροφοδοτείται στο επίπεδο δικτύου. Το μετρικό δρομολόγησης σε κάθε ζεύξη ορίζεται, έπειτα, να είναι $1/R(k,j)$. Το άθροισμα των μετρικών δρομολόγησης κατά μήκος ενός δρόμου είναι ανάλογο του συνολικού χρόνου μετάδοσης των πακέτων δεδομένων σε όλες τις ζεύξεις, εξαιρώντας τις καθυστερήσεις από επαναμεταδόσεις. Από την στιγμή που στις ζεύξεις με υψηλό εύρος ζώνης προσαρτάται μία μικρή τιμή μετρικού, περισσότεροι δρόμοι θα χρησιμοποιήσουν τη

ζεύξη ως επικείμενα μονοπάτια. Επομένως, η απόφαση για την δρομολόγηση έχει και το χρώμα της σκέψης για το ζήτημα του εύρους ζώνης.

- **Δρομολόγηση με βάση την παρεμβολή**

Η διάρκεια της καθυστέρησης στο επίπεδο MAC ($D(k,j)$) ορίζεται ως η χρονική διάρκεια μεταξύ της στιγμής όπου στέλνεται το πρώτο RTS πακέτο μέχρι και το σημείο όπου το πακέτο δεδομένων λαμβάνεται με επιτυχία. Η καθυστέρηση μεταξύ του κόμβου k και του κόμβου j τροφοδοτείται στο επίπεδο δικτύου και αποθηκεύεται ως μετρικό δρομολόγησης. Το άθροισμα των μετρικών δρομολόγησης κατά μήκος μιας διαδρομής είναι ανάλογη με την συνολική μετάδοση των πακέτων δεδομένων σε όλες τις ζεύξεις, συμπεριλαμβανομένων και των καθυστερήσεων εξαιτίας των επαναμεταδόσεων των συγκρουόμενων πακέτων. Οι ζεύξεις που έχουν μεγάλη καθυστέρηση MAC θα εμφανίζουν υψηλή τιμή στο μετρικό, κι έτσι θα αποθαρρύνεται η χρήση τέτοιων ζεύξεων στην εγκατάσταση νέων δρόμων.

- **Δρομολόγηση με βάση την συμφόρηση**

Η καθυστέρηση ουράς-αναμονής $Q(i)$ του εκπεμπόμενου κόμβου i καθορίζεται να είναι το μετρικό δρομολόγησης. Κόμβοι με ένα μεγάλο αριθμό από πακέτα στον *buffer* θα πρέπει να αποφεύγονται.

2.4.2.2. Εφαρμογή στο DSR

Για τους σκοπούς της εφαρμογής επιλέγουμε το πρωτόκολλο DSR ως το σχήμα δρομολόγησης. Το DSR χρησιμοποιεί τη δρομολόγηση πηγής αντί να δρομολογεί την κίνηση άλμα προς άλμα. Με αυτό τον τρόπο κάθε πακέτο που πρόκειται να δρομολογηθεί μεταφέρει στην επικεφαλίδα του την ολοκληρωμένη σειριακή ακολουθία των κόμβων μέσω των οποίων πρέπει να περάσει. Ένα πλεονέκτημα της δρομολόγησης πηγής είναι ότι περιορίζει την ανάγκη για περιοδική ενημέρωση των δρόμων και ανίχνευση γειτόνων όπως συμβαίνει με τα *proactive* σχήματα δρομολόγησης.

Η εφαρμογή ενός μετρικού δρομολόγησης στην κορυφή του DSR γίνεται απευθείας. Για κάθε πακέτο DSR προσαρτούμε ένα πεδίο τιμών, στο οποίο θα αποθηκεύεται ο χρόνος στον οποίο ένας εκπεμπόμενος κόμβος κάνει, αρχικά, την πρώτη προσπάθεια μετάδοσης ενός πακέτου. Όταν ο κόμβος-δέκτης λαμβάνει το πακέτο, υπολογίζεται τοπικά η καθυστέρηση MAC. Αυτές οι τιμές των καθυστερήσεων αποθηκεύονται κατά μήκος του δρόμου της πηγής μαζί με τις διευθύνσεις των πηγών στο πακέτο του DSR.

Σε αντίθεση με την μέτρηση της καθυστέρησης MAC, η οποία πραγματοποιείται στην φάση της διαδικασίας εύρεσης δρόμου μόνο για τον υπολογισμό του μετρικού δρομολόγησης, διενεργείται και προσαρμογή του ρυθμού τόσο στην φάση αυτή όσο και κατά την διάρκεια των μεταδόσεων των δεδομένων μετά την απόκτηση του δρόμου. Έχουμε, ήδη, πει μερικά λόγια για το πώς επιτυγχάνεται η προσαρμογή του ρυθμού με την βοήθεια των πακέτων RTS και CTS κατά την διάρκεια των μεταδόσεων των δεδομένων. Το σχήμα με τα RTS και CTS, όμως, δεν θα μπορούσε να εφαρμοστεί ευθέως στα πακέτα του DSR στην εύρεση δρόμου. Τα DSR πακέτα είναι πακέτα ευρυεκπομπής, και δεν θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε κανένα πακέτο ελέγχου RTS ή CTS. Επομένως, σε μία υποθετική εφαρμογή μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα πακέτα RREQ και RREP για την επίτευξη της προσαρμογής. Όταν λαμβάνεται ένα RREP πακέτο, ο παραλήπτης διενεργεί μία εκτίμηση καναλιού και υπολογίζεται το λαμβανόμενο SNR. Αυτό προσαρτάται στο πακέτο RREQ και προωθείται κατά μήκος της διαδρομής της πηγής.

Όταν η πηγή λάβει το πακέτο RREP από τους προορισμούς, καθορίζονται οι τιμές της καθυστέρησης MAC και ο ρυθμός μετάδοσης της κάθε ζεύξης του δρόμου. Αν η δρομολόγηση γίνει με βάση το εύρος ζώνης, επιλέγεται ο δρόμος που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των $1/R$. Αν η δρομολόγηση γίνει με βάση το επίπεδο παρεμβολής, επιλέγεται ο δρόμος που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των D . Αν η δρομολόγηση, τέλος, γίνει με βάση την συμφόρηση, επιλέγεται ο δρόμος που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των Q .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: AD HOC ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα διαπραγματευτούμε τρεις από τις βασικότερες προδιαγραφές για τα ασύρματα δίκτυα που έχουν την δυνατότητα, από κατασκευής των προτύπων, να υποστηρίξουν *ad hoc* επικοινωνία ή μπορούν να την προσφέρουν μέσα από τροποποιήσεις και αλλαγές που μπορούν να γίνουν εύκολα και άμεσα: α) Bluetooth, β) HIPERLAN/2 και, τέλος γ) IEEE 802.11 .

3.1. BLUETOOTH

Bluetooth είναι το όνομα που δόθηκε σε ένα νέο πρότυπο το οποίο χρησιμοποιεί ραδιοζεύξεις μικρής εμβέλειας και πρόκειται να αντικαταστήσει τις καλωδιακές συνδέσεις μεταξύ των κινητών και των σταθερών ηλεκτρονικών συσκευών. Το πρότυπο αυτό, καθορίζει μια ομοιόμορφη δομή για ένα μεγάλο εύρος συσκευών, ώστε να επικοινωνούν μεταξύ τους με ελάχιστη προσπάθεια από το χρήστη. Οι κυριότερες ιδιότητές του είναι η ευρωστία, η μικρή πολυπλοκότητα, η χαμηλή ισχύς και το χαμηλό κόστος.

Ένα τυπικό σχήμα μιας τοπολογίας που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Bluetooth φαίνεται στη συνέχεια.



Σχήμα 3.1: Τοπολογία Πρωτοκόλλου Bluetooth

Η άμεση ανάγκη για Bluetooth όπως αναφέρεται νωρίτερα προήλθε από την επιθυμία να συνδεθούν οι περιφερειακές μονάδες και οι συσκευές χωρίς τα καλώδια. Η διαθέσιμη τεχνολογία - IRDA OBEX είναι βασισμένη στις υπέρυθρες συνδέσεις που είναι περιορισμένες στο LOS. Το Bluetooth τροφοδοτείται περαιτέρω από την ζήτηση για την κινητή και ασύρματη πρόσβαση σε LANs, το διαδίκτυο πάνω από κινητά και τα άλλα υπάρχοντα δίκτυα, όπου η υποδομή συνδέεται με καλώδιο αλλά τα διασυνδεδεμένα μέρη είναι ελεύθερα να κινούνται. Αυτό όχι μόνο καθιστά το δίκτυο ευκολότερο να χρησιμοποιηθεί, αλλά και επεκτείνει την προσιτότητά του. Τα πλεονεκτήματα και ο γρήγορος πολλαπλασιασμός των LANs έχουν ως αποτέλεσμα ότι η δημιουργία προσωπικών δικτύων περιοχής (PANs), δηλαδή συνδέσεις μεταξύ των συσκευών στην εγγύτητα του χρήστη, θα έχει πολλές ευεργετικές χρήσεις. Το Bluetooth θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί στις οικιακές δικτυακές εφαρμογές. Με τους αυξανόμενους αριθμούς σπιτιών που κατέχουν πολλαπλά PCs, η ανάγκη για τα δίκτυα που είναι απλά να εγκατασταθούν και να διατηρηθούν, διευρύνεται. Υπάρχει επίσης η εμπορική ανάγκη να παρασχεθούν οι δυνατότητες κάλυψης "προώθησης πληροφοριών", η οποία είναι σημαντική για τα *handhelds* και άλλες τέτοιες κινητές συσκευές και αυτό έχει ενσωματωθεί μερικώς στο Bluetooth. Η βασική δύναμη του Bluetooth είναι η δυνατότητά του να χειριστεί ταυτόχρονα και τα δεδομένα και τη μεταφορά φωνής, που επιτρέπουν καινοτόμες λύσεις όπως μια κινητή με ελεύθερα χέρια κάσκα για τις κλήσεις φωνής, δυνατότητα αποστολής φαξ, αυτόματος συγχρονισμός PDA και κινητού υπολογιστή και εφαρμογές βιβλίων τηλεφωνικών διευθύνσεων. Αυτές οι χρήσεις προτείνουν ότι μια τεχνολογία όπως το Bluetooth είναι εξαιρετικά χρήσιμη και θα έχει μια σημαντική επίδραση στον τρόπο που οι πληροφορίες προσεγγίζονται και χρησιμοποιούνται.

3.1.1. Εφαρμογές

Λόγω της εξαιρετικής χρησιμότητας του Bluetooth, οι διάφοροι κατασκευαστές έχουν αρχίσει να προτείνουν εμπορικές εφαρμογές, οι ενδεικτικότερες από τις οποίες αναφέρονται στη συνέχεια:

- *Αυτόματος Συγχρονιστής*

Διαφανής σύνδεση μεταξύ του κινητού υπολογιστή, του PDA και του κινητού τηλεφώνου του χρήστη, η οποία θα δίνει τη δυνατότητα στις εφαρμογές να

ενημερώνονται αυτόματα και να συγχρονίζουν τα προγράμματα και τα άλλα δεδομένα όταν πραγματοποιούνται αλλαγές σε κάποια από τις συσκευές.

- *Ασύρματες Συσκευές Χειρός*

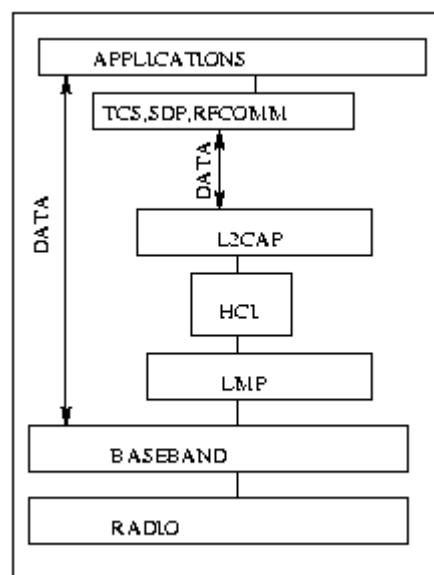
Αυτές οι εφαρμογές θα δίνουν τη δυνατότητα πρόσβασης στις κινητές συσκευές του χρήστη, ακόμα κι αν αυτές βρίσκονται στην τσέπη του.

- *Τριπλή Χρήση Τηλεφωνικής Συσκευής*

Μια απλή συσκευή χειρός θα μπορεί να λειτουργεί σαν ενδοεπικοινωνία στο γραφείο (χωρίς χρέωση), σαν σταθερό τηλέφωνο PSTN, όταν υπάρχει αντίστοιχο σημείο πρόσβασης, και σαν κινητή συσκευή σε κάθε άλλη περίπτωση.

3.1.2. Βασική Αρχιτεκτονική Συστήματος

Η αρχιτεκτονική του συστήματος του πρωτοκόλλου Bluetooth θα περιγραφεί εν συντομία στη συνέχεια. Ο σχεδιασμός έχει τμηματοποιηθεί σε ανεξάρτητα σχεδόν επίπεδα, έτσι ώστε να είναι εύκολη η περιγραφή. Η στοίβα πρωτοκόλλων του Bluetooth παρατίθεται παρακάτω.



Σχήμα 3.2: Στοίβα Πρωτοκόλλων

Στη συνέχεια θα δούμε ξεχωριστά αυτά τα υποεπίπεδα και θα αναφερθούμε στα βασικότερα στοιχεία τους.

Επίπεδο Ραδιοζεύξεων

Το επίπεδο αυτό δημιουργεί τις φυσικές συνδέσεις μεταξύ των συσκευών. Οι συνδέσεις αυτές λειτουργούν στη μάντα ISM (2.4 GHz) και χρησιμοποιούν τεχνολογία FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) με 1600 hops/sec. Η επιλογή αυτής της τεχνολογίας έγινε γιατί σε αυτή την ελεύθερη μάντα θα λειτουργούν πολλά διαφορετικά συστήματα και θα πρέπει με κάποιο τρόπο να προστατεύονται οι επικοινωνίες από παρεμβολές. Επιπλέον, η διαμόρφωση είναι GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying).

Επίπεδο Baseband

Το επίπεδο αυτό ουσιαστικά ελέγχει το επίπεδο ραδιοζεύξεων. Συγκεκριμένα, καθορίζει την ακολουθία των αλμάτων της συχνότητας (FH), πραγματοποιεί κρυπτογράφηση κατώτερου επιπέδου για ασφάλεια των ζεύξεων και διαχειρίζεται τα πακέτα δεδομένων όσον αφορά τον έλεγχο σφαλμάτων και την επαναμετάδοση. Επίσης, στο επίπεδο αυτό πραγματοποιούνται οι συνδέσεις και οι έλεγχοι των διευθύνσεων των γειτονικών συσκευών όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο, που αναφέρεται στην εγκατάσταση συνδέσεων. Επιπρόσθετα, υποστηρίζονται δύο ειδών υπηρεσίες:

- Υπηρεσίες με Σύνδεση (SCO): Χρησιμοποιούνται για σύγχρονα δεδομένα όπως φωνή.
- Υπηρεσίες χωρίς Σύνδεση (ACL): Χρησιμοποιούνται για εφαρμογές μεταφοράς δεδομένων που δεν απαιτούν σύγχρονες ζεύξεις.

LMP (Link Manager Protocol)

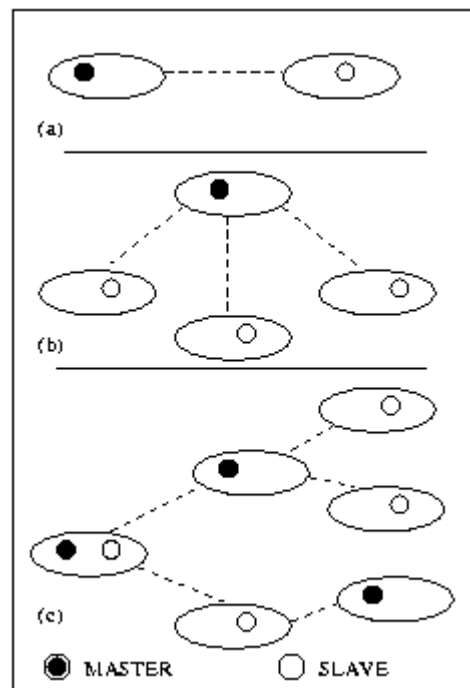
Οι βασικότερες λειτουργίες του LMP κατατάσσονται ως εξής:

1. Διαχείριση των *Piconets*
2. Διαμόρφωση των Ζεύξεων
3. Λειτουργίες Ασφάλειας

Το *piconet* είναι ένα σύνολο συσκευών που συνδέονται σε ένα κοινό κανάλι και το οποίο αναγνωρίζεται από μια μοναδική ακολουθία αλμάτων στη συχνότητα. Η ακολουθία αυτή καθορίζεται από το εσωτερικό ρολόι του κόμβου που εκκίνησε τη δημιουργία του *piconet* (διαδικασία που θα αναλύσουμε στη συνέχεια) και αποκαλείται *master*. Με αυτό το *master* μπορούν να είναι συνδεδεμένες μέχρι επτά ενεργές συσκευές και μέχρι 255 συσκευές που θα βρίσκονται σε μια κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ισχύος που ονομάζεται “parked

mode”. Οι κόμβοι εκτός του *master* ονομάζονται *slaves*. Οι συσκευές σε ένα *piconet* επικοινωνούν με τις υπόλοιπες μέσω του *master* χρησιμοποιώντας ζεύξεις SCO και ACL. Η διαχείριση του καναλιού γίνεται από το *master* και συγκεκριμένα χρησιμοποιείται σχήμα TDMA/TDD (Time Division Multiple Access / Time Division Duplex), όπου ο κάθε *slave* επικοινωνεί σε εναλλασσόμενες χρονοθυρίδες με το *master*, μόνο όταν του δίνει το δικαίωμα ο δεύτερος. Το συγκεκριμένο σύστημα μετάδοσης αναφέρεται και ως *polling*.

Για την επικοινωνία δύο οποιωνδήποτε συσκευών απαιτείται η δημιουργία ενός *piconet*. Τα *piconets* εγκαθίστανται δυναμικά και αυτόματα καθώς οι συσκευές Bluetooth εισέρχονται ή εξέρχονται από την κοινή περιοχή κάλυψης. Με βάση το παραπάνω σκεπτικό, κάποιες συσκευές μπορούν να ανήκουν ταυτόχρονα σε περισσότερα *piconets* οπότε έχουμε τη δημιουργία των λεγόμενων *scatternets*. Βέβαια, οι κόμβοι μπορούν να είναι *slaves* σε πολλά *piconets*, αλλά *master* μόνο σε ένα. Σχηματικά τα παραπάνω φαίνονται στη συνέχεια.



Σχήμα 3.3: Piconets - Scatternets

Το LMP δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης και αποσύνδεσης των *slaves*, εναλλαγής των ρόλων μεταξύ ενός *master* και ενός *slave* και εγκατάστασης SCO και ACL ζεύξεων. Επίσης, χειρίζεται τις καταστάσεις εξοικονόμησης ενέργειας - “hold”, “sniff”, “park” – που μπορούν να περιέλθουν οι συσκευές όταν δεν έχουν δεδομένα προς αποστολή.

Τα ζητήματα διαμόρφωσης ζεύξεων περιλαμβάνουν τον καθορισμό των παραμέτρων της ζεύξης και θέματα QoS και ελέγχου ισχύος εκπομπής, αν υποστηρίζονται από τη

συσκευή. Επίσης, πραγματοποιείται πιστοποίηση των συνδεδεμένων συσκευών και διαχείριση των απαραίτητων κλειδιών.

L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol)

Αυτό είναι το πρωτόκολλο με το οποίο αλληλεπιδρούν οι περισσότερες εφαρμογές. Οι βασικές λειτουργίες του είναι:

1. **Πολυπλεξία:** Επιτρέπει σε πολλές εφαρμογές να χρησιμοποιούν τη ζεύξη μεταξύ δύο συσκευών ταυτόχρονα.
2. **Τμηματοποίηση και Επανένωση:** Προσαρμόζει το μέγεθος των πακέτων των εφαρμογών σε αυτό που υποστηρίζεται από το επίπεδο *baseband* και αντίστροφα.
3. **QoS:** Ελέγχει αν είναι δυνατή η υποστήριξη από μια ζεύξη των απαιτήσεων σε παραμέτρους QoS (εύρος ζώνης, καθυστέρηση, διασπορά καθυστέρησης) που θέτουν οι ανώτερες εφαρμογές.

Ουσιαστικά το πρωτόκολλο L2CAP παρέχει τις λειτουργίες επιπέδου δικτύου (σύμφωνα με το OSI) στα ανώτερα πρωτόκολλα και τις εφαρμογές.

Επίπεδο Εφαρμογών

Το επίπεδο L2CAP χρησιμοποιείται όπως είδαμε είτε από εφαρμογές είτε από ανώτερα πρωτόκολλα. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα παρακάτω:

- **RFCOMM:** Αποτελεί εξομοιωτή σειριακής θύρας
- **SDP (Service Discovery Protocol):** Επιτρέπει στις συσκευές να ανακαλύπτουν ποιες υπηρεσίες είναι διαθέσιμες στους γειτονικούς κόμβους
- **TCS (Telephony Control Protocol):** Περιγράφει τις διαδικασίες ελέγχου και σηματοδότησης για τα κανάλια φωνής.

Υπάρχουν, βέβαια, και άλλα ανώτερα πρωτόκολλα αλλά είναι γνωστά πρωτόκολλα που απλά έχουν εφαρμοστεί πάνω από την τεχνολογία Bluetooth και δεν θα τους δώσουμε περαιτέρω σημασία.

3.1.3. Εγκατάσταση Συνδέσεων

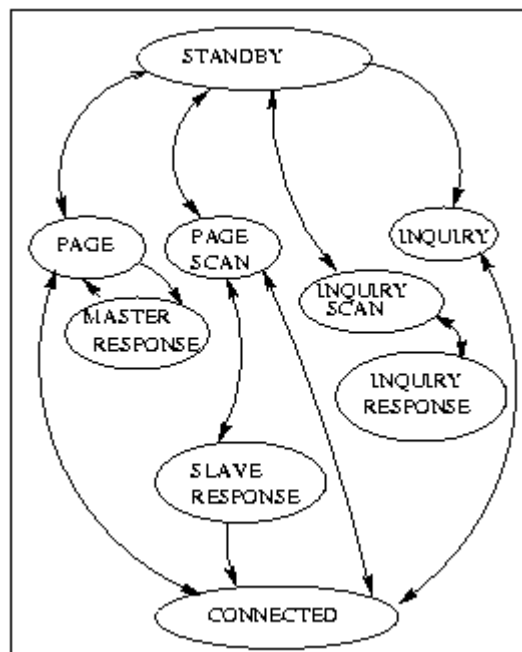
Η εγκατάσταση συνδέσεων στο Bluetooth όπως ήδη αναφέραμε, έχει να κάνει με τη δημιουργία *piconets*. Η όλη διαδικασία για τη δημιουργία ενός *piconet* μεταξύ δύο

συσκευών – κόμβων μπορεί να περιγραφεί από μια εναλλαγή καταστάσεων στις οποίες περνάνε ακολουθιακά οι κόμβοι. Οι καταστάσεις αυτές φαίνονται στο σχήμα της επόμενης σελίδας και θα συνεχίσουμε δίνοντας μια σύντομη περιγραφή για κάθε μια από αυτές.

Κατ' αρχήν, κάθε συσκευή έχει ως *default* κατάσταση την κατάσταση **Standby**. Αυτή είναι μια κατάσταση ελάχιστης κατανάλωσης ενέργειας. Οι καταστάσεις στις οποίες μπορεί να μεταπηδήσει ένας κόμβος τότε, είναι οι **Inquiry**, **Inquiry Scan**, **Page**, ή **Page Scan**.

Inquiry

Σε αυτή την κατάσταση, η συσκευή προσπαθεί να εντοπίσει άλλες συσκευές που βρίσκονται στον περιβάλλοντα χώρο, μεταδίδοντας ένα κατάλληλο πακέτο σε συγκεκριμένες συχνότητες. Αν αυτή η διαδικασία γίνεται αυτόματα θα πρέπει να έχει ληφθεί μέριμνα ώστε να αποφευχθεί ο συγχρονισμός και κατ' επέκταση οι συγκρούσεις με τα αντίστοιχα πακέτα μια άλλης συσκευής.



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα Καταστάσεων για τη Δημιουργία Piconets

Inquiry Scan

Σε αυτή την κατάσταση, οι συσκευές που επιτρέπουν την ανακάλυψη τους από τις υπόλοιπες, εισέρχονται περιοδικά, και μπορούν να ακούσουν για μηνύματα **Inquiry** στις αντίστοιχες συχνότητες. Οι συσκευές μπορούν να εισέλθουν σε αυτή την κατάσταση από την

κατάσταση **Inquiry** ή από την κατάσταση **Connected**. Αν η είσοδος γίνεται από την τελευταία, οι ζεύξεις SCO παραμένουν, ενώ οι ACL διακόπτονται. Η παρουσία ζεύξεων SCO μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια της διαδικασίας **Inquiry**.

Inquiry Response

Όταν ληφθεί ένα μήνυμα **Inquiry**, αποστέλλεται πίσω ένα μήνυμα που περιέχει τη διεύθυνση του κόμβου και στοιχεία του χρονισμού του. Τα στοιχεία αυτά αποθηκεύονται από τον κόμβο που εκκίνησε τη διαδικασία και θα χρησιμοποιηθούν όταν απαιτηθεί κάποια σύνδεση μεταξύ αυτών των δύο κόμβων. Μετά το τέλος αυτής της αρχικής διαδικασίας ο κάθε κόμβος έχει πληροφορίες για τις διευθύνσεις των γειτόνων του και όταν απαιτηθεί θα ξεκινήσει τη διαδικασία **Page**.

Page

Όπως είπαμε, ένας κόμβος που θα θελήσει να δημιουργήσει μια σύνδεση – αναλαμβάνει έτσι το ρόλο του *master* – θα περιέλθει στην κατάσταση **Page**. Ο *master*, θα αποστείλει ένα κατάλληλο μήνυμα σε προκαθορισμένες συχνότητες, ζητώντας να επικοινωνήσει με τον συγκεκριμένο κόμβο που επιθυμεί, του οποίου βέβαια γνωρίζει τη διεύθυνση. Η διαδικασία αυτή διαρκεί έως ότου ληφθεί μήνυμα **Page Response**, όπως θα δούμε παρακάτω.

Page Scan

Στην κατάσταση αυτή εισέρχονται περιοδικά οι συσκευές από τις καταστάσεις **Standby** και **Connected**. Ο *slave* ακούει στις κατάλληλες συχνότητες για πακέτα **Page** που φέρουν τη δική του διεύθυνση.

Page Response

Μετά τη λήψη ενός **Page** μηνύματος, ο *slave* εισέρχεται σε αυτή την κατάσταση. Σε περίπτωση αποδοχής της αίτησης του *master* για επικοινωνία, ο *slave* θα πρέπει να αποστείλει ένα κατάλληλο μήνυμα αποδοχής ώστε να περάσει και ο *master* στην ίδια κατάσταση. Τότε, ο *master* αποστέλλει ένα πακέτο το οποίο θα περιλαμβάνει πληροφορίες για το χρονισμό του και τη διεύθυνσή του, ώστε να μπορέσει ο *slave* να προσδιορίσει την

ακολουθία των αλμάτων στη συχνότητα στην οποία θα πραγματοποιείται από εκείνη τη στιγμή και πέρα η επικοινωνία.

Μετά την επιτυχή ολοκλήρωση της όλης διαδικασίας, ουσιαστικά έχει δημιουργηθεί ένα *piconet* μεταξύ του *master* και του *slave* και οι συσκευές περνούν στην κατάσταση **Connected**, οπότε μπορούν να εγκαταστήσουν τις απαραίτητες για την επικοινωνία ζεύξεις.

3.2. HIPERLAN/2

Μέχρι σήμερα, τα ασύρματα δίκτυα είναι περισσότερο ή λιγότερο συνώνυμα με τα κυβελωτά δίκτυα ευρείας περιοχής που βασίζονται σε διαφορετικά πρότυπα, όπως, για παράδειγμα το GSM, το AMPS, κ.τ.λ. Έχουν οριστεί να έχουν ως κύριο στόχο την υποστήριξη φωνής, αν και κάποια προσφέρουν επίσης υπηρεσίες δεδομένων σε πολύ χαμηλή ταχύτητα (~10kbps).

Ασύρματες υπηρεσίες δεδομένων που προσφέρουν την αναγκαία ρυθμαπόδοση ώστε να ικανοποιήσουν τις πραγματικές απαιτήσεις για την πρόσβαση στο εσωτερικό του δικτύου ή στο διαδίκτυο βρίσκονται, μόλις, στο αρχικό στάδιο της αναμενόμενης εξέλιξής τους στην αγορά. Στο περιβάλλον των τοπικών δικτύων (Local Area Network – LAN), τα προϊόντα για τα ασύρματα δίκτυα (Wireless LAN – WLAN), που βασίζονται σε διαφορετικές αποχρώσεις του 802.11, διατίθενται στην αγορά. Ανάλογα με το εφαρμοζόμενο σχήμα μετάδοσης, τα προϊόντα μπορούν να προσφέρουν εύρος ζώνης από 1Mbps έως 11Mbps. Οι τιμές αναμένεται να πέσουν, γεγονός που θα καταστήσει τα ασύρματα τοπικά δίκτυα ολοένα και πιο σοβαρή εναλλακτική λύση στην σταθερή πρόσβαση Ethernet. Στην ευρεία περιοχή, οι υπηρεσίες GPR (General Packet Radio) θα έχουν την δυνατότητα να αυξήσουν το διαθέσιμο εύρος ζώνης μέχρι τα 64 kbps, καθιστώντας αυτού του είδους την υπηρεσία συγκρίσιμη με το *dial-in*.

Για να ικανοποιηθούν οι μελλοντικές απαιτήσεις των δικτύων, μία νέα γενιά τεχνολογιών που συνδυάζει ασύρματα τοπικά και κυβελωτά δίκτυα βρίσκεται υπό ανάπτυξη. Αυτές οι απαιτήσεις περιλαμβάνουν υποστήριξη για QoS (ώστε να κατασκευαστούν δίκτυα πολλαπλών υπηρεσιών), ασφάλεια, δυνατότητα μεταβίβασης κατά την κίνηση μεταξύ τοπικής και ευρείας περιοχής, αυξημένη ρυθμαπόδοση για την ανάγκη καλύτερης απόδοσης τόσο για τις υπηρεσίες δεδομένων όσο και για τις εφαρμογές video.

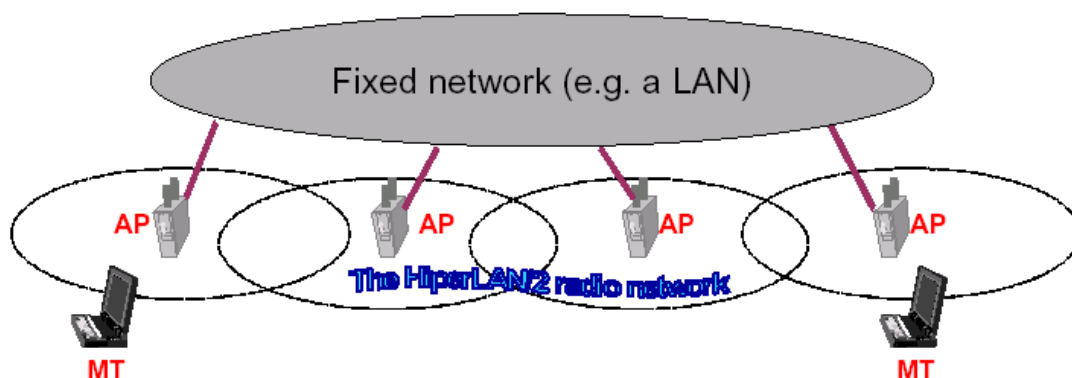
Η παράγραφος αυτή εισάγει τα χαρακτηριστικά στοιχεία της γενιάς της τεχνολογίας των ασύρματων τοπικών δικτύων που ονομάζεται HIPERLAN/2. Το HIPERLAN/2 είναι ένα

πρότυπο-προδιαγραφή που αναπτύχθηκε από τον ETSI και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε παγκόσμια κλίμακα. Οι προδιαγραφές του HIPERLAN/2 είναι διαθέσιμες από τις αρχές του 2000.

3.2.1. Το Δίκτυο HIPERLAN/2

Το δίκτυο HIPERLAN/2 τυπικά έχει μία τοπολογία όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5 παρακάτω. Τα κινητά τερματικά (Mobile Terminals – MT) επικοινωνούν με τα σημεία πρόσβασης (Access Points – AP) ασύρματα – μέσω του αέρα – όπως ορίζεται από την προδιαγραφή του HIPERLAN/2. Υπάρχει, επίσης, ο απευθείας τρόπος επικοινωνίας μεταξύ δύο συσκευών, ο οποίος βρίσκεται ακόμη στα αρχικά στάδια ανάπτυξης και δεν περιγράφεται περαιτέρω σε αυτό το σημείο του κειμένου. Ο χρήστης του κινητού τερματικού μπορεί να κινείται ελεύθερα στο δίκτυο του HIPERLAN/2, το οποίο και θα διασφαλίζει ότι ο χρήστης και το τερματικό θα λαμβάνουν την μέγιστη δυνατή απόδοση μετάδοσης. Ένα κινητό τερματικό, αφού συντελεστεί η σύνδεσή του με το δίκτυο, μπορεί να επικοινωνεί μόνο με ένα σημείο πρόσβασης κάθε φορά. Τα σημεία πρόσβασης είναι υπεύθυνα για την αυτόματη διαμόρφωση του ασύρματου δικτύου, αφού λάβουν υπόψη τους αλλαγές στην τοπολογία, π.χ. δεν υφίσταται ανάγκη για χειρονακτικό προγραμματισμό συχνοτήτων.

Τα χαρακτηριστικά και τα πρωτόκολλα του HIPERLAN/2 δικτύου περιγράφονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στις επόμενες παραγράφους.



Σχήμα 3.5: Ένα δίκτυο HIPERLAN/2

3.2.2. Χαρακτηριστικά Στοιχεία του HIPERLAN/2

Τα γενικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας του HIPERLAN/2 είναι τα παρακάτω:

- **Μετάδοση υψηλής ταχύτητας**

Το HIPERLAN/2 έχει έναν πολύ υψηλό ρυθμό μετάδοσης, που στο φυσικό επίπεδο φθάνει τα 54Mbps και στο τρίτο επίπεδο τα 25Mbps. Για να επιτευχθεί αυτό, το HIPERLAN/2 χρησιμοποιεί μία μέθοδο διαμόρφωσης που ονομάζεται ορθογώνια ψηφιακή πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM) για την μετάδοση αναλογικών σημάτων. Η OFDM είναι πολύ αποδοτική σε περιβάλλοντα διασποράς χρόνου, όπως, για παράδειγμα, μέσα σε γραφεία όπου τα μεταδιδόμενα σήματα αντανακλώνται από πολλά σημεία., με αποτέλεσμα να καταλήξουν με διαφορετικούς χρόνους διάδοσης, τελικά, στο σημείο λήψης. Πάνω από το φυσικό επίπεδο, το πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης του μέσου (Medium Access Control – MAC) είναι στο σύνολό του νέο και εφαρμόζει μία μορφή δυναμικής διμερούς διαίρεσης χρόνου που επιτρέπει την πιο αποδοτική χρησιμοποίηση των ασύρματων πόρων.

- **Υπηρεσίες με σύνδεση**

Σε ένα HIPERLAN/2 δίκτυο, τα δεδομένα μεταδίδονται πάνω στις συνδέσεις μεταξύ του κινητού τερματικού και του σημείου πρόσβασης που έχουν εγκατασταθεί πριν την μετάδοση η οποία χρησιμοποιεί λειτουργίες του επιπέδου ελέγχου που σχετίζονται με την σηματοδοσία. Οι συνδέσεις πολυπλέκονται με διαίρεση χρόνου μέσω της διεπαφής του αέρα. Υπάρχουν δύο τύποι συνδέσεων, σημείο προς σημείο και σημείο προς πολλαπλά σημεία. Οι συνδέσεις σημείο προς σημείο είναι αμφίδρομες ενώ οι συνδέσεις σημείο προς πολλαπλά σημεία είναι μονοκατευθυντικές προς την κατεύθυνση του κινητού τερματικού. Επιπρόσθετα, υπάρχει ένα αφιερωμένο κανάλι ευρυεκπομπής, μέσω του οποίου, η κίνηση των δεδομένων που εκπέμπονται από το σημείο πρόσβασης φθάνει σε όλα τα τερματικά.

- **Υποστήριξη QoS**

Η φύση του HIPERLAN/2 με τις προσφερόμενες υπηρεσίες με σύνδεση, καθιστούν άμεση την εφαρμογή παραμέτρων για την υποστήριξη του QoS. Σε κάθε σύνδεση μπορεί να ανατεθεί μία συγκεκριμένη τιμή για QoS, για παράδειγμα σε όρους εύρους ζώνης, καθυστέρησης, μεταβλητότητας, ρυθμού σφαλμάτων, κ.τ.λ. Είναι, επίσης, δυνατή η χρήση μίας πιο απλοϊκής προσέγγισης, όπου σε κάθε σύνδεση μπορεί να παραχωρηθεί ένα επίπεδο προτεραιότητας σε σχέση με τις άλλες συνδέσεις.

Αυτή η υποστήριξη του QoS σε συνδυασμό με τον υψηλό ρυθμό μετάδοσης καθιστά πιο εύκολη την ταυτόχρονη εκπομπή πολλών διαφορετικών τύπων ροής πληροφορίας, π.χ. video, φωνή και δεδομένα.

- **Αυτόματη κατανομή συχνοτήτων**

Σε ένα HIPERLAN/2 δίκτυο, δεν υπάρχει ανάγκη για χειρονακτικό προγραμματισμό των συχνοτήτων όπως σε κυψελωτά δίκτυα σαν το GSM. Οι σταθμοί βάσης, που στο HIPERLAN/2 ονομάζονται σημεία πρόσβασης, υποστηρίζουν την αυτόματη επιλογή του κατάλληλου καναλιού για μετάδοση μέσα στα όρια της περιοχής κάλυψής τους. Ένα σημείο πρόσβασης ακούει τα γειτονικά σημεία πρόσβασης όπως επίσης και τις υπόλοιπες πηγές σημάτων στον περιβάλλοντα χώρο, και επιλέγει ένα κατάλληλο κανάλι βασιζόμενο τόσο στην πληροφορία για το ποια άλλα κανάλια χρησιμοποιούνται από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης, όσο και στην ελαχιστοποίηση των παρεμβολών.

- **Υποστήριξη ασφάλειας**

Το HIPERLAN/2 δίκτυο έχει την δυνατότητα υποστήριξης πιστοποίησης και κρυπτογράφησης. Με την διαδικασία της πιστοποίησης τόσο το σημείο πρόσβασης όσο και το κινητό τερματικό μπορούν να πιστοποιήσουν το ένα το άλλο ώστε να διασφαλίσουν διαπιστευμένη πρόσβαση στο δίκτυο (από την πλευρά του σημείου πρόσβασης) ή να εξασφαλίσουν πρόσβαση σε έναν έγκυρο παροχέα υπηρεσιών του δικτύου (από την πλευρά του κινητού τερματικού). Η πιστοποίηση στηρίζεται στην ύπαρξη μίας βοηθητικής λειτουργίας, όπως μία υπηρεσία καταλόγου που, όμως, είναι έξω από τους σκοπούς του HIPERLAN/2.

Η κίνηση των δεδομένων στις συνδέσεις που έχουν εγκατασταθεί μπορεί να κρυπτογραφηθεί για την προστασία απέναντι, για παράδειγμα, στις περιπτώσεις υποκλοπών.

- **Υποστήριξη κινητικότητας**

Το κινητό τερματικό είναι υπεύθυνο για την αποστολή και την λήψη δεδομένων προς/από το “κοντινότερο” σημείο πρόσβασης, ή πιο σωστά, η συσκευή χρησιμοποιεί το σταθμό βάσης με το καλύτερο δυνατό σήμα όπως μετράται από τον σηματοθορυβικό λόγο. Επομένως, καθώς ο χρήστης και το κινητό τερματικό μετακινούνται, η συσκευή μπορεί να ανιχνεύσει ότι υπάρχει ένα εναλλακτικό σημείο πρόσβασης με καλύτερη απόδοση στη μετάδοση από ότι το σημείο πρόσβασης με το οποίο είναι μέχρι εκείνη την στιγμή συνδεδεμένη. Στην συνέχεια, το κινητό τερματικό θα προχωρήσει στην μεταβίβαση της ευθύνης της κλήσης του στο νέο σημείο πρόσβασης. Όλες οι εγκατεστημένες συνδέσεις θα μετατεθούν προς το νέο σημείο πρόσβασης έτσι, ώστε το κινητό τερματικό να παραμένει συνδεδεμένο με το HIPERLAN/2 δίκτυο και να έχει την δυνατότητα να συνεχίσει την επικοινωνία του. Κατά την διάρκεια της μεταβίβασης από σταθμό βάσης σε άλλον, μερικά πακέτα μπορεί να χαθούν.

Αν κάποιο κινητό τερματικό κινείται έξω από την περιοχή κάλυψης για ένα συγκεκριμένο χρόνο, η συσκευή μπορεί να χάσει την επαφή της με το HIPERLAN/2 δίκτυο με αποτέλεσμα την απώλεια όλων των συνδέσεων.

- **Ανεξαρτησία από άλλα δίκτυα και εφαρμογές**

Η στοίβα πρωτοκόλλων του HIPERLAN/2 έχει μία ελαστική αρχιτεκτονική για την εύκολη προσαρμογή και ενσωμάτωση με μία ποικιλία από σταθερά δίκτυα. Ένα HIPERLAN/2 δίκτυο μπορεί, για παράδειγμα, να χρησιμοποιηθεί ως ένα δίκτυο πρόσβασης για τα κυψελωτά δίκτυα τρίτης γενιάς ή για οποιαδήποτε άλλη διαμόρφωση. Όλες οι εφαρμογές που υφίστανται, σήμερα, για σταθερές δομές δικτύου μπορούν, επίσης, να “τρέξουν” πάνω από το δίκτυο HIPERLAN/2.

- **Εξοικονόμηση ισχύος**

Στο HIPERLAN/2, ο μηχανισμός που επιτρέπει σε ένα κινητό τερματικό να εξοικονομεί ισχύ βασίζεται σε μία διαπραγματεύση ανενεργών περιόδων που εκκινούνται από την συσκευή. Το κινητό τερματικό μπορεί σε οποιαδήποτε στιγμή να ζητά από το σημείο πρόσβασης να εισέλθει στην κατάσταση χαμηλής ισχύος (συγκεκριμένη για κάθε συσκευή), και ζητά μία συγκεκριμένη περίοδο κατά την οποία θα μείνει ανενεργό. Κατά την εκπνοή αυτού του χρονικού διαστήματος, το κινητό τερματικό ψάχνει για την παρουσία κάποιας ένδειξης ενεργοποίησης από πλευράς του σημείου πρόσβασης. Όταν η συσκευή δεν έχει λάβει μία τέτοια ένδειξη επανέρχεται, εκ νέου, στην κατάσταση χαμηλής ισχύος για την διάρκεια της επόμενης ανενεργής περιόδου, και συνεχίζει με τον ίδιο τρόπο. Ένα σημείο πρόσβασης θα αναβάλλει κάθε πληροφορία που εκκρεμεί προς έναν κινητό προορισμό μέχρις ότου η αντίστοιχη ανενεργή περίοδος εκπνεύσει. Ανενεργές περιόδους διαφορετικής διάρκειας υποστηρίζονται προκειμένου να επιτραπεί η ικανοποίηση των απαιτήσεων για χαμηλή καθυστέρηση και μικρή κατανάλωση ενέργειας.

3.2.3. Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλου – Επίπεδα

Στο σχήμα 3.6 που ακολουθεί, παρατίθεται το μοντέλο αναφοράς για το πρωτόκολλο του HIPERLAN/2 σχετικά με την ασύρματη διεπαφή. Η στοίβα των πρωτοκόλλων διαιρείται στο κομμάτι του επιπέδου ελέγχου και σε αυτό του επιπέδου του χρήστη που ακολουθεί την σημασιολογία της λειτουργικής διαίρεσης του ISDN. Για παράδειγμα το επίπεδο του χρήστη περιλαμβάνει λειτουργίες για την μετάδοση της κίνησης σε εγκατεστημένες συνδέσεις, και

το επίπεδο ελέγχου περιλαμβάνει λειτουργίες για τον έλεγχο της εγκατάστασης, της απελευθέρωσης και της επιτήρησης της σύνδεσης.

Το πρωτόκολλο του HIPERLAN/2 έχει τρία βασικά επίπεδα: το φυσικό επίπεδο (Physical – PHY), το επίπεδο ελέγχου ζεύξης δεδομένων (Data Link Control – DLC), και το επίπεδο σύγκλισης (Convergence Layer – CL). Προς το παρόν, έχει καθοριστεί μόνο λειτουργικότητα επιπέδου ελέγχου μέσα στα όρια του DLC.

Τα επίπεδα PHY, DLC, και το CL περιγράφονται περαιτέρω στις επόμενες παραγράφους.

3.2.3.1. Φυσικό Επίπεδο

Η μορφή των μεταδόσεων είναι μία “έκρηξη” από bits, που περιλαμβάνει ένα κομμάτι που χρησιμοποιείται ως πρόλογος και ένα κομμάτι δεδομένων, όπου το τελευταίο θα μπορούσε να προέρχεται από κάθε ένα από τα κανάλια μετάδοσης μέσα στο DLC. Η ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) έχει επιλεγεί εξαιτίας της άριστης απόδοσής της σε κανάλια υψηλής διασποράς. Το διάστημα κάθε καναλιού είναι 20 MHz, που επιτρέπει μεγάλους ρυθμούς δεδομένων ανά κανάλι και, ταυτόχρονα, υπάρχει ένας λογικός αριθμός από κανάλια στο φάσμα που έχει παραχωρηθεί (για παράδειγμα 19 κανάλια στην Ευρώπη). 52 υποφέροντα χρησιμοποιούνται ανά κανάλι, όπου τα 48 από αυτά μεταφέρουν πραγματικά δεδομένα και 4 είναι πιλοτικά που διευκολύνουν την ανίχνευση φάσης για τις ανάγκες της σύμφωνης αποδιαμόρφωσης. Η διάρκεια του διαστήματος προστασίας είναι ίση με 800ns, που είναι επαρκής για την ικανοποίηση του στόχου για υψηλή απόδοση σε κανάλια με φάσμα καθυστέρησης που φθάνει τα 250 ns. Μία υποθετική μικρότερη περίοδος προστασίας της τάξης των 400ns θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε μικρής εμβέλειας περιβάλλοντα εσωτερικού χώρου.

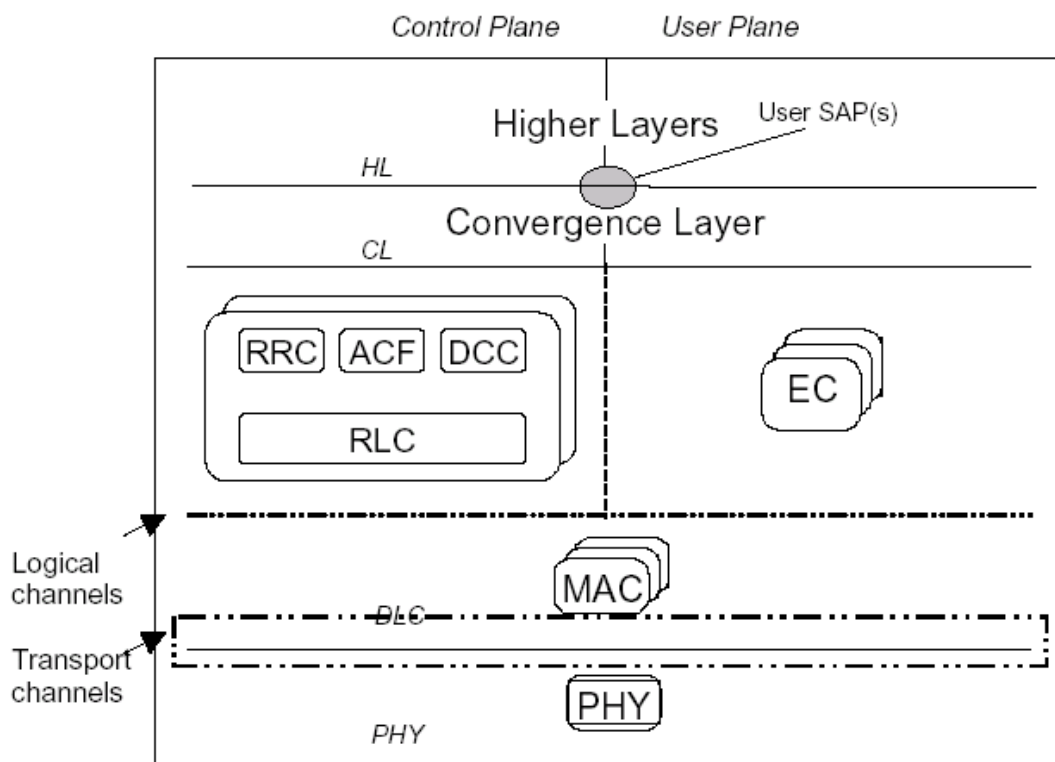
OFDM σε περισσότερες λεπτομέρειες

Η ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας είναι μία ειδική μορφή διαμόρφωσης πολλαπλών φερόντων. Η βασική ιδέα είναι το να μεταδίδεις σε ευρεία ζώνη, πληροφορία υψηλού ρυθμού δεδομένων με το να διαιρείς τα δεδομένα σε αρκετές διαπλεκόμενες, παράλληλες ροές από bit, και να αφήνεις κάθε μία τέτοια ροή να διαμορφώσει ένα ξεχωριστό υποφέρον. Με αυτό τον τρόπο το φάσμα του καναλιού διασκορπάζεται σε έναν αριθμό από ανεξάρτητα μη επιλεκτικά υποκανάλια συχνοτήτων. Αυτά τα κανάλια

χρησιμοποιούνται για μία ζεύξη μετάδοσης μεταξύ του σημείου πρόσβασης και των κινητών τερματικών.

Η OFDM πραγματοποιείται με επάρκεια με την χρήση αποδοτικής επεξεργασίας σήματος, ταχέως μετασχηματισμού Fourier, στον εκπομπό και τον λήπτη. Αυτό μειώνει σημαντικά τον όγκο του απαιτούμενου υλικού εξοπλισμού σε σύγκριση με τα παλαιότερα συστήματα FDM.

Ένα από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η OFDM είναι η ευρωστία απέναντι στις αρνητικές επιπτώσεις της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών σε άμεση συσχέτιση με την διασυμβολική παρεμβολή. Είναι, επίσης, αποδοτική από πλευράς φάσματος αφού τα υποφέροντα ομαδοποιούνται όσο γίνεται το ένα πιο κοντά στο άλλο. Επιπρόσθετα, επιτρέπει, σε μεγάλο βαθμό, ελαστικότητα αναφορικά με την επιλογή και τη πραγματοποίηση διαφορετικών εναλλακτικών σχημάτων διαμόρφωσης.



Σχήμα 3.6: Το μοντέλο αναφοράς του πρωτοκόλλου του HIPERLAN/2

Η OFDM απαιτεί ένα κατάλληλα σχεδιασμένο σύστημα. Ιδιαίτερης σημασίας είναι ο σχεδιασμός του συγχρονισμού της συχνότητας και της παραμέτρου του *back-off* της ισχύος του ενισχυτή στην λήψη. Επίσης, ο αριθμός των υποφερόντων πρέπει να επιλεγθεί με έναν αρμόζον τρόπο.

Μέχρι την στιγμή αυτή, η OFDM έχει προδιαγραφθεί για αρκετές εφαρμογές (DMT, DAB).

Ένα χαρακτηριστικό στοιχείο του φυσικού επιπέδου είναι να παρέχει αρκετές εναλλακτικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Κι αυτό, προκειμένου να είναι δυνατή η προσαρμογή στην πρόσφατη ποιότητα της ραδιοζεύξης και η ικανοποίηση των απαιτήσεων για τις ιδιότητες διαφορετικών φυσικών επιπέδων όπως αυτές καθορίζονται από τα κανάλια μετάδοσης μέσα στο δεύτερο επίπεδο. BPSK, QPSK, και 16QAM είναι τα σχήματα διαμόρφωσης υποφέροντος που υποστηρίζονται. Ο έλεγχος των σφαλμάτων εκτελείται από έναν συγκεραστικό κώδικα με ρυθμό 1/2 και μήκος περιορισμού εφτά.

3.2.3.2. DLC – Επίπεδο Ελέγχου Ζεύξης Δεδομένων

Το επίπεδο ελέγχου ζεύξης δεδομένων συνιστά την λογική γραμμή σύνδεσης μεταξύ ενός σημείου πρόσβασης και των κινητών τερματικών. Το DLC περιλαμβάνει λειτουργίες τόσο για την πρόσβαση και την μετάδοση στο μέσο (επίπεδο χρήστη), όσο και για το τερματικό/χρήστη και για τη διαχείριση των συνδέσεων (επίπεδο ελέγχου). Επομένως, το επίπεδο ελέγχου σύνδεσης ζεύξης δεδομένων αποτελείται από μία ομάδα υποεπιπέδων:

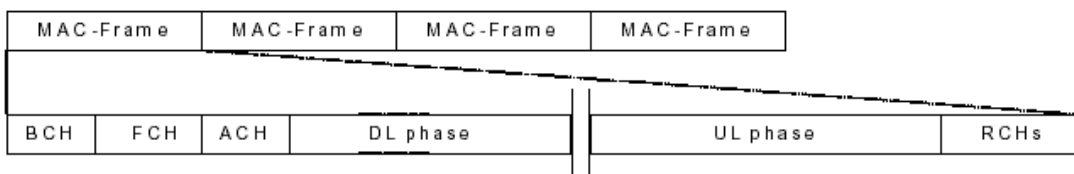
- Πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control – MAC)
- Πρωτόκολλο ελέγχου σφαλμάτων (Error Control – EC)
- Πρωτόκολλο ελέγχου ραδιοζεύξης (Radio Link Control –RLC)

Το τελευταίο πρωτόκολλο περιλαμβάνει τις συσχετισμένες ενότητες σηματοδοσίας ελέγχου σύνδεσης DLC (DLC Connection Control –DCC), ελέγχου ασύρματων πηγών (Radio Resource Control – RRC) και λειτουργίας ελέγχου συσχέτισης (Association Control Function – ACF).

Πρωτόκολλο MAC

Το πρωτόκολλο MAC είναι ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την πρόσβαση στο μέσο (ραδιοζεύξη) και την επικείμενη μετάδοση δεδομένων σε αυτό το μέσο. Ο έλεγχος είναι κεντρικοποιημένος μέσα στο σημείο πρόσβασης το οποίο και ενημερώνει τα κινητά τερματικά σε ποια χρονική στιγμή στο MAC πλαίσιο επιτρέπεται να μεταδώσουν τα δεδομένα που έχουν. Αυτή η χρονική στιγμή προσαρμόζεται ανάλογα με την αίτηση για κατάληψη πόρων από κάθε συσκευή.

Η διεπαφή του αέρα βασίζεται στην διμερή διαίρεση χρόνου (Time Division Duplex – TDD) και την δυναμική πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (TDMA). Για παράδειγμα η δομή των χρονικών σχισμών του μέσου επιτρέπει την ταυτόχρονη επικοινωνία και στις δύο κατευθύνσεις της ζεύξης μέσα στο ίδιο χρονικό πλαίσιο, που ονομάζεται και MAC πλαίσιο στο HIPERLAN/2. Οι χρονοθυρίδες για την ανερχόμενη (uplink) και την κατερχόμενη (downlink) ζεύξη παραχωρούνται δυναμικά ανάλογα με τους πόρους μετάδοσης. Η βασική δομή του MAC πλαισίου στην διεπαφή του αέρα έχει μία σταθερή διάρκεια 2ms και περιλαμβάνει κανάλια μεταφοράς για έλεγχο ευρυεκπομπής, έλεγχο πλαισίου, έλεγχο πρόσβασης, τυχαία πρόσβαση και μετάδοση δεδομένων στην ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη (βλέπετε σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7: Βασική δομή πλαισίου MAC

Όλα τα δεδομένα από το σημείο πρόσβασης και τα κινητά τερματικά μεταδίδονται σε αφιερωμένες χρονοθυρίδες, εκτός από την περίπτωση του καναλιού τυχαίας πρόσβασης όπου επιτρέπεται η διεκδίκηση της ίδιας χρονικής σχισμής. Η διάρκεια του ελέγχου ευρυεκπομπής είναι σταθερή ενώ η διάρκεια άλλων περιοχών προσαρμόζεται δυναμικά στην τρέχουσα κατάσταση κίνησης. Το MAC πλαίσιο και τα κανάλια μεταφοράς συγκροτούν την διεπαφή μεταξύ του DLC και του φυσικού επιπέδου.

Κανάλια μεταφοράς

Το **κανάλι ευρυεκπομπής (Broadcast Channel – BCH)**, μόνο στην κατερχόμενη ζεύξη – δηλαδή από το σημείο πρόσβασης προς το κινητό τερματικό, περιλαμβάνει την πληροφορία ελέγχου που στέλνεται σε κάθε MAC πλαίσιο και φθάνει σε όλα τα κινητά τερματικά. Το BCH παρέχει πληροφορία για τα επίπεδα ισχύος κατά τις μεταδόσεις, το σημείο εκκίνησης και το μήκος του FCH και του RCH (θα τα δούμε παρακάτω), τον ενδείκτη ενεργοποίησης και αναγνωριστικά για την πιστοποίηση τόσο του HIPERLAN/2 δικτύου όσο και του σημείου πρόσβασης.

Το **κανάλι έλεγχου του πλαισίου (Frame Control Channel – FCH)**, μόνο στην κατερχόμενη ζεύξη, περιλαμβάνει μία ακριβή περιγραφή του πώς οι πόροι έχουν διατεθεί (κι

επομένως εγγυηθεί) μέσα στο τρέχον MAC πλαίσιο στην φάση της ανερχόμενης (UL) και κατερχόμενης (DL) ζεύξης και για το RCH.

Η κίνηση της ανερχόμενης ή κατερχόμενης ζεύξης αποτελείται από σειρές μονάδων δεδομένων πρωτοκόλλου (Protocol Data Unit - PDU) από και προς τα κινητά τερματικά. Μία σειρά PDU συνίσταται από τα PDU του χρήστη του DLC (U-PDU, 54 bytes με 48 bytes *payload*), και τα PDU του ελέγχου του DLC (C-PDU, των 9 bytes) που πρόκειται να μεταδοθούν ή να ληφθούν από το κινητό τερματικό. Υπάρχει μία σειρά PDU για κάθε συσκευή (εάν οι αντίστοιχοι πόροι έχουν χορηγηθεί στο FCH). Τα C-PDU αναφέρονται ως **βραχύ κανάλι μεταφοράς (Short Transport Channel – SCH)**, και τα U-PDU αναφέρονται ως **εκτενές κανάλι μεταφοράς (Long Transport Channel – LCH)**.

Το **κανάλι τυχαίας πρόσβασης (Random Access Channel – RCH)**, μόνο στην ανερχόμενη ζεύξη – δηλαδή από το κινητό τερματικό προς το σημείο πρόσβασης, χρησιμοποιείται από τα κινητά τερματικά προκειμένου να ζητήσουν πόρους του δικτύου για τις φάσεις της ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης στα επόμενα MAC πλαίσια, και να μεταφέρουν κάποια μηνύματα σηματοδότησης για το RLC. Όταν οι απαιτήσεις για περισσότερους πόρους μετάδοσης αυξηθούν από τα κινητά τερματικά, το σημείο πρόσβασης θα διαθέσει περισσότερους πόρους για τις ανάγκες του RCH. Το RCH αποτελείται στο σύνολό του από θυρίδες διεκδίκησης για τις οποίες συναγωνίζονται όλα τα κινητά τερματικά που συσχετίζονται με το σημείο πρόσβασης. Συγκρούσεις μπορεί να συμβούν και τα αποτελέσματα της πρόσβασης μέσω του RCH αναφέρονται, πίσω, στα κινητά τερματικά στο ACH.

Λογικά κανάλια

Τα κανάλια μεταφοράς (SCH, LCH, και RCH) χρησιμοποιούνται σαν υποκείμενοι πόροι για τα λογικά κανάλια.

Το **αργό κανάλι ευρυεκπομπής (Slow Broadcast Channel – SBCH)**, μόνο στην κατερχόμενη ζεύξη, μεταφέρει πληροφορία ελέγχου ευρυεκπομπής (χωρίς να έχει σχέση με το BCH) που αφορούν όλη την περιοχή κάλυψης – κυψέλη. Η πληροφορία μεταδίδεται μόνο όταν είναι απαραίτητο, όπως καθορίζεται από το σημείο πρόσβασης. Η παρακάτω πληροφορία μπορεί να σταλεί μέσω του SBCH:

-- Μηνύματα ευρυεκπομπής RLC.

-- Μεταφέρει ένα ορισμένο αναγνωριστικό MAC-ID σε ένα μη συσχετισμένο κινητό τερματικό.

- Βεβαιώσεις μεταβιβάσεων.
- Πληροφορία ευρυεκπομπής (υψηλότερο επίπεδο) επιπέδου σύγκλισης.
- Συστατικά στοιχεία για την κρυπτογράφηση.

Όλα τα τερματικά έχουν πρόσβαση στο SBCH. Το SBCH θα πρέπει να στέλνεται ένα ανά MAC πλαίσιο και ανά στοιχείο κεραίας.

Το **αφιερωμένο κανάλι ελέγχου (Dedicated Control CHannel – DCCH)**, αμφίδρομο, μεταφέρει τα σήματα του υποεπιπέδου RLC μεταξύ ενός κινητού τερματικού και του σημείου πρόσβασης. Με την βοήθεια του DCCH, το RLC μεταφέρει μηνύματα που καθορίζονται από τον έλεγχο της σύνδεσης DLC και τις λειτουργίες ελέγχου της συσχέτισης.

Το DCCH σχηματίζει μία λογική σύνδεση και εγκαθίσταται αποκλειστικά κατά την διάρκεια της συσχέτισης ενός κινητού τερματικού χωρίς καμία λεπτομερή σηματοδότηση με την βοήθεια προκαθορισμένων παραμέτρων. Το DCCH πραγματοποιείται όπως μία DLC σύνδεση. Κάθε συσχετισμένο τερματικό έχει ένα DCCH ανά MAC-ID. Αυτό σημαίνει ότι όταν σε μία συσκευή έχει παραχωρηθεί το MAC-ID της, θα πρέπει να χρησιμοποιεί αυτή την σύνδεση για την σηματοδότηση του ελέγχου.

Το **κανάλι δεδομένων του χρήστη (User Data CHannel – UDCH)**, αμφίδρομο, μεταφέρει τα δεδομένα του χρήστη μεταξύ του κινητού τερματικού και του σημείου πρόσβασης. Το DLC εγγυάται την παράδοση σε σειρά των μονάδων δεδομένων σηματοδότησης (Signaling Data Units - SDU) μέχρι το επίπεδο σύγκλισης. Μία DLC σύνδεση χρήστη για το UDCH εγκαθίσταται χρησιμοποιώντας την σηματοδότηση μέσω του DCCH. Οι παράμετροι που σχετίζονται με την σύνδεση διαπραγματεύονται κατά την διάρκεια της συσχέτισης και της εγκατάστασης της επικοινωνίας. Στην ανερχόμενη ζεύξη, το κινητό τερματικό ζητά θυρίδες μετάδοσης για την σύνδεση που σχετίζεται με το UDCH, κι έπειτα η χορήγηση των πόρων ανακοινώνεται σε ένα επόμενο FCH. Στην κατερχόμενη ζεύξη, το σημείο πρόσβασης μπορεί να παραχωρήσει πόρους για το UDCH χωρίς την αίτηση της συσκευής. Το σχήμα που χρησιμοποιείται με σκοπό την διασφάλιση της αξιοπιστίας μετάδοσης πάνω από το UDCH είναι εξ ορισμού το ARQ. Μπορεί να υπάρχουν συνδέσεις που δεν χρησιμοποιούν το σχήμα ARQ, όπως για παράδειγμα συνδέσεις που αφορούν κίνηση πολυεκπομπών.

Το **κανάλι ελέγχου ζεύξης (Link Control CHannel – LCCH)**, αμφίδρομο, μεταφέρει πληροφορία μεταξύ των λειτουργιών για τον έλεγχο σφαλμάτων στο σημείο πρόσβασης και του κινητού τερματικού για ένα συγκεκριμένο UDCH. Το σημείο πρόσβασης καθορίζει τις απαιτούμενες χρονοθυρίδες για το LCCH στην ανερχόμενη ζεύξη και η παροχή των πόρων ανακοινώνεται σε ένα FCH της ίδιας κατεύθυνσης.

Το κανάλι ελέγχου συσχέτισης (Association Control CHannel – ASCH), μόνο στην ανερχόμενη ζεύξη, μεταφέρει μηνύματα αίτησης για νέα συσχέτιση και επανασυσχέτιση. Αυτά τα μηνύματα μπορούν, μόνο, να σταλούν κατά την διάρκεια μίας μεταβίβασης και από ένα μη συσχετισμένο κινητό τερματικό.

Μετάδοση δεδομένων χρήστη

Η εγκατάσταση της σύνδεσης δεν συνεπάγεται την άμεση παραχώρηση χωρητικότητας από το σημείο πρόσβασης. Κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης το κινητό τερματικό έχει παραλάβει ένα μοναδικό αναγνωριστικό (μέσα στα πλαίσια της αρμοδιότητας ενός σημείου πρόσβασης) για κάθε μία από τις υπάρχουσες DLC συνδέσεις. Όποτε η συσκευή έχει δεδομένα να στείλει, αρχικά ζητά χωρητικότητα μέσω της αποστολής μιας αίτησης για πόρους (Resource Request –RR) στο σημείο πρόσβασης. Το RR περιλαμβάνει τον αριθμό των U-PDU που εκκρεμούν από μέρους του κινητού τερματικού για της ανάγκες μίας συγκεκριμένης DLC σύνδεσης. Το κινητό τερματικό μπορεί να χρησιμοποιήσει θυρίδες διεκδίκησης στο RCH με σκοπό να στείλει το μήνυμα RR ή το SCH. Μεταβάλλοντας τον αριθμό των θυρίδων διεκδίκησης, το σημείο πρόσβασης θα μπορούσε να ελέγξει την πραγματική καθυστέρηση της πρόσβασης. Επιπλέον, κάποιες θυρίδες διεκδίκησης μπορούν μόνο να χρησιμοποιηθούν για κίνηση υψηλής προτεραιότητας που σε αυτό το κείμενο συνεπάγεται RR μηνύματα. Οι θυρίδες διεκδίκησης χαμηλής προτεραιότητας χρησιμοποιούνται, κυρίως, για την εκκίνηση της διαδικασίας της μεταβίβασης. Μετά την αποστολή του RR μηνύματος στο σημείο πρόσβασης, το κινητό τερματικό εισέρχεται σε μία κατάσταση ελεύθερης διεκδίκησης όπου το σημείο πρόσβασης το προγραμματίζει για τις δυνατότητες εκπομπής που έχει, όπως αυτές υποδεικνύονται από το μήνυμα της παροχής των πόρων (Resource Grant – RG) που στέλνεται από το σημείο πρόσβασης. Από καιρό σε καιρό, το σημείο πρόσβασης θα ζητά να λάβει από το κινητό τερματικό περισσότερη πληροφορία σχετικά με τα εκκρεμή, από τις συσκευές, PDU.

Μονοεκπομπή, πολυεκπομπή, ευρυεκπομπή

Μία σύνδεση DLC χρησιμοποιείται είτε για μονοεκπομπή, είτε για πολυεκπομπή, είτε για ευρυεκπομπή. Μια σύνδεση ορίζεται μοναδικά από τον συνδυασμό του MAC αναγνωριστικού και της χαρακτηριστικής παραμέτρου του DLC. Αυτός ο συνδυασμός αναφέρεται, επίσης, ως DLC σύνδεση χρήστη (DUC).

Για τις ανάγκες της μονοεκπομπής, σε κάθε κινητό τερματικό παραχωρείται ένα MAC αναγνωριστικό, τοπικής σημασίας, ανά σημείο πρόσβασης, και ένα ή περισσότερα αναγνωριστικά DLC σύνδεσης ανάλογα με τον αριθμό των DUC. Στην περίπτωση της πολυεκπομπής, το HIPERLAN/2 ορίζει δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας: N*μονοεκπομπή και MAC πολυεκπομπή. Με τη N*μονοεκπομπή, η πολυεκπομπή αντιμετωπίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και η μονοεκπομπή στην οποία εφαρμόζεται το σχήμα ARQ. Χρησιμοποιώντας την MAC πολυεκπομπή, ένα ξεχωριστό MAC-ID (τοπική σημασία, ανά σημείο πρόσβασης) παραχωρείται για κάθε ομάδα πολυεκπομπής. Το ARQ δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτή την περίπτωση, για παράδειγμα κάθε U-PDU μεταδίδεται μονάχα μία φορά. Όλη η κίνηση για την συγκεκριμένη ομάδα δρομολογείται μέσω της ίδιας και μοναδικής DLC σύνδεσης. Το HIPERLAN/2 επιτρέπει μέχρι και 32 ομάδες πολυεκπομπής στις οποίες θα παραχωρηθούν διαφορετικά MAC αναγνωριστικά. Στην περίπτωση που τα συσχετισμένα κινητά τερματικά επιθυμούν να συμμετάσχουν σε περισσότερες από 32 ομάδες πολυεκπομπής, ένα από τα MAC αναγνωριστικά θα λειτουργήσει με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να δρομολογήσει την κίνηση παραπάνω από μιας ομάδας.

Υποστηρίζεται, επίσης, και η ευρυεκπομπή. Όπως και στην περίπτωση της πολυεκπομπής, το ARQ δεν εφαρμόζεται, αλλά από την στιγμή που οι μεταδόσεις κατά την ευρυεκπομπή είναι κατά πολύ πιο κρίσιμες για την συνολική απόδοση του συστήματος, έχει καθοριστεί ένα σχήμα που περιλαμβάνει την επανάληψη των U-PDU. Αυτό σημαίνει ότι το ίδιο U-PDU επαναμεταδίδεται έναν αριθμό από φορές (προσαρμοσσιμο) μέσα στο ίδιο MAC πλαίσιο, ώστε να αυξηθεί η πιθανότητα μίας επιτυχημένης μετάδοσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η λήψη των δεδομένων ευρυεκπομπής δεν προκαλεί αλλαγή στην ανενεργή κατάσταση ενός κινητού τερματικού.

3.2.3.3. Πρωτόκολλο Ελέγχου Σφαλμάτων (Error Control – EC)

Το σχήμα ARQ επιλεκτικής επανάληψης είναι ο μηχανισμός του ελέγχου σφαλμάτων (Error Control – EC) που χρησιμοποιείται για την αύξηση της αξιοπιστίας πάνω από την ραδιοζεύξη. Το EC σε αυτό το κείμενο σημαίνει την ανίχνευση των σφαλμάτων στα bits, και την επακόλουθη επαναμετάδοση των U-PDU εάν τέτοια λάθη συμβαίνουν. Το EC, επίσης, διασφαλίζει ότι τα U-PDU παραλαμβάνονται σε σειρά στο επίπεδο σύγκλισης. Η μέθοδος για τον έλεγχο αυτού του στοιχείου περιλαμβάνει τον χαρακτηρισμό κάθε σύνδεσης με ένα

αριθμό που δηλώνει την σειρά. Τα μηνύματα θετικής και αρνητικής επιβεβαίωσης (ACK/NACK) στο ARQ σηματοδοτούνται στο LCCH. Ένα λανθασμένο U-PDU μπορεί να επαναμεταδοθεί αρκετές φορές (αριθμός ο οποίος διαμορφώνεται, σύμφωνα με τις ανάγκες).

Για την υποστήριξη QoS εφαρμογών που έχουν απαιτήσεις σε σχέση με την καθυστέρηση, όπως είναι η φωνή, με έναν αποδοτικό τρόπο, καθορίζεται ένας μηχανισμός απόρριψης των U-PDU. Αν τα δεδομένα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλέον, λόγω καθυστέρησης στην λήψη τους, υπάρχει η δυνατότητα εκκίνησης διαδικασίας απόρριψης ενός ή όλων των U-PDU που έχουν μικρότερο σειριακό αριθμό και δεν έχουν επιβεβαιωθεί. Το αποτέλεσμα είναι ότι η μετάδοση στο DLC επιτρέπει την ύπαρξη “τρυπών” (χαμένα δεδομένα) ενώ διατηρείται ενεργή η DLC σύνδεση. Είναι ευθύνη των ανώτερων επιπέδων, αν υπάρχει ανάγκη, η ανάκτηση της χαμένης πληροφορίας.

3.2.3.4. Σηματοδοσία και Έλεγχος

Το πρωτόκολλο ελέγχου της ραδιοζεύξης (Radio Link Control – RLC) παρέχει μία υπηρεσία μεταφοράς για τις ενότητες σηματοδοσίας: λειτουργία ελέγχου συσχέτισης (Association Control Function – ACF), λειτουργία ελέγχου ασύρματων πόρων (Radio Resource Control – RRC), και λειτουργία ελέγχου DLC σύνδεσης χρήστη (DLC user Connection Control – DCC). Αυτές οι τέσσερις ενότητες συγκροτούν το επίπεδο ελέγχου DLC για την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ του σημείου πρόσβασης και του κινητού τερματικού.

3.2.3.4.1 Λειτουργία Ελέγχου Συσχέτισης (Association Control Function – ACF)

Συσχέτιση

Όλα ξεκινούν από το κινητό τερματικό καθώς ακούει το BCH από διαφορετικά σημεία πρόσβασης και επιλέγει εκείνο το σημείο πρόσβασης με την καλύτερη δυνατή ποιότητα ραδιοζεύξης. Μέρος της πληροφορίας που παρέχεται στο BCH λειτουργεί ως σήμα καθοδήγησης – *beacon* – σε αυτό το στάδιο. Το κινητό τερματικό, στη συνέχεια, συνεχίζει να ακούει την ευρυεκπομπή ενός γενικού μοναδικού αναγνωριστικού που χαρακτηρίζει τον παροχέα υπηρεσιών του δικτύου στο SBCH ώστε να αποφευχθεί η συσχέτιση με ένα δίκτυο που δεν είναι ικανό ή δεν του επιτρέπεται να προσφέρει υπηρεσίες στον χρήστη του κινητού τερματικού.

Έπειτα, ακολουθεί ανταλλαγή των δυνατοτήτων της ζεύξης χρησιμοποιώντας το ASCH ξεκινώντας από το κινητό τερματικό που παρέχει πληροφορία σχετικά με τους τρόπους λειτουργίας στο φυσικό επίπεδο, τα επίπεδα σύγκλισης, και τις διαδικασίες και τους αλγορίθμους κρυπτογράφησης και πιστοποίησης που μπορεί να υποστηρίξει.

Το σημείο πρόσβασης θα απαντήσει με μία υποομάδα από τρόπους λειτουργίας σε φυσικό επίπεδο που μπορεί να υποστηρίξει, ένα επιλεγθέν επίπεδο σύγκλισης (μονάχα ένα), και μια επιλεγθείσα διαδικασία κρυπτογράφησης και πιστοποίησης (όπου μία εναλλακτική περίπτωση είναι η μη χρησιμοποίηση κρυπτογράφησης και/ή πιστοποίησης).

Αν έχουν γίνει οι διαπραγματεύσεις σχετικά με την κρυπτογράφηση, το κινητό τερματικό θα ξεκινήσει με την ανταλλαγή του κλειδιού Diffie - Hellman ώστε να διαπραγματευτεί το κλειδί της μυστικής συνόδου για όλη την κίνηση μεταξύ της συσκευής και του σημείου πρόσβασης. Με αυτό τον τρόπο, η ακολουθούμενη διαδικασία πιστοποίησης προστατεύεται από την κρυπτογράφηση. Το HIPERLAN/2 υποστηρίζει εξίσου την χρήση των αλγορίθμων DES και 3-DES για ισχυρή κρυπτογράφηση. Η κίνηση πολυεκπομπής και ευρυεκπομπής μπορεί, επίσης, να προστατευθεί μέσω της χρήσης κοινών κλειδιών (όλα τα κινητά τερματικά που συσχετίζονται με το ίδιο σημείο πρόσβασης χρησιμοποιούν το ίδιο κλειδί). Τα κοινά κλειδιά κατανέμονται κρυπτογραφημένα μέσω της χρήσης του κλειδιού κρυπτογράφησης της μονοεκπομπής. Όλα τα κλειδιά κρυπτογράφησης πρέπει να ανανεώνονται διαρκώς, ώστε να αποφεύγονται ατέλειες στην εφαρμογή της ασφάλειας.

Υπάρχουν δύο εναλλακτικές αναφορικά με την πιστοποίηση: η μία είναι να γίνει χρήση ενός κλειδιού που έχει από πριν διανεμηθεί, και η άλλη να χρησιμοποιηθεί μία σταθερή δομή κοινού κλειδιού (Public Key Infrastructure – PKI). Το HIPERLAN/2 υποστηρίζει το PKI με την έννοια της παραγωγής μίας ψηφιακής υπογραφής. Οι αλγόριθμοι πιστοποίησης που υποστηρίζονται είναι οι MD5, HMAC και RSA. Επίσης, υποστηρίζεται η αμφίδρομη πιστοποίηση τόσο του κινητού τερματικού όσο και του σημείου πρόσβασης. Το HIPERLAN/2 υποστηρίζει μία σειρά από αναγνωριστικά για τον προσδιορισμό της ταυτότητας του χρήστη και/ή του κινητού τερματικού, όπως για παράδειγμα αναγνωριστικό πρόσβασης δικτύου (Network Access Identifier – NAI), IEEE διεύθυνση, και πιστοποίηση X.509.

Μετά την συσχέτιση, το κινητό τερματικό μπορεί να ζητήσει για ένα αφιερωμένο κανάλι ελέγχου (π.χ. το DCCH), που χρησιμοποιεί για να εγκαταστήσει τα ραδιοφέροντα (μέσα στην κοινότητα του HIPERLAN/2 δικτύου, ένα ραδιοφέρον αναφέρεται ως μία DLC

σύνδεση χρήστη). Το κινητό τερματικό μπορεί να αιτήσει πολλαπλές τέτοιες συνδέσεις όπου κάθε μία έχει μία μοναδική δυνατότητα υποστήριξης για QoS.

Αποσυσχέτιση

Ένα κινητό τερματικό μπορεί να αποσυσχετιστεί με σαφή τρόπο ή απλώς να υπονοηθεί. Όταν η αποσυσχέτιση γίνεται με σαφή τρόπο, το κινητό τερματικό θα ειδοποιήσει το σημείο πρόσβασης ότι δεν επιθυμεί, πλέον, την επικοινωνία μέσω του δικτύου HIPERLAN/2. Όταν λέμε ότι η αποσυσχέτιση υπονοείται εκφράζουμε το σενάριο εκείνο, σύμφωνα με το οποίο, η συσκευή δεν έχει επαφή με το σημείο πρόσβασης για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Και στις δύο περιπτώσεις, το σημείο πρόσβασης θα αποδεσμεύσει όλους τους πόρους που έχουν διατεθεί για το κινητό τερματικό.

3.2.3.4.2. Έλεγχος DLC Σύνδεσης Χρήστη (DLC user Connection Control – DCC)

Το κινητό τερματικό (όπως επίσης και το σημείο πρόσβασης) ζητά DLC συνδέσεις χρήστη εκπέμποντας μηνύματα σηματοδοσίας στο DCCH. Το DCCH ελέγχει τους πόρους για μία συγκεκριμένη ενότητα MAC (που προσδιορίζεται από το MAC-ID). Καμία κίνηση στο επίπεδο του χρήστη δεν μπορεί να μεταδοθεί μέχρι να υπάρξει τουλάχιστον μία DLC σύνδεση χρήστη μεταξύ του κινητού τερματικού και του σημείου πρόσβασης. Η σηματοδοσία είναι σχετικά απλή με την αίτηση να ακολουθείται από μία επιβεβαίωση για το κατά πόσο η σύνδεση μπορεί να πραγματοποιηθεί. Για κάθε αίτηση, τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης δίνονται. Η εγκατεστημένη σύνδεση προσδιορίζεται με την βοήθεια ενός αναγνωριστικού, που παραχωρείται από το σημείο πρόσβασης.

Μία σύνδεση μπορεί, στη συνέχεια, να απελευθερωθεί χρησιμοποιώντας μία διαδικασία ανάλογη της εγκατάστασης.

Το HIPERLAN/2 υποστηρίζει, επιπλέον, μετατροπές στα χαρακτηριστικά των ήδη εγκατεστημένων συνδέσεων.

3.2.3.4.3. Έλεγχος Ραδιοπόρων (Radio Resource Control – RRC)

Μεταβίβαση

Η μεταβίβαση εκκινείται από τις μετρήσεις ποιότητας της ραδιοζεύξης. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα μία αίτηση για μεταβίβαση, που θα έχει ως εκκινήτη το κινητό τερματικό σταθμό. Το HIPERLAN/2 υποστηρίζει δύο μορφές μεταβίβασης: την επανασυσχέτιση και την μεταβίβαση μέσω της υποστηρίξις σηματοδοσίας στο σταθερό δίκτυο.

Επανασυσχέτιση είναι, βασικά, η από την αρχή εκκίνηση της διαδικασίας συσχέτισης όπως περιγράφηκε παραπάνω, που μπορεί να κρατήσει για κάποιο χρονικό διάστημα, ιδιαίτερα σε σχέση με την ταυτόχρονη κίνηση δεδομένων. Η άλλη εναλλακτική σημαίνει ότι το νέο σημείο πρόσβασης στο οποίο το κινητό τερματικό έχει ζητήσει να μεταβιβαστεί, θα ανασύρει την πληροφορία συσχέτισης και σύνδεσης από τον παλιό σταθμό βάσης μεταφέροντάς την μέσω του σταθερού δικτύου. Το κινητό τερματικό παρέχει στο νέο σημείο πρόσβασης μία σταθερή διεύθυνση δικτύου (π.χ. μία IP διεύθυνση) ώστε να καταστήσει δυνατή την επικοινωνία μεταξύ του παλιού και του νέου σταθμού βάσης. Αυτή η εναλλακτική έχει σαν αποτέλεσμα την ταχεία μεταβίβαση ελαχιστοποιώντας την απώλεια των δεδομένων κατά την διάρκεια της όλης διαδικασίας.

Δυναμική επιλογή συχνότητας (Dynamic Frequency Selection – DFS)

Περιγράφεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και παρακάτω. Το RRC υποστηρίζει αυτή την λειτουργία επιτρέποντας στο σημείο πρόσβασης να έχει την δυνατότητα να δίνει εντολές στις συσχετισμένες συσκευές για να εκτελούν μετρήσεις σε σχέση με τα λαμβανόμενα από τα γειτονικά σημεία πρόσβασης σήματα. Εξαιτίας των αλλαγών στο περιβάλλον και στην δικτυακή τοπολογία, το RRC περιλαμβάνει και την σηματοδοσία ώστε να ενημερώνει τα συσχετισμένα κινητά τερματικά ότι το σημείο πρόσβασης θα αλλάξει συχνότητα.

Ενεργοποίηση του κινητού τερματικού

Το σημείο πρόσβασης επιθεωρεί τις μη ενεργοποιημένες συσκευές που δεν μεταδίδουν καμία κίνηση στην ανερχόμενη ζεύξη, με το να στέλνει ένα μήνυμα “ενεργοποίησης” προς το κινητό τερματικό ώστε αυτό να απαντήσει. Ως μία εναλλακτική, το σημείο πρόσβασης μπορεί να θέσει ένα χρονόμετρο για όσο διάστημα το κινητό τερματικό μπορεί να βρίσκεται στην ανενεργή κατάσταση. Εάν δεν υπάρχει απάντηση προς τα μηνύματα “ενεργοποίησης” ή εναλλακτικά, εκπνεύσει ο χρόνος του μετρητή, το κινητό τερματικό θα αποσυσχετιστεί.

Εξοικονόμηση ισχύος

Αυτή η λειτουργία είναι υπεύθυνη για τις καταστάσεις λειτουργίας χαμηλής κατανάλωσης – πώς εισέρχονται και αποχωρούν σε/από αυτές οι κινητοί σταθμοί – και για τον έλεγχο της ισχύος από τον εκπομπό.

Αυτή η λειτουργία εκκινείται από το κινητό τερματικό. Μετά από μία διαπραγμάτευση σχετικά με τον χρόνο απενεργοποίησης (N αριθμοί πλαισίων όπου $N = 2 \dots 216$) το κινητό τερματικό απενεργοποιείται. Μετά από N πλαίσια υπάρχουν τέσσερα πιθανά σενάρια:

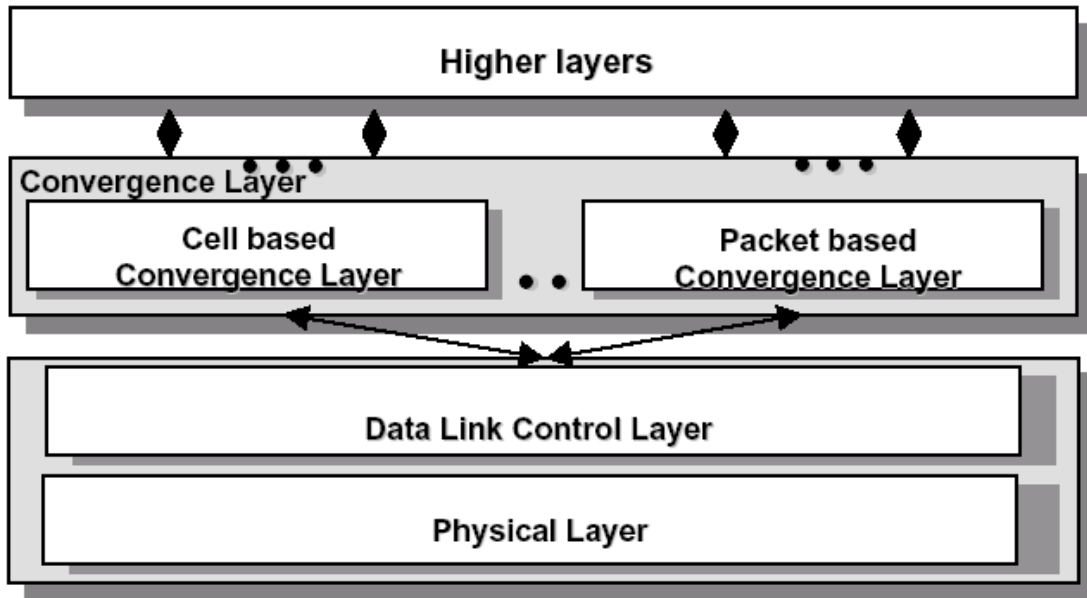
- Το σημείο πρόσβασης προκαλεί την ενεργοποίηση του κινητού τερματικού (αιτία: για παράδειγμα δεδομένα που εκκρεμούν στο σημείο πρόσβασης και είναι προς παράδοση).
- Το κινητό τερματικό ενεργοποιείται από μόνο του (αιτία: για παράδειγμα παράδοση δεδομένων που εκκρεμούν στη συσκευή).
- Το σημείο πρόσβασης ενημερώνει το κινητό τερματικό ότι μπορεί να εξακολουθήσει να είναι απενεργοποιημένο (εκ νέου για N πλαίσια).
- Το κινητό τερματικό χάνει τα μηνύματα “ενεργοποίησης” από το σημείο πρόσβασης. Στη συνέχεια εκτελεί την ακολουθία της ενεργοποίησης των συσκευών.

3.2.3.5. Επίπεδο Σύγκλισης (Convergence Layer – CL)

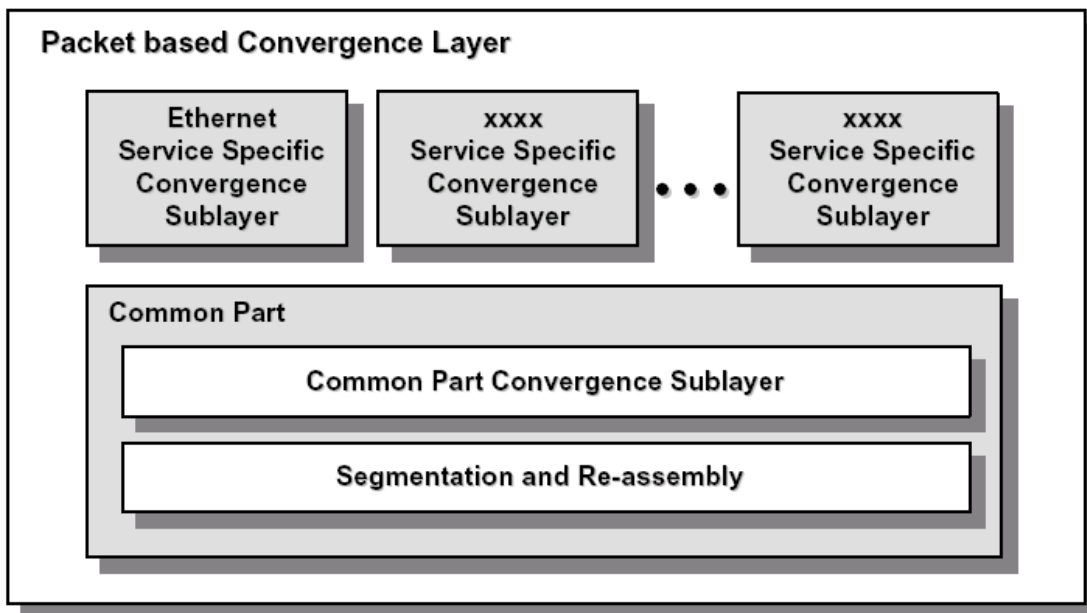
Το επίπεδο σύγκλισης έχει δύο βασικές λειτουργίες: να προσαρμόζει τις αιτήσεις υπηρεσίας από τα ανώτερα επίπεδα σε προσφερόμενη υπηρεσία από το DLC και να μετατρέπει τα πακέτα υψηλότερου επιπέδου (SDU) με μεταβλητό ή πιθανά σταθερό μέγεθος, σε πακέτα σταθερού μήκους που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια του DLC. Η λειτουργία της συμπλήρωσης, της τμηματοποίησης και της επανένωσης των σταθερού μήκους πακέτων DLC SDU είναι ένα χαρακτηριστικό στοιχείο που καθιστά δυνατή την προτυποποίηση και εφαρμογή ενός DLC και φυσικού επιπέδου που είναι ανεξάρτητα από το σταθερό δίκτυο με το οποίο το HIPERLAN/2 συνδέεται. Η γενική αρχιτεκτονική του επιπέδου σύγκλισης καθιστά το HIPERLAN/2 αρμόζουσα περίπτωση ως ένα ασύρματο δίκτυο πρόσβασης για έναν αριθμό από σταθερά δίκτυα, όπως, για παράδειγμα, το Ethernet, το IP, το ATM, το UMTS, κ.τ.λ.

Έχουν καθοριστεί δύο διαφορετικοί τύποι επιπέδων σύγκλισης: αυτός που βασίζεται σε κυψέλες (cell-based) και εκείνος που βασίζεται σε πακέτα (packet-based), γεγονός που

απεικονίζεται στο σχήμα 3.8. Ο πρώτος τύπος έχει ως στόχο την διασύνδεση με τα ATM δίκτυα, ενώ ο δεύτερος τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία ποικιλία από διαμορφώσεις ανάλογα με τον τύπο του σταθερού δικτύου και τον τρόπο προδιαγραφής αυτών.



Σχήμα 3.8: Η γενική δομή του επιπέδου σύγκλισης



Σχήμα 3.9: Η γενική δομή του επιπέδου σύγκλισης που βασίζεται στα πακέτα

Η δομή του επιπέδου σύγκλισης που βασίζεται στα πακέτα με ένα κοινό μέρος (common part) και ένα μέρος ανάλογο της υπηρεσίας (service specific) επιτρέπει την εύκολη προσαρμογή σε διαφορετικές διαμορφώσεις και σταθερά δίκτυα. Από την αρχή, ωστόσο, η

προδιαγραφή του HIPERLAN/2 καθορίζει το κοινό μέρος και το μέρος που είναι ανάλογο της υπηρεσίας για την διασύνδεση με ένα σταθερό δίκτυο Ethernet. Το επίπεδο σύγκλισης που βασίζεται στα πακέτα παρατίθεται στο σχήμα 3.9.

3.2.3.5.1. Κοινό Μέρος (Common Part)

Η κύρια λειτουργία του κοινού μέρους του επιπέδου σύγκλισης είναι η τμηματοποίηση των πακέτων που λαμβάνονται από το υποεπίπεδο σύγκλισης συγκεκριμένης υπηρεσίας (Service Specific Convergence Sublayer – SSCS), και η επανένωση των κομματιασμένων τμημάτων που ελήφθησαν από το επίπεδο DLC πριν προωθηθούν στο SSCS. Σε αυτό το υποεπίπεδο προστίθενται ή αφαιρούνται οι οκτάδες που συμπληρώνουν τα πακέτα και σκοπό έχουν να καταστήσουν το PDU του κοινού μέρους ικανό να αποτελείται από έναν αριθμό από DLC πακέτα SDU.

3.2.3.5.2. Υποεπίπεδο Σύγκλισης Υπηρεσίας Ethernet (Ethernet SSCS)

Το Ethernet SSCS δίνει την δυνατότητα στο HIPERLAN/2 να μοιάζει με ασύρματες ενότητες ενός δικτύου Ethernet. Υποστηρίζονται εξίσου τα πλαίσια που προδιαγράφονται από την IEEE802.3 και την IEEE 802.3ac. Το Ethernet SSCS προσφέρει δύο σχήματα για υπηρεσίες ποιότητας. Το σχήμα της καλύτερης προσπάθειας υποστηρίζεται υποχρεωτικά και αντιμετωπίζει όλη την κίνηση των δεδομένων ισότιμα. Το σχήμα προτεραιοτήτων που βασίζεται στην προδιαγραφή της IEEE 802.1p είναι προαιρετική και διαχωρίζει την κίνηση σε ουρές διαφορετικής προτεραιότητας. Σαν κέρδος, το DLC μπορεί να αντιμετωπίζει τις ουρές διαφορετικών προτεραιοτήτων με ένα βέλτιστο τρόπο για συγκεκριμένους τύπους κίνησης.

3.2.4. Λειτουργίες Ασύρματου Δικτύου

Το πρότυπο του HIPERLAN/2 ορίζει μετρήσεις και σηματοδосία ώστε να υποστηρίξει έναν αριθμό από λειτουργίες του ασύρματου δικτύου. Τέτοιες είναι η δυναμική επιλογή συχνότητας, η προσαρμογή της ζεύξης, η μεταβίβαση ραδιοκυψέλης, οι κεραίες πολλαπλών δεσμών και ο έλεγχος της ισχύος.

3.2.4.1. Δυναμική Επιλογή Συχνότητας (Dynamic Frequency Selection – DFS)

Το ασύρματο δίκτυο HIPERLAN/2 θα έπρεπε, αυτόματα, να παραχωρεί συχνότητες σε κάθε σημείο πρόσβασης για τις ανάγκες της επικοινωνίας. Αυτό εκτελείται από την λειτουργία της δυναμικής επιλογής συχνότητας, που επιτρέπει σε διάφορους παροχείς υπηρεσιών να μοιράζονται το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων και έχει ως στόχο την αποφυγή της χρήσης συχνοτήτων που παρεμβάλλουν μεταξύ τους. Η επιλογή της συχνότητας που γίνεται από κάθε σημείο πρόσβασης βασίζεται στις πραγματοποιηθείσες μετρήσεις παρεμβολών που λαμβάνουν χώρα τόσο από τους σταθμούς βάσης όσο και από τα συσχετισμένα, με αυτούς, κινητά τερματικά.

3.2.4.2 Προσαρμογή της Ζεύξης

Για να αντιμετωπιστεί η μεταβαλλόμενη ποιότητα των σημάτων, σε όρους λόγου σήματος προς παρεμβολή, εφαρμόζεται ένα σχήμα προσαρμογής της ζεύξης. Το εύρος των επιπέδων παρεμβολής ποικίλει, ανάλογα με την τοποθεσία όπου αναπτύσσεται το δίκτυο και, επίσης, με τις αλλαγές που λαμβάνουν χώρα με τον χρόνο κι εξαρτώνται από την κίνηση σε γειτονικές κυψέλες. Το σχήμα αυτό βασίζεται στις λαμβανόμενες μετρήσεις για την ποιότητα της ζεύξης ώστε να προσαρμόσει την ευρωστία του φυσικού επιπέδου. Επομένως, το φυσικό επίπεδο επιλέγεται δυναμικά για το SCH και το LCH σε κάθε μεταδιδόμενο MAC πλαίσιο.

3.2.4.3. Κεραίες

Κεραίες πολλαπλών δεσμών υποστηρίζονται από το HIPERLAN/2 ως ένας τρόπος για την βελτίωση της απόδοσης της ζεύξης και για την αύξηση του λόγου σήματος προς παρεμβολή στο ασύρματο δίκτυο. Το MAC πρωτόκολλο και η δομή του πλαισίου στο HIPERLAN/2 επιτρέπει μέχρι 7 δέσμες προς χρήση.

3.2.4.4. Μεταβίβαση

Το σχήμα μεταβίβασης εκκινείται από το κινητό τερματικό. Για παράδειγμα, ένας κινητός σταθμός διενεργεί τις απαραίτητες μετρήσεις στα γειτονικά σημεία πρόσβασης και επιλέγει τους κατάλληλους σταθμούς βάσης για την επικοινωνία. Οι μετρήσεις για την

μεταβίβαση δεν καθορίζονται από το πρότυπο, δηλαδή μία μεταβίβαση μπορεί να βασιστεί στην ισχύ του σήματος ή κάποια άλλη μέτρηση ποιότητας. Αυτό που κάνει το πρότυπο είναι να ορίσει την απαραίτητη σηματοδότηση ώστε να εκτελεστεί η μεταβίβαση.

3.2.4.5. Έλεγχος Ισχύος

Ο έλεγχος της ισχύος του εκπομπού υποστηρίζεται τόσο από το κινητό τερματικό (στην ανερχόμενη ζεύξη) όσο και από το σημείο πρόσβασης (στην κατερχόμενη ζεύξη). Ο έλεγχος ισχύος από μέρους του κινητού τερματικού χρησιμοποιείται, κυρίως, για να απλουστευθεί ο σχεδιασμός του λήπτη στο σημείο πρόσβασης. Ο έλεγχος ισχύος από μέρους του σημείου πρόσβασης είναι κομμάτι του προτύπου και εξυπηρετεί ρυθμιστικούς λόγους, όπως για παράδειγμα την μείωση της παρεμβολής με δορυφορικά συστήματα.

3.2.5. Παραχώρηση Φάσματος και Περιοχές Κάλυψης

Στην Ευρώπη, 455 MHz έχουν προταθεί προς διάθεση για τους σκοπούς του HIPERLAN/2. Για τα διαφορετικά μέρη των ζωνών συχνότητας έχουν καθοριστεί διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας ώστε να είναι δυνατή η συνύπαρξη με άλλες υπηρεσίες.

Στις Η.Π.Α, 300 MHz έχουν παραχωρηθεί σε ασύρματα τοπικά δίκτυα, ενώ στην Ιαπωνία 100 MHz διατίθενται για τον ίδιο λόγο και συζητείται η περίπτωση επιπλέον παραχώρησης φάσματος.

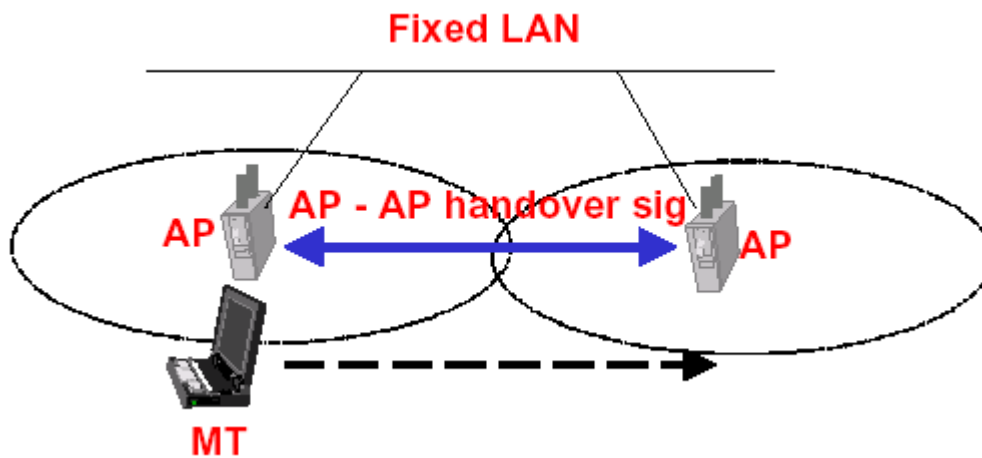
Μία κυψέλη ενός σημείου πρόσβασης του HIPERLAN/2 τυπικά μπορεί να φτάσει τα 30 (γραφεία σε εσωτερικό χώρο) έως 150 μέτρα.

3.2.6. Τρόπος Λειτουργίας του Δικτύου

Το σχήμα 3.10 δείχνει ένα σενάριο που περιλαμβάνει ένα κινητό τερματικό και δύο σημεία πρόσβασης που είναι συνδεδεμένα με ένα σταθερό δίκτυο και υποστηρίζουν το σχήμα με τις ενδείξεις προτεραιοτήτων.

Τα σημεία πρόσβασης έχουν επιλέξει, το καθένα, κατάλληλες συχνότητες σύμφωνα με τον αλγόριθμο DFS.

Το κινητό τερματικό (MT) ξεκινά μετρώντας την ισχύ του σήματος και επιλέγει το αρμόζον σημείο πρόσβασης (AP) με το οποίο θέλει να συσχετιστεί. Από το επιλεγθέν σημείο πρόσβασης το κινητό τερματικό λαμβάνει ένα αναγνωριστικό (MAC-ID). Ακολουθεί η ανταλλαγή των δυνατοτήτων της ζεύξης ώστε να αποφασιστεί, ανάμεσα σε όλα τα υπόλοιπα, η διαδικασία πιστοποίησης και ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης όπως επίσης και ποιο επίπεδο σύγκλισης θα χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες της κίνησης του επιπέδου του χρήστη. Έπειτα από μία πιθανή ανταλλαγή κλειδιού και πιστοποίηση, το κινητό τερματικό συσχετίζεται με το σημείο πρόσβασης. Τελικά, οι DLC συνδέσεις χρήστη εγκαθίστανται και μέσω αυτών μεταδίδεται η κίνηση του επιπέδου του χρήστη.



Σχήμα 3.10: Δείγμα ενός δικτύου HIPERLAN/2 που συνδέεται μέσω σταθερού δικτύου

Το κινητό τερματικό θα στείλει και θα λάβει δεδομένα σε δύο εγκατεστημένες συνδέσεις υποστηρίζοντας δύο διαφορετικής προτεραιότητας ουρές (παραπάνω από δύο ουρές με διαφορετική προτεραιότητα μπορούν να υποστηριχθούν). Το Ethernet CL διασφαλίζει ότι οι προτεραιότητες για κάθε Ethernet πλαίσιο απεικονίζονται στις αντίστοιχες συνδέσεις σύμφωνα με το προκαθορισμένο σχήμα απεικόνισης.

Το κινητό τερματικό μπορεί, στη συνέχεια, να αποφασίσει να μετάσχει σε μία ή περισσότερες ομάδες πολυεκπομπής. Το HIPERLAN/2 δίκτυο μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να χρησιμοποιήσει N*μονοεκπομπή για βέλτιστη ποιότητα, ή να κρατήσει μία MAC-ID για κάθε μία ομάδα στην οποία συμμετέχει και, έτσι, να καταναλώσει μικρότερο εύρος ζώνης. Εάν ένα ξεχωριστό MAC-ID χρησιμοποιηθεί για μία ομάδα πολυεκπομπής, η απεικόνιση θα είναι ως εξής:

IP διεύθυνση → IEEE διεύθυνση → MAC-ID

Καθώς κινείται το τερματικό, μπορεί να αποφασίσει να εκτελέσει μία μεταβίβαση εάν ανιχνεύσει ότι υπάρχει ένα σημείο πρόσβασης που είναι πιο κατάλληλο για τις ανάγκες της επικοινωνίας (για παράδειγμα με μεγαλύτερη ισχύ σήματος). Όλες οι εγκατεστημένες συνδέσεις καθώς και οι πιθανές συσχετίσεις ασφάλειας θα μεταβιβαστούν αυτόματα στο νέο σημείο πρόσβασης χρησιμοποιώντας την σηματοδότηση μεταξύ των σταθμών βάσης μέσω του σταθερού δικτύου. Όταν το κινητό τερματικό (ή πιο σωστά ο χρήστης) επιθυμεί να αποσυνδεθεί από το τοπικό δίκτυο, η συσκευή κάνει αίτηση αποσυσχέτισης που έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση όλων των συνδέσεων μεταξύ του κινητού τερματικού και του σημείου πρόσβασης. Αυτό μπορεί να συμβεί και στην περίπτωση που το κινητό τερματικό κινηθεί έξω από τα όρια της περιοχής κάλυψης για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

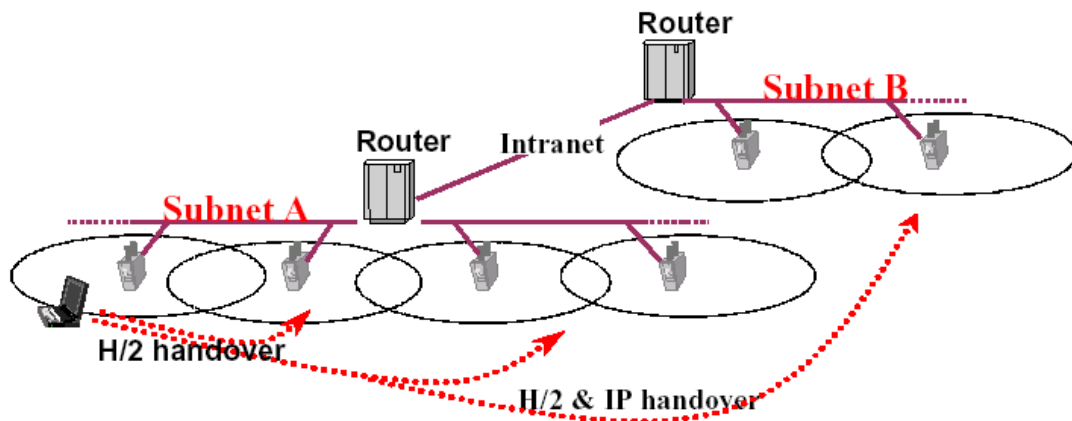
3.2.6.1. Παραδείγματα Εφαρμογών

Συλλογικό τοπικό δίκτυο

Το σχήμα 3.11 δείχνει ένα παράδειγμα μιας τοπολογίας συλλογικού δικτύου μεταξύ Ethernet και δρομολογητών IP. Ένα δίκτυο HIPERLAN/2 χρησιμοποιείται ως το τελευταίο κομμάτι σύνδεσης μεταξύ των κινητών τερματικών και του δικτύου. Το δίκτυο HIPERLAN/2 υποστηρίζει την κινητικότητα μέσα στα όρια του ίδιου τοπικού δικτύου/υποδικτύου. Η κίνηση μεταξύ των υποδικτύων υπονοεί IP κινητικότητα η οποία αναλαμβάνεται από ένα επίπεδο πιο πάνω από το HIPERLAN/2.

Hot spots

Το δίκτυο HIPERLAN/2 μπορεί να αναπτυχθεί σε περιοχές *hot spots*. Τέτοιες είναι για παράδειγμα τα αεροδρόμια, τα ξενοδοχεία, κ.τ.λ. Έτσι, παρέχεται η δυνατότητα της εύκολης απομακρυσμένης πρόσβασης και των υπηρεσιών διαδικτύου σε εργαζόμενους. Ένας *server* πρόσβασης, με τον οποίο το δίκτυο HIPERLAN/2 θα συνδέεται, θα έχει την δυνατότητα της δρομολόγησης μίας αίτησης για σύνδεση σημείο-προς-σημείο είτε στο συνολικό δίκτυο είτε στο ISP όταν πρόκειται για πρόσβαση στο διαδίκτυο.



Σχήμα 3.11: Χρήση του HIPERLAN/2 σε ένα συλλογικό δίκτυο

Πρόσβαση σε τρίτης γενιάς κυψελωτά δίκτυα

Το HIPERLAN/2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μία εναλλακτική λύση πρόσβασης σε ένα 3^{ης} γενιάς κυψελωτό δίκτυο. Μπορεί κάποιος να σκεφτεί την πιθανότητα κάλυψης των *hot spots* και των αστικών περιοχών με την βοήθεια του HIPERLAN/2 ενώ οι ευρείες περιοχές να καλύπτονται από την τεχνολογία CDMA. Με αυτό τον τρόπο, ένας χρήστης μπορεί να επωφεληθεί από ένα δίκτυο υψηλής απόδοσης, όποτε είναι εφικτή η ανάπτυξη HIPERLAN/2, και να χρησιμοποιεί οπουδήποτε αλλού W-CDMA. Το κυρίως δίκτυο θα έχει την ευθύνη της αυτόματης και διαφανούς, για τον χρήστη, μεταβίβασης μεταξύ των δύο τύπων δικτύων πρόσβασης καθώς εκείνος θα κινείται ανάμεσά τους.

Οικιακό δίκτυο

Άλλο ένα παράδειγμα του HIPERLAN/2 είναι η χρησιμοποίηση της τεχνολογίας σε ένα οικιακό περιβάλλον με σκοπό την δημιουργία μίας σταθερής δομής για τις οικιακές συσκευές (PC, VCR, κάμερες, εκτυπωτές κ.α). Η υψηλή ρυθμαπόδοση και τα στοιχεία QoS του HIPERLAN/2 μπορούν να υποστηρίξουν την μετάδοση ροών video σε σύνδεση με εφαρμογές *datacom*. Το σημείο πρόσβασης μπορεί, σε αυτή την περίπτωση, να περιλαμβάνει μία “ανερχόμενη ζεύξη” για το δημόσιο δίκτυο, για παράδειγμα ένα καλωδιακό *modem*.

3.2.6.2. Απόδοση

Η απόδοση σε όρους ρυθμαπόδοσης του χρήστη και της καθυστέρησης εξαρτάται από έναν αριθμό από παράγοντες, όπως είναι ο διαθέσιμος αριθμός συχνοτήτων, οι συνθήκες

διάδοσης στο κτίριο και η παρουσία παρεμβολών (παρουσία άλλου HIPERLAN/2 συστήματος στην κοντινή γειτονιά).

3.2.7. HIPERLAN/2 ως Ad Hoc Δίκτυο

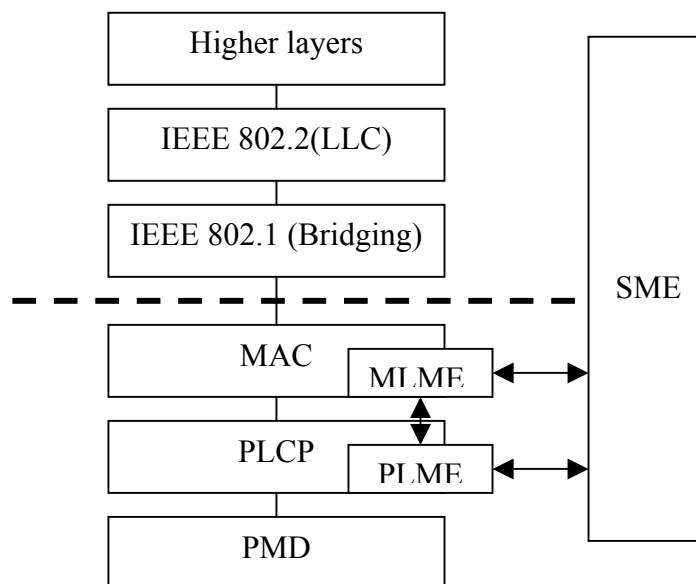
Το HIPERLAN/2 μπορεί να λειτουργήσει και σύμφωνα με τον απευθείας τρόπο (καθαρά ad hoc), που επιτρέπει την ανάπτυξη και υποστήριξη ad hoc δικτύων. Για ένα *ad hoc* δίκτυο, εφαρμόζεται η επέκταση για οικιακό περιβάλλον (Home Environment Extension) του HIPERLAN/2. Στο οικιακό περιβάλλον κυριαρχεί η αμοιβαία ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των κινητών τερματικών χρησιμοποιώντας την απευθείας ζεύξη, αντίθετα με το σενάριο του σημείου πρόσβασης σε δίκτυα σταθερής δομής. Παρόλ' αυτά, το σχήμα TDMA/TDD στο HIPERLAN/2 απαιτεί έναν κεντρικό ελεγκτή (Central Controller) στο δίκτυο, που θα σχεδιάζει και θα προγραμματίζει όλη την κίνηση. Μολαταύτα, στην προδιαγραφή του HIPERLAN/2 για το οικιακό περιβάλλον ο κεντρικός ελεγκτής, που επιλέγεται τυχαία από τα υπάρχοντα κινητά τερματικά (που έχουν την λειτουργική ικανότητα να γίνουν κεντρικοί ελεγκτές) σχεδιάζουν και προγραμματίζουν το σύνολο της κίνησης, συντηρούν το δίκτυο και παραχωρούν πόρους όπως ακριβώς κι ένα σημείο πρόσβασης κατά τον κεντροποιημένο τρόπο λειτουργίας του HIPERLAN/2.

Το φυσικό επίπεδο δεν αλλάζει σημαντικά στο οικιακό περιβάλλον. Για να αντιμετωπιστεί η πιθανότητα διασποράς των διαφορών στην καθυστέρηση μεταξύ δύο σταθμών, εισάγεται, από τον κεντρικό ελεγκτή, μία περίοδος φύλαξης μεταξύ δύο διαδοχικών φάσεων απευθείας ζεύξης. Επιπλέον, υπάρχει ένα κομμάτι προλόγου που προστίθεται από τον κεντρικό ελεγκτή για να δηλώσει την απευθείας ζεύξη. Όπως και στον κεντροποιημένο τρόπο λειτουργίας, πολλαπλά υποδίκτυα μπορούν να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας διάφορα κανάλια συχνοτήτων. Αυτά τα υποδίκτυα μπορούν να συνδεθούν από οποιαδήποτε οικιακή συσκευή HIPERLAN/2. Στο MAC επίπεδο, οι αιτήσεις για πόρους στην απευθείας ζεύξη στέλνονται σε ένα διαφορετικό κανάλι, το οποίο και ονομάζεται "ανερχόμενο κανάλι". Ο κεντροποιημένος έλεγχος του μέσου παραμένει. Κάθε κινητό τερματικό ακολουθεί το σύνολο των γνωστών διαδικασιών με την πρόσβαση να ζητείται από τις συσκευές και να παραχωρείται από τον κεντρικό ελεγκτή. Το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού δεν λύνεται σε αυτή την προδιαγραφή, όμως, ένας κόμβος που δεν μπορεί να δει τον κεντρικό ελεγκτή δεν μπορεί να θεωρηθεί κρυμμένος. Σε μελλοντικές εκδόσεις της προδιαγραφής η ETSI BRAN σχεδιάζει να υποστηρίξει και τα κρυμμένα τερματικά. Το

σχήμα διευθυνσιοδότησης παραμένει το ίδιο. Με την απευθείας ζεύξη, ο κεντρικός ελεγκτής παραχωρεί μία MAC-ID στον εαυτό του και σε άλλους συσχετισμένους σταθμούς (αφού η επιλογή των κεντρικών ελεγκτών έχει περατωθεί). Το αναγνωριστικό του σημείου πρόσβασης (AP-ID) επιλέγεται τυχαία, όπως επίσης και το αναγνωριστικό του δικτύου (NET-ID) το οποίο είναι και μοναδικό για τον κάτοχο της ομάδας των συσκευών. Στο υποεπίπεδο του EC υποστηρίζεται ένας τέταρτος τρόπος για τον έλεγχο των σφαλμάτων που ονομάζεται πρόωρος έλεγχος σφαλμάτων (Forward Error Control – FEC). Οι άλλοι τρόποι (επιβεβαίωση, επανάληψη, έλλειψη επιβεβαίωσης) παραμένουν ως έχουν. Συμπερασματικά, οι επεκτάσεις του DLC στο οικιακό περιβάλλον υποστηρίζουν την εκτεταμένη χρήση της απευθείας ζεύξης από ότι της ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης. Προδιαγράφονται μηχανισμοί υποστήριξης της αυτό-οργάνωσης των υποδικτύων, στοιχείο ιδιαίτερα ουσιώδες για ένα ad hoc δίκτυο.

3.3. IEEE 802.11

Η προδιαγραφή IEEE 802.11 για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα εκδόθηκε το 1997 κι ενσωματώθηκε στο πλαίσιο εργασίας του IEEE 802.



Σχήμα 3.12: Μοντέλο αναφοράς IEEE 802.11

Στο πρότυπο αυτό προδιαγράφεται η λειτουργικότητα του MAC και του φυσικού επιπέδου ενός τοπικού ασύρματου δικτύου και παρουσιάζεται μία ιδέα ενσωμάτωσης και σύνδεσης αυτού του τύπου του δικτύου στην φόρμα του IEEE 802. Με δύο προσθήκες για

υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, το 1999 οι προδιαγραφές πέτυχαν να παρέχουν ρυθμούς δεδομένων από 1 Mbit/s μέχρι και 54 Mbit/s στην ζώνη των 2,4 GHz ISM και στην ζώνη των 5 GHz U-NII. Το σχήμα πρόσβασης στο μέσο βασίζεται στο CSMA/CA και υποστηρίζει κεντροποιημένο έλεγχο στα δίκτυα με σταθερή δομή.

3.3.1. Βασικές Ιδέες

Η προδιαγραφή IEEE 802.11, αρχικά, εισάγει μια εννοιολογική προσέγγιση σε ένα ασύρματο δίκτυο. Μία βασική διάκριση γίνεται μεταξύ των δικτύων με, και αυτών χωρίς σταθερή δομή. Η ιδέα περιλαμβάνει όλα τα επίπεδα πρόσβασης του δικτύου αλλά επικεντρώνεται στο MAC και το φυσικό επίπεδο.

Τα ασύρματα δίκτυα με σταθερή δομή αποτελούνται από τις ομάδες βασικής υπηρεσίας (Basic Service Set – BSS), η κάθε μία από τις οποίες αναγνωρίζεται από το σημείο πρόσβασής της, επιπλέον ένα σύστημα κατανομής (Distribution System – DS), και τις λεγόμενες πύλες σε άλλα δίκτυα IEEE 802. Το BSS είναι μία ομάδα από σταθμούς με κοινή περιοχή εμβέλειας-επικοινωνίας που συσχετίζονται με ένα σημείο πρόσβασης. Μπορεί, επίσης, να θεωρηθεί ως ένα υποδίκτυο.

Το σημείο πρόσβασης, εκτός της λειτουργίας ως ένας κανονικός σταθμός, έχει μία διακριτή θέση μέσα στο υποδίκτυο: Παρέχει πρόσβαση στο σύστημα κατανομής. Επίσης, μπορεί να ενεργήσει σαν συντονιστής σημείου (θα δούμε παρακάτω) για να προσφέρει υπηρεσίες ελεύθερες συγκρούσεων στους συσχετισμένους σταθμούς.

Το DS είναι υπεύθυνο για την σύνδεση διαφορετικών BSS και άλλων δικτύων για να δημιουργήσουν μία εκτεταμένη ομάδα υπηρεσίας (Extended Service Set – ESS). Το DS είναι μία λογική ενότητα στο πλαίσιο εργασίας του συγκεκριμένου προτύπου και δεν προδιαγράφεται καμία εφαρμογή ή τύπος εφαρμογής του. Οι υπηρεσίες του DS αναφέρονται ως υπηρεσίες συστήματος κατανομής (DS Services – DSS) και περιλαμβάνουν έλεγχο συσχέτισης, κατανομή των πλαισίων πάνω από λογικά σύνορα και ενσωμάτωση του WLAN IEEE 802.11 σε άλλα LAN IEEE 802. Σε αντίθεση με τα DSS υπάρχουν οι υπηρεσίες σταθμών (Station Services – SS) που συμβάλλουν στην πιστοποίηση, την μυστικότητα της επικοινωνίας και την παράδοση των δεδομένων.

Αν ένα υποδίκτυο, όπου όλοι οι κόμβοι βρίσκονται σε αμοιβαία περιοχή επικοινωνίας, δεν συνδέεται με ένα σημείο πρόσβασης (κι επομένως δεν έχει πρόσβαση στο DS), τότε αυτό λέγεται ανεξάρτητη ομάδα βασικής υπηρεσίας (Independent Basic Service

Set – IBSS). Αυτά τα δίκτυα αναφέρονται ως *ad hoc* δίκτυα ή δίκτυα χωρίς σταθερή δομή. Οι ιδιαιτερότητες ενός IBSS περιγράφονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια παρακάτω. Το ESS αποτελείται από DS και BSS με αυθαίρετο τρόπο, πολυπλοκότητα και συνδυασμό. Ένα ESS φαίνεται να είναι ένα IBSS από την πλευρά του υπό-επιπέδου ελέγχου της λογικής ζεύξης.

3.3.2. Επίπεδα, Υπηρεσίες και Ενότητες

Το φυσικό επίπεδο του IEEE 802.11 αποτελείται από δύο υποεπίπεδα, το φυσικό υποεπίπεδο εξαρτώμενο από το μέσο (Physical Medium Dependant – PMD), και το υπό-επίπεδο σύγκλισης φυσικού επιπέδου (Physical Layer Convergence Protocol – PLCP). Το PMD προδιαγράφει τον τρόπο αποστολής και λήψης των δεδομένων στο ασύρματο επίπεδο και το PLCP απεικονίζει τα πλαίσια MAC για τις λειτουργίες του PMD.

Υπάρχουν πέντε φυσικά επίπεδα που προδιαγράφονται στο πρότυπο IEEE 802.11:

- IR βασικής ζώνης
- Διασκορπισμένο φάσμα με άλματα συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS) στην μπάντα των 2,4 GHz ISM.
- Διασκορπισμένο φάσμα απευθείας σειράς (Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS) στην μπάντα των 2,4 GHz ISM.
- Διασκορπισμένο φάσμα απευθείας σειράς υψηλού ρυθμού (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum – HR/DSSS) στην περιοχή των 2,4 GHz.
- Φυσικό επίπεδο υψηλής ταχύτητας βασισμένο στην ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) στην περιοχή των 5 GHz.

Τα πρώτα δύο φυσικά επίπεδα υποστηρίζουν ρυθμούς δεδομένων μέχρι 2 Mbps, το HR/DSSS υποστηρίζει μέχρι και 11 Mbps και το OFDM μέχρι και 54 Mbps. Κάθε προδιαγραφή καθορίζει τόσο το PMD όσο και το PLCP ανάλογα με το αντίστοιχο φυσικό σύστημα.

Το υποεπίπεδο πρόσβασης στο μέσο παρέχει ασύγχρονη παράδοση δεδομένων, ασφαλείς υπηρεσίες, κρυπτογράφηση και πιστοποίηση μεταξύ σταθμών, και διάταξη των πακέτων. Επιπλέον περιγράφονται στις ενότητες του MAC επιπέδου μέθοδοι ελέγχου ζεύξης και διαχείρισης, τμηματοποίησης και επανένωσης πακέτων. Το βασικό σχήμα πρόσβασης στο μέσο, το CSMA/CA, είναι ενσωματωμένο ως καταναμημένη λειτουργία συντονισμού (Distributed Coordination Function – DCF) στο επίπεδο MAC. Για να αποφευχθούν οι συγκρούσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σχήμα RTS/CTS πριν από την εκκίνηση

οποιασδήποτε μετάδοσης. Πάνω από το DCF υπάρχει η λειτουργία συντονισμού σημείου (Point Coordination Function – PCF) που παρέχει πρόσβαση στο μέσο χωρίς συγκρούσεις στην διαμόρφωση δικτύων με σταθερή δομή. Το DCF και το PCF εξετάζονται παρακάτω.

Η διευθυνσιοδότηση σε ένα δίκτυο IEEE 802.11 ακολουθεί τους κανόνες του προτύπου, για παράδειγμα κάθε συσκευή έχει μία μοναδική διεύθυνση σταθμού με 48 bit. Επιπλέον, κάθε υποδίκτυο έχει ένα μοναδικό, δικό του, αναγνωριστικό που είναι η διεύθυνση MAC του σημείου πρόσβασης στα δίκτυα με σταθερή δομή ή μία τυχαία διεύθυνση IEEE 802, που διαχειρίζεται τοπικά, για τις περιπτώσεις έλλειψης σταθερής δομής.

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι μηνυμάτων σε επίπεδο MAC, που είναι δεδομένα, πακέτα διαχείρισης και μηνύματα ελέγχου. Τα πλαίσια δεδομένων περιέχουν δεδομένα του χρήστη, τα πλαίσια διαχείρισης περιλαμβάνουν δεδομένα οντοτήτων διαχείρισης επιπέδου MAC (MAC Layer Management Entity – MLME), και τα πλαίσια ελέγχου (όπως τα RTS/CTS πλαίσια) έχουν την έννοια της υποστήριξης του ελέγχου παράδοσης των δεδομένων και των πακέτων διαχείρισης.

Πριν μιλήσουμε για το DCF και το PCF με λεπτομέρεια, θα ήταν ωφέλιμο να εισάγουμε την έννοια του χώρου διαπλαισίωσης του IEEE 802.11. Μπορεί να θεωρηθεί ως μία ομάδα από χρονιστές, που ξεκινούν αφού ελευθερωθεί το μέσο. Κάθε χρονιστής εκπνέει μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ανάλογα με το ποιο χρονιστές έχουν ήδη εκπνεύσει, τα πακέτα μπορούν να σταλούν ή όχι, σύμφωνα με την προτεραιότητά τους. Μετά το διάστημα διαπλαισίωσης του DCF (DCF Interframe Space – DIFS) – που χρησιμοποιείται από το DCF για να παρέχει πρόσβαση στις συγκρούσεις, ή το εκτεταμένο διάστημα διαπλαισίωσης (Extended Interframe Space – EIFS) – που χρησιμοποιείται αν ένας σταθμός λάβει ένα εσφαλμένο πακέτο, ένας σταθμός μπορεί να συναγωνιστεί για την πρόσβαση στο μέσο. Η ιδέα του διαστήματος διαπλαισίωσης (Interframe Space - IFS) έχει εισαχθεί για να παρέχει πρόσβαση στο μέσο βάσει προτεραιοτήτων. Το IFS και οι κανόνες πρόσβασης εφαρμόζονται σε κάθε σταθμό. Οι πραγματικοί χρόνοι επιλέγονται σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες του φυσικού επιπέδου, που καθορίζονται στην αντίστοιχη βάση πληροφορίας διαχείρισης (Management Information Base – MIB), που αποθηκεύεται σε κάθε σταθμό.

Το DCF ορίζει τις βασικές λειτουργίες πρόσβασης στο μέσο του CSMA/CA, και τις υπηρεσίες σύγκρουσης. Αυτές είναι χρονισμοί πρόσβασης του μέσου για διαφορετικούς τύπους πακέτων, διαδικασίες μεταφοράς πλαισίων, διαδικασίες επιβεβαιώσεων, και μέθοδοι RTS/CTS. Επιπρόσθετα, παρέχεται ένας εικονικός μηχανισμός αίσθησης του μέσου που

βασίζεται στην πληροφορία που σχετίζεται με την διάρκεια κατά την οποία είναι απασχολημένο το μέσο. Αυτή η πληροφορία παρέχεται στο πεδίο της τιμής της διάρκειας στην επικεφαλίδα του πλαισίου MAC. Αυτός ο μηχανισμός ονομάζεται διάνυσμα παραχώρησης δικτύου (Network Allocation Vector – NAV).

Το DCF διασφαλίζει ότι υπάρχει ένα χρονικό παράθυρο μεταξύ των πλαισίων, που χρησιμοποιείται για πρόσβαση σύμφωνα με προτεραιότητες. Αν, για παράδειγμα, ένας σταθμός θέλει να μεταδώσει, και το χρονόμετρο καθυστέρησης είναι μηδενισμένο, τότε, αν το μέσο έχει ελευθερωθεί για χρονικό διάστημα τουλάχιστον ίσο με DIFS, μεταδίδει αμέσως. Σε αντίθεση με αυτό, από την στιγμή που μία επιβεβαίωση είναι πιο σπουδαία από μία μετάδοση, τα πακέτα ACK μεταδίδονται μετά από ένα βραχύ διάστημα διαπλαισίωσης (Short Interframe Space – SIFS) – που χρησιμοποιείται για υψηλής προτεραιότητας πρόσβαση, και είναι το συντομότερο από τα διαστήματα διαπλαισίωσης. Άρα, καθώς τα πακέτα ACK συναγωνίζονται για το μέσο νωρίτερα από τις συνηθισμένες μεταδόσεις, ο σταθμός θα πετύχει και θα εκπέμψει πρώτος.

Το DCF είναι η βάση για όλους τους σταθμούς, αναφορικά με την πρόσβαση στο μέσο, και χρησιμοποιείται και στα δίκτυα που έχουν, αλλά και σε αυτά που δεν έχουν, σταθερή δομή.

Στην περίπτωση σταθερής δομής, η επικοινωνία μπορεί να ελεγχθεί από το PCF χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες DCF. Το PC βρίσκεται στο σημείο πρόσβασης. Προγραμματίζει μία περίοδο ελεύθερη από συγκρούσεις, που την ανακοινώνει στέλνοντας ένα *beacon* πλαίσιο μετά σε χρόνο SIFS (υποδεικνύοντας υψηλότερη προτεραιότητα από ότι τα συνηθισμένα πακέτα συναγωνισμού). Επιπλέον, διατηρεί μία λίστα με τους σταθμούς που έχουν ζητήσει να ρωτηθούν κατά την διάρκεια της περιόδου που είναι ελεύθερη από συγκρούσεις, και τους ρωτά. Ο σταθμός μεταφράζει την απόκριση αυτή ως μία παραχώρηση πόρων για την επικοινωνία με άλλον σταθμό. Επομένως, θα μπορούσε να προσφερθεί και QoS.

Όλα τα προδιαγεγραμμένα επίπεδα του IEEE 802.11 περιλαμβάνουν την δικιά τους οντότητα διαχείρισης. Αυτές οι οντότητες περιέχουν τα ονομαζόμενα MIB. Τα MIB περιλαμβάνουν την πληροφορία που είναι χαρακτηριστική για το αντίστοιχο επίπεδο σε μια συγκεκριμένη κατάσταση. Η αλλαγή των τιμών μπορεί να συντελέσει στην λήψη των απαραίτητων ενεργειών από την ενότητα διαχείρισης.

Οι τρεις ενότητες διαχείρισης (PLME, MLME, SME) αλληλεπιδρούν αμοιβαία χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες τους μέσω καθορισμένων σημείων πρόσβασης υπηρεσίας.

Εκτός από αυτό, η ενσωμάτωση του PLME και του MLME στα αντίστοιχα επίπεδα δεν έχει προδιαγραφθεί, όπως και οι υπηρεσίες και οι λειτουργίες του SME.

Το PLME παρέχει υπηρεσίες για τον καθορισμό του φυσικού καναλιού μετάδοσης, όπως και το σχήμα αλμάτων στο σύστημα FHSS. Αυτό γίνεται με τον χειρισμό του MIB του φυσικού επιπέδου με τα αντίστοιχα μηνύματα.

Το MLME είναι υπεύθυνο για την εγκατάσταση και την διατήρηση, καθώς και για τη διαχείριση της ισχύος. Παρέχει τις παρακάτω υπηρεσίες:

- Διαχείριση ισχύος
- Ανίχνευση
- Συγχρονισμός
- Πιστοποίηση
- Από-πιστοποίηση
- Συσχέτιση
- Από-συσχέτιση
- Επανασυσχέτιση
- Επαναρύθμιση
- Εκκίνηση

Η μέθοδος ανίχνευσης των σταθμών για την εύρεση άλλων κινητών στην περιοχή εμβέλειας, προδιαγράφεται από το πρότυπο. Υπάρχει η παθητική και η ενεργητική ανίχνευση. Για τον συγχρονισμό όλων των χρονιστών στους σταθμούς σε ένα BSS ή IBSS, το MLME παρέχει την υπηρεσία συγχρονισμού. Η πληροφορία συγχρονισμού προσφέρεται είτε κεντρικοποιημένα από το σημείο πρόσβασης σε ένα BSS ή μέσω ενός κατανεμημένου αλγορίθμου σε ένα IBSS. Στην κεντρικοποιημένη διαμόρφωση, το σημείο πρόσβασης στέλνει ένα *beacon* πλαίσιο που περιλαμβάνει τις ιδιότητες του BSS και την πληροφορία του συγχρονισμού σε τακτά διαστήματα. Ένας σταθμός πρέπει πρώτα να πιστοποιήσει τον εαυτό του πριν τον πιθανό συσχετισμό με ένα BSS. Οι συσχετισμένοι σταθμοί μπορεί να χρησιμοποιούν το DS (επικοινωνία με άλλους σταθμούς σε άλλα υποδίκτυα, αίτηση για υπηρεσίες PC), ενώ το ίδιο δεν συμβαίνει για ένα μη συσχετισμένο σταθμό. Η υπηρεσία επαναρύθμισης ρυθμίζει εκ νέου την οντότητα του MAC, και η υπηρεσία εκκίνησης χρησιμοποιείται είτε για να ξεκινήσει ένα BSS ή ένα IBSS, αν ο σταθμός δεν προσπάθησε, ήδη, να συγχρονιστεί με ένα BSS.

Οι υπηρεσίες της οντότητας διαχείρισης σταθμού (Station Management Entity – SME) δεν προδιαγράφονται σε αυτό το πρότυπο. Είναι μία οντότητα ανεξάρτητη από

επίπεδα και θα έπαιρνε και θα καθόριζε, τυπικά, τιμές από το MLME και το PLME, για να τις περάσει σε λειτουργίες διαχείρισης υψηλότερου επιπέδου. Μπορεί να θεωρηθεί ότι βρίσκεται στο επίπεδο ελέγχου.

3.3.3. IEEE 802.11 ως *Ad Hoc* Δίκτυο

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, το πρότυπο IEEE 802.11 επιτρέπει την διαμόρφωση δικτύων που δεν έχουν σταθερή δομή. Αυτή η παράγραφος σημειώνει τις διαφορές και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του *ad hoc* τρόπου λειτουργίας.

Όταν γίνεται λόγος για ένα *ad hoc* δίκτυο, το IEEE 802.11 αναφέρεται στο IBSS όπου όλοι οι σταθμοί βρίσκονται σε αμοιβαία περιοχή επικοινωνίας και έχουν την δυνατότητα της απευθείας σύνδεσης. Λογικά, μόνο αυτό το IBSS υπάρχει, και οι σταθμοί δεν μπορούν να φύγουν από την περιοχή κάλυψης του IBSS χωρίς να αποσυνδεθούν. Το IBSS δεν έχει σημείο πρόσβασης και, επομένως, δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει το DS. Άρα, οι σταθμοί χρησιμοποιούν, απλά, τις υπηρεσίες σταθμών. Οι βασικές αλλαγές λαμβάνουν χώρα στο επίπεδο MAC, συγκεκριμένα το MLME και το φυσικό επίπεδο παραμένουν αναλλοίωτα. Το PCF δεν χρησιμοποιείται σε *ad hoc* τρόπο. Το επίπεδο MAC παρέχει μόνο υπηρεσίες σύγκρουσης, πιστοποίηση και μυστικότητα στα υψηλότερα επίπεδα. Από την στιγμή που δεν υπάρχει διαθέσιμο σημείο πρόσβασης, οι σταθμοί δεν μπορούν να συσχετιστούν με κανένα BSS, κι έτσι επιτρέπονται μόνο τα πλαίσια που δεν χρησιμοποιούν το DS.

Επιπρόσθετα, το αναγνωριστικό του BSS (στην περίπτωση σταθερής δομής) παραχωρείται, πλέον, τοπικά.

Το MLME αντανakλά τον τύπο του δικτύου με περισσότερο προφανή τρόπο. Ο συγχρονισμός μεταξύ των σταθμών επιτυγχάνεται, πλέον, με τα μέσα ενός κατανεμημένου αλγορίθμου. Αυτός ο αλγόριθμος δείχνει, επίσης, και την ιδέα της διαχείρισης πίσω από τον *ad hoc* τρόπο.

Ο πρώτος σταθμός που εγκαθιστά ένα IBSS καθορίζει το *beacon* διάστημα, ένα διάστημα σταθερού μήκους και το σημείο εκκίνησης αυτού, που έχει τον χαρακτήρα της ευρειακτομής και προσαρμόζεται στο IBSS από κάθε σταθμό. Επομένως, κάθε σταθμός στο IBSS γνωρίζει πότε θα έπρεπε να μεταδοθεί το επόμενο *beacon*. Αυτή την στιγμή, κάθε σταθμός υπολογίζει ένα τυχαίο διάστημα “*beacon backoff*” και μεταδίδει το πλαίσιο *beacon*, αν δεν έχει λάβει ένα νωρίτερα από την εκπονή του *backoff* διαστήματος. Κατά την περίοδο

του συναγωνισμού, σταματούν οι μεταδόσεις πακέτων δεδομένων και μηνυμάτων ένδειξης ανακοίνωσης κίνησης. Ο αλγόριθμος διασφαλίζει ότι θα υπάρχει πάντοτε ένα *beacon* που θα μεταδίδεται στο IBSS. Ο σταθμός που μετέδωσε τελευταίος ένα *beacon* πλαίσιο επιλέγεται να απαντήσει στις αιτήσεις διερεύνησης πρόσβασης στο μέσο.

Με την λήψη ενός *beacon* με μία χρονική σφραγίδα μεγαλύτερη από αυτή του σταθμού, ο σταθμός προσαρμόζει το χρονόμετρό του ανάλογα. Μαζί με το γεγονός ότι ένας σταθμός που συνδέεται με ένα IBSS ορίζει τον χρονιστή του στο μηδέν αυτό σημαίνει ότι ένας παλιότερος σταθμός θα υπέρβαινε τους κανόνες των νεο-συσχετισμένων τερματικών. Ένας νέος σταθμός σε ένα IBSS δεν μεταδίδει κανένα *beacon* ή μήνυμα απόκρισης σε αιτήσεις διερεύνησης του μέσου μέχρι να ακούσει κάποιο από το IBSS του.

Ο μηχανισμός εξοικονόμησης ισχύος σε *ad hoc* τρόπο βασίζεται σε μία περιοδική ενεργοποίηση των σταθμών ανά χρονικά παράθυρα. Μέσα στα πλαίσια ενός τέτοιου παραθύρου τοποθετούνται οποιεσδήποτε αιτήσεις για εκπομπές, και αν ένας σταθμός σε ανενεργή κατάσταση λάβει μία, ενεργοποιείται για, τουλάχιστον, το επόμενο διάστημα του *beacon*. Το παράθυρο καθορίζεται, επίσης, από τον πρώτο σταθμό που αρχικοποιεί το IBSS. Αν το χρονικό παράθυρο είναι μηδέν, δεν χρησιμοποιείται η μέθοδος εξοικονόμησης ενέργειας. Σε αντίθεση με τον *ad hoc* τρόπο λειτουργίας, η εξοικονόμηση ισχύος σε περιπτώσεις σταθερής δομής ελέγχεται από το σημείο πρόσβασης.

Το SME, πρέπει να ενεργεί σύμφωνα με τις τιμές που παρέχονται από το MLME. Η συμπεριφορά του δεν προδιαγράφεται από το πρότυπο. Θα ήταν εργασία του SME η επιλογή ανίχνευσης μιας συγκεκριμένης περιοχής συχνοτήτων με σκοπό την ανεύρεση όσο το δυνατόν περισσότερων τερματικών στην περιοχή επικοινωνίας.

Συνοψίζοντας, οι αλλαγές για την υποστήριξη *ad hoc* δικτύων είναι:

1. Εγκατάλειψη του κεντρικοποιημένου τρόπου, όχι υπηρεσίες ελεύθερες συγκρούσεων (όχι PCF).
2. Προσφορά ενός κατανεμημένου μηχανισμού για να επιτρέπεται ο συγχρονισμός των σταθμών.
3. Παροχή ενός αποδοτικού μηχανισμού εξοικονόμησης ισχύος.
4. Παροχή ενός μηχανισμού αυτό-διεύθυνσης για τις ανάγκες του IBSS.

3.3.4. Συμπεράσματα

Το HIPERLAN/2 και τα πρότυπα IEEE, αν και συγκρίσιμα στην ρυθμαπόδοση, διαφέρουν σε ορισμένα σημαντικά στοιχεία. Το HIPERLAN/2 υποστηρίζει μόνο ένα φυσικό επίπεδο ενώ το IEEE 802.11 υποστηρίζει πέντε. Το πλεονέκτημα του IEEE απέναντι στο HIPERLAN/2, σε αυτό το σημείο, παρουσιάζεται στο ότι είναι πιο επεκτάσιμο μέσω των πιο πρόσφατων φυσικών τεχνικών και ότι έχει ήδη δοκιμαστεί με κάποια φυσικά επίπεδα μέτρου ρυθμού. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν, ήδη, προϊόντα διαθέσιμα για το πρότυπο IEEE 802.11 ενώ μέχρι τώρα, δεν υπάρχουν εμπορικά προϊόντα στην αγορά για το HIPERLAN/2, παρά μόνο σε ερευνητικό επίπεδο.

Η κύρια διαφορά στην τεχνική πρόσβασης στο μέσο επηρεάζει την προσέγγιση της διαχείρισης και τους τομείς των εφαρμογών.

Εξαιτίας της κυψελωτής δομής, ένα HIPERLAN/2 *ad hoc* δίκτυο φαίνεται να είναι πιο κατάλληλο για μικρά (ενός άλματος) δίκτυα μικρής περιοχής, ενώ η προσέγγιση του IEEE 802.11 καθιστά πιο εύκολη την αντιμετώπιση πολυαλματικών δικτύων. Η απευθείας κατανεμημένη προσέγγιση, από την άλλη πλευρά, μπορεί να περιορίσει την πυκνότητα των κόμβων στο IEEE περισσότερο από όσο στο HIPERLAN/2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: HIPERLAN/2 – HIPERSPOT

Είναι γεγονός, πλέον, ότι τα κυβελωτά δίκτυα ευρείας περιοχής τρίτης γενιάς δεν θα είναι ικανά να ικανοποιήσουν τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Τα νέα συστήματα θα πρέπει να βελτιώσουν και να ολοκληρώσουν αυτή τη σταθερή δομή, ώστε να αντιμετωπίσουν την κίνηση IP που σύντομα θα κυριαρχήσει απέναντι στην παραδοσιακή κίνηση φωνής. Αυτή η διεργασία εκκινείται, ουσιαστικά, από την “απελευθέρωση” και τη μείωση του κόστους στην μετάδοση των δεδομένων. Προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι απαιτήσεις του χρήστη, τα τοπικά ασύρματα δίκτυα θεωρούνται ως ένας δρόμος προς την κατεύθυνση της συμπλήρωσης και βελτίωσης των δυνατοτήτων που παρέχουν τα δίκτυα τρίτης γενιάς αναφορικά με την προσφορά υπηρεσιών προς τον καταναλωτή σε σημεία μεγάλης πυκνότητας χρηστών και υψηλού φόρτου δικτύου – τα λεγόμενα *hotspots*. Στην Ευρώπη οι πρώτες γενιές τέτοιων δικτύων έχουν προβλεφθεί να στηρίζονται στην προδιαγραφή του ETSI BRAN HIPERLAN/2 σαν ένα αρχικό απαραίτητο βήμα απέναντι στις συνθήκες πρόσβασης τεράστιου όγκου περιεχομένου πολυμέσων. Ο συνδυασμός των ασύρματων δικτύων και αυτών της τρίτης γενιάς, ως μία υβριδική τεχνολογία πρόσβασης σε πληροφορία, αποτελεί, ήδη, μέρος πολλών “σεναρίων” δικτυακών τοπολογιών. Παρόλ’ αυτά, το συγκεκριμένο αρχικό βήμα δεν θα είναι ικανό να εξυπηρετήσει την προσδοκία του χρήστη στις αστικές περιοχές, κι εξακολουθεί να είναι αναγκαία η ανάπτυξη νέων λύσεων για την πρόσβαση υψηλότερης χωρητικότητας. Για αυτό το σκοπό, νέες ζώνες συχνοτήτων που παρέχουν μεγαλύτερη ποσότητα διαθέσιμου φάσματος χρειάζεται να εξεταστούν. Επιπλέον, προκειμένου να σταματήσει η μαζική παραγωγή ετερογενών τεχνολογιών και υλικού εξοπλισμού, υπάρχει η ανάγκη επινόησης νέων συστημάτων που θα παρέχουν μία ομαλή και διαφανή σταδιακή μετάβαση από τις τρέχουσες προδιαγραφές.

Η ευρέως διαθέσιμη, παγκοσμίως, ζώνη συχνοτήτων στα 60 GHz (59 – 64GHz), αντιπροσωπεύει την μεγαλύτερη διαθέσιμη, χωρίς σχετική άδεια, μπάντα που μπορεί να καταλήξει σε μία τεράστια ευκαιρία, από πλευράς φάσματος, ώστε να επιληφθούν θέματα σχετικά με τις μελλοντικές προσδοκίες των ψηφιακών δικτύων επικοινωνιών. Ήδη, οι πρώτες εμπορικές λύσεις για συστήματα επικοινωνιών στα 60GHz, αναφορικά με σταθερή πρόσβαση χαμηλού κόστους (σημείο προς σημείο, απόσταση των 300 – 500m), είναι

διαθέσιμες και κερδίζουν μαζικά την αποδοχή στις Η.Π.Α [USAMMW], Ευρώπη και, πρόσφατα, στην Ασία [KOREA60, JAPMMW].

4.1. Στόχος της Έρευνας

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η παρουσίαση μίας νέας πλατφόρμας για υπηρεσίες *hotspot* που θα περιλαμβάνει προσωπικές (ηλεκτρονικό σπίτι, διασκέδαση, εργασία) και δημόσιες (γρήγορο *downloading* έξω από τον χώρο του σπιτιού) εφαρμογές. Αυτή η πλατφόρμα είναι ικανή να αντιμετωπίζει πολύ πυκνά περιβάλλοντα χρηστών χωρίς να θυσιάζει τις προσδοκίες του χρήστη αναφορικά με την απόδοση. Το χαρακτηριστικό στοιχείο του πλαισίου έρευνας είναι η δημιουργία μίας γέφυρας μεταξύ της ζώνης συχνοτήτων των 5GHz – συχνότητα στην οποία δουλεύει το HIPERLAN/2 – και του φάσματος στην περιοχή των 59-65GHz, επινοώντας ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο διπλής συχνότητας που θα εγγυάται την ομαλή μετάβαση στα 60GHz από την, ήδη, υπάρχουσα τεχνολογία των 5GHz OFDM HIPERLAN/2 και θα παρέχει την ίδια στιγμή μία αυξανόμενη, συνολικά, χωρητικότητα για το σύστημα.

Επομένως, στόχος της μελέτης αυτής, είναι ο καθορισμός, ανάπτυξη και επίδειξη των χαρακτηριστικών στοιχείων μίας επέκτασης των ασύρματων τοπικών δικτύων που προδιαγράφονται από το ETSI BRAN HIPERLAN/2 και βασίζονται στην επιπρόσθετη χρήση του διαθέσιμου, χωρίς άδεια, φάσματος στα 59-64GHz, και στη πραγματοποίηση μεταφοράς δεδομένων σε έναν από τους τρόπους λειτουργίας χωρίς την βοήθεια της σταθερής δομής. Τρία κύρια σενάρια ή εφαρμογές αναδύονται που εκκινούν μία τέτοια επέκταση:

1. Αποσυμφόρηση της κίνησης στην συχνότητα των 5GHz με σκοπό την αντιμετώπιση σεναρίων ανάπτυξης μεγάλης πυκνότητας χρηστών σε εσωτερικούς χώρους (για πολυκατοικίες και διαμερίσματα αστικών περιοχών).
2. Περιορισμένη κάλυψη σε σημεία *hotspots*, εκ μέρους πωλητών σε εξωτερικούς χώρους, ώστε να προσελκύσει ανθρώπους με το να τους προτείνει ελεύθερη πρόσβαση στο διαδίκτυο.
3. Αφιερωμένες, ομότιμες, μικρής εμβέλειας εφαρμογές για παιχνίδια σε ένα τρόπο και συχνότητα που δεν απαιτεί σχετική άδεια και προσφέρει την ελάχιστη παρεμβολή με άλλα συστήματα επικοινωνιών.

Όλα αυτά τα παραδείγματα απαιτούν είτε την ικανότητα της ακριβούς εστίασης της δέσμης των ακτίνων, είτε την δυνατότητα να επιτραπεί μία μορφή αυτόνομης και αυτοδιαμορφωνόμενης λειτουργίας δικτύου.

Εξαιτίας των ιδιοτήτων διάδοσης και βασιζόμενοι σε προηγούμενα ερευνητικά αποτελέσματα και πειράματα, η ζώνη συχνοτήτων στα 59-65GHz ταιριάζει, ιδιαίτερα, στον σκοπό της εκπλήρωσης της προτεινόμενης εφαρμογής και των απαιτήσεών της:

A) Ένας μεγάλος όγκος φάσματος είναι διαθέσιμος καθιστώντας δυνατή μία συνολικά υψηλή χωρητικότητα συστήματος.

B) Η λειτουργία μικρής εμβέλειας εγγυάται τη μυστικότητα της επικοινωνίας και επιτρέπει την έντονη επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας.

Οι χαρακτηριστικοί στόχοι του προτεινόμενου συστήματος είναι οι παρακάτω:

- Ο καθορισμός ενός συστήματος που βασίζεται στην τεχνολογία HIPERLAN/2 OFDM και σε μία καινοτόμο, στο σύνολό της ad-hoc, επέκταση αυτής στα 60GHz που ονομάζεται HIPERSPOT.
- Το κομμάτι του HIPERSPOT θα έχει την δυνατότητα να υποστηρίζει δύο συμβατές κλάσεις κινητών, ολοκληρωτικά ad-hoc, τερματικών: την κλάση A και B παράγοντας δύο τρόπους λειτουργίας στα 60GHz.

1. Η κλάση A, που προέρχεται από τις περιορισμένες επεκτάσεις του HIPERLAN/2 και μετατίθεται στην περιοχή των 60GHz, θα είναι χαμηλότερου κόστους και θα στοχεύει στις ίδιες δυνατότητες εκπομπής όπως ένα HIPERLAN/2 (π.χ 25Mbps ή ακόμα μικρότερος ρυθμός δεδομένων).

2. Η κλάση B, που υφίσταται για τις συσκευές μεγαλύτερου κόστους, θα παρέχει την δυνατότητα σημαντικά υψηλότερου ρυθμού δεδομένων (> 100Mbps) από το υψηλότερο δυνατό στο HIPERLAN/2 αφού εκμεταλλευθεί το μεγαλύτερο εύρος ζώνης που είναι διαθέσιμο στα 60GHz.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος του HIPERSPOT θα βασίζεται στις επεκτάσεις του HIPERLAN/2 προκειμένου να διασφαλιστεί η εύκολη επαναδιαμόρφωση και η αντίστροφη συμβατότητα με την τεχνολογία των 5GHz. Παρόλ' αυτά, το HIPERSPOT θα εφοδιαστεί με ένα νέο τροποποιημένο σχήμα μετάδοσης που θα βελτιώνει την ευρωστία του σχήματος στα 60GHz. Το προκύπτον σύνθετο σύστημα που απαρτίζεται από το HIPERLAN/2 (5GHz) και το HIPERSPOT (60GHz) είναι ο προτεινόμενος τρόπος για την πρόσβαση ευρείας ζώνης.

Στα πλαίσια του κεφαλαίου αυτού, θα περιοριστούμε στην μελέτη και τον καθορισμό των επεκτάσεων του υπάρχοντος συστήματος HIPERLAN/2 αναφορικά με το MAC/DLC,

επιτρέποντας εξίσου την λειτουργία στα 5GHz (κεντρικοποιημένος έλεγχος και περιορισμένη ad-hoc λειτουργικότητα) και στα 60 GHz (ολοκληρωτικά ad-hoc). Επομένως, θέματα όπως αυτά που παρουσιάζονται παρακάτω, πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- *Διευθυνσιοδότηση* – προκειμένου να αποφύγουμε τον χαρακτήρα της broadcast επικοινωνίας, για παράδειγμα να λαμβάνονται από κάθε συσκευή, οι χρήστες θα πρέπει να αναγνωρίζονται με σαφήνεια ώστε τα δεδομένα να κατευθύνονται σε αυτούς. Επιπρόσθετα με την παραχώρηση των διευθύνσεων, πρέπει να εγκαθίστανται μονοπάτια μεταξύ των διευθύνσεων των χρηστών για την υποστήριξη της παράδοσης της πληροφορίας. Αυτά τα μονοπάτια πρέπει να διατηρούνται ενώ νέοι χρήστες εισέρχονται στο δίκτυο ή άλλοι φεύγουν από αυτό.
- *Ανακάλυψη γειτονιάς* – η τοπική γειτονιά των κόμβων μπορεί να εξερευνηθεί κάνοντας αίτηση για συγκεκριμένους τύπους “ονομάτων” και ανακτώντας τους από τις αντίστοιχες διευθύνσεις.
- *Ομαδοποίηση των ad-hoc κόμβων* – η ad-hoc αρχιτεκτονική θα έχει τρόπους να ξεχωρίζει τις επικοινωνίες μέσα στα όρια της ομάδας (cluster) από άλλες που μπορεί να βρίσκονται στην εμβέλεια αυτών.
- *Επιλογή κόμβων αναμετάδοσης* – στην περίπτωση που απαιτούνται πολλαπλά άλματα, συγκεκριμένοι κόμβοι πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την προώθηση της πληροφορίας προς τον τελικό προορισμό.
- *Διατήρηση ισχύος* – η διατήρηση ισχύος αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι του σχεδιασμού των συστημάτων επικοινωνίας για κινητές συσκευές, ιδιαίτερα των δικτύων προσωπικής περιοχής (Personal Area Network – PAN), όπου το χαμηλό κόστος είναι μία κρίσιμη απαίτηση. Η κύρια στρατηγική για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ισχύος είναι η ευθυγράμμιση των μεταδόσεων στις περιόδους λήψης, ώστε οι μη εκπέμπουσες ενότητες να μπορούν να ενεργοποιούνται όταν ένας εκπομπός είναι ενεργός. Αυτό είναι ιδιαίτερα δύσκολο στην αυτοδιαχειριζόμενη δομή της αρχιτεκτονικής που μελετάμε.
- *Διαχείριση κινητικότητας* – η κινητικότητα υπονοεί δικτυακή τοπολογία υπό το καθεστώς των συχνών αλλαγών που έχει σημαντικές επιπτώσεις στην διαχείριση της διευθυνσιοδότησης, τον καθορισμό του δρόμου επικοινωνίας, και όλες τις προηγμένες υπηρεσίες όπως την διατήρηση της ενέργειας. Στην τοπολογία του συστήματος που εξετάζουμε, γίνεται αναφορά, ως επί το πλείστον, σε εφαρμογές σε εσωτερικό χώρο με πιθανότητα παροχής υπηρεσιών και έξω από χώρους διαμονής με πολύ περιορισμένη εμβέλεια. Επομένως, μόνο συνθήκες χαμηλής κινητικότητας θα ληφθούν υπόψη.

- *Υποστήριξη QoS* – η *ad-hoc* λειτουργία χρειάζεται να είναι διαφανής ως προς τους χρήστες σε όρους QoS που προσφέρεται από το σύστημα. Στην πραγματικότητα, ο βέλτιστος δρόμος θα έπρεπε να επιλεγεί με τέτοιο τρόπο, ώστε οι συνολικές παράμετροι QoS να διατηρούνται ανάμεσα στους χρήστες.
- *Υποστήριξη ρυθμού δεδομένων της τάξης των 100Mbps* – ο προσφερόμενος ρυθμός για την ζώνη των 60GHz θα είναι πολύ υψηλότερος από εκείνον των 5GHz. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την δομή τόσο του φυσικού επιπέδου όσο και του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων.
- *Δομή πλαισίων* – τα ίδια ισχύουν για την δομή του πλαισίου, και ειδικότερα την διάρκεια του πλαισίου.

Το σύστημα, ανάλογα με την θέση των κόμβων, θα αλλάζει τον τρόπο και την συχνότητα λειτουργίας. Θέματα που χρειάζεται να ληφθούν υπόψη προς αυτή την κατεύθυνση είναι και τα παρακάτω:

- *Υποστήριξη QoS* – η λειτουργία στα 5GHz ή 60GHz και η μετάβαση από την μία συχνότητα στην άλλη, θα έπρεπε να είναι τελείως διαφανής στους κινητούς χρήστες, χωρίς διακοπές στην προσφερόμενη υπηρεσία και υποβάθμιση της ποιότητας.
- *Δύο τρόποι λειτουργίας* – κάθε σημείο πρόσβασης (Access Point – AP) στο σύστημα θα έχει τα μέσα να αποφασίζει σε ποια συχνότητα χρειάζεται να λειτουργεί κι έπειτα να συντονίζεται με επιτυχία σε αυτή. Το AP θα πληροφορήσει στη συνέχεια τα κινητά τερματικά για την συχνότητα και τον τρόπο επικοινωνίας.
- *Μεταβίβαση συχνοτήτων (handover)* – επαρκείς και αποδοτικοί μηχανισμοί θα αναπτυχθούν για την μεταβίβαση από την μία συχνότητα λειτουργίας στην άλλη. Οι διαδικασίες μεταβίβασης των συχνοτήτων θα βασιστούν στην γνώση του επιπέδου ζεύξης και του φορτίου κίνησης τόσο του κομματιού του συστήματος που λειτουργεί στα 5GHz όσο και σε αυτό που λειτουργεί στα 60GHz.

4.2. Εφαρμογές

Αν και το HIPERLAN/2 πρωταρχικά στοχεύει, κυρίως, σε περιβάλλοντα γραφείου και οικίας, αυτό το σύστημα φαίνεται να συμπληρώνει την σταθερή δομή των κυψελωτών δικτύων ευρείας περιοχής ώστε να παρέχει στους χρήστες μεγαλύτερες δυνατότητες σε έναν εξωτερικό χώρο όπου υπάρχει υψηλή πυκνότητα κόμβων: τα λεγόμενα *hotspots*. Επομένως, προβλέπεται ότι θα συμβεί σημαντική ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων σε αρκετές πόλεις της

Ευρώπης. Από την στιγμή που μόνο ένας περιορισμένος αριθμός από κανάλια είναι διαθέσιμος (19 στην Ευρώπη, 9 στις Η.Π.Α), είναι προφανές ότι οι παρεμβολές στο εσωτερικό του συστήματος θα έχουν άσχημο αντίκτυπο στην ρυθμαπόδοση του δικτύου. Σε πολλές περιπτώσεις η δυναμική επιλογή συχνότητας δεν θα είναι ικανή να αντιμετωπίσει το πρόβλημα. Ακόμη και η εφαρμογή κεραιών που αρμόζουν για την περίπτωση της σταθερής πρόσβασης στο εξωτερικό περιβάλλον δεν θα μπορούσε, με χαμηλό κόστος, να διευθετήσει το ζήτημα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, θα ήταν προτιμότερο να υπάρχει ένας άλλος τρόπος για την αποσυμφόρηση των καναλιών του HIPERLAN/2 από τις παρεμβολές, ώστε να αποφευχθεί η υπερβολική ζήτηση φάσματος καθώς διατηρούνται αποδόσεις υψηλού ρυθμού δεδομένων. Γι' αυτό και η προσέγγιση του κεφαλαίου αυτού στοχεύει στην ανάπτυξη μιας τέτοιας επέκτασης του HIPERLAN/2 που θα λειτουργεί στην περιοχή των 60GHz. Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη παράγραφο, έχουν αναγνωριστεί τρία κύρια σενάρια εφαρμογών που απαιτούν τέτοιου είδους τεχνολογία:

- **Σενάριο 1, κάλυψη εμπορικών σημείων – hotspots:** Πρόκειται για μία πολύ σημαντική εφαρμογή και αναφέρεται στην δυνατότητα κάλυψης πλήρως καθορισμένων φυσικών περιοχών σε περιβάλλον εξωτερικού χώρου σε αστική περιοχή με υψηλή πυκνότητα κόμβων. Κάτι παραπάνω από μία, απλώς, προοπτική παροχής Internet οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή, αποτελεί, επίσης, και απαίτηση από πλευράς πωλητών και καταστηματαρχών που θα έχουν τη δυνατότητα να προσελκύσουν το κοινό στους χώρους τους με το να προσφέρουν, χωρίς επιβάρυνση, συγκεκριμένες ασύρματες υπηρεσίες. Είναι απαραίτητος ο ακριβής καθορισμός της περιοχής κάλυψης σε αυτή την περίπτωση και είναι πιθανή η ικανοποίηση αυτής της απαίτησης με την βοήθεια κατευθυντικών κεραιών μικρού μεγέθους στην συχνότητα των 60GHz. Η σύνδεση των συσκευών με το δίκτυο κορμού θα επιτυγχάνεται μέσω του συμβατικού δικτύου HIPERLAN/2.
- **Σενάριο 2, ανάπτυξη σε κτίρια και διαμερίσματα όπου υπάρχει μεγάλη πυκνότητα χρηστών:** Επεκτείνοντας το HIPERLAN/2 στα 60GHz, όπου τα σήματα με δυσκολία μπορούν να διαπεράσουν τοίχους ή στερεά εμπόδια, θα εγγυηθούμε, έμμεσα, την έλλειψη παρεμβολής από τις γειτονικές κυψέλες (π.χ. άλλο δωμάτιο/γραφείο, άλλο διαμέρισμα). Σε περιοχές, όπου υφίστανται καλές συνθήκες επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών (για παράδειγμα συνθήκη οπτικής επαφής), οι συσκευές θα συντονίζονται στα 60GHz, ώστε να μην φορτώνεται σημαντικά το δίκτυο κορμού στα 5GHz από πλευράς

κίνησης δεδομένων και παρεμβολών. Γειτονικά σπίτια θα γίνουν πραγματικά ιδιωτικά σε ένα φυσικό επίπεδο.

- **Σενάριο 3, παιχνίδια:** Μία τρίτη εφαρμογή (δυναμικά μαζικής αγοράς), ως απαίτηση της βιομηχανίας παιχνιδιών, είναι η κατευθυνόμενη ομότιμη επικοινωνία μεταξύ μικρών συσκευών, σε συχνότητα που δεν χρειάζεται σχετική επίσημη άδεια, με την μικρότερη δυνατή παρεμβολή με άλλα ζευγάρια επικοινωνίας που χρησιμοποιούν το ίδιο σύστημα.

Στην πραγματικότητα, το HIPERLAN/2 υποστηρίζει ότι προσφέρει γύρω στα 50Mbps ανά κυψέλη με περιοχή κάλυψης τα 50 μέτρα, και συνεπώς θα μπορούσαν να αυξήσουν την δυνατότητα για *download* που παρέχει το δίκτυο UMTS. Παρόλ' αυτά, σε μεγαλοαστικές περιοχές, ο αριθμός των χρηστών ανά κυψέλη μπορεί να είναι ιδιαίτερα υψηλός με αποτέλεσμα τον μειωμένο χρησιμοποιούμενο ρυθμό δεδομένων για υπηρεσίες *download*. Στην προσέγγιση των 60GHz, η περιοχή κάλυψης της κυψέλης είναι πράγματι μικρότερη: γύρω στα 10 μέτρα, αλλά το εύρος ζώνης του καναλιού συχνότητας, εικονικά, δεν μπορεί να περιοριστεί. Εκτιμάται ότι μέσω της κάλυψης των σημείων *hotspots* από τα 60GHz, είναι δυνατός ο στόχος για μεγαλύτερη χωρητικότητα ανά χρήστη σε πολυπληθή αστικά περιβάλλοντα για υπηρεσίες *download*. Για παράδειγμα: σαν ένας πρόχειρος κανόνας, οι κυψέλες ακτίνας 50 μέτρων που παρέχουν συνολικό ρυθμό δεδομένων 54Mbps, και μοιράζονται ανάμεσα σε 872 χρήστες (θεωρείται μία πυκνότητα ενός χρήστη ανά 9 τετραγωνικά μέτρα), οδηγούν σε μία μέγιστη εγγυημένη στιγμιαία χωρητικότητα περίπου 60kbps ανά χρήστη. Στα 60GHz, χρησιμοποιώντας κυψέλες των 10 μέτρων με ένα εύρος ζώνης καναλιού των 80MHz, που είναι 4 φορές το μέγεθος του καναλιού για το HIPERLAN/2 (20MHz): 35 άτομα θα έχουν την δυνατότητα να μοιράζονται στιγμιαία γύρω στα 216Mbps οδηγώντας σε μία ρυθμαπόδοση των 6Mbps ανά χρήστη: αυτό αντιπροσωπεύει ένα κέρδος της τάξης του 100 σε όρους χωρητικότητας.

4.3. Αρχιτεκτονική Συστήματος

Όπως έχει αναφερθεί, το σύστημα θα είναι ικανό να λειτουργεί και στις δύο συχνότητες: στα 5GHz το σύστημα θα είναι κυρίως κεντροποιημένο, ενώ στα 60GHz θα είναι ολοκληρωτικά *ad-hoc* μεταξύ των κινητών τερματικών. Στις περιοχές των *hotspots*, π.χ. σε δωμάτια όπου η πυκνότητα των χρηστών είναι υψηλή και επομένως η απαίτηση για υψηλούς ρυθμούς δεδομένων είναι επιτακτική, η συχνότητα των 60GHz θα χρησιμοποιηθεί, αφού παρέχει πολύ υψηλή χωρητικότητα για εφαρμογές που την έχουν ιδιαίτερα ανάγκη,

όπως παιχνίδια video ή μεταφορά αρχείων και εικόνων. Έξω από τα όρια ενός δωματίου η αρχιτεκτονική του δικτύου θα είναι τελείως αυτό-διαχειριζόμενη (ad-hoc), με ένα ή, όπου χρειάζεται (όταν δεν είναι δυνατή ή επιθυμητή η λειτουργία στα 5GHz), πολλαπλά άλματα. Για τις ανάγκες της επικοινωνίας μεταξύ χρηστών που βρίσκονται σε διαφορετικά δωμάτια ή για την επικοινωνία με το υπόλοιπο δίκτυο, η συχνότητα των 5GHz θα χρησιμοποιείται κατά προτίμηση. Για αυτό τον σκοπό, τα σημεία πρόσβασης (Access Points – AP) που είναι υπεύθυνα για την συντήρηση της σύνδεσης του συστήματος με τα υπόλοιπα δίκτυα θα έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν και στις δύο συχνότητες ταυτόχρονα. Τα κινητά τερματικά, προκειμένου να μην έχουν αυξημένο κόστος, θα λειτουργούν κάθε φορά μόνο σε μία συχνότητα κάνοντας χρήση της αρχιτεκτονικής των δύο συχνοτήτων με μία ενδιάμεση συχνότητα των 5GHz. Μία τυπική υπόθεση επικοινωνίας είναι όταν δύο συσκευές εγκαθιστούν μία σύνδεση στα 5GHz μέσω ενός σημείου πρόσβασης και πιστοποιείται ότι έχουν και οι δύο δυνατότητα επικοινωνίας στα 60GHz: τότε η σύνδεση θα πραγματοποιηθεί στα 60GHz χρησιμοποιώντας την απευθείας ζεύξη.

Η περιοχή συχνοτήτων στα 60GHz (59-64GHz) έχει διάφορες ελκυστικές ιδιότητες που την καθιστούν προνομιακά κατάλληλη για το συγκεκριμένο δικτυακό σενάριο:

- Είναι η πρώτη περιοχή συχνοτήτων που προσφέρεται για εφαρμογές πολυμέσων σε εσωτερικούς χώρους και είναι πάνω από τα 5GHz, όπου τουλάχιστον 2GHz από το φάσμα έχουν διατεθεί παγκοσμίως. Ο όγκος των 2GHz του φάσματος παρέχει αρκετό χώρο για τον σχεδιασμό ενός καινοτόμου συστήματος μεγάλου εύρους ζώνης.
- Δεν αντιμετωπίζει προβλήματα παρεμβολών από άλλα συστήματα.
- Επιπλέον, σε αυτή την υψηλή συχνότητα η φυσική εξασθένιση είναι ισχυρή, και από την στιγμή που στα 60GHz παρατηρείται το ανώτερο όριο απορρόφησης του οξυγόνου, μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία η συχνή και έντονη επαναχρησιμοποίηση συχνότητας. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης του συστήματος. Επιπλέον, αποφεύγεται η παρεμβολή από τους γειτονικούς κόμβους αφού οι τοίχοι παρέχουν εξασθένιση σήματος της τάξης των 36db (για εσωτερικούς χώρους).
- Ο χρήστης επιθυμεί μυστική και ιδιωτική την επικοινωνία του και θέλει να ελέγχει την μετάδοση της πληροφορίας. Αν και ιδιαίτερα επαρκείς μέθοδοι κρυπτογράφησης και πιστοποίησης έχουν προδιαγραφθεί στο HIPERLAN/2, σε όρους μυστικότητας, η πιο καλή λύση δεν είναι πάντα να παρέχεις την πιθανότητα να κρυφακούς, με φυσικά μέσα, μία επικοινωνία. Επειδή ως χώρος ορίζεται ό,τι ένας χρήστης κατέχει ή μπορεί να ελέγξει την πρόσβαση σε αυτό. Τα δικαιώματα πρόσβασης στα 60GHz είναι πολύ προφανή.

Επομένως, ένα εγγενές χαρακτηριστικό της επικοινωνίας στα 60GHz καθίσταται ιδιαίτερα ελκυστικό για περιβάλλον εσωτερικού χώρου: η ισχυρή εξασθένηση που προκαλείται από σταθερά εμπόδια και τοίχους ή άλλα υλικά εγγυάται αδιαφιλόνικητη μυστικότητα.

Από την στιγμή που τα σήματα των 5GHz μπορούν να μεταδοθούν μέσα από τοίχους αυτή η συχνότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

1. Ως ένα μέσο για την διασύνδεση μεταξύ των δωματίων ή όταν δεν υφίσταται επαφή με κάποιο άλλο δίκτυο
2. Ως ένας εναλλακτικός τρόπος λειτουργίας για τα 60GHz όταν βρισκόμαστε έξω από την περιοχή κάλυψης αυτού (αποτυχία απευθείας ζεύξης).

Όλες οι συσκευές θα είναι συμβατές στην περιοχή των 60GHz αλλά με διακριτά χαρακτηριστικά και αρχιτεκτονική. Όπως έχει γραφθεί και παραπάνω, υπάρχουν δύο κλάσεις κινητών τερματικών. Η κλάση A περιλαμβάνει τις συσκευές που δουλεύουν και στις δύο συχνότητες και είναι ικανές να συντονίζονται τότε στην μία και τότε στην άλλη με σκοπό την αποσυμφόρηση του δικτύου των 5GHz, χωρίς όμως να προσφέρουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά αναφορικά με τον ρυθμό δεδομένων. Η κλάση B περιλαμβάνει εκείνες τις συσκευές που λειτουργούν και στις δύο συχνότητες αλλά θα έχουν την δυνατότητα στην περιοχή των 60GHz να παρέχουν 4 φορές μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση από το HIPERLAN/2. Ενώ η κλάση A θα προκύπτει από τις περιορισμένες επεκτάσεις του υλικού εξοπλισμού του HIPERLAN/2 στον χώρο των 60GHz, θα στοχεύει σε χαμηλότερους ρυθμούς bit (χαμηλότερους ή ίσους με 54Mbps) από ότι η κλάση B που θα μπορούσε να επιτύχει απόδοση υψηλότερου εύρους ζώνης, καθιστώντας δυνατές συνδέσεις δεδομένων της τάξης των 100Mbps. Ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στον σχεδιασμό των συσκευών κλάσης A σαν ένα επιπλέον κόστος συγκριτικά με το HIPERLAN/2 ώστε να εγγυηθεί την ομαλή μετάβαση στην συνεργασία με τα 60GHz. Προκειμένου να είναι συμβατό και να προσφέρει αρκετή ελαστικότητα, όλο το σύστημα θα βασίζεται σε ένα σχήμα διαμόρφωσης πολλαπλών φερόντων. Εντούτοις, ο μόνος περιορισμός στην καινοτομία θα είναι ότι το νέο προτεινόμενο σχήμα θα έχει ως βάση απλές επεκτάσεις του HIPERLAN/2 που θα προωθούν το πνεύμα της μέγιστης επαναχρησιμοποίησης και επεκτασιμότητας του υλικού εξοπλισμού, εισάγοντας επαναδιαμορφώσιμες αρχιτεκτονικές.

Επιπλέον, νέοι βελτιωμένοι μηχανισμοί για τον έλεγχο της ζεύξης των δεδομένων θα προκύψουν για την αντιμετώπιση των παρακάτω σεναρίων επικοινωνίας:

1. Πρόσβαση στο κυρίως δίκτυο (όπως Internet), μέσω της διπλής λειτουργίας στα 5 και 60GHz με την βοήθεια των σημείων πρόσβασης.

2. Ομότιμη επικοινωνία στα 60GHz όταν αυτή είναι δυνατή.
3. Δρομολόγηση πολλαπλών αλμάτων στα 60GHz.

4.4. Τρόπος Λειτουργίας

Οι ερευνητικές δραστηριότητες σκοπεύουν στην επίλυση όλων των προβλημάτων που σχετίζονται με τα *ad hoc* δίκτυα πολλαπλών αλμάτων με κεντρικό έλεγχο, δυνητικά στην επέκταση της εξέτασης αυτών των δικτύων με καταναμημένο έλεγχο. Ξεκινώντας από το εννοιολογικό επίπεδο, πρέπει να αναπτυχθούν μέθοδοι και αλγόριθμοι για έναν αριθμό από περιοχές:

- Αλγόριθμοι ομαδοποίησης
- Μηχανισμοί προώθησης
- Αλγόριθμοι δρομολόγησης σε δίκτυα πολλαπλών ομάδων
- Προσαρμοστική διαμόρφωση και έλεγχος της ισχύος
- Γενική εναρμόνιση με τα πρότυπα των ασύρματων τοπικών δικτύων
- Εγγύηση QoS για ισόχρονες υπηρεσίες

Όλες οι ιδέες χρειάζονται να επιβεβαιωθούν μέσω προσομοίωσης, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως το φορτίο της κίνησης, την κινητικότητα και διαθεσιμότητα των κόμβων, τα διαφορετικά μοντέλα καναλιών και ποικίλα σενάρια εφαρμογής και χρήσης.

4.4.1. Υπάρχουσα Κατάσταση στην Περιοχή – Αναφορές

Τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα βασίζονται στην σταθερή δομή. Η κίνηση πάνω από την διεπαφή του αέρα οργανώνεται από σταθμούς βάσης που λειτουργούν την ίδια στιγμή ως σημεία πρόσβασης στα σταθερά δίκτυα κορμού όπως το Internet ή ο O.T.E.

Σε αντίθεση με αυτά τα παραδοσιακά δίκτυα, οι *ad hoc* τοπολογίες είναι αυτό-διαχειριζόμενες. Κάθε σταθμός μπορεί να λειτουργεί ως ένα σημείο πρόσβασης για τα σταθερά δίκτυα. Τέτοιου είδους συστήματα χαρακτηρίζονται από τον *ad hoc* τρόπο ανάπτυξής τους. Συνεπώς, τα κλασικά σενάρια εφαρμογών για τέτοια συστήματα αναφέρονται σε επικοινωνία σε πεδία μαχών, σε συνθήκες καταστροφών όπως επίσης σε ανάγκες έρευνας και διασώσεων. Πρόσφατες εφαρμογές των συστημάτων είναι τα δίκτυα προσωπικών επικοινωνιών (Personal Communications Networks – PCN) ιδιαίτερα στο σπίτι

ή στο γραφείο. Αυτό οφείλεται στον χαρακτήρα ανάπτυξης κι εγκατάστασης της μορφής *plug-and-play* που παρουσιάζουν τέτοια συστήματα.

Το μέγεθος της περιοχής που καταλαμβάνουν τα συστήματα είναι, γενικότερα, πολύ μεγαλύτερο από το εύρος/ακτίνα εκπομπής των σταθμών. Η επικοινωνία μεταξύ δύο σταθμών, επομένως, σχετίζει αρκετούς άλλους κόμβους που πρέπει να προωθήσουν την πληροφορία. Αυτό σημαίνει ότι η *ad hoc* επικοινωνία συντελεί στην ανάπτυξη δικτύων πολλαπλών αλμάτων ενώ η επικοινωνία που βασίζεται στην σταθερή δομή δικτύου χρησιμοποιεί μόλις ένα άλμα (κατερχόμενη ή ανερχόμενη ζεύξη).

Δύο διαφορετικοί τύποι *ad hoc* δικτύων μπορούν να διακριθούν: αποκεντριοποιημένα και κεντριοποιημένα *ad hoc* δίκτυα.

Στα αποκεντριοποιημένα *ad hoc* δίκτυα το σχήμα πρόσβασης όπως και η διαχείριση της δρομολόγησης και της κινητικότητας είναι τελείως αποκεντριοποιημένα. Ένα παράδειγμα τέτοιου δικτύου είναι το σύστημα 802.11. Τα πλεονεκτήματα του αποκεντριοποιημένου συστήματος είναι η δίκαιη μεταχείριση των πόρων σε σχέση με την κατανάλωση ισχύος και τις απαιτήσεις των διεργασιών όπως, επίσης, και η ευρωστία του απέναντι σε αποτυχίες και βλάβες.

Στα κεντριοποιημένα δίκτυα, συγκεκριμένες λειτουργίες όπως ο έλεγχος πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control – MAC), διενεργούνται από έναν συγκεκριμένο σταθμό ανά ομάδα, τον αποκαλούμενο κεντρικό ελεγκτή (Central Controller – CC) ή επικεφαλής της ομάδας (Cluster Head). Αυτές οι λειτουργίες δεν είναι απαραίτητο να εκτελούνται από τον ίδιο σταθμό όλο το χρονικό διάστημα, για παράδειγμα μπορούν να διαβιβαστούν σε κάποιον άλλο κόμβο της ίδιας ομάδας που έχει την δυνατότητα εκτέλεσης αυτών. Το HIPERLAN/2 Home Extension Environment (HEE) είναι οργανωμένο πάνω σε αυτή την λογική. Ένα πλεονέκτημα των κεντριοποιημένων δικτύων είναι η διευκόλυνση του ελέγχου της ποιότητας της υπηρεσίας. Επιπλέον, τα πρωτόκολλα που προσανατολίζονται στην υποστήριξη της σταθερής δομής μπορούν επαναχρησιμοποιηθούν.

Το ενδιαφέρον στα *ad hoc* δίκτυα έχει σημαντικά αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Με την ανάδειξη εμπορικών συσκευών όπως των φορητών τηλεφώνων, των ψηφιακών προσωπικών βοηθών (Personal Digital Assistant – PDA), των υπολογιστών-σημειωματάρων, εμφανίστηκε ένας νέος εμπορικός χώρος εφαρμογών των ασύρματων *ad hoc* δικτύων.

Όπως αναφέραμε, εκτενώς, και στο προηγούμενο κεφάλαιο τα τρία πιο σημαντικά πρότυπα επικοινωνίας με *ad hoc* δυνατότητες είναι το: α) Bluetooth, για επικοινωνία πολύ μικρής εμβέλειας (<10 μέτρα ανά άλμα), β) IEEE 802.11, ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο

(περίπου 100 μέτρα ανά άλμα), και γ) HIPERLAN/2, ένα ακόμα σύστημα ασύρματου τοπικού δικτύου (<100-200 μέτρα).

Το πρότυπο IEEE 802.11, με την δυνατότητα λειτουργίας σε τρόπο ανταγωνισμού, είναι ένα παράδειγμα ενός αποκεντριοποιημένου *ad hoc* δικτύου που βασίζεται σε ένα άκου-προτού-μιλήσεις πρωτόκολλο (Carrier Sense Multiple Access – CSMA). Μία σύνδεση μπορεί να επιτευχθεί μέσω πολλαπλών αλμάτων. Παρόλ' αυτά, στο πρότυπο αυτό ο έλεγχος του QoS είναι δύσκολος λόγω της εφαρμογής του MAC πρωτοκόλλου.

Το Ευρωπαϊκό πρότυπο HIPERLAN/2 παρουσιάζει έναν *ad hoc* τρόπο λειτουργίας που καθορίζεται στο ονομαζόμενο Home Extension Environment (HEE) της προδιαγραφής. Το HEE είναι ένα παράδειγμα ενός κεντριοποιημένου *ad hoc* δικτύου, επειδή περιλαμβάνει μία ομάδα τερματικών στην οποία μία συσκευή, που ονομάζεται κεντρικός ελεγκτής (Central Controller – CC) ελέγχει την πρόσβαση στην διεπαφή του αέρα. Για αυτό τον σκοπό ο CC παράγει περιοδικά πλαίσια MAC με τα οποία παραχωρεί στα άλλα τερματικά της ομάδας έναν συγκεκριμένο αριθμό από χρονοθυρίδες εκπομπής, σύμφωνα με την προηγούμενη αίτηση για πόρους του συστήματος από τα τερματικά. Με αυτό το σχήμα MAC το QoS μπορεί να εγγυηθεί για συγκεκριμένες συνδέσεις.

Το σκεπτικό του HEE πραγματοποιείται με την συνδρομή δύο λειτουργιών: Επιλογή CC, μεταβίβαση CC.

Ο αλγόριθμος επιλογής CC διασφαλίζει ότι εδραιώνεται μόνο ένας CC ανά ομάδα. Όταν τεθεί σε λειτουργία, κάθε σταθμός που έχει την δυνατότητα εκτέλεσης των λειτουργιών ως CC εκτελεί αυτόνομα την διεργασία επιλογής CC.

Η ιδέα που αποτελεί την βάση του αλγορίθμου είναι ότι κάθε τερματικό με δυνατότητες CC αποσύρεται από την διαδικασία επιλογής αν ανιχνεύσει κάποια άλλη συσκευή με ίδιες δυνατότητες. Επομένως, θα υπάρξει ένας μόνο σταθμός, τελικά, που θα αναλάβει τα καθήκοντα του CC.

Έπειτα από μία αρχική διαμόρφωση της δικτυακής τοπολογίας, η μεταβίβαση της λειτουργίας CC από τον ένα κόμβο στον άλλον θα είναι μία συχνή εργασία. Όλες οι πληροφορίες σχετικά με τα ασύρματα τερματικά και τις συνδέσεις απευθείας τρόπου πρέπει να μεταφερθούν κατά την διάρκεια μιας μεταβίβασης CC. Η μεταβίβαση CC, συνεπώς, αποτελείται από δύο κομμάτια: σχετική σηματοδότηση και μεταφορά δεδομένων.

Ένας σημαντικός περιορισμός της σημερινής μορφής του HEE έχει να κάνει με το γεγονός ότι το δίκτυο αποτελείται από μία μόνο ομάδα τερματικών με έναν μοναδικό CC. Αυτό περιορίζει την πιθανή περιοχή κάλυψης του συστήματος.

Στην σημερινή του μορφή, το ΗΕΕ δεν είναι ένα *ad hoc* δίκτυο πολλαπλών αλμάτων αφού δεν υποστηρίζεται η προώθηση των δεδομένων για περισσότερα από ένα άλματα.

Σκοπός της ερευνητικής δραστηριότητας είναι η επέκταση του ΗΕΕ σε ένα πολυαλματικό *ad hoc* δίκτυο και την ίδια στιγμή η εξέταση άλλων αποκεντριοποιημένων πρωτοκόλλων που είναι ικανά να παρέχουν εγγυήσεις QoS σε *ad hoc* περιβάλλοντα.

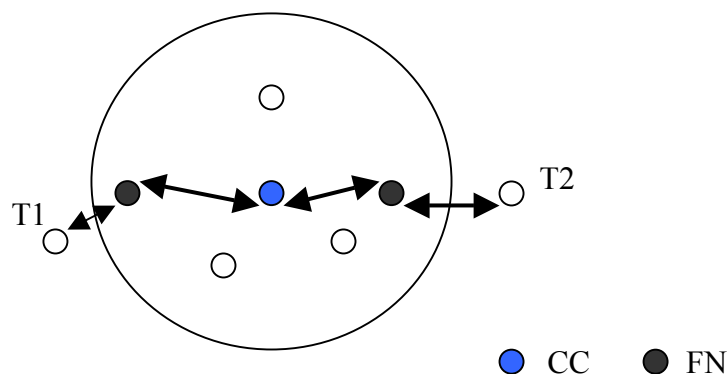
4.4.1.1. Πιθανή Προσέγγιση

Θα επικεντρωθούμε στην επέκταση του ΗΕΕ στην συνέχεια, αν και η ανάπτυξη ολοκληρωτικά νέων πρωτοκόλλων είναι, επίσης, μέρος της ερευνητικής δραστηριότητας.

Δύο προσεγγίσεις θα ακολουθηθούν με σκοπό να επεκτείνουν την περιοχή κάλυψης ενός κεντριοποιημένου, *ad hoc* δικτύου μίας ομάδας:

- Δίκτυα μιας ομάδας με κόμβους προώθησης της πληροφορίας
- Δίκτυα πολλαπλών ομάδων με κόμβους-γέφυρες μεταξύ των ομάδων

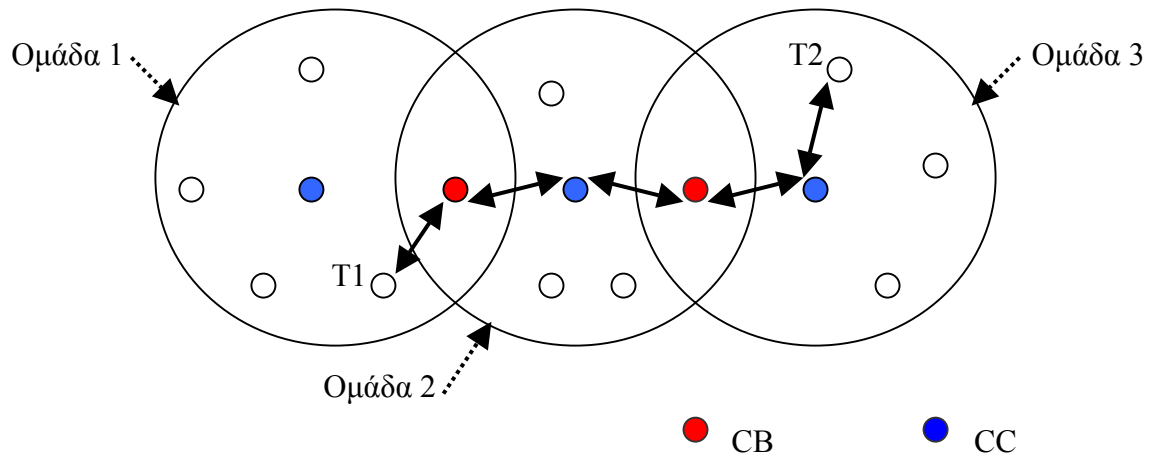
Κάθε μία ομάδα ελέγχεται από τον CC. Ο ρόλος του CC παραχωρείται δυναμικά σε καθένα από τα τερματικά μέσα στην ομάδα. Μία ομάδα χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο από κόμβους που σχετίζονται με ένα μοναδικό CC. Ένας κόμβος προώθησης (Forwarding Node – FN), είναι ικανός να μεταβιβάσει την πληροφορία ελέγχου από τον CC σε οποιοδήποτε κόμβο πέρα από τα σύνορα της περιοχής εμβέλειας του CC. Ένα παράδειγμα δικτύου με μία σύνδεση μεταξύ δύο τερματικών μέσω δύο FN απεικονίζεται στο σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Επέκταση της περιοχής κάλυψης μιας ομάδας

Μία άλλη σχετική δικτυακή διαμόρφωση φαίνεται στο σχήμα 4.2. Στο διάγραμμα αυτό, το μονοπάτι επικοινωνίας μεταξύ των τερματικών 1 και 2 συντίθεται συνολικά από 6 άλματα και επηρεάζει 3 ομάδες επικοινωνίας. Μεταξύ των ομάδων, οι κόμβοι που

αποκαλούνται γέφυρες των ομάδων (Cluster Bridge – CB), προωθούν την κίνηση από την μία αλληλοκαλυπτόμενη ομάδα στην άλλη.



Σχήμα 4.2: Επικοινωνία πολλαπλών αλμάτων μεταξύ των ομάδων

Με μια προσεκτικότερη ματιά στο σχήμα 4.2 παρατηρούμε δύο τρόπους λειτουργίας: ενώ στην ομάδα 3 η σύνδεση έχει επιτευχθεί με την ανάμειξη του CC, η ομάδα 1 κάνει χρήση της απευθείας ζεύξης του HIPERLAN/2, για παράδειγμα η μεταφορά των δεδομένων του χρήστη λαμβάνει χώρα μεταξύ μόνο των συσχετιζόμενων κόμβων, και με αυτό τον τρόπο εξοικονομούνται εύρος ζώνης και πόροι του CC.

Η ιδέα του δικτύου πολλαπλών ομάδων θα παρουσιαστεί σε επόμενη παράγραφο του κεφαλαίου αυτού.

Στα δίκτυα πολλαπλών ομάδων η διασύνδεση των διαφορετικών ομάδων είναι ένα σημαντικό ζήτημα και θα εξεταστεί με λεπτομέρεια παρακάτω.

Ενώ στο ΗΕΕ μία μεταβίβαση CC πραγματοποιείται, κατά κύριο λόγο, αν ο εκλεγμένος CC τεθεί εκτός λειτουργίας ή εξαντληθούν τα ενεργειακά του αποθέματα, η επανα-ομαδοποίηση (που καθίσταται δυνατή από την διαδικασία της μεταβίβασης CC) θα είναι μία συχνή εργασία στα δίκτυα πολλαπλών ομάδων.

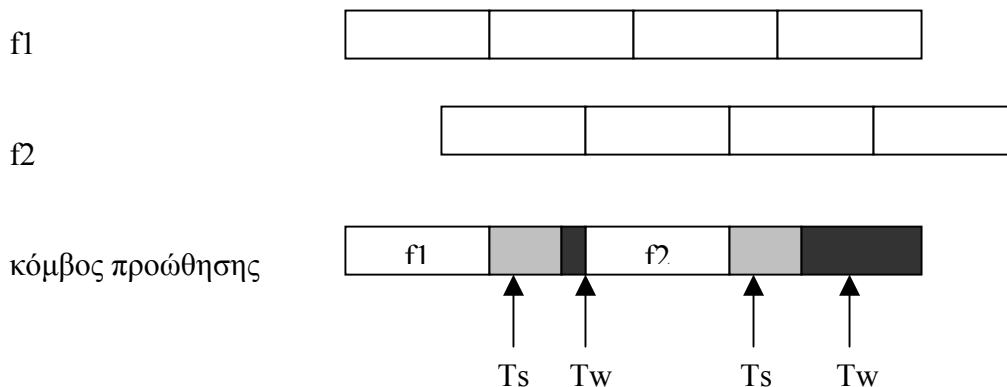
Χρήζει αναφοράς ότι τα σχήματα δρομολόγησης είναι απαραίτητα σε ένα πολυαλματικό δίκτυο και παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στην απόδοση και αξιοπιστία μιας δικτυακής τοπολογίας.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένα θα αναφερθούμε στην προώθηση των δεδομένων στο επίπεδο MAC με λίγη περισσότερη λεπτομέρεια.

Τερματικά δύο διαφορετικών ομάδων μπορούν να επικοινωνήσουν μονάχα μέσω τερματικών που έχουν την δυνατότητα να συμμετέχουν και στα δύο δίκτυα. Ένα τερματικό

μπορεί να συμμετέχει σε διαφορετικές ομάδες την ίδια στιγμή μόνο αν βρίσκεται στην ακτίνα της περιοχής εκπομπής των CC των αντίστοιχων ομάδων. Ένα τέτοιο σενάριο απεικονίζεται στο σχήμα 4.2. Εξαιτίας της διεργασίας επιλογής του CC που λαμβάνει χώρα κατά την εγκατάσταση του δικτύου και λόγω της δυναμικής επιλογής συχνότητας (Dynamic Frequency Selection – DFS) του HIPERLAN/2, δύο γειτονικές ομάδες θα λειτουργούν σε δύο διαφορετικές συχνότητες. Συνεπώς, είναι επιβεβλημένη η προώθηση στο πεδίο της συχνότητας. Αν υποθέσουμε ότι κάθε κινητό τερματικό είναι εφοδιασμένο με μόνο έναν πομποδέκτη, ο κόμβος-προωθητής πρέπει να μεταπηδά από την μία συχνότητα στην άλλη, συνεχώς. Αυτός ο χρόνος αλλαγής συχνότητας έχει σχηματοποιηθεί στο 1ms στο HIPERLAN/2. Η αλλαγή στην άλλη συχνότητα και ξανά πίσω θα αποφέρει, τελικά, ένα χρονικό διάστημα απουσίας της τάξης των 2ms στον κόμβο προώθησης κατά την διάρκεια της οποίας ο εν λόγω κόμβος δεν θα είναι ικανός να συμμετέχει σε οποιαδήποτε επικοινωνία. Αυτός ο χρόνος απουσίας αντιστοιχεί σε ένα πλαίσιο MAC.

Τα πλαίσια MAC σε δύο διαφορετικές ομάδες δεν είναι συγχρονισμένα. Επομένως, ο κόμβος προώθησης δεν είναι απών μόνο κατά την αλλαγή της συχνότητας T_s αλλά χάνει, επίσης, τον χρόνο αναμονής T_w μέχρι την έναρξη του επόμενου πλαισίου MAC. Μία τέτοια κατάσταση περιγράφεται στο σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3: Χρονικά διαστήματα απουσίας του κόμβου προωθητή

Υποτίθεται σε αυτή την περίπτωση ότι ο κόμβος προώθησης συμμετέχει σε μία ομάδα για ακριβώς ένα πλαίσιο MAC. Βασιζόμενοι σε σκέψεις που προκύπτουν από το σχήμα 4.3, η κίνηση που είναι ικανός να διεκπεραιώσει αυτός ο κόμβος υπό το καθεστώς αυτής της προσέγγισης φτάνει σε, μόλις το $\frac{1}{4}$ της διαθέσιμης χωρητικότητας σε ένα κανάλι συχνότητας.

Στην άλλη οριακή περίπτωση που ο κόμβος προώθησης συμμετέχει σε καθένα από τα δύο δίκτυα για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, οι χρόνοι απουσίας καθίστανται αμελητέοι. Η

χωρητικότητα του κόμβου προώθησης καταλήγει να είναι η μισή της χωρητικότητας ενός καναλιού συχνότητας.

Σε κάθε επιλεγμένο σενάριο, η μέγιστη ρυθμαπόδοση των δεδομένων του χρήστη που μπορεί να επιτευχθεί για τις συνδέσεις προώθησης κυμαίνεται μεταξύ του $\frac{1}{4}$ και του $\frac{1}{2}$ της μέγιστης ρυθμαπόδοσης του συστήματος για ένα μοναδικό άλμα. Για το HIPERLAN/2 η μέγιστη ρυθμαπόδοση των δεδομένων του χρήστη για το ένα άλμα φτάνει τα 45Mbps. Η εξάρτηση της ρυθμαπόδοσης των συνδέσεων προώθησης από τον αριθμό των πλαισίων κατά τον οποίο ο κόμβος προώθησης παραμένει σε κάθε ομάδα φαίνεται από το σχήμα 4.3. Μία ανταλλαγή μεταξύ της υψηλής ρυθμαπόδοσης και της μικρής καθυστέρησης μπορεί να παρατηρηθεί, επειδή η καθυστέρηση μετάδοσης αυξάνεται με τον αριθμό των πλαισίων MAC που επιλέγει ένας κόμβος προώθησης να παραμείνει σε μία ομάδα. Η διαφορά στους χρόνους καθυστέρησης μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι στην περίπτωση υψηλού φορτίου (κατάσταση στην οποία ένας κόμβος προώθησης χρησιμοποιεί όλο το πλαίσιο για τις ανάγκες της επικοινωνίας όταν είναι παρών σε μία ομάδα) ένα μέρος των δεδομένων που προωθούνται πρέπει να καθυστερήσει μέχρι την έναρξη του επόμενου κύκλου αλλαγής, ενώ σε συνθήκες χαμηλού φορτίου (που σημαίνει ότι ο κόμβος προώθησης έχει μόνο λίγα πακέτα να προωθήσει) όλα τα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν στον ίδιο κύκλο αλλαγής. Γενικά, ένας κόμβος προώθησης θα μπορούσε να διασυνδέσει περισσότερες από μία ομάδες, αν και αυτό δεν συνιστάται εξαιτίας της σχετιζόμενης αλλαγής συχνότητας και των χρόνων αναμονής. Όποτε είναι δυνατόν, αρκετοί κόμβοι προώθησης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την σύνδεση των ίδιων δύο ομάδων.

Για την εγκατάσταση ενός κόμβου προώθησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μία συγκεκριμένη διαδικασία εγκατάστασης ή υπάρχουσες διαδικασίες του προτύπου HIPERLAN/2 RLC όπως η 'MT-ABSENCE'.

Η προώθηση των δεδομένων δεν είναι δυνατή αν δεν υπάρχει τερματικό που είναι ικανό να συμμετέχει σε δύο δίκτυα ταυτόχρονα. Σε αυτή την περίπτωση, μπορεί να αναπτυχθεί ένας γενικότερος αλγόριθμος ομαδοποίησης που λύνει τέτοιου είδους προβλήματα στο μέτρο που είναι δυνατό.

4.4.2. Λειτουργίες στα 60 GHz

Την αποκλειστική ευθύνη της λειτουργίας των κινητών σταθμών στα 60 GHz φέρει το σημείο πρόσβασης του HIPERLAN/2. Η λειτουργία στην συχνότητα των 60 GHz

διακρίνεται από την μονοαλματική και την πολυαλματική επικοινωνία. Στην περίπτωση της επικοινωνίας του ενός άλματος δύο κινητοί κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας με την βοήθεια του CC. Κάθε κινητός σταθμός, ανταλλάσσοντας μηνύματα στα 60 GHz θα είναι σε θέση να γνωρίζει τους γείτονες του ενός άλματος κι επομένως να αποφασίζει για τον χαρακτήρα της επικοινωνίας του με αυτόν (στα 60 GHz). Υπάρχει και η περίπτωση της πολυαλματικής *ad hoc* επικοινωνίας στην οποία διαπιστώνουμε δύο σενάρια. Σύμφωνα με το πρώτο, ένα κινητό τερματικό βρίσκεται έξω από τα όρια του HIPERLAN/2 και θέλει να αποκτήσει πρόσβαση σε αυτό ή να επικοινωνήσει με κάποιον άλλον κόμβο. Αφού, λοιπόν, η μόνη συχνότητα στην οποία μπορεί να λειτουργήσει είναι τα 60 GHz – δεδομένου ότι δεν ακούει το BCH του σημείου πρόσβασης – επιλέγει τον ολοκληρωτικά *ad hoc* τρόπο σύνδεσης με το δίκτυο. Σύμφωνα με το δεύτερο σενάριο, ένα κινητό τερματικό μπορεί να επικοινωνήσει με ένα άλλο, ακόμη και μέσα στα όρια του WLAN, με την βοήθεια των 60 GHz όταν αυτό επιλεγεί από το σημείο πρόσβασης – για την αποσυμφόρηση του δικτύου στα 5 GHz.

Τα πιο σημαντικά στοιχεία στην εγκατάσταση της λειτουργικότητας του συστήματος στη νέα συχνότητα είναι: η ομαδοποίηση των κόμβων, η επέκταση της μονοαλματικής *ad hoc* επικοινωνίας που προσφέρει το HEE μέσω των κόμβων προώθησης, οι τεχνικές προώθησης των δεδομένων στα 60 GHz και η διάκριση των ρόλων που έχουν οι κόμβοι στο νέο δίκτυο (μέγεθος και είδος αποθηκευμένης πληροφορίας, περίοδοι απενεργοποίησης).

4.4.2.1. Δυναμική Ομαδοποίηση

Προτείνεται η ομαδοποίηση του ενός επιπέδου όπου οι σταθμοί συγκεντρώνονται σε ομάδες αλλά οι ομάδες δεν ομαδοποιούνται περαιτέρω σε ομάδες υψηλότερου επιπέδου. Υπάρχει ένας μόνο CC ανά ομάδα που είναι υπεύθυνος για την εγγραφή και την πρόσβαση στο μέσο των κινητών τερματικών που περιφέρονται στην ομάδα του. Ένα κινητό τερματικό μπορεί να γίνει μέλος μιας ομάδας αν βρίσκεται στην περιοχή εμβέλειας του CC. Σε ένα σενάριο ελεύθερου χώρου οι ομάδες θα είχαν κυκλική μορφή.

Καθώς τα κινητά τερματικά κινούνται, το σύνολο των μελών μιας ομάδας αλλάζει δυναμικά. Ακόμη και οι CC μπορεί να κινούνται. Οι απαιτήσεις του μεταβλητού ρυθμού δεδομένων αυξάνουν την πολυπλοκότητα του συστήματος. Προσθετικά με τον μεταβλητό ρυθμό δεδομένων, οι συνδέσεις θα αρχίζουν και θα περατώνονται συχνά. Επομένως, είναι φανερό ότι η ομαδοποίηση καθίσταται μία δυναμική διαδικασία και μία συχνή εργασία.

Καθώς οι ομάδες έχουν μία περιορισμένη χωρητικότητα κίνησης (στο HIPERLAN/2 επιτυγχάνεται μία μέγιστη τιμή των 54Mbps στο φυσικό επίπεδο), οι απαιτήσεις χωρητικότητας μπορούν να ικανοποιηθούν μόνο με την δημιουργία νέων ομάδων.

Ένας στόχος της διεργασίας της ομαδοποίησης θα μπορούσε να είναι η εξάπλωση της κίνησης όσο το δυνατόν περισσότερο σε όλες τις ομάδες με την βοήθεια κατάλληλης επαναομαδοποίησης του δικτύου. Άλλος στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των συνδέσεων που παρουσιάζουν βλάβη και των μεταβιβάσεων των κινητών τερματικών μεταξύ των ομάδων. Το πιο σημαντικό στοιχείο ενός αλγορίθμου ομαδοποίησης είναι η σταθερότητά του. Η επανα-ομαδοποίηση μπορεί να επιτευχθεί με την βοήθεια της μεταβίβασης του CC. Παρόλ' αυτά, κάτι τέτοιο απαιτεί ένα σημαντικό ποσοστό των πόρων του δικτύου.

Δύο από τα πρωτοπροτεινόμενα σχήματα ομαδοποίησης είναι τα αποκαλούμενα *Μικρότερος Αναγνωριστικός Αριθμός* (Lowest ID – LID) και *Υψηλότερη Συνδεσιμότητα* (Highest Connectivity – HIC).

Στον αλγόριθμο LID όλοι οι σταθμοί έχουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό για το συνολικό δίκτυο (ID). Περιοδικά, κάθε τερματικό εκπέμπει παντού το δικό του ID σε όλους τους σταθμούς που βρίσκονται στην περιοχή κάλυψής του. Είναι στην συνέχεια δυνατό για κάθε σταθμό να συγκρίνει το ID του με το ID των άμεσων γειτόνων του. Ένα τερματικό αποφασίζει αυτόνομα να γίνει ένας CC αν το δικό του ID είναι μικρότερο από όλα τα άλλα ID που έλαβε από τους υπόλοιπους κινητούς σταθμούς.

Ο αλγόριθμος HIC βασίζεται στον αριθμό των κόμβων που ένας σταθμός έχει την δυνατότητα να ακούσει. Κάθε σταθμός μπορεί να υπολογίσει αυτό τον αριθμό και να τον στείλει με την διαδικασία της ευρυεκπομπής στους γείτονές του. Παρόμοια με το αλγόριθμο LID, κάθε κινητό τερματικό στη συνέχεια συγκρίνει την τιμή συνδεσιμότητάς του με τις αντίστοιχες τιμές των γειτόνων του. Ο κόμβος με την υψηλότερη τιμή συνδεσιμότητας γίνεται ο CC.

Η αδυναμία αυτών των αλγορίθμων είναι ότι δεν λαμβάνουν υπόψη τους την κατάσταση κίνησης μέσα στις ομάδες. Για αυτό τον λόγο έχει προταθεί να προσμετράται όχι μόνο το επίπεδο λήψης ενός σήματος από έναν άλλο σταθμό (Received Signal Strength – RSS), αλλά, επίσης και ο ρυθμός δεδομένων με τον οποίο επικοινωνούν δύο σταθμοί μεταξύ τους (Data Rate – DR). Μόλις ο CC έχει αποκτήσει τις δύο αυτές τιμές για κάθε ζευγάρι κινητών τερματικών, μπορεί να κατασκευάσει ένα πίνακα με την σχετική πληροφορία.

Με σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας του δικτύου, πρέπει να εκλεγεί ένας νέος και πιο κατάλληλος CC τόσο στην ίδια την ομάδα όσο και στις γειτονικές. Για να επιτευχθεί

αυτό, ο πίνακας που συμπληρώνεται πρέπει να ανταλλαχθεί μεταξύ των CC. Έτσι κάθε CC μπορεί να αποκτήσει ένα τοπικό ή ακόμη πιο ευρύ τοπολογικό χάρτη του δικτύου.

Βασιζόμενοι σε αυτή την προσέγγιση έχουν παρουσιαστεί στην βιβλιογραφία δύο νέοι αλγόριθμοι ομαδοποίησης: η *Μικρότερη Τιμή Απόστασης* (Lowest Distance Value – LDV) και η *Υψηλότερη Εσωτερική Κίνηση* (Highest In-Cluster Traffic – ICT).

Ο αλγόριθμος LDV βασίζεται στην απόφαση επιλογής του επιπέδου λήψης ενός σήματος από έναν άλλο γειτονικό σταθμό. Κάθε σταθμός υπολογίζει το άθροισμα όλων των τιμών RSS προς τους άμεσους γείτονες και το διαιρεί με τον αριθμό των γειτόνων του ενός άλματος. Ο σταθμός με την μικρότερη τιμή απόφασης γίνεται ο CC. Όλοι οι γείτονες του ενός άλματος συμμετέχουν σε αυτό το υποδίκτυο (όσο υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα). Υπάρχουν δύο πιθανότητες για το πώς οι τιμές απόφασης των σταθμών μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους. Μία πιθανότητα θα ήταν όλοι οι κόμβοι να εκπέμπουν τις δικές τους τιμές απόφασης στους γείτονές τους (όπως στην περίπτωση των αλγορίθμων LID και HIC). Μία άλλη δυνατότητα είναι ο CC να λάβει την απόφαση βασιζόμενος στον πίνακα με τις τιμές RSS που περιγράφηκε παραπάνω ή να στείλει αυτό τον πίνακα στα κινητά τερματικά τα οποία θα είναι υπεύθυνα για την απόφαση της εκλογής του CC.

Ο αλγόριθμος ICT κατασκευάζει ομάδες κόμβων που βασίζονται στην κίνηση κάθε σταθμού με τους άμεσους γείτονές του. Αυτό έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση της κίνησης από την προώθηση των δεδομένων μεταξύ των ομάδων. Κάθε κινητό τερματικό γνωρίζει τους γείτονες σε απόσταση ενός άλματος και μπορεί να υπολογίσει την συνολική κίνηση με αυτούς. Ο σταθμός με την υψηλότερη κίνηση με τους άμεσους γείτονες επιλέγεται ως ο CC. Όλοι οι γείτονες του ενός άλματος αυτού του σταθμού συνδέονται με το υποδίκτυο (όσο υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα).

Υπάρχουν και σε αυτή την περίπτωση οι πιθανότητες είτε κάθε κόμβος να στέλνει το συνολικό ρυθμό δεδομένων στους γειτονικούς κόμβους ή ο CC να αποφασίζει βάσει του πίνακα συνολικής κίνησης.

Όλοι οι αλγόριθμοι έχουν ως κοινό στοιχείο ότι η επανα-ομαδοποίηση λαμβάνει χώρα κάθε φορά που το κριτήριο απόφασης το συνιστά. Αυτό οδηγεί σε σχετικά συχνά γεγονότα επανα-ομαδοποίησης και επομένως σε μία ασταθή δικτυακή δομή. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα προτείνεται ένας αλγόριθμος ελέγχου αλλαγών που μπορεί να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με οποιονδήποτε από τους προαναφερθέντες αλγόριθμους. Αρχικά, ο αλγόριθμος ελέγχει αν η παλιά διαμόρφωση των ομάδων μπορεί να συνεχίζει να υφίσταται. Μόνο αν η παλιά διαμόρφωση δεν είναι πλέον εφικτή, καλείται ο κανονικός αλγόριθμος ομαδοποίησης.

Προσομοιώσεις στο σενάριο του ελεύθερου χώρου έχουν δείξει ότι ο αλγόριθμος LID είναι ο πιο σταθερός, αλλά δεν είναι εφαρμόσιμος γιατί δεν λαμβάνει υπόψη του την κατάσταση της κίνησης μέσα στην περιοχή των ομάδων.

Συνεπώς, σε αυτό το σημείο, προτείνεται ένας αλγόριθμος που ονομάζεται *Υψηλότερος Αναγνωριστικός Αριθμός με Κίνηση* (Highest ID with traffic – HID) και ο οποίος είναι μία επέκταση του βασικού αλγορίθμου LID. Ο HID προβλέπει ότι ο σταθμός με το υψηλότερο ID γίνεται ο πρώτος CC. Αυτός ο νέος CC συσχετίζει τους άμεσους γείτονές του στην ομάδα με αύξουσα σειρά ξεκινώντας με αυτόν που έχει το μικρότερο ID. Σε αντίθεση με τον αλγόριθμο LID, τα κινητά τερματικά μπορούν να συσχετιστούν με την ομάδα μόνο όσο υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα. Αν το σύνολο της χωρητικότητας χρησιμοποιείται, θα δημιουργηθεί μία νέα ομάδα. Ο CC της επιπλέον ομάδας θα είναι ο σταθμός με το δεύτερο υψηλότερο ID. Αυτός ο σταθμός θα μπορούσε, σαφώς, να μην είναι μέλος της πρώτης ομάδας, επειδή η συσχέτιση των κινητών τερματικών διενεργείται από το χαμηλότερο προς τα υψηλότερα ID σε αύξουσα σειρά. Επιπρόσθετες ομάδες δημιουργούνται καθώς υπάρχουν κινητοί κόμβοι που δεν είναι μέλη μιας ομάδας. Ο σταθμός με το υψηλότερο ID θα γίνει ο CC της πρώτης ομάδας. Το κινητό τερματικό με το δεύτερο υψηλότερο ID θα γνωστοποιήσει αν έχει γίνει αποδεκτό σε αυτή τη νέα ομάδα ή όχι. Αν δεν έχει γίνει δεκτό, το τερματικό θα αποφασίσει τοπικά να δημιουργήσει μία επιπρόσθετη ομάδα, αφού γνωρίζει ότι είναι ο σταθμός με το δεύτερο υψηλότερο ID. Η ίδια διαδικασία ισχύει και για όλες τις υπόλοιπες ομάδες που πρόκειται να αναπτυχθούν. Σημειώνουμε ότι ένας σταθμός με το δεύτερο υψηλότερο ID, ο οποίος δεν έγινε δεκτός στην ομάδα του τερματικού με το υψηλότερο ID και που συνεπώς δημιουργεί μία επιπλέον ομάδα, μπορεί να μην συσχετίσει όλους τους εναπομείναντες άμεσους γείτονες του κόμβου με το υψηλότερο ID στη νέα ομάδα. Αντίθετα, ο σταθμός με το δεύτερο υψηλότερο ID θα συσχετίσει όλα εκείνα τα κινητά τερματικά στην δικιά του ομάδα που είναι δικοί του γείτονες και δεν έχουν ήδη συσχετιστεί μία ομάδα οποιουδήποτε δυνατού CC σε προηγούμενο στάδιο της ομαδοποίησης.

4.4.2.2. Επιλογή CC και FN

Εκτός από τον τρόπο λειτουργίας με σταθερή δομή δικτύου που θεωρείται για την προδιαγραφή των βασικών λειτουργιών του DLC, η επικοινωνία μεταξύ των οικιακών συσκευών είναι ένας ακόμη στόχος του HIPERLAN/2. Επομένως, το HEE έχει αναπτυχθεί

για να καλύψει αυτό το κενό. Σε αντίθεση με την βασική προδιαγραφή του DLC που σχεδιάστηκε για μια κυψελωτή σταθερή δομή, μία διαμόρφωση δικτύου του ενός άλματος έχει επιλεγεί για το HEE ώστε να επιτρέψει την λειτουργία με την μορφή του *plug-and-play*. Ανά κανάλι συχνότητας η πρόσβαση των κινητών τερματικών στο μέσο συντονίζεται από τον CC. Η λειτουργικότητα του CC υποστηρίζεται από όλες τις οικιακές συσκευές του HIPERLAN/2.

Στην συνέχεια θα περιγράψουμε τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να συνδυαστούν τα *ad hoc* δίκτυα του HIPERLAN/2, τα αποκαλούμενα υποδίκτυα, με την βοήθεια των κατάλληλων διασυνδέσεων. Άρα, οι κινητοί σταθμοί που βρίσκονται στις αλληλεπικαλυπτόμενες περιοχές κάλυψης επιλέγονται για να αναλάβουν την ευθύνη του κόμβου προώθησης (Forwarder Node – FN). Κάθε ένας από αυτούς τους FN είναι παρών εναλλακτικά στα υποδίκτυα με σκοπό την διασύνδεσή τους μέχρι να καταστεί αναγκαία η μεταβίβαση του κόμβου προώθησης ή η σύνδεση μεταξύ των υποδικτύων να μην έχει, πλέον, καμία επικοινωνιακή αξία. Η στερεή πραγματοποίηση βασίζεται στις λειτουργίες του HIPERLAN/2 RLC που έχουν ήδη προδιαγραφθεί. Μόνο ασήμαντες και μικρές θα είναι οι αλλαγές που θα χρησιμοποιηθούν στον χώρο της σηματοδοσίας για να επιτευχθεί πλήρως ο χαρακτήρας της πολυαλματικής *ad hoc* επικοινωνίας.

4.4.2.3. Πολυαλματική Επικοινωνία

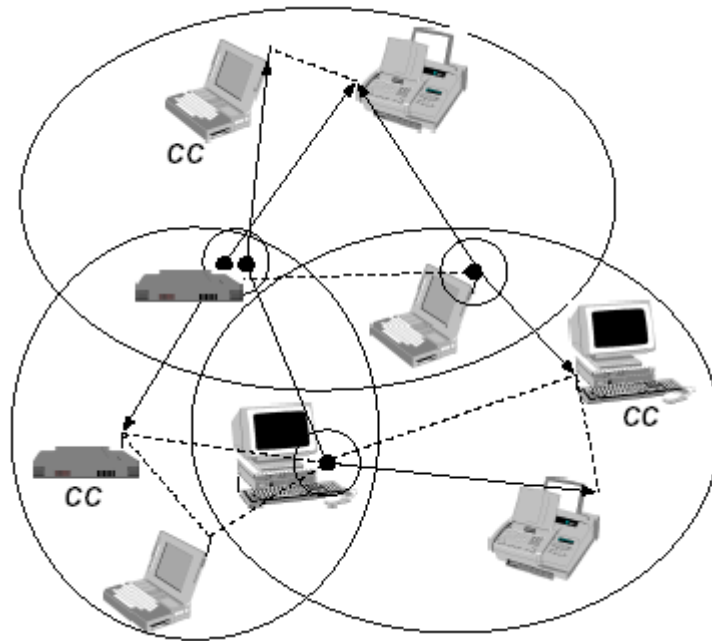
Προκειμένου να ικανοποιήσουμε τις ανάγκες ευρείων περιοχών, αντί να τις καλύψουμε με ένα μοναδικό υποδίκτυο, χρειάζεται να συνδεθούν πολλά δίκτυα HIPERLAN/2 σε ένα λογικό δίκτυο. Μία τέτοια διασύνδεση των υποδικτύων πρέπει να διασφαλίζει ότι οι κινητοί κόμβοι που βρίσκονται σε οποιαδήποτε θέση μέσα στο σύνολο των υποδικτύων μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Ο συνδυασμός των υποδικτύων μπορεί να λυθεί με διαφορετικούς τρόπους – είτε βάσει ασύρματων λύσεων ή με την χρησιμοποίηση ενσύρματης σταθερής δομής όπως το Ethernet. Η ενσύρματη διασύνδεση διαφέρει από τα πολύ γνωστά συστήματα που στηρίζονται στους σταθμούς βάσης στο ότι η πρόσβαση στο σταθερό δίκτυο μπορεί επίσης να γίνει από τα κινητά τερματικά και δεν περιορίζεται μόνο στον CC. Παρόλ' αυτά, πλήρης πολυαλματική *ad hoc* συνδεσιμότητα επιτυγχάνεται μονάχα από τις ασύρματες συνδέσεις μεταξύ των υποδικτύων. Τα υποδίκτυα, συντονίζονται το καθένα από έναν συγκεκριμένο CC που του έχει ανατεθεί από τον αλγόριθμο επιλογής που εξετάσαμε στην παραπάνω παράγραφο. Για να εγγυηθούμε την

καλύτερη δυνατή κατάσταση παρεμβολής για όλα τα τερματικά σε ένα υποδίκτυο, η δυναμική επιλογή συχνότητας (DFS) αποτρέπει γειτονικά δίκτυα να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. Αυτό υπονοεί μία τεχνική προώθησης που θεωρεί την λειτουργία των αλληλεπικαλυπτόμενων υποδικτύων σε διαφορετικά κανάλια συχνοτήτων.

Μία συμπληρωματική ιδέα – η προώθηση πάνω στο ίδιο κανάλι – μπορεί να αναπτυχθεί για να επεκτείνει την εμβέλεια των δικτύων με σταθερή δομή.

Ένα παράδειγμα ενός πολυαλματικού *ad hoc* δικτύου που αποτελείται από τρία διασυνδεδεμένα υποδίκτυα φαίνεται στο σχήμα 4.4. Οι εγκατεστημένες συνδέσεις αντιπροσωπεύονται τότε από τις παχιές μαύρες γραμμές που σημαίνουν διασυνδέσεις υποδικτύων ανάμεσα σε κινητά τερματικά που ανήκουν σε διαφορετικά υποδίκτυα, και τότε από λεπτές μαύρες γραμμές που αντιπροσωπεύουν την κίνηση μέσα στα όρια του υποδικτύου. Κάθε FN σημειώνεται από κύκλο. Αυτό το σχήμα υποθέτει μόνο τους FN μεταξύ δύο υποδικτύων και τις συνδέσεις που αφορούν το πολύ τρία άλματα, αντίστοιχα δύο FN. Όμως, η διαμόρφωση συνδέσεων με την παρουσία περισσότερων των τριών υποδικτύων είναι, επίσης, δυνατή.

Ο συνδυασμός των υποδικτύων είναι πολύπλοκο πρόβλημα που καλύπτει αρκετά συγκεκριμένα στοιχεία προς επίλυση. Η κύρια προϋπόθεση είναι η προσθήκη της λειτουργικότητας του FN σε κάθε οικιακή συσκευή του HIPERLAN/2 επειδή όσο περισσότερα τερματικά έχουν τις δυνατότητες του FN τόσο περισσότερο μπορεί να εγγυηθεί η σταθερότητα των συνδέσεων των υποδικτύων. Ένας ενεργός FN απαιτείται να βρίσκεται σε μία περιοχή με δύο ή περισσότερα επικαλυπτόμενα *ad hoc* ασύρματα τοπικά δίκτυα και να διατηρεί την ραδιοεπαφή με όλες τις τοπολογίες που συνδέει. Μία λύση θα ήταν να εφοδιαστεί κάθε κινητό τερματικό με δύο πομποδέκτες καθιστώντας δυνατή την λειτουργία σε δύο κανάλια συχνοτήτων παράλληλα. Αυτή η προσέγγιση, όμως, επιφέρει πολύ υψηλότερες τιμές, κατανάλωση ισχύος, κ.τ.λ. Μία άλλη ακόμη πιο αποδοτική λύση είναι η προσέγγιση της διαίρεσης χρόνου και συχνότητας, που σημαίνει ότι κάθε FN λειτουργεί σε ένα κανάλι συχνότητας για διαπραγματευόμενα χρονικά διαστήματα αρκετών πλαισίων MAC και διακόπτει προσωρινά για την λειτουργία σε ένα ή περισσότερα άλλα κανάλια συχνοτήτων. Επομένως, είναι απαραίτητη μία κρυφή μνήμη για κάθε FN για να αποθηκεύσει όλο τον όγκο των δεδομένων που πρέπει να μεταδοθούν από το ένα υποδίκτυο στο άλλο μέχρι την παράδοσή τους. Επιπλέον στοιχεία που πρέπει να λυθούν αναφορικά με την λειτουργία των FN είναι οι μεταβιβάσεις που σχετίζονται με την κινητικότητα, την επανοργάνωση στην περίπτωση των μεταβαλλόμενων περιοχών κάλυψης, και τον συντονισμό για την μεγιστοποίηση της ρυθμαπόδοσης μέσω των υποδικτύων.



Σχήμα 4.4: Διασύνδεση υποδικτύων

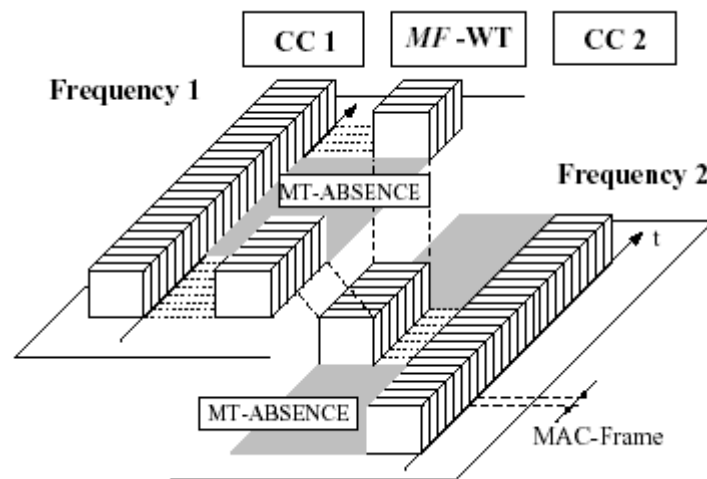
4.4.2.4. Λειτουργία των FN

Η νέα προσέγγιση προώθησης ανάμεσα στα υποδίκτυα βασίζεται στην διακοπτόμενη κι εναλλασσόμενη παρουσία ενός FN σε κάθε διασυνδεδεμένο υποδίκτυο. Συνεπώς, οι λειτουργίες του RLC MT_Absence και MT_Alive χρησιμοποιούνται με έναν λίγο διαφορετικό τρόπο σε σχέση με την αρχική τους εφαρμογή. Από την στιγμή που ένας FN έχει απευθείας επαφή μονάχα με τους κινητούς σταθμούς ενός υποδικτύου, αντιγράφει τις διευθύνσεις των κόμβων προορισμού άλλων υποδικτύων και διατηρεί στην κρυφή του μνήμη όλα τα σχετικά PDU. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι δεν απαιτούνται σημαντικές αλλαγές του προτύπου HIPERLAN/2.

Μία περιγραφή του μηχανισμού σύζευξης χρόνου και συχνότητας που εφαρμόζεται από έναν FN (ή Multiple-frequency Forwarder Wireless Terminal – MF-WT) παρουσιάζεται στο σχήμα 4.5.

Το σχήμα απεικονίζει τρία συσχετιζόμενες συσκευές: ο CC ενός υποδικτύου που λειτουργεί στο κανάλι συχνότητας 1 (CC1), ο CC ενός δεύτερου υποδικτύου που λειτουργεί σε μία άλλη συχνότητα 2 (CC2), και τον FN που είναι παρών και στα δύο κανάλια εναλλάσσοντας την λειτουργία του σε ξεχωριστά χρονικά παράθυρα. Ο FN αρχικά συγχρονίζεται με τον CC1. Μετά από ένα συγκεκριμένο αριθμό των πλαισίων MAC αλλάζει στην λειτουργία απουσίας εκτελώντας την διαδικασία του HIPERLAN/2 RLC,

MT_Absence. Από την πλευρά του CC1, αυτός θα παραμείνει στην κατάσταση απουσίας μέχρι να ξυπνήσει μετά από προκαθορισμένο χρονικό διάστημα που μεταφράζεται σε αριθμό πλαισίων MAC. Εντωμεταξύ, ο FN αλλάζει στο κανάλι συχνότητας 2 και συγχρονίζεται στον CC2. Από την πλευρά του CC2, ο FN βρίσκεται στην κατάσταση απουσίας μέχρι την δεδομένη παρούσα στιγμή. Μόλις γυρίζει στην ενεργή κατάσταση επικοινωνεί για ένα καθορισμένο αριθμό από πλαίσια MAC με τον CC2 σαν κανονικό κινητό τερματικό. Έπειτα από την περίοδο αυτή, σηματοδοτεί εκ νέου στον CC2 μία αλλαγή στην κατάσταση απουσίας και αλλάζει πίσω στο κανάλι 1, ώστε να ενεργοποιηθεί ακριβώς την πρέπουσα στιγμή για την επικοινωνία με τον CC1. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς και δεν σταματάει μέχρι να μεταβιβαστεί από το κινητό τερματικό η λειτουργικότητα του FN.



Σχήμα 4.5: Λειτουργία FN

4.4.2.5. Απαιτούμενες Λειτουργίες του HIPERLAN/2 RLC

Με την λειτουργία MT_Absence, δίνεται από το πρότυπο του HIPERLAN/2 RLC μία διαδικασία που παρέχει την δυνατότητα στους κινητούς σταθμούς να αποσύρονται από μία επικοινωνία και να εκτελούν εργασίες που δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν στην ενεργή κατάσταση, όπως για παράδειγμα οι μετρήσεις που αφορούν το DFS. Το κινητό τερματικό πληροφορεί τον CC με το μήνυμα RLC_MT_ABSENCE ότι δεν είναι διαθέσιμος για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, που φτάνει μέχρι και τα 63 πλαίσια MAC. Ο κινητός σταθμός αλλάζει στην κατάσταση απουσίας και εκκινείται το χρονόμετρο μόνο αφού ο CC απαντήσει με το μήνυμα RLC_MT_ABSENCE_ACK. Με την εκπνοή του χρονομέτρου η επικοινωνία μεταξύ του κινητού τερματικού και του CC συνεχίζεται άμεσα. Στην περίπτωση

που δεν υπάρχουν δεδομένα για να στείλει, ο κινητός σταθμός εκτελεί την διαδικασία MT_Alive, που παρουσιάζεται παρακάτω.

Η διαδικασία MT_Absence είναι μία λειτουργία που ανήκει καθαρά στο HIPERLAN/2 και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ιδέα της διασύνδεσης. Με την βοήθεια αυτής της διαδικασίας ένας κινητός σταθμός που λειτουργεί ως FN μπορεί να αποσυρθεί από την επικοινωνία με έναν CC και να συνεχίσει αυτή την επικοινωνία μετά από προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Στο μεσοδιάστημα το κινητό τερματικό είναι ελεύθερο να εκτελέσει οποιοδήποτε αλγόριθμο, ακόμη και να αλλάξει σε άλλη συχνότητα και να επικοινωνήσει με έναν δεύτερο CC.

Με την εκτέλεση της διαδικασίας MT_Alive ένας κινητός σταθμός ή ένας CC ελέγχει το κατά πόσο μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Ο CC μπορεί να ελέγξει την κατάσταση συσχέτισης ενός κινητού κόμβου στέλνοντας το μήνυμα RLC_MT_ALIVE_REQUEST. Αν αυτό το μήνυμα επιβεβαιωθεί από τον κινητό σταθμό με την απάντηση RLC_MT_ALIVE, ο κόμβος παραμένει συσχετισμένος. Αλλιώς, το μήνυμα σηματοδοσίας επαναλαμβάνεται από τον CC περιμένοντας ως απάντηση την αποστολή του RLC_MT_ALIVE_REQUEST_ACK από την πλευρά του κινητού. Στην περίπτωση που ο κινητός σταθμός δεν απαντήσει ξανά, θεωρείται εμμέσως ότι αποσυσχετίζεται. Ένας κινητός κόμβος που βρίσκεται στην κατάσταση απουσίας ενεργοποιείται στέλνοντας ένα σήμα RLC_MT_ALIVE.

Η λειτουργία MT_Alive μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ιδέα της προώθησης με τέτοιο τρόπο, που ο FN να μπορεί να στείλει μήνυμα RLC_MT_ALIVE στο υπάρχον CC μετά την αλλαγή στο δικό του κανάλι συχνότητας.

4.4.2.6. Αλγόριθμος Προώθησης

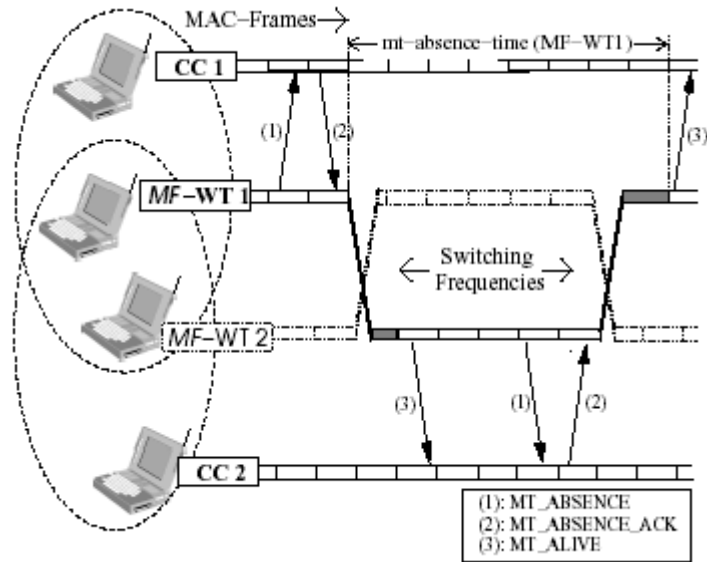
Κάθε κινητό τερματικό που συμμετέχει σε ένα *ad hoc* υποδίκτυο του HIPERLAN/2 προορίζεται να εκτελεί ανίχνευση συχνοτήτων και μετρήσεις DFS κατά τακτά χρονικά διαστήματα και να αναφέρει τα αποτελέσματα στον δικό του CC. Βασίζόμενος στις αναφορές του κινητού σταθμού, ένας CC είναι ικανός να ανιχνεύει τα γειτονικά υποδίκτυα και να επιλέγει τους FN για την διασύνδεση αυτών. Κάθε FN επιτρέπεται να αποσύρεται περιοδικά από τις μεταδόσεις για έναν συγκεκριμένο αριθμό από πλαίσια MAC, που ονομάζεται χρόνος απουσίας. Μέσα σε αυτούς τους χρόνους απουσίας ένα FN αλλάζει συχνότητα και προσπαθεί να συσχετιστεί με το γειτονικό υποδίκτυο. Αν οι χρονικές

απαιτήσεις της συσχέτισης δεν μπορούν να ικανοποιηθούν, ο FN μπορεί επίσης να εκκινήσει την διαδικασία της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτρέπει στα κινητά τερματικά να είναι απενεργοποιημένα για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Παρόλ' αυτά, αυτή η λειτουργία είναι λιγότερο ελαστική από την MT_Absence και συνεπώς είναι μόνο εφαρμόσιμη για την φάση της συσχέτισης, χωρίς να αποτελεί εναλλακτική λύση για την προώθηση των δεδομένων του χρήστη. Στην περίπτωση που η συσχέτιση στεφθεί με επιτυχία είναι δυνατή η εγκατάσταση των διασυνδέσεων μεταξύ των υποδικτύων. Αλλιώς, η δραστηριότητα προώθησης ακυρώνεται.

Στο σχήμα 4.6 απεικονίζεται η λειτουργία ενός (δύο) FN που συσχετίζονται με επιτυχία με τους CC των δύο υποδικτύων. Ο FN είναι παρών εναλλακτικά, είτε για τον CC1 είτε για τον CC2. Για να αφήσει τον ισχύοντα CC, για παράδειγμα τον CC1, μεταδίδει το μήνυμα RLC_MT_ABSENCE που περιλαμβάνει την χρονική παράμετρο της απουσίας του. Όταν ο FN λάβει την επιβεβαίωση, η σύνδεση με τον CC1 διακόπτεται προσωρινά και ο μετρητής της περιόδου απουσίας ξεκινά από το επόμενο πλαίσιο MAC. Μετά την αλλαγή της συχνότητας το BCH που μεταδίδεται από τον CC2 έχει ανιχνευθεί και αποκωδικοποιηθεί για τις ανάγκες του συγχρονισμού. Οι περίοδοι απουσίας των κινητών τερματικών και στα δύο υποδίκτυα πρέπει να είναι εντελώς διαχωρίσιμες, που σημαίνει ότι αμέσως αφού αρχίσει η περίοδος απουσίας στο υποδίκτυο 1 συστήνεται να τελειώνει στο υποδίκτυο 2. Για σιγουριά είναι δυνατή μία μικρή αλληλεπικάλυψη. Αν το κινητό τερματικό ενεργοποιηθεί στο υποδίκτυο 2 νωρίτερα από το αναμενόμενο, η παρουσία του σηματοδοτείται με την μετάδοση ενός μηνύματος RLC_MT_ALIVE μέσω του RCH. Σε άλλη περίπτωση, χρονοδρομολογείται από τον CC και αμέσως ξεκινά την μετάδοση. Για την επιστροφή στο υποδίκτυο 1 εκτελείται εκ νέου η διαδικασία MT_Absence. Αυτή η ακολουθία ενεργειών, δια της οποίας τόσο οι συμμετρικές όσο και οι ασύμμετρες περίοδοι απουσίας προσαρμόζονται σύμφωνα με τις συνθήκες κίνησης, επαναλαμβάνεται περιοδικά.

Από την στιγμή που ένας κόμβος προώθησης είναι μερικώς μόνο παρών σε ένα υποδίκτυο, η ρυθμαπόδοση κατά την διασύνδεση των υποδικτύων περιορίζεται σε λιγότερο από το 44% του μέγιστου δυνατού. Στην περίπτωση που αρκετά τερματικά βρίσκονται στην αλληλεπικαλυπτόμενη περιοχή των διασυνδεδεμένων υποδικτύων η προσέγγιση της εναλλακτικής προώθησης επιτρέπει την βελτίωση της ρυθμαπόδοσης και την μείωση του σχετικού *overhead* ανάλογα με τον αριθμό των συσχετισμένων τερματικών. Αν, για παράδειγμα, δύο δίκτυα συνδέονται με την βοήθεια δύο FN, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.6, τα χρονικά διαστήματα παρουσίας και απουσίας και των δύο FN μπορεί να συντονιστούν με τέτοιο τρόπο ώστε η εναλλαγή του ενός FN να είναι επαρκής για το ένα υποδίκτυο. Με αυτό

τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί μία σχεδόν σταθερή διασύνδεση. Μόνο στην περίπτωση της αλλαγής της συχνότητας και των φάσεων συγχρονισμού δεν είναι παρών κανένα FN σε ένα υποδίκτυο. Ο αριθμός των κόμβων προώθησης μπορεί να προσαρμοστεί βάσει ενός έξυπνου σχήματος συντονισμού που εξαρτάται από την τρέχουσα κατάσταση φόρτου της κίνησης.



Σχήμα 4.6: Σενάριο εναλλακτικής λειτουργίας στα υποδίκτυα 1 και 2

4.4.3. Λειτουργία στα 5/60 GHz

Το μεγαλύτερο μέρος των αποφάσεων που αφορούν τη δρομολόγηση της κίνησης του συστήματος και την εξυπηρέτηση των χρηστών λαμβάνεται από την πλευρά του σημείου πρόσβασης του τοπικού ασύρματου δικτύου.

Ο τρόπος λειτουργίας του συνολικού συστήματος περιγράφεται παρακάτω:

- Κάθε κινητό τερματικό καθώς ενεργοποιείται συντονίζει την κεραία του στα 5 GHz. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να ανιληφθεί – ακούγοντας το BCH του σημείου πρόσβασης του WLAN ή όχι – αν βρίσκεται στην περιοχή εμβέλειας του HIPERLAN/2 ή είναι απομακρυσμένο από αυτό.
- Αν ο κινητός σταθμός διαπιστώσει ότι δεν βρίσκεται μέσα στα όρια του HIPERLAN/2, συντονίζει την κεραία του στα 60 GHz και θα λειτουργήσει αποκλειστικά με τον *ad hoc* τρόπο επικοινωνίας.
- Και στις δύο περιπτώσεις, ο κινητός κόμβος θα λειτουργεί και στις δύο συχνότητες, όχι όμως ταυτόχρονα αφού κάτι τέτοιο θα απαιτούσε δύο κεραίες. Τα χρονικά διαστήματα

συντονισμού στην κάθε συχνότητα και οι εναλλαγές μεταξύ αυτών θα καθορίζονται από το σενάριο εφαρμογής και από το περιβάλλον λειτουργίας του κινητού σταθμού. Δηλαδή, όταν ο κόμβος μπορεί να ακούσει το σημείο πρόσβασης, θα παίρνει την πληροφορία που απαιτείται τόσο για την εναλλαγή των συχνοτήτων, όσο και για την πολιτική εξοικονόμησης ενέργειας – περίοδοι ενεργοποίησης/απενεργοποίησης, μέσω του καναλιού ευρυεκπομπής του AP. Στην περίπτωση, όμως, που ένας κινητός σταθμός δεν ακούει το HIPERLAN/2, είναι υποχρεωμένος να γυρίσει στη λειτουργία στα 60 GHz και κατά χρονικά διαστήματα να αλλάζει συχνότητα για να διαπιστώσει την ύπαρξη ή όχι του HIPERLAN/2. Τότε, συντονιστής της επικοινωνίας καθίσταται ο CC όπως διεξοδικά περιγράφηκε στα παραπάνω κεφάλαια. Ο χρόνος στον οποίο θα παραμείνει ένα τερματικό στα 60 GHz θα είναι πλέον διαφορετικός αφού δεν θα καθορίζεται από το σημείο πρόσβασης κι αφού, απόντος του σημείου πρόσβασης, δεν υπάρχει νόημα να σπαταλάται χρόνος σε μία συχνότητα όπου δεν υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας (5 GHz). Κάθε φορά που θα αποπειράται ένα κινητό την σύνδεση στο δίκτυο των 5 GHz εκ νέου και αποτυγχάνει, θα αλλάζει αμέσως στα 60 GHz.

- Στην ουσία, στο συνολικό σύστημα διακρίνουμε τα σημεία πρόσβασης, τους CC, τους FN και τους απλούς κόμβους-δρομολογητές. Σημειώνουμε, για άλλη μία φορά, ότι θεωρούμε ότι όλοι οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα της ανάληψης των καθηκόντων του CC ή του FN. Η κάθε μία από αυτές τις δικτυακές οντότητες συμμετέχει με διαφορετικό τρόπο στη δρομολόγηση των δεδομένων κι άρα είναι ιδιαίτερα σημαντικός ο όγκος και το είδος της πληροφορίας (ως γνώση της δικτυακής τοπολογίας) που θα αποθηκεύσει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της. Αν εξαιρέσουμε το σημείο πρόσβασης, όλοι οι υπόλοιποι κόμβοι έχουν να αντιμετωπίσουν και το γενικότερο πρόβλημα της εξοικονόμησης της ενέργειας. Επομένως, ο αποθηκευμένος όγκος της πληροφορίας δεν θα έπρεπε να λειτουργεί ανασταλτικά στην ικανότητα δρομολόγησης και απόδοσης του συστήματος (ενεργειακή εξάντληση των κόμβων-δρομολογητών) αλλά συνοδευτικά, επιφέροντας μεγαλύτερη ελαστικότητα στην επιλογή της καλύτερης διαδρομής και συχνότητας.
- Κάθε κόμβος μπορεί να γνωρίζει – κρυφακούγοντας τις ευρυεκπομπές των γειτονικών κόμβων στα 60GHz – τους κινητούς σταθμούς που ανήκουν στην ομάδα του. Ο τρόπος με τον οποίο ομαδοποιούνται οι κόμβοι και επιλέγονται οι CC και οι FN είναι ήδη γνωστός. Όταν, επομένως, η επικοινωνία αφορά δύο κόμβους που βρίσκονται στην ίδια ομάδα, η πηγή της κλήσης αποφασίζει ότι θα χρησιμοποιήσει το κανάλι των 60 GHz

ζητώντας πόρους μέσω του RCH από τον επικεφαλής της ομάδας. Αν η πηγή αρχικά επικοινωνούσε σε άλλη συχνότητα θα περιμένει την αλλαγή στη συχνότητα των 60 GHz ώστε να συνδεθεί με τον CC. Με αυτόν τον τρόπο, το σημείο πρόσβασης δεν λαμβάνει μέρος στην λήψη της απόφασης για τη δρομολόγηση και το σύστημα στα 5 GHz οδηγείται σε εξοικονόμηση πόρων, αποσυμφόρηση της κίνησής του και πιο δίκαιη κατανομή του διατιθέμενου εύρους ζώνης για τις εφαρμογές που απαιτούν την χρησιμοποίηση των 5 GHz (σύνδεση με δίκτυα κορμού, Internet).

- Ένας κινητός σταθμός επιλέγει να επικοινωνήσει με την βοήθεια πολλαπλών αλμάτων αποκλειστικά στα 60 GHz – κι ενώ γνωρίζει ότι ο προορισμός δεν βρίσκεται στην άμεση γειτονιά του – όταν δεν μπορεί να επικοινωνήσει με σημείο πρόσβασης και βρίσκεται έξω από την περιοχή εμβέλειας του HIPERLAN/2. Είναι η μοναδική περίπτωση που το σημείο πρόσβασης δεν φέρει την ευθύνη της απόφασης για την πολυαλματική επικοινωνία.
- Το AP έχει την δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλου όγκου πληροφορίας για το δίκτυο αφού δεν αντιμετωπίζει προβλήματα ενεργειακής εξάντλησης/μπαταρίας και υπολογιστικής ικανότητας. Έτσι, μπορεί να γνωρίζει: το σύνολο των κόμβων που κινούνται στα όρια του τοπικού δικτύου, τον αριθμό και την ταυτότητα των CC, τον αριθμό των FN και την ταυτότητά τους, την ομαδοποίηση των κόμβων τοπολογικά στο δίκτυο, και άλλες παραμέτρους ανάλογα με τις μετατροπές που υπάρχει η δυνατότητα να λάβουν χώρα στην προδιαγραφή του HIPERLAN/2.
- Η απόφαση, λοιπόν, της πολυαλματικής επικοινωνίας μπορεί να ληφθεί και από το σημείο πρόσβασης. Όταν έρθει μία αίτηση από ένα κινητό σταθμό που θα αναφέρεται στην κατάληψη πόρων του συστήματος για τις ανάγκες μιας επικοινωνίας, που μπορεί να γίνει είτε με την βοήθεια ενός άλματος στα 5 GHz είτε με περισσότερα άλματα στα 60 GHz, το σημείο πρόσβασης θα είναι αυτό που θα επιλέξει τον τρόπο λειτουργίας. Με την πληροφορία που έχει αποκτήσει από το δίκτυο θα είναι σε θέση να διαλέξει, ανάλογα με τον βαθμό καταλληλότητας, τα επίπεδα παρεμβολής/συμφόρησης στα 5 GHz και την τοπολογική γνώση του δικτύου, σε ποια συχνότητα θα λάβει χώρα η επικοινωνία. Αν το σημείο πρόσβασης γνωρίζει την σύσταση των ομάδων στο δίκτυο, και επομένως και την ταυτότητα των CC και των FN σε αυτές, όπως, επίσης, και την πυκνότητα των κινητών σταθμών στην περιοχή τους (βαθμός αλληλεπικάλυψης των ομάδων ως δείκτης συνδεσιμότητας – επιτυχούς σύνδεσης – μεταξύ των γειτονικών ομάδων), μπορεί να έχει μία σαφή εικόνα για το τι είναι πιο συμφέρον για το συνολικό σύστημα και τι συντελεί

στην πιο ομαλή και αποδοτική δρομολόγηση της κίνησης υποστηρίζοντας, ταυτόχρονα, τον παράγοντα του QoS.

- Στην περίπτωση που, κατά την διάρκεια μίας πολυαλματικής επικοινωνίας (60 GHz) παρουσιαστεί μία αποτυχία/βλάβη σε οποιαδήποτε ζεύξη (άλμα) ή υπάρξουν αλλαγές στις απαιτήσεις για QoS (άλμα-προς-άλμα) σε μία από αυτές και δεν μπορεί να υποστηριχτεί από τον εν λόγω τρόπο σύνδεσης, η ευθύνη της επικοινωνίας μεταβιβάζεται στην κυρίαρχη συχνότητα του συστήματος (5 GHz).

4.4.4. Υποστήριξη QoS στο Υποεπίπεδο MAC

Για να επιτευχθεί η βελτιστοποίηση της απόδοσης της κίνησης διαμέσου των διάφορων υποδικτύων, θα πρέπει να διερευνηθούν αρκετά ζητήματα. Στην παρούσα παράγραφο θα εστιάσουμε στη χρονοδρομολόγηση (scheduling) στο υποεπίπεδο MAC για κίνηση πολλαπλών αλμάτων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια σύνοψη γνωστών αλγορίθμων αλλά και αυτών που έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίξουν την επικοινωνία πολλαπλών αλμάτων στα σχηματιζόμενα ad hoc δίκτυα, υπό το HIPERLAN/2.

4.4.4.1. Αλγόριθμοι Χρονοδρομολόγησης

Στατική Παραχώρηση Πόρων

Το σχήμα αυτό εγγυάται τη μετάδοση ενός συγκεκριμένου αριθμού PDUs ανά πλαίσιο MAC. Γι' αυτό, η αντίστοιχη χωρητικότητα διαπραγματεύεται κατά τη φάση δημιουργίας της σύνδεσης και μπορεί να αλλάξει μόνο από τη διαδικασία μετατροπής της σύνδεσης. Ένα μειονέκτημα είναι η μειωμένη προσαρμοστικότητα κάτω από τις συνεχώς εναλλασσόμενες απαιτήσεις χωρητικότητας. Το πρότυπο του HIPERLAN/2 παρέχει δύο σχετικές λειτουργίες: Παραχώρηση Σταθερών Χρονοθυρίδων (Fixed Slot Allocation – FSA) και Συμφωνία Σταθερής Χωρητικότητας (Fixed Capacity Agreement – FCA). Με την FSA παραχωρείται συνεχώς ένας συγκεκριμένος αριθμός χρονοθυρίδων σε ένα τμήμα του πλαισίου, το οποίο διατίθεται για υπηρεσίες που εξαρτώνται άμεσα από το χρόνο, όπως ο συγχρονισμός των μετρητών στο σύστημα IEEE 1394. Η FCA είναι πιο ευέλικτη με την έννοια ότι οι πόροι παραχωρούνται περιοδικά, κάθε n πλαίσια, και η θέση των χρονοθυρίδων μπορεί να διαφέρει.

Δυναμική Παραχώρηση Πόρων

Οι αλγόριθμοι που περιλαμβάνονται σε αυτό το σχήμα βασίζονται στα μηνύματα σηματοδοσίας: Αίτηση Πόρων (Resource Request – RR) και Παραχώρηση Πόρων (Resource Grant – RG). Οι προδιαγραφές του HIPERLAN/2 δεν καθορίζουν συγκεκριμένους αλγορίθμους για το υποεπίπεδο MAC και έτσι μπορούν να εφαρμοστούν πολλές μέθοδοι, γνωστές από τη θεωρία αναμονής. Η μη διεξοδική Round Robin προσέγγιση καθορίζει για κάθε σύνδεση μια LCH χρονοθυρίδα στο πλαίσιο MAC, εκτός και το πλαίσιο είναι γεμάτο ή όλες οι απαιτήσεις χωρητικότητας έχουν ικανοποιηθεί. Άντ' αυτού, ο διεξοδικός αλγόριθμος Round Robin εξυπηρετεί ολοκληρωτικά την πρώτη σύνδεση πριν να ασχοληθεί με τις υπόλοιπες. Η Χρονοδρομολόγηση Μέγιστης Ουράς (Longest Queue Scheduling – LQS), επίσης, προτιμά τις συνδέσεις που διατηρούν τις μεγαλύτερες ποσότητες δεδομένων προς μετάδοση.

Χρονοδρομολόγηση με βάση τις Προτεραιότητες

Η μέθοδος αυτή είναι ο συνδυασμός των δύο προηγούμενων σχημάτων. Καθώς το HIPERLAN/2 παρέχει επίπεδα προτεραιότητας, είναι δυνατό να γίνει διαφοροποίηση ανάμεσα στις συνδέσεις σε σχέση με τη στρατηγική χρονοδρομολόγησης που θα χρησιμοποιηθεί.

Χρονοδρομολόγηση Υπολοιπόμενων Πόρων

Η εξαντλητική εξέταση της χρονοδρομολόγησης και των αλγορίθμων αίτησης πόρων για τα ad hoc δίκτυα πολλαπλών αλμάτων που σχηματίζονται με βάση το HIPERLAN/2, έδειξε μια σημαντική αδυναμία της μεθόδου δυναμικής παραχώρησης πόρων. Αν η χωρητικότητα για τις διασυνδέσεις μεταξύ των υποδικτύων απαιτηθεί από ένα FN μέσω μηνυμάτων RR και παραχωρηθεί από τον CC σε κάποιο από τα επόμενα πλαίσια, τότε τουλάχιστον ένα από τα πλαίσια αυτά δεν χρησιμοποιείται επαρκώς.

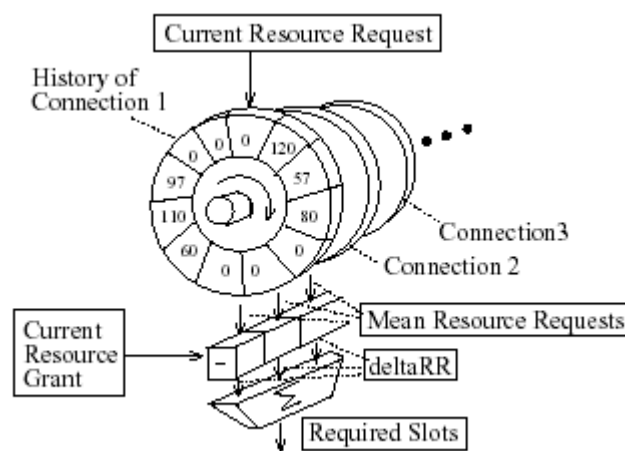
- **Αναλογικές Συνδέσεις μεταξύ Υποδικτύων (ISC)**

Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να ξεπεραστούν οι ατέλειες των κοινών μηχανισμών αίτησης πόρων. Συγκεκριμένα, λαμβάνεται υπόψη ότι κυρίως το πρώτο πλαίσιο, μετά τη μετάβαση του FN σε ένα νέο υποδίκτυο, θα χρησιμοποιείται μερικώς. Παρότι τα PDUs προς το FN μπορούν να προγραμματιστούν από το νέο CC έγκαιρα, τα δεδομένα από το FN πρέπει να περιμένουν το μήνυμα RG. Όλα αυτά παρέχουν το κίνητρο για τη δημιουργία ενός αλγορίθμου που ενεργοποιείται αν έχει απομείνει χωρητικότητα στο

πλαίσιο αφού προγραμματιστούν όλες οι συνδέσεις με τους συμβατικούς αλγορίθμους, όπως ο Round Robin. Η υπολειπόμενη χωρητικότητα στη συνέχεια μοιράζεται εξίσου στις συνδέσεις μεταξύ των υποδικτύων.

- **Παρακολούθηση ISC**

Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει τους πόρους που απαιτούνται στο επόμενο πλαίσιο, αναλύοντας την ιστορία κάθε σύνδεσης. Συγκρινόμενη με την προηγούμενη μέθοδο που επιδεικνύει τα “δυνατά” σημεία της όταν έχει να κάνει με ομογενές φορτίο κίνησης, η συγκεκριμένη είναι πιο αποδοτική αν το φορτίο από ξεχωριστές συνδέσεις διαφέρει. Ο αλγόριθμος αυτός φαίνεται σχηματικά παρακάτω.



Σχήμα 4.9: Αλγόριθμος Παρακολούθησης ISC

Ανά μία σύνδεση, οι εισερχόμενες αιτήσεις πόρων συλλέγονται και αποθηκεύονται σε ένα δακτυλιοειδή *buffer* που μπορεί να προσαρμόζει το μέγεθός του με βάση παραμέτρους του συστήματος, όπως ο χρόνος απουσίας του FN. Για να υπολογιστεί η απαίτηση πόρων μιας σύνδεσης σε ένα πλαίσιο, συγκρίνεται η μέση τιμή όλων των αποθηκευμένων RRs με τους πόρους που έχουν ήδη αποδοθεί από ένα συμβατικό αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης. Η υπολειπόμενη απαίτηση (*delta RR* στο παραπάνω σχήμα) υπολογίζεται για κάθε σύνδεση. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις χρησιμοποιούμενες και ελεύθερες χρονοθυρίδες, η διαθέσιμη χωρητικότητα του πλαισίου μπορεί να διαιρεθεί με βάση τις αναμενόμενες ατομικές απαιτήσεις κάθε ISC.

4.4.5. Διευθυνσιοδότηση σε Περιβάλλοντα Πολλαπλών Αλμάτων

Ένα σημαντικό θέμα στο οποίο πρέπει να αναφερθούμε σε αυτό το σημείο είναι το πώς λαμβάνουν τις διευθύνσεις τους τα τερματικά που βρίσκονται σε γειτονικά δίκτυα. Για

το πρόβλημα αυτό υπάρχουν κυρίως δύο λύσεις. Πρώτον, μια επέκταση της χρησιμοποιούμενης διεύθυνσης του τερματικού, που ονομάζεται MAC-ID και είναι έγκυρη μόνο σε δίκτυα ενός άλματος, για επιπλέον αναγνώριση σε σχέση με το δίκτυο (NET-ID). Δεύτερον, σηματοδοσία κατά τη διαδικασία προσδιορισμού και συσχέτισης των κόμβων προώθησης. Το NET-ID χρησιμοποιείται στο HIPERLAN/2 ώστε να αναγνωρίζει τα δίκτυα για λόγους διαχείρισης ασφάλειας. Ανά υποδίκτυο, καθορίζεται ένας τυχαίος αριθμός που μεταδίδεται σε κάθε πλαίσιο από τον CC και ανταλλάσσεται όταν ένα νέο WT εισέρχεται στο δίκτυο. Αν συνδυαστεί αυτός ο αριθμός 10-bit με την MAC-ID ώστε να δημιουργηθεί μια διεύθυνση που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε επικοινωνίες πολλαπλών αλμάτων, θα προκληθούν επιπλοκές στην απόδοση καθώς η MAC-ID περιλαμβάνεται σε κάθε PDU. Έτσι, μια αλλαγή στη δομή των δεδομένων σημαίνει μεγαλύτερο *overhead* για το πρωτόκολλο.

Η δεύτερη πρόταση για επιπλέον σηματοδοσία, φαίνεται να είναι πιο αποδοτική για τη μετάδοση δεδομένων γιατί η δομή της διεύθυνσης δεν αλλάζει και απλά διατηρείται ένα εύρος MAC-IDs για τις συσκευές των γειτονικών δικτύων. Παρόλα αυτά, η λύση αυτή εισάγει μεγαλύτερη προσπάθεια στη σηματοδοσία όταν προσδιορίζεται ένας FN. Επίσης, απαιτείται να ενημερώνονται όλοι οι κόμβοι προώθησης για τα τερματικά στο υποδίκτυο και να δημιουργούνται πίνακες δρομολόγησης σε κάθε FN για να απεικονίζονται τα MAC-Ids του συγκεκριμένου υποδικτύου. Στην περίπτωση υψηλής κινητικότητας, αυτή η ιδέα παρουσιάζει μειονεκτήματα λόγω του αυξημένου *overhead* για τη σηματοδοσία. Για το οικιακό περιβάλλον του HIPERLAN/2, όμως, τα περισσότερα WTs αναμένεται να κινούνται με μικρή ταχύτητα, με αποτέλεσμα αργές αλλαγές στην τοπολογία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ

Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει το σχεδιασμό ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης για κινητά ad-hoc δίκτυα. Το πρωτόκολλο αυτό ανήκει στην κατηγορία των υβριδικών σχημάτων δρομολόγησης επειδή επιδιώκει να εκμεταλλευθεί τα πλεονεκτήματα τόσο των proactive όσο και των reactive προσεγγίσεων. Το πρωτόκολλο βασίζεται στην ιδέα του MPR (Multi-Point Relaying) ώστε να ελαχιστοποιηθεί η κίνηση των δεδομένων λόγω πλημμύρας στο δίκτυο. Για τις περισσότερες εφαρμογές με αντικείμενο τα κινητά ad-hoc δίκτυα, αναμένεται ότι το σημαντικότερο μέρος της επικοινωνίας θα πραγματοποιείται στην περιοχή των δύο αλμάτων. Επομένως, όταν ένας κόμβος χρειάζεται μία διαδρομή για έναν προορισμό στην περιοχή των δύο αλμάτων, θα συμβουλευτεί τον πίνακα δρομολόγησης που θα διατηρεί σαν μέρος της proactive διαδικασίας ώστε να βρει το μονοπάτι απευθείας. Από την άλλη πλευρά, έξω από αυτή την περιοχή, θα κάνει χρήση του πλεονεκτήματος που εισάγεται από την ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου περιβάλλοντος: την παρουσία δηλαδή των WLANS. Η κύρια ιδέα του νέου πρωτοκόλλου είναι η απόκτηση ‘γνώσης’ από κάθε κόμβο για το πόσο μακριά βρίσκεται από το κοντινότερο WLAN. Έτσι, η εύρεση ενός δρόμου επικοινωνίας θα γίνεται δυναμικά - θα αποτελεί και το reactive κομμάτι του πρωτοκόλλου – μέσω της χρήσης της επιλεκτικής προώθησης μηνυμάτων, με την βοήθεια του MPR. Η εισαγωγή μετρικών που αφορούν την καλύτερη διαχείριση της ενέργειας και ζητημάτων που σχετίζονται με την επικοινωνία απομακρυσμένων από τα WLANS κόμβων ολοκληρώνουν την πρόταση ενός σχήματος δρομολόγησης που, με μία πρώτη ματιά, φαίνεται να αποτελεί καλή λύση για την δρομολόγηση της κίνησης των δεδομένων σε τοπολογίες που περιλαμβάνουν και WLANS.

5.1. Περιγραφή Πρωτοκόλλου

Κατ’ αρχήν θα πρέπει να κάνουμε μία αναφορά στις ιδιαιτερότητες του χώρου στον οποίον θα αναπτυχθεί η δικτυακή μας τοπολογία. Έχουμε, επομένως, κόμβους οι οποίοι κινούνται ελεύθερα σε έναν χώρο στον οποίο βρίσκονται και ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLANS). Αυτοί οι κόμβοι, που εν γένει επικοινωνούν με αποκλειστικά ad-hoc τρόπο, είναι πιθανό, κατά την κίνησή τους, να εισέλθουν στα όρια εμβέλειας κάποιου από τα WLANS.

Υπάρχουν, δηλαδή, στον χώρο δύο ειδών κόμβοι: οι απλοί κόμβοι οι οποίοι κινούνται χωρίς κανένα περιορισμό στο τοπικό περιβάλλον, και οι υπέρ-κόμβοι όπως από εδώ και στο εξής θα ονομάζουμε τα συμμετέχοντα στο δίκτυο WLANS. Οι απλοί κόμβοι έχουν τα χαρακτηριστικά οποιουδήποτε κινητού σταθμού με τις περιορισμένες δυνατότητες από πλευράς ενέργειας (τροφοδότηση με την βοήθεια μπαταρίας), έντονη κινητικότητα, τυχειότητα στην κίνηση και μοναδική δυνατότητα επικοινωνίας μέσω του ad-hoc τρόπου. Οι υπέρ-κόμβοι είναι ακίνητοι με μικρή, σχετικά, εμβέλεια, χωρίς προβλήματα ενεργειακού περιεχομένου και υπολογιστικών δυνατοτήτων, σταθεροί με δυνατότητα επικοινωνίας με δύο τρόπους: στέλνοντας μηνύματα ελέγχου στις κινητές και ακίνητες μονάδες που βρίσκονται στην περιοχή εμβλείας τους και ανταλλάσσοντας πληροφορία με τους υπόλοιπους υπέρ-κόμβους. Σκοπός του εγχειρήματος που θα περιγράψουμε στη συνέχεια είναι η αξιοποίηση της ύπαρξης αυτών των σταθερών σημείων αναφοράς για την δικτυακή μας τοπολογία (των υπέρ-κόμβων) ώστε να υπάρξει γρηγορότερη και πιο αξιόπιστη αποκατάσταση των συνδέσεων μεταξύ των κόμβων καθώς επίσης και δυνατότητα κεντρικότερου ελέγχου απόκτησης ‘γνώσης’ του ad-hoc κομματιού του δικτύου. Στην ουσία υπάρχει επικοινωνία δύο επιπέδων όπου στο πρώτο επίπεδο έχουμε την απευθείας ad-hoc επικοινωνία και όλη η προσπάθεια έγκειται στο να γίνει όσο πιο άρτια η εκμετάλλευση του δεύτερου επιπέδου επικοινωνίας – αυτού μεταξύ των υπέρ-κόμβων – με σκοπό την καλύτερη διαχείριση των πόρων του δικτύου και την πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση των προβλημάτων που συνοδεύουν ένα κινητό ad-hoc δίκτυο. Έτσι, το δεύτερο επίπεδο επικοινωνίας έρχεται να καλύψει τις ανάγκες του πρώτου επιπέδου ανταλλαγής πληροφορίας μέσω της παροχής μεγάλου όγκου δεδομένων για τις ανάγκες της δρομολόγησης. Επομένως, η δρομολόγηση μπορεί να λάβει χώρα hop-by-hop στο ad-hoc κομμάτι του δικτύου και μέσω των WLANS – όταν η παρουσία των τοπικών δικτύων το επιτρέπει – στην περίπτωση που η δρομολόγηση προωθείται με την βοήθειά τους στο χώρο.

5.1.2. Ανάπτυξη

Για την ελαχιστοποίηση της κίνησης λόγω πλημμύρας, το σχήμα δρομολόγησης βασίζεται στην ιδέα της προώθησης μέσω πολλαπλών σημείων (MPR). Στο σχήμα MPR, οι δρομολογητές αρχικά ανταλλάσσουν την πληροφορία για τους κόμβους που ανήκουν στην περιοχή του ενός άλματος και με αυτό τον τρόπο μαθαίνουν για τις ομάδες των κόμβων που συνιστούν τους γείτονές τους σε απόσταση μέχρι και δύο αλμάτων. Στη συνέχεια, κάθε

δρομολογητής επιλέγει μία υποομάδα από τους γείτονες του ενός άλματος έτσι ώστε αυτή η υποομάδα να μπορεί να καλύψει όλους τους γείτονες κόμβους σε απόσταση δύο αλμάτων προωθώντας την κίνηση ευρυεκπομπής τους (broadcast). Με αυτό τον τρόπο, μειώνεται ο αριθμός των πακέτων που προωθείται επειδή μόνο μία υποομάδα συμμετέχει στην προώθηση αντί του συνόλου των κόμβων που ανήκουν σε απόσταση ενός άλματος. Σε αυτή την διεργασία, κάθε δρομολογητής μπορεί να διατηρήσει αρχεία που θα περιλαμβάνουν δρόμους προς κάθε ένα κόμβο με τον οποίο γειτνιάζει μέχρι τα όρια της περιοχής των δύο αλμάτων.

Για τις περισσότερες εφαρμογές που σχετίζονται με κινητά ad-hoc δίκτυα, αναμένεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της επικοινωνίας θα πραγματοποιείται στη περιοχή των δύο αλμάτων. Όταν ένας κόμβος χρειάζεται έναν δρόμο για ένα προορισμό μέσα στα όρια της περιοχής των δύο αλμάτων, συμβουλευεται τα αρχεία του ώστε να βρει άμεσα τον επιθυμητό δρόμο (proactive κομμάτι του πρωτοκόλλου). Έξω από τα όρια αυτής της περιοχής, από την άλλη πλευρά, ανακαλύπτει μία διαδρομή δυναμικά και μόνο όταν αυτή του ζητηθεί (reactive κομμάτι του πρωτοκόλλου) ακολουθώντας μία διαδικασία που κάνει χρήση όχι μόνο της φύσης της δικτυακής τοπολογίας αλλά και της παρουσίας των ασύρματων τοπικών δικτύων στο χώρο (υπέρ-κόμβοι). Από την στιγμή που αποκτήθηκε ένας δρόμος επικοινωνίας, διατηρείται στην μνήμη του κόμβου για όσο χρονικό διάστημα είναι έγκυρη. Αφού τα κινητά ad-hoc δίκτυα χαρακτηρίζονται από συχνές αλλαγές στη σύνδεση των ζεύξεων εξαιτίας της κινητικότητας των κόμβων, οι διαδρομές διατηρούνται και συντηρούνται επίσης με δυναμικό τρόπο και χωρίς την περιοδική ανταλλαγή μηνυμάτων hello χρησιμοποιώντας ανίχνευση στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων, στην περίπτωση μη λήψης επιβεβαίωσης αποστολής δεδομένων από τον κόμβο της πηγής.

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τις βασικές λειτουργίες του παρόντος σχήματος δρομολόγησης: δημιουργία της ομάδας MPR – απόκτηση γνώσης της απόστασης από το κοντινότερο WLAN, εύρεση δρόμου επικοινωνίας, και συντήρηση – διατήρηση αυτού του δρόμου.

5.1.3. Δημιουργία της Ομάδας MPR – Απόκτηση Γνώσης για το Κοντινότερο WLAN

Για την αποδοτικότερη εφαρμογή της πλημμύρας σε κινητά ad-hoc δίκτυα, κάθε δρομολογητής εγκαθιστά την δικιά του ομάδα MPR από τους γειτονικούς του κόμβους σε

απόσταση ενός άλματος. Παράλληλα, πληροφορείται για το πόσο κοντά βρίσκεται (από πλευράς αριθμού σε άλματα) από το κοντινότερο τοπικό ασύρματο δίκτυο (υπέρ-κόμβο) ώστε να κάνει χρήση των δυνατοτήτων που προσφέρει το δεύτερο επίπεδο επικοινωνίας στην δρομολόγηση της κίνησης των δεδομένων για την δικτυακή μας τοπολογία. Σε αυτή την διεργασία, κάθε δρομολογητής θα καταστρώνει ένα πίνακα δρομολόγησης για την περιοχή των δύο αλμάτων διατηρώντας δέντρα με προορισμό οποιονδήποτε από τους κόμβους αυτής της περιοχής και επίσης πληροφορίες που έχουν να κάνουν με το επίπεδο ενέργειας στο οποίο βρίσκονται οι γείτονες κόμβοι αλλά και με την απόσταση από το κοντινότερο WLAN. Αυτό το κομμάτι του σχήματος δρομολόγησης αποτελεί το proactive μέρος του, αφού λαμβάνει χώρα χωρίς προηγουμένως να απαιτηθούν πόροι του συστήματος για τις ανάγκες μιας επικοινωνίας. Έχει βέβαια ιδιαίτερη σημασία, αφού από το ένα μέρος παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την διεκπεραίωση των κλήσεων χωρίς περαιτέρω σπατάλη πόρων και άμεσα για την περιοχή των δύο αλμάτων – όπου και το μεγαλύτερο κομμάτι της ad-hoc επικοινωνίας λαμβάνει χώρα – και από το άλλο μέρος δίνει την δυνατότητα της “γνώσης” για το πού βρίσκεται ο κοντινότερος υπέρ-κόμβος ώστε να εξυπηρετήσει τις ανάγκες δρομολόγησης. Αυτή η λειτουργία του πρωτοκόλλου είναι μία διαδικασία αρχικοποίησης, που αποτελείται από τρία βήματα:

5.1.3.1. Επικοινωνία Πρώτου Επιπέδου

Βήμα 1

Όταν ένα κινητό ad-hoc δίκτυο αναπτύσσεται από την αρχή, ή όταν ένας κόμβος εισέρχεται για πρώτη φορά σε ένα ήδη υπάρχον δίκτυο, κάθε δρομολογητής αρχικοποιεί τον εαυτό του εκπέμποντας παντού (broadcast) ένα hello μήνυμα που περιλαμβάνει τον αριθμό δρομολογητή (ονομάζεται Router Identification – RID) και τις διευθύνσεις δικτύου των κινητών σταθμών που βρίσκονται κοντά του καθώς επίσης και πληροφορία σχετικά με την απόσταση από το κοντινότερο τοπικό δίκτυο – αν την έχει. Όταν ένας κόμβος βρίσκεται στην εμβέλεια ενός υπέρ-κόμβου διαπιστώνει την παρουσία του WLAN αφού λαμβάνει το beacon μήνυμα που στέλνει το τοπικό δίκτυο προς όλους τους κόμβους που βρίσκονται μέσα στα όρια της περιοχής που μπορεί να ελέγξει. Μόλις συμβεί αυτό, ο κόμβος στέλνει παντού ένα hello μήνυμα ενημερώνοντας για την ταυτότητά του, τους γείτονές του και για το γεγονός ότι βρίσκεται υπό την εμβέλεια ενός τοπικού δικτύου.

Εδώ υπεισέρχεται και το σημαντικό στοιχείο του σχήματός μας δρομολόγησης που έρχεται να εκμεταλλευθεί την παρουσία των WLANS και να παρέχει στους κόμβους του δικτύου μία πρώτη γνώση απόστασης από το κοντινότερο τοπικό δίκτυο. Ορίζουμε την παράμετρο hopcount η οποία και δηλώνει πόσα άλματα μακριά βρίσκεται ο κάθε κόμβος από τον κοντινότερο υπέρ-κόμβο. Κάθε κόμβος, επομένως, διατηρεί αυτή την παράμετρο ενημερώνοντάς την κάθε φορά που υπάρχουν διαπιστωμένες αλλαγές στην τοπολογία – όπως εισαγωγή νέων κόμβων στην εμβέλεια των τοπικών δικτύων, μεταβολές στις θέσεις των δρομολογητών και εμφάνιση νέων κινητών σταθμών στο υπάρχον δίκτυο. Κάθε κόμβος που λαμβάνει το σήμα beacon από τον υπέρ-κόμβο αρχικοποιεί την τιμή της παραμέτρου στο μηδέν και προκαλεί μία σειρά ανταλλασσόμενων μηνυμάτων που σκοπό έχουν την προώθηση της νέας πληροφορίας στο σύνολο των κόμβων του δικτύου, όπως hello μηνυμάτων που γνωστοποιούν τα νέα δεδομένα και μεταβάλλουν την πληροφορία που φέρουν οι κόμβοι για το δίκτυο. Κάθε κόμβος που βρίσκεται έξω από τα όρια της εμβέλειας ενός WLAN έχει τιμή hopcount διαφορετική του μηδενός. Το hopcount του κάθε κόμβου αυξάνεται κατά 1 ανάλογα με το πού βρίσκεται ο κάθε κινητός σταθμός: δηλαδή, κάθε συσκευή εξετάζει τις παραμέτρους του hopcount από όλους τους γείτονές της και ορίζει ως τιμή του δικού της hopcount την ελάχιστη τιμή εκ των παραμέτρων των γειτόνων της συν ένα. Δηλαδή θα ισχύει ότι:

$$[\text{hopcount}]_{\text{p-κόμβος}} = \min \{ [\text{hopcount}]_{\text{γείτονες p-κόμβου}} \} + 1$$

Με αυτό τον τρόπο κάθε κόμβος γνωρίζει σε πόσα άλματα μπορεί να φθάσει σε κάποιο WLAN χωρίς να τον ενδιαφέρει ουσιαστικά ποιο είναι αυτό. Άσχετα από το αν η πληροφορία hopcount που προέρχεται από κάθε κόμβο αναφέρεται για αποστάσεις από διαφορετικά τοπικά δίκτυα αυτό που ενδιαφέρει στην εφαρμογή του πρωτοκόλλου είναι η γνώση της απόστασης του κινητού σταθμού από τον κοντινότερο υπέρ-κόμβο – αφού οι υπέρ-κόμβοι μεταξύ τους έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν στο δεύτερο επίπεδο.

Παράλληλα κάθε συσκευή γνωρίζει ποια είναι τα επίπεδα ισχύος της και περιλαμβάνει αυτή την πληροφορία στην σύνταξη του hello πακέτου. Κάτι τέτοιο έχει σαν αποτέλεσμα, κάθε κόμβος στο τέλος του πρώτου βήματος να γνωρίζει τους γείτονές του σε απόσταση μέχρι και δύο άλματα μακριά του και να έχει καταγεγραμμένη την σχετική πληροφορία για το hopcount και την ακολουθούμενη ενεργειακή πολιτική.

Βήμα 2

Σε αυτό το σημείο, κάθε δρομολογητής κατασκευάζει την ομάδα του MPR επιλέγοντας μία υποομάδα από τους γειτονικούς κόμβους του ενός άλματος έτσι ώστε μόνο οι κόμβοι που ανήκουν σε αυτή την υποομάδα να έχουν την δυνατότητα να προωθήσουν την κίνηση ευρυεκπομπής (broadcast) μέχρι και τους γειτονικούς κόμβους των δύο αλμάτων, ελαχιστοποιώντας τα μηνύματα λόγω πλημμύρας. Επιπρόσθετα, κάθε κόμβος διατηρεί όλες τις πιθανές διαδρομές επικοινωνίας με οποιονδήποτε γειτονικό κόμβο στην περιοχή των δύο αλμάτων έχοντας πληροφορία σχετικά με την διεύθυνση δικτύου, το επίπεδο ενέργειας, τον αριθμό δρομολογητή (RID) του επόμενου άλματος και τον αριθμό διεπαφής ανάλογα με τον πιθανό προορισμό.

Βήμα 3

Κάθε δρομολογητής γνωστοποιεί την ομάδα του MPR στέλνοντας μήνυμα broadcast στους γειτονικούς κόμβους του ενός άλματος μέσω του πακέτου hello και συγκεκριμένα του πεδίου όπου περιγράφονται οι γείτονες του κάθε κόμβου. Εάν ένας συγκεκριμένος κόμβος αποτελεί μέλος αυτής της ομάδας, καταγράφει την διεύθυνση του αποστολέα στον πίνακα επιλογής της ομάδας MPR ώστε να μπορεί να προωθήσει τα πακέτα από την πηγή όσο η διεύθυνση αυτή ταιριάζει με την διεύθυνση του αποστολέα. Εάν κάποιος κόμβος δεν αποτελεί κομμάτι αυτής της ομάδας θα γνωρίζει πλέον ότι δεν χρειάζεται να προωθεί πακέτα για λογαριασμό της εν λόγω πηγής αφού δεν θα έχει καταχωρήσει την διεύθυνση του αποστολέα στον πίνακα επιλογής της ομάδας MPR.

Ουσιαστικά, η ομάδα MPR είναι ο ελάχιστος αριθμός κόμβων που ανήκουν στην περιοχή του ενός άλματος και μπορούν να προωθήσουν πληροφορία στο σύνολο των γειτονικών κόμβων που ανήκουν στην περιοχή των δύο αλμάτων. Μετά το πέρας αυτού του βήματος κάθε κόμβος θα έχει καθορίσει την δικιά του ομάδα MPR για την επιλεκτική προώθηση των πακέτων ελέγχου και δεδομένων. Από την στιγμή που κάθε κόμβος γνωρίζει και τα επίπεδα ισχύος για τους γείτονές του η επιλογή των μελών που θα καταρτίσουν την ομάδα MPR για κάθε κινητό σταθμό μπορεί να πραγματοποιηθεί με την βοήθεια και αυτής της πληροφορίας. Δηλαδή, στην περίπτωση που υπάρχουν εναλλακτικές και υπάρχουν ομάδες του ίδιου αριθμού κόμβων που μπορούν να συμμετάσχουν στην επιλεκτική προώθηση πακέτων προς την περιοχή των δύο αλμάτων επιλέγεται εκείνη η ομάδα των κόμβων που περιλαμβάνει τους λιγότερους κινητούς σταθμούς με ενεργειακά προβλήματα (χαμηλό επίπεδο ενέργειας) συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας για τους κόμβους που το έχουν ανάγκη. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η άσκοπη χρήση κόμβων με

προβλήματα ενέργειας και οι οποίοι παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο να εξαντλήσουν τα ενεργειακά τους αποθέματα σε σύντομο χρονικό διάστημα και ταυτόχρονα να προκαλέσουν προβλήματα βιωσιμότητας για το ad-hoc δίκτυο.

5.1.3.2. Επικοινωνία Δευτέρου Επιπέδου

Τι γίνεται όμως με την επικοινωνία μεταξύ των WLANS; Τι πληροφορία μεταδίδεται ανάμεσα στους υπέρ-κόμβους; Τι παραπάνω γνωρίζει ένα τοπικό ασύρματο δίκτυο για την τοπική ad-hoc τοπολογία; Σε τι συνίσταται η αξιοποίηση τέτοιων σταθερών κόμβων για την δρομολόγηση της κίνησης στο δίκτυο; Απαντήσεις σε τέτοιου είδους ερωτήσεις θα δοθούν σε αυτό το κομμάτι του κεφαλαίου.

Εν πρώτοις, ας δούμε τον τρόπο επικοινωνίας που λαμβάνει χώρα μέσα στα πλαίσια ενός WLAN. Κάθε υπέρ-κόμβος στέλνει περιοδικά μηνύματα που ονομάζονται beacon κι έχουν ως στόχο όλους τους κόμβους που βρίσκονται υπό την εμβέλειά του. Εμάς βέβαια, αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η συμπεριφορά των κινητών σταθμών που συμμετέχουν στην διαμόρφωση του ad-hoc δικτύου και τη δρομολόγηση της κίνησης των δεδομένων και όχι οι σταθεροί και κινητοί κόμβοι που συνιστούν το ασύρματο τοπικό δίκτυο. Επομένως, στην περίπτωση που κάποιος κόμβος εισέλθει στα όρια εμβέλειας ενός υπέρ-κόμβου θα λάβει το beacon μήνυμα διαπιστώνοντας με αυτό τον τρόπο πού βρίσκεται και θα στείλει αντίστοιχα broadcast μήνυμα με σκοπό να ενημερώσει το υπόλοιπο δίκτυο. Αυτά τα μηνύματα ο υπέρ-κόμβος έχει την δυνατότητα να τα κρυφακούσει 'υποκλέπτοντας' όλη την πληροφορία που έχει και μεταδίδει ο κινούμενος κόμβος. Έτσι, κάθε τοπικό δίκτυο μπορεί να διατηρήσει στην μνήμη του όλη την σχετική πληροφορία από τους κόμβους-επισκέπτες της εμβέλειάς του. Δηλαδή, έχει τη δυνατότητα να γνωρίζει τις διευθύνσεις των κόμβων-επισκεπτών, την τοπική γειτονιά αυτών στα όρια της περιοχής των δύο αλμάτων, ενεργειακά δεδομένα που αφορούν αυτές τις συσκευές και οτιδήποτε άλλο εκπέμπει στους γείτονές του ένας ad-hoc κόμβος.

Το πρώτο βασικό πλεονέκτημα ενός υπέρ-κόμβου είναι ότι έχει απεριόριστα ενεργειακά αποθέματα, καθώς επίσης και υπολογιστικές δυνατότητες (τουλάχιστον σε σύγκριση με τους κινητούς κόμβους). Επομένως, κάθε WLAN μπορεί να διατηρεί στην μνήμη του – για όσο χρονικό διάστημα καθίσταται αναγκαίο και χωρίς κόστος ενέργειας – αρχεία που θα αναφέρονται στο σύνολο της πληροφορίας για κόμβους που πέρασαν κάποια

στιγμή, στο πρόσφατο παρελθόν, από τα όριά του που σε συνδυασμό με την σύγχρονη πληροφορία για το δίκτυο θα αυξάνουν τις δυνατότητές του ως δρομολογητή.

Το δεύτερο βασικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα επικοινωνίας όχι μόνο με τους γειτονικούς κόμβους αλλά και με τους υπόλοιπους υπέρ-κόμβους (δεύτερο επίπεδο επικοινωνίας). Αυτό σημαίνει ότι κάθε υπέρ-κόμβος έχει την δυνατότητα ανταλλαγής της πληροφορίας που κατέχει με κάθε έναν από τους υπολοίπους. Είναι προφανές ότι τελικά κάθε WLAN θα έχει προσκομίσει πληροφορίες για τις τρεις παρακάτω περιοχές:

- Μέχρι και την γειτονιά των δυο αλμάτων των κόμβων που επισκέπτονται το τοπικό δίκτυο
- Την ιστορία εμφάνισης κόμβων στο πρόσφατο παρελθόν όπως και την γειτονιά των δύο αλμάτων αυτών των κόμβων
- Την γνώση αυτής της πληροφορίας από όλους τους υπόλοιπους υπέρ-κόμβους του δικτύου

Αυτό που πετυχαίνεται είναι να προσδώσουμε στα σταθερά σημεία του ad-hoc δικτύου όπως είναι οι υπέρ-κόμβοι εκτεταμένες δυνατότητες γρήγορης και αξιόπιστης δρομολόγησης χρησιμοποιώντας ζεύξεις μεταξύ των WLANS (ένα άλμα) ξεπερνώντας τα προβλήματα που αφορούν πολυαλματικές ζεύξεις (καθυστέρηση, αδυναμία υποστήριξης QoS, συχνή αναδιαμόρφωση της τοπολογίας) και επικοινωνία ad-hoc (μειωμένο εύρος ζώνης, κοινή χρήση καναλιού ευρυεκπομπής, εξοικονόμηση ενέργειας) απαλλάσσοντας ταυτόχρονα κάποιους κοινούς κόμβους από το φορτίο της διαχείρισης της κίνησης κι εξοικονομώντας πόρους του δικτύου.

5.1.4 Εύρεση Δρόμου

Με τον όρο εύρεση δρόμου, εννοούμε το σύνολο των ενεργειών που λαμβάνουν χώρα για την εγκατάσταση μίας οδού επικοινωνίας μεταξύ δύο κόμβων. Σύμφωνα με την ακολουθούμενη διαδικασία, ένας κόμβος – ο κόμβος της πηγής – που επιθυμεί να στείλει ένα πακέτο σε έναν άλλον κόμβο – τον κόμβο του προορισμού – αποκτά τελικά την πληροφορία για τον δρόμο που πρέπει να ακολουθήσει ώστε να αποκατασταθεί η μεταξύ τους σύνδεση. Η εύρεση δρόμου χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση που ο κόμβος της πηγής επιδιώκει να στείλει ένα πακέτο στον κόμβο του προορισμού και δεν γνωρίζει ήδη έναν δρόμο επικοινωνίας για την εξυπηρέτηση αυτού του σκοπού.

Από την πλευρά του κάθε κόμβου ξεχωριστά, το δίκτυο μπορεί να χωριστεί σε δύο περιοχές αναφορικά με το όριο της γειτονιάς των δύο αλμάτων. Εάν ο κόμβος του προορισμού βρίσκεται στην περιοχή των δύο αλμάτων, η πηγή ανατρέχει στις πληροφορίες που διατηρεί στον πίνακα δρομολόγησής του και βρίσκει μία διαδρομή που την συνδέει άμεσα και απευθείας με τον κινητό σταθμό για τον οποίο προορίζονται τα πακέτα δεδομένων. Από την στιγμή που πολλές επικοινωνίες πρόκειται να διεξαχθούν σε αυτή την περιοχή των δύο αλμάτων, για τις περισσότερες από τις εφαρμογές στον χώρο των κινητών ad-hoc δικτύων, αυτή η διαδικασία μπορεί να επιταχύνει την ταχύτητα εύρεσης δρόμου κατά μέσο όρο, εξαιτίας της ταχείας αναδρομής στον πίνακα δρομολόγησης.

Έξω από τα όρια της περιοχής των δύο αλμάτων, ο κόμβος της πηγής ανακαλύπτει το επιθυμητό μονοπάτι επικοινωνίας στην βάση της δυναμικής αναζήτησης. Πρόκειται για το καθαρά reactive κομμάτι του σχήματος δρομολόγησης αφού η αναζήτηση οδού σύνδεσης μεταξύ δύο κόμβων δεν χρησιμοποιεί καμία πληροφορία που έχει ανταλλαχθεί στο δίκτυο πριν απαιτηθούν από το σύστημα πόροι για τις ανάγκες της επικοινωνίας. Με αυτή την λογική, όταν ο κόμβος πηγής θέλει να στείλει ένα μήνυμα σε έναν προορισμό έξω από τα όρια της περιοχής των δύο αλμάτων και δεν έχει μία έγκυρη διαδρομή στην μνήμη του, εκκινεί την διαδικασία αναζήτησης ενός δρόμου επικοινωνίας με το να στείλει παντού (broadcast), στους γείτονές του, ένα πακέτο αναζήτησης δρόμου, το οποίο και θα ονομάζουμε στην συνέχεια της αναφοράς του στο κείμενο RouteSearCH ή σε συντομία RSCH. Για να ελαχιστοποιηθεί η κίνηση εξαιτίας της πλημμύρας των πακέτων στο κανάλι ευρυεκπομπής, το RSCH πακέτο προωθείται μέσω της επιλεκτικής MPR πλημμύρας μέχρις ότου φθάσει τον προορισμό του, ή κάποιο κόμβο που κατέχει μία διαδρομή για τον προορισμό στον πίνακα δρομολόγησής του ή στη μνήμη του. Κάθε κόμβος που προωθεί το πακέτο RSCH δημιουργεί στην μνήμη του την αντίστροφη διαδρομή με προορισμό την πηγή, προσθέτοντας ως επόμενο άλμα τον αριθμό ταυτότητας εκείνου του δρομολογητή από τον οποίο προήλθε το πακέτο αναζήτησης δρόμου.

Μόλις το RSCH πακέτο φθάσει στον προορισμό του ή σε κάποιο κόμβο που έχει μία διαδρομή για αυτό τον προορισμό, ο κόμβος παράγει ένα πακέτο επιστροφής του δρόμου που στο εξής θα ονομάζουμε RouteRETurn ή για λόγους συντομίας RRET. Το RRET πακέτο μπορεί να βρει τον δρόμο του πίσω στην πηγή ανατρέχοντας στην διαδρομή που έχει διατηρηθεί στην μνήμη. Κάθε κόμβος που συμμετέχει στην προώθηση αυτού του RRET πακέτου πίσω στην πηγή κατασκευάζει στην μνήμη του την διαδρομή σύνδεσης της πηγής με τον προορισμό. Από την στιγμή που κάθε κόμβος θυμάται μόνο το επόμενο άλμα αντί ολόκληρης της διαδρομής, το σχήμα δρομολόγησης μπορεί να θεωρηθεί ως δρομολόγηση

άλμα προς άλμα – αυτό, βέβαια, στην περίπτωση που η διακίνηση της πληροφορίας γίνεται αποκλειστικά με ad-hoc τρόπο, χωρίς δηλαδή την μεσολάβηση των ασύρματων τοπικών δικτύων. Πρέπει επίσης να σημειωθεί, ότι κάθε διαδρομή που διατηρείται στη μνήμη κάποιου δρομολογητή σχετίζεται με κάποιο μετρητή ο οποίος και θα ακυρώνει την αξία της αν δεν χρησιμοποιείται για κάποιο χρονικό διάστημα.

Σκοπός βέβαια, του πρωτοκόλλου δρομολόγησης είναι να κάνει χρήση των ιδιαιτεροτήτων που παρουσιάζει μία ad-hoc τοπολογία με την παρουσία τοπικών δικτύων που παίζουν τον ρόλο των υπέρ-κόμβων. Έχοντας μία πρώτη γνώση ο κάθε κόμβος για το πόσο μακριά είναι ο κοντινότερος υπέρ-κόμβος από αυτόν – γνώση που αποκόμισε από το proactive κομμάτι του πρωτοκόλλου – μπορεί να στείλει το RSCN πακέτο όχι πλέον σε όλο το δίκτυο αλλά να ορίσει το μέγιστο αριθμό αλμάτων σύμφωνα με τον οποίο θα προωθηθεί ώστε αν δεν βρεθεί ο επιθυμητός προορισμός να έχει σίγουρα φθάσει το πακέτο αναζήτησης μέχρι ένα WLAN. Έτσι με αυτό τον τρόπο αν ο προορισμός βρίσκεται μακριά, η αναζήτηση θα γίνει με την βοήθεια των υπέρ-κόμβων σπαταλώντας έτσι λιγότερους πόρους και εγκαθιστώντας τις συνδέσεις γρηγορότερα.

Ας δούμε, όμως, αναλυτικά τα βήματα που ακολουθεί ο κόμβος της πηγής προκειμένου να συνδεθεί με τον προορισμό.

5.1.4.1. Ο Προορισμός Βρίσκεται στην Περιοχή των δύο Αλμάτων

Έστω η περίπτωση που ένας κόμβος πηγής επιθυμεί να επικοινωνήσει με έναν άλλο κόμβο, τον κόμβο προορισμού.

Σε πρώτο στάδιο κοιτάζει τον πίνακα δρομολόγησής του για να διαπιστώσει αν ο προορισμός βρίσκεται μέσα στα όρια της περιοχής των δύο αλμάτων. Αν όντως συμβαίνει έτσι, η πηγή όχι μόνο γνωρίζει το πού βρίσκεται ο κόμβος με τον οποίο θέλει να επικοινωνήσει, αλλά ξέρει και τον ακριβή δρόμο επικοινωνίας τους. Έτσι, με την βοήθεια της πληροφορίας που αποκτήθηκε από το proactive κομμάτι του σχήματος δρομολόγησης, ο κόμβος της πηγής δρομολογεί την κίνηση των δεδομένων του γρήγορα, με ολοκληρωτικά και αποκλειστικά ad-hoc τρόπο, χωρίς να απαιτεί και να σπαταλά τους πόρους του συστήματος. Σ' αυτή την περίπτωση, όπου ο προορισμός βρίσκεται κοντά στην πηγή, τα WLANS που υφίστανται στην τοπολογία του ad-hoc δικτύου δεν συμμετέχουν και δεν συνεισφέρουν στην ταχύτερη αποκατάσταση των κλήσεων. Δηλαδή, ο κόμβος της πηγής επικοινωνεί αμέσως με τον κόμβο του προορισμού χωρίς να εκκινήσει διαδικασίες εύρεσης δρόμου – αφού αυτός είναι γνωστός.

Τι γίνεται, όμως, όταν ο προορισμός βρίσκεται έξω από τα όρια των δύο αλμάτων από την πηγή;

5.1.4.2. Ο Προορισμός Βρίσκεται Έξω από την Περιοχή των δύο Αλμάτων

Σ' αυτό το ενδεχόμενο ο κόμβος της πηγής συντάσσει ένα RSCH πακέτο στο οποίο περιλαμβάνονται η διεύθυνση της πηγής, η διεύθυνση του προορισμού, ένας χαρακτηριστικός αριθμός αίτησης, μία τιμή για τον μέγιστο αριθμό αλμάτων μέχρι τον οποίο θα μεταδοθεί το πακέτο αυτό μέσω του δικτύου (TTL: Time To Live), μία τιμή κόστους και ένας μετρητής επικινδυνότητας. Οι τρεις πρώτες παράμετροι πιστοποιούν μοναδικά την ταυτότητα του πακέτου. Η τιμή κόστους αναφέρεται σε ένα χαρακτηριστικό που λαμβάνει υπόψη του ενεργειακά θέματα και έχει ως σκοπό την αρτιότερη χρήση των επικοινωνιακών πόρων του συστήματος. Τέλος, ο μετρητής επικινδυνότητας λαμβάνει υπόψη του τους σχετικά απομακρυσμένους κόμβους. Εκείνους, δηλαδή, που έχουν ελάχιστους γείτονες κι επομένως, μεγαλύτερη πιθανότητα να αποκοπούν από το υπόλοιπο δίκτυο σε μία περίπτωση αποτυχίας μίας ζεύξης τους. Κάτι τέτοιο θα είχε αντίκτυπο στην συνολική ρυθμαπόδοση του δικτύου, αν αναλογιστούμε την τυχαιότητα ανάπτυξης και την ταχύτητα αναδιαμόρφωσης ενός ad-hoc δικτύου.

Ο κόμβος του προορισμού ορίζει το TTL του RSCH πακέτου ίσο με:

$$\text{TTL} = \text{hopcount} + 1$$

Το σκεπτικό είναι το εξής: ο κόμβος της πηγής γνωρίζει πόσα άλματα μακριά βρίσκεται το κοντινότερο προς αυτόν WLAN. Αυτή η απόσταση είναι ίση με την τιμή της παραμέτρου hopcount. Σκοπός της αναζήτησης αυτής είναι να εκμεταλλευθεί την πιθανότητα να βρίσκεται ο προορισμός όσο κοντά βρίσκεται και το κοντινότερο ασύρματο τοπικό δίκτυο. Η ιδέα του να διατηρεί ο κάθε κόμβος όχι μόνο την απόσταση αλλά και συγκεκριμένο δρόμο επικοινωνίας με τον κοντινότερο υπέρ-κόμβο, ουσιαστικά επικεντρώνει την όλη προσπάθεια σύνδεσης στα τοπικά δίκτυα, αρχικά, αλλά δεν λαμβάνει υπόψη την περίπτωση ύπαρξης του κόμβου του προορισμού σε κοντινή απόσταση από την πηγή. Με την μέθοδο που ακολουθείται στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης, ο κόμβος της πηγής αναζητά δυναμικά και σε απόσταση ένα άλμα μεγαλύτερη από την απόσταση του κοντινότερου WLAN τον προορισμό της πληροφορίας, και εκμεταλλεύεται την ύπαρξη των υπέρ-κόμβων μόνο για τις περιπτώσεις επικοινωνίας κόμβων απομακρυσμένων μεταξύ τους.

Επομένως, το RSCH πακέτο προωθείται από την πηγή μέσω ευρυνεκτομής στους γείτονες του ενός άλματος και με την βοήθεια της προκαθορισμένης MPR ομάδας τελικά σε όλους τους κόμβους που βρίσκονται δύο άλματα μακριά. Με την ίδια διαδικασία κάθε κόμβος προωθεί το πακέτο RSCH μέσω της δικιάς του MPR ομάδας μέχρις ότου φθάσει είτε στον κόμβο του προορισμού μέσα στα $(\text{hopcount} + 1)$ άλματα είτε σε κάποιον από τους υπέρ-κόμβους που υφίστανται στην τοπολογία του δικτύου. Κάθε ένας κόμβος μπορεί να πιστοποιήσει μοναδικά την ταυτότητα του πακέτου RSCH, επομένως δεν θα συμμετέχει στην επαναπροώθηση του ίδιου πακέτου όταν αυτό φθάσει στον εν λόγω κινητό σταθμό αργότερα ακολουθώντας μία διαφορετική διαδρομή, συντελώντας, παράλληλα, στην εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων για τις ανάγκες του ad-hoc δικτύου. Επίσης δεν θα προωθείται ένα πακέτο RSCH με παράμετρο TTL = 0. Αυτό είναι λογικό αφού κάθε φορά που προωθείται ένα τέτοιο πακέτο από κάποιον δρομολογητή η νέα τιμή του TTL για το RSCH πακέτο μειώνεται κατά μία μονάδα φθάνοντας, τελικά, κάποια στιγμή στον μηδενισμό, που σημαίνει αυτόματα την λήξη της διαδικασίας εκπομπής του RSCH πακέτου στο υπόλοιπο δίκτυο.

Κάθε κινητός σταθμός που προωθεί ένα RSCH πακέτο, προσθέτει – στο κατάλληλο πεδίο τιμών που υπάρχει και ονομάζεται τιμή κόστους – έναν αριθμό που αντιπροσωπεύει το επίπεδο της ενέργειας στο οποίο βρίσκεται τη συγκεκριμένη στιγμή. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι κάθε κόμβος διατηρεί έναν τέτοιο αριθμό, για παράδειγμα από 1 έως 5, που δηλώνει αντίστοιχα ότι η συσκευή έχει καταναλώσει το 80% έως και το 20% της συνολικής της ισχύος. Όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο αριθμός τόσο περισσότερα είναι και τα ενεργειακά αποθέματα του δρομολογητή και ταυτόχρονα μικρότερος ο κίνδυνος να εγκαταλείψει τελικά λόγω ενεργειακής εξάντλησης και να μην συμμετάσχει στην κίνηση των δεδομένων μέσω του δικτύου. Αντίθετα, οι κόμβοι με τον μικρότερο αριθμό ως επίπεδο ενέργειας συμμετέχουν σε ζεύξεις που είναι πιο πιθανό να προκαλέσουν σφάλματα και αποτυχίες στην ομαλή λειτουργία του δικτύου αφού η επιφόρτιση κινητών σταθμών με μειωμένο ενεργειακό υπόλοιπο με πρόσθετες εργασίες δρομολόγησης οδηγεί σίγουρα και σύντομα, στην ενεργειακή τους κατάρρευση. Σημειωτέον ότι η ενέργεια παίζει σπουδαίο ρόλο στην βιωσιμότητα ενός ad-hoc δικτύου και γι' αυτό τον λόγο θεωρείται αναγκαίο να ληφθεί υπόψη στην εφαρμογή ενός σχήματος δρομολόγησης.

Επίσης, κατά την προώθηση ενός RSCH πακέτου, κάθε κόμβος ελέγχει τον αριθμό των γειτόνων του στην ακτίνα της εμβέλειάς του κι αν αυτός ο αριθμός δεν ξεπερνά την μονάδα, το δηλώνει αυτό αυξάνοντας κατά ένα την τιμή του μετρητή επικινδυνότητας. Με αυτό τον τρόπο καταγράφεται ο αριθμός των κόμβων, κατά μήκος μιας συγκεκριμένης οδού

επικοινωνίας, που παρουσιάζουν πρόβλημα συνδεσιμότητας (connectivity). Με τον όρο αυτό εννοούμε εκείνους τους κινητούς σταθμούς που μπορούν να συνδεθούν με έναν μικρό μόνο αριθμό άλλων κόμβων και έχουν αυξημένη πιθανότητα να μείνουν κάποια δεδομένη χρονική στιγμή αποκομμένοι από το υπόλοιπο δίκτυο, χωρίς να έχουν την δυνατότητα της επικοινωνίας με οποιονδήποτε άλλον κόμβο, ούτε κατ' επέκταση της συμμετοχής στη δρομολόγηση της κίνησης στο δίκτυο. Μάλιστα, η έντονη κινητικότητα και η τυχαιότητα στην ανάπτυξη μιας ad-hoc δικτυακής τοπολογίας καθιστούν ιδιαίτερα πιθανή μία άσχημη εξέλιξη της επικοινωνιακής πορείας κόμβων με ελάχιστους γείτονες. Επειδή, συναντάται συχνά η περίπτωση πολλοί κόμβοι, το μεγαλύτερο μάλιστα ποσοστό, να βρίσκονται συγκεντρωμένοι σε μία γεωγραφική περιοχή και ελάχιστοι κόμβοι, πολύ μικρό ποσοστό, να κινούνται σε χώρο με πολύ μικρή πυκνότητα κόμβων, άρα και μικρό βαθμό συνδεσιμότητας, στο σχήμα δρομολόγησης λαμβάνεται υπόψη και αυτό το θέμα προσθέτοντας στο RSCH τον μετρητή επικινδυνότητας.

Επιπρόσθετα, ο κόμβος που προωθεί ένα RSCH πακέτο εγγράφει τη διεύθυνσή του σ' αυτό ώστε να γνωρίζει ο παραλήπτης από ποιον λαμβάνει την αίτηση αναζήτησης δρόμου προς τον τελικό προορισμό. Ο επόμενος κόμβος, με την σειρά του, καταγράφει την πληροφορία αυτή στη μνήμη του ώστε να δημιουργήσει – αν τελικά απαιτηθεί – την αντίστροφη διαδρομή και στη συνέχεια εγγράφει πάνω στην προηγούμενη πληροφορία την δικιά του διεύθυνση, και μεταδίδει το πακέτο.

Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι κατά την σύνταξη του πακέτου αναζήτησης δρόμου από τον κόμβο της πηγής η τιμή κόστους και ο μετρητής επικινδυνότητας αρχικοποιούνται στην μηδενική τιμή και διαμορφώνονται κατά την προώθηση του RSCH προς τον προορισμό.

Τέλος, κάθε ένας από τους κινητούς σταθμούς, πριν προωθήσει ένα RSCH πακέτο, διατηρεί στην μνήμη του τις χαρακτηριστικές του παραμέτρους – ώστε να απορρίψει όμοιο πακέτο στο μέλλον – όπως επίσης και την διεύθυνση του κόμβου από τον οποίο έλαβε το RSCH. Έτσι, έχει την δυνατότητα, σε περίπτωση που είναι ενδιάμεσος κόμβος της οδού επικοινωνίας που τελικά θα επιλεγεί από τον προορισμό, να γνωρίζει ποιο είναι το επόμενο άλμα για την μετάδοση, πλέον, του πακέτου επικύρωσης της διαδρομής που θα συνταχθεί από τον προορισμό με πορεία προς την πηγή. Αυτή είναι και η έννοια της άλμα – προς – άλμα επικοινωνίας σε ad-hoc επίπεδο (hop-by-hop) αφού κάθε κόμβος γνωρίζει μόνο το επόμενο άλμα στα πλαίσια της δρομολόγησης της κίνησης, και όχι το σύνολο των ενδιάμεσων κόμβων που συνιστούν το επιλεγθέν μονοπάτι σύνδεσης κόμβου – πηγής.

Συνοψίζοντας, γι' αυτό το βήμα αναζήτησης του δρόμου επικοινωνίας, που αποτελεί και το βασικό reactive μέρος του πρωτοκόλλου δρομολόγησης, καθώς το RSCH πακέτο διακινείται με την βοήθεια των δρομολογητών στα όρια του δικτύου, προσθέτονται οι αριθμοί που δηλώνουν τον βαθμό της ενέργειας που διατηρεί κάθε κόμβος που συμμετέχει στην δρομολόγηση και καταγράφεται το συνολικό αποτέλεσμα στο πεδίο του πακέτου αναζήτησης διαδρομής που ονομάζεται τιμή κόστους. Ταυτόχρονα, σε ένα δεύτερο πεδίο του RSCH, τον μετρητή επικινδυνότητας, αναφέρεται ο αριθμός των κόμβων που δεν έχουν παραπάνω από έναν γείτονες και είναι υποψήφιοι για συμμετοχή στην διαδρομή επικοινωνίας μεταξύ πηγής και προορισμού. Η τελική επιλογή της επιθυμητής οδού πραγματοποιείται στον προορισμό με μεθόδους που θα δούμε στη συνέχεια.

5.1.4.3. Δρομολόγηση Μέσω των Υπέρ-κόμβων

Μετά από hopcount άλματα, η αίτηση για εύρεση δρόμου επικοινωνίας μεταξύ πηγής και προορισμού φθάνει στο κοντινότερο προς τον κόμβο της πηγής WLAN. Πριν ο υπέρ-κόμβος εκκινήσει μία ακολουθία ενεργειών για την αναζήτηση του προορισμού, πρέπει πρώτα να γνωρίζει αν το RSCH πακέτο δεν έχει ήδη φθάσει με την διαδικασία του βήματος 2 – την επιλεκτική, δηλαδή, προώθηση της αίτησης εύρεσης διαδρομής από την πηγή σε (hopcount + 1) άλματα μέσα στο δίκτυο – στο κόμβο του προορισμού. Γι' αυτό τον λόγο ο υπέρ-κόμβος αναμένει ένα μικρό χρονικό διάστημα μέχρι να λάβει ένα πακέτο RFND (RouteFouND) που θα γνωστοποιεί την εύρεση απευθείας δρόμου επικοινωνίας χωρίς να απαιτείται η χρήση των τοπικών δικτύων. Υπεύθυνος για την αποστολή της απάντησης αυτής RFND είναι ο κόμβος του προορισμού που επιφορτίζεται και με το έργο της επιλογής ανάμεσα σε διαφορετικά και τελείως ανεξάρτητα μονοπάτια επικοινωνίας.

Αν ο κόμβος του προορισμού έχει ήδη βρεθεί, ο υπέρ-κόμβος ενημερώνεται από το πακέτο RFND και καταγράφει τη σχετική πληροφορία για να την χρησιμοποιήσει είτε σε μία μελλοντική αναζήτηση είτε στις διαδικασίες συντήρησης δρόμου. Σ' αυτή την περίπτωση, ο υπέρ-κόμβος δεν συνεχίζει την αναζήτηση. Όταν, όμως, περάσει το ορισθέν χρονικό διάστημα και ο υπέρ-κόμβος δεν λάβει πακέτο RFND σχετικά με την αίτηση κατάληψης πόρων του συστήματος για τις ανάγκες της επικοινωνίας δύο κόμβων, διαπιστώνει ότι ο προορισμός δεν έχει βρεθεί μετά από το βήμα 2 της αναζήτησης και αναλαμβάνει την ευθύνη για την τελική εύρεση της οδού επικοινωνίας.

Θυμίζουμε ότι κάθε υπέρ-κόμβος γνωρίζει τους κινητούς σταθμούς που βρίσκονται στην ακτίνα εμβέλειάς του, τους γείτονες στην περιοχή των δύο αλμάτων μακριά από αυτούς τους κόμβους, διατηρεί μία βάση δεδομένων με πληροφορίες σχετικά με το πρόσφατο παρελθόν (ποιοι κόμβοι έχουν κινηθεί στην περιοχή του τοπικού δικτύου, ποια RSCH, RRET και RFND πακέτα έχουν εξυπηρετηθεί και καταγραφεί), και αντίστοιχα τα ίδια στοιχεία από όλους τους υπόλοιπους υπέρ-κόμβους (αυτό συμβαίνει με το δεύτερο επίπεδο επικοινωνίας και θεωρούμε ότι γίνεται απευθείας και άμεσα).

Επομένως, οι ενέργειες που πραγματοποιεί ένα WLAN με την άφιξη ενός RSCH πακέτου είναι οι παρακάτω:

1. Πιστοποιεί την μοναδικότητα του RSCH πακέτου κι εξετάζει αν έχει εξυπηρετήσει νωρίτερα αίτηση με τις ίδιες χαρακτηριστικές παραμέτρους. Εάν όντως συμβαίνει έτσι, απορρίπτει την αίτηση και αγνοεί το πακέτο αυτό χωρίς να ακολουθήσει η διαδικασία αναζήτησης.

2. Περιμένει ένα μικρό χρονικό διάστημα για να φθάσει το RFND πακέτο από τον προορισμό στην περίπτωση που αυτός έχει βρεθεί με την επιλεκτική προώθηση του RSCH πακέτου με (hopcount +1) άλματα από την πηγή. Αν λάβει ένα RFND πακέτο, ο υπέρ-κόμβος δεν ασχολείται με την διαδικασία εύρεσης δρόμου για τους συγκεκριμένους κόμβους.

3. Εάν, όμως, το χρονικό διάστημα εκπνεύσει χωρίς να ληφθεί γνωστοποίηση από τον προορισμό ότι βρέθηκε ο επιθυμητός δρόμος, ο υπέρ-κόμβος εκκινεί τη διαδικασία αναζήτησης του συγκεκριμένου προορισμού. Αρχικά, ελέγχει αν ο προορισμός βρίσκεται στην εμβέλεια του ίδιου ή οποιουδήποτε άλλου υπέρ-κόμβου. Στην περίπτωση αυτή, η σύνδεση καθίσταται δυνατή μέσω του WLAN στο οποίο βρίσκεται ο προορισμός. Κάτι τέτοιο μπορεί να απαιτήσει και την απευθείας επικοινωνία υπέρ-κόμβων μεταξύ τους (όταν ο υπέρ-κόμβος, στην περιοχή του οποίου βρίσκεται ο επιθυμητός κινητός σταθμός, δεν είναι ο ίδιος με αυτόν που έλαβε το αντίστοιχο RSCH πακέτο) η οποία πραγματοποιείται μέσω σταθερού δικτύου (συνήθως PSTN) ή του internet.

4. Αν αυτή η ενέργεια δεν αποδώσει καρπούς, ελέγχει τους γείτονες στα όρια των δύο αλμάτων από τους κόμβους που βρίσκονται στην εμβέλεια οποιουδήποτε WLAN. Στην περίπτωση που ο κόμβος προορισμού είναι ένας από τους γείτονες αυτούς, το RSCH πακέτο προωθείται και με την βοήθεια του δεύτερου επιπέδου επικοινωνίας – όπου απαιτείται – σύμφωνα με τις ενέργειες του βήματος 2 με αποκλειστικά ad-hoc

τρόπο από τον κόμβο που γειτονεύει με τον κόμβο προορισμού (ακολουθώντας το μονοπάτι που είναι ήδη γνωστό από το proactive κομμάτι του πρωτοκόλλου).

5. Αν και αυτή η προσπάθεια δεν ευοδωθεί, ο υπέρ-κόμβος ανατρέχει στην καταγραφείσα πρόσφατη ιστορία της τοπικής γειτονιάς των WLANS. Η αναζήτηση αναλαμβάνεται από εκείνο τον υπέρ-κόμβο που έχει την πιο πρόσφατη πληροφορία ότι ο κόμβος του προορισμού έχει κινηθεί στην περιοχή του. Ξεκινάει, λοιπόν, μία επιλεκτική πλημμύρα του RSCH πακέτου από τους κόμβους που βρίσκονται στην εμβέλεια αυτού του τοπικού δικτύου, όπως εξετάσαμε στο βήμα 2. Το μοναδικό σημείο που πρέπει να προσεχθεί είναι ότι για το RSCH αυτό, ενώ διατηρούνται τα στοιχεία που γνωρίζουμε ότι φέρει, ορίζεται νέο TTL διαφορετικό της τιμής ($\text{hopcount} + 1$), αφού κάθε κόμβος που βρίσκεται στην εμβέλεια ενός WLAN και φέρει την ευθύνη προώθησης του RSCH στο δίκτυο έχει ως τιμή παραμέτρου $\text{hopcount} = 0$. Ο αριθμός, πάντως, των αλμάτων που ορίζεται για την προώθηση του RSCH στο δίκτυο δεν πρέπει να έχει μεγάλη τιμή αφού, όσο γρήγορα κι έντονα κι αν κινήθηκε ο κόμβος του προορισμού δεν μπορεί να απομακρύνθηκε, λογικά, τόσο πολύ από την περιοχή που πριν από ελάχιστο χρονικό διάστημα πιστοποιήθηκε η παρουσία του (αντίστοιχο τοπικό δίκτυο).

6. Αν ο υπέρ-κόμβος, τέλος, δεν έχει την πληροφορία για το πού βρίσκεται ο προορισμός ή για το πρόσφατο παρελθόν αναφορικά με την θέση αυτού, προκαλεί την διαδικασία δυναμικής αναζήτησής του. Κάθε υπέρ-κόμβος προωθεί με την μέθοδο της επιλεκτικής πλημμύρας το RSCH πακέτο στο δίκτυο μέσω των κόμβων που βρίσκονται στην ακτίνα της εμβέλειάς τους. Με αυτό τον τρόπο επιταχύνεται η διαδικασία εύρεσης του προορισμού αφού η αναζήτηση λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα από το σύνολο των υπέρ-κόμβων. Και σε αυτή την περίπτωση πρέπει να προσεχθεί ότι αλλάζουν τα δεδομένα για τον ορισμό της παραμέτρου TTL, και για κάθε RSCH πακέτο που έχει ως αφετηρία κάποιον υπέρ-κόμβο ορίζεται ένας άπειρος αριθμός αλμάτων για την προσέγγιση του κόμβου προορισμού – ακολουθώντας βέβαια τους κανόνες απόρριψης των όμοιων πακέτων.

Σημειωτέον, ότι τα RSCH πακέτα περιλαμβάνουν μία συγκεκριμένη σημαία στην επικεφαλίδα τους που λαμβάνει κάποια ιδιαίτερη τιμή όταν προωθούνται με την συμμετοχή των υπέρ-κόμβων. Έτσι, πιστοποιείται μοναδικά η προέλευση του κάθε RSCH πακέτου.

Πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι κάθε υπέρ-κόμβος διατηρεί στην μνήμη του όλες τις πληροφορίες που σχετίζονται με την προώθηση του RSCH πακέτου προς οποιονδήποτε προορισμό και με οποιονδήποτε τρόπο κι αν επιτυγχάνεται. Έτσι, εμπλουτίζει τις ‘γνώσεις’ του για ταχύτερες και πιο αξιόπιστες μελλοντικές αναζητήσεις.

5.1.4.4. Επιλογή Δρόμου από Κόμβο Προορισμού

Ο κόμβος του προορισμού, μόλις λάβει το πρώτο RSCH πακέτο, περιμένει ένα ορισμένο χρονικό διάστημα ώστε να του δοθεί η δυνατότητα να λάβει και άλλα πακέτα RSCH που δεν θα έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά και θα έχουν ακολουθήσει τελειώς διαφορετικούς και ανεξάρτητους δρόμους μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο, θα μπορεί να επιλέξει εκείνη την διαδρομή επικοινωνίας που θα έχει το μικρότερο κόστος ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου, με το μειονέκτημα όμως της μικρής αύξησης στην καθυστέρηση.

Βέβαια, με το που θα λάβει το πρώτο RSCH πακέτο, ο κόμβος του προορισμού συντάσσει ένα μήνυμα γνωστοποίησης ότι βρέθηκε διαδρομή, και που στο εξής θα ονομάζουμε RouteFouND (RFND) το οποίο έχει ως παραλήπτη το κοντινότερο WLAN. Με αυτό τον τρόπο, ο υπέρ-κόμβος, ο οποίος μπορεί να έχει λάβει κι εκείνος την ίδια αίτηση εύρεσης δρόμου (RSCH), ενημερώνεται ότι ο προορισμός έχει βρεθεί απευθείας με ολοκληρωτικά το πρώτο επίπεδο επικοινωνίας (fully ad-hoc) και δεν αναλαμβάνει επιπλέον φορτίο για την αναζήτηση. Αυτό το πακέτο RFND, αποστέλλεται παντού (broadcast), περιλαμβάνει τις διευθύνσεις της πηγής και του προορισμού, έναν χαρακτηριστικό αριθμό μηνύματος (για την πιστοποίηση της μοναδικότητάς του) και TTL = hopcount (αφού θέλουμε να προωθηθεί μόνο μέχρι το κοντινότερο τοπικό δίκτυο και όχι να προκαλέσει την αναζήτηση κάποιου δρόμου). Δεν περιλαμβάνει, συγκριτικά με το RSCH, τα πεδία του μετρητή επικινδυνότητας και της τιμής κόστους αφού δεν χρησιμοποιείται για την αναζήτηση μίας διαδρομής αλλά για την ενημέρωση των τοπικών δικτύων, την απαλλαγή τους από το φορτίο της εύρεσης δρόμου και την εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων για το σύστημα. Παρ' όλ' αυτά, εκπέμπεται παντού διότι οι κόμβοι δεν επιβαρύνονται με το να διατηρήσουν την πρόσθετη πληροφορία του ακριβούς δρόμου προς τον κοντινότερο υπέρ-κόμβο (θα αποτελούσε μέρος της proactive διαδικασίας). Όταν το RSCH πακέτο που φτάνει πρώτο στο κόμβο του προορισμού προέρχεται από κάποιο υπέρ-κόμβο – ύπαρξη συγκεκριμένης τιμής της σημαία στην επικεφαλίδα, δεν προσπαθεί να μεταδώσει RFND μήνυμα αφού δεν χρειάζεται να ενημερώσει τα WLANS για την μη συμμετοχή τους στην αναζήτηση δρόμου.

Μόλις περάσει το ορισθέν χρονικό διάστημα αναμονής για άλλα πακέτα RSCH, ο κόμβος του προορισμού επιλέγει τον κατάλληλο δρόμο επικοινωνίας (στην περίπτωση, βέβαια, που έχει δεχθεί παραπάνω από ένα τέτοια πακέτα, ειδικά δεν έχει επιλογή), σύμφωνα με τους παρακάτω κανόνες με φθίνουσα σημασία:

- Συνδεσιμότητα – Connectivity
- Ενέργεια κινητών σταθμών
- Καθυστέρηση

1. Καταρχήν, επιλέγεται εκείνη η διαδρομή που αντιστοιχεί στο RSCH που έχει την μικρότερη τιμή στον μετρητή επικινδυνότητας. Δηλαδή, δίνεται άμεση προτεραιότητα στο μονοπάτι όπου συμμετέχουν δρομολογητές που, ως επί το πλείστον, έχουν αρκετούς κόμβους-γείτονες, και άρα μικρότερη πιθανότητα απομόνωσης από το υπόλοιπο δίκτυο, επομένως, αποτυχίας στη ζεύξη και λαθών στην προσπάθεια επικοινωνίας. Θεωρούμε ότι στο περιβάλλον που εξετάζουμε (παρουσία WLANS), ο μεγαλύτερος αριθμός κόμβων βρίσκεται κοντά σε τοπικά δίκτυα κι ένας πολύ μικρότερος αριθμός μακριά, σχετικά απομονωμένος. Γι' αυτό τον λόγο, για να προστατέψουμε το δίκτυο από αυτό το ιδιαίζον χαρακτηριστικό, και για να αυξήσουμε την βιωσιμότητά του, δίνεται ο πρώτος λόγος στο πρόβλημα της συνδεσιμότητας – connectivity.

2. Αν υπάρχουν παραπάνω διαδρομές με την ίδια τιμή στον μετρητή επικινδυνότητας, ο κόμβος του προορισμού λαμβάνει υπόψη του την ενεργειακή πληροφορία των οδών, που υπάρχει στην τιμή κόστους όπου έχουν προστεθεί τα επίπεδα ενέργειας όλων των ενδιάμεσων δρομολογητών, και την καθυστέρηση, δηλαδή την χρονική σειρά με την οποία προσήλθαν τα RSCH πακέτα. Σ' αυτή την περίπτωση, ο κόμβος του προορισμού μπορεί να εφαρμόσει έναν αλγόριθμο ο οποίος θα έχει ως εισόδους την καθυστέρηση και την ενεργειακή ταυτότητα της διαδρομής, θα ορίζει συγκεκριμένα μαθηματικά βάρη σε αυτές τις εισόδους, και θα υπολογίζει την τιμή της εξόδου, σύμφωνα με την οποία θα επιλέγεται το καταλληλότερο μονοπάτι για το δίκτυο.

Στα πλαίσια ενός παραδείγματος, έστω i η μία από τις διαδρομές που είναι υποψήφιες για τον κόμβο του προορισμού. Έστω $c[i]$ η τιμή κόστους της και $t[i]$ η καθυστέρησή της, με την έννοια ενός αριθμού που όσο πιο μικρός είναι, θα δηλώνει ότι αυτό το RSCH πακέτο έφθασε αργότερα στον προορισμό, και θα παίρνει τιμές της ίδιας τάξης μεγέθους με την τιμή κόστους ώστε να μπορεί να ληφθεί μαθηματικά ισοδύναμα υπόψη. Ο αλγόριθμος θα υπολογίζει μία έξοδο της μορφής:

$$o[i] = b[i]*c[i] + b'[i]*t[i]$$

$o[i]$: η έξοδος ως μαθηματικό αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγορίθμου

$b[i]$, $b'[i]$: τα αντίστοιχα βάρη με τα οποία καθορίζουμε τις ανάγκες του δικτύου

Δηλαδή, αν αυτό που μας ενδιαφέρει είναι περισσότερο η καθυστέρηση επιλέγεται $b[i] > b'[i]$, αλλιώς το αντίθετο. Έτσι, ο κόμβος του προορισμού επιλέγει εκείνη την

διαδρομή για την οποία προκύπτει το μεγαλύτερο $o[i]$, που συνεπάγεται ανάλογα, βέβαια, με τα αντίστοιχα βάρη μεγαλύτερη τιμή κόστους – μεγαλύτερη συνολική ενέργεια των ενδιάμεσων δρομολογητών – και μικρότερη καθυστέρηση. Αυτό αποτελεί μία μέθοδο εξισορρόπησης του φορτίου και αύξησης της ταχύτητας του δικτύου.

3. Αν τίποτα από όλα αυτά δεν οδηγεί σε ξεκάθαρα αποτελέσματα, επιλέγεται απλά η διαδρομή του RSCH που έφθασε νωρίτερα στον κόμβο του προορισμού.

Όταν επιλέγει την διαδρομή επικοινωνίας, ο προορισμός συντάσσει ένα RRET πακέτο με σκοπό να ενημερώσει τον κόμβο της πηγής για την επικύρωση της οδού. Αυτό το μήνυμα περιλαμβάνει μόνο την διεύθυνση της πηγής και του προορισμού καθώς και τον χαρακτηριστικό αριθμό του αντίστοιχου RSCH, και μεταδίδεται άλμα προς άλμα και όχι broadcast. Αυτό μπορεί να συμβεί αφού κατά την επιλεκτική προώθηση των RSCH πακέτων στο δίκτυο, κάθε κόμβος διατηρεί την διεύθυνση του αποστολέα-κόμβου κι έτσι πλέον γνωρίζει ποιο είναι το επόμενο βήμα-άλμα για την προώθηση του RRET πακέτου (με τις ίδιες χαρακτηριστικές παραμέτρους) προς την αντίστροφη πορεία. Μάλιστα, κατά την μετάδοση αυτού του μηνύματος, κάθε δρομολογητής διατηρεί την διεύθυνση του κόμβου από τον οποίο προήλθε το RRET πακέτο, ώστε να γνωρίζει ποιος θα είναι ο παραλήπτης των δεδομένων κατά την μετάδοση της πληροφορίας στα πλαίσια της επικοινωνίας μεταξύ του κόμβου της πηγής και του προορισμού. Τέλος, το RRET πακέτο δεν χρειάζεται πεδίο TTL αφού δεν έχει τον χαρακτήρα της ευρυεκπομπής αλλά προωθείται από κάθε ένα δρομολογητή που γνωρίζει το επόμενο βήμα.

Με αυτό τον τρόπο, αποκαθίσταται η επικοινωνία μεταξύ οποιωνδήποτε κόμβων στα όρια του δικτύου και γίνεται δυνατή η ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ τους.

5.1.5. Διατήρηση Δρόμου

Με τον όρο διατήρηση δρόμου εννοούμε την διαδικασία κατά την οποία ένας κόμβος, ενώ χρησιμοποιεί έναν έγκυρο δρόμο επικυρωμένο από την πηγή, έχει την δυνατότητα να ανιχνεύσει εάν η τοπολογία του δικτύου έχει μεταβληθεί με τρόπο που να μην μπορεί, πλέον, να χρησιμοποιήσει αυτό τον δρόμο επειδή μία ζεύξη κατά μήκος της οδού δημιουργεί σφάλματα. Όταν κατά την συντήρηση του δρόμου αναφέρεται ότι η διαδρομή της πηγής έχει αποτύχει, ο κόμβος που ανίχνευσε το σφάλμα μπορεί να προσπαθήσει να χρησιμοποιήσει οποιονδήποτε άλλο δρόμο τυχαίνει να γνωρίζει, ή μπορεί να εκκινήσει εκ νέου μία διαδικασία εύρεσης δρόμου προκειμένου να βρεθεί μια νέα

διαδρομή. Η διατήρηση του δρόμου εφαρμόζεται μόνο όταν κάποιος κόμβος ουσιαστικά στέλνει πακέτα σε κάποιον άλλον.

Προκειμένου να διατηρηθούν οι διαδρομές, πολλά σχήματα δρομολόγησης απαιτούν την παραγωγή και μετάδοση περιοδικών μηνυμάτων hello από κάθε κόμβο ξεχωριστά. Αν κάποιος κόμβος αποτύχει να λάβει hello μηνύματα από τον γείτονά του, γνωστοποιεί ότι η ζεύξη που τον συνδέει με τον γείτονα έχει καταρρεύσει. Αντίθετα με όλες αυτές τις proactive προσεγγίσεις, το δικό μας σχήμα δρομολόγησης λειτουργεί σε μία δυναμική βάση ώστε να ελαχιστοποιήσει το πλεόνασμα της δρομολόγησης (overhead), που σημαίνει, ότι μία αποτυχία σε κάποια ζεύξη δεν μπορεί να ανιχνευθεί χωρίς πρώτα το πακέτο των δεδομένων να διακινηθεί, όντως, μέσω της ζεύξης αυτής. Η αποτυχία σε κάποια ζεύξη πιστοποιείται μόνο στην περίπτωση που δεν επιβεβαιωθεί η αποστολή και παραλαβή ενός πακέτου δεδομένων από το δεύτερο επίπεδο του δικτύου (επίπεδο ζεύξης δεδομένων) με τη χρήση των πακέτων ACK.

Όταν μία ζεύξη σφάλει εξαιτίας της κίνησης ενός κόμβου, ο γειτονικός του κινητός σταθμός, που είναι υπεύθυνος για την αποστολή δεδομένων σε αυτόν, διαπιστώνει το σφάλμα της σύνδεσης κατά την επικοινωνία, με την βοήθεια της ανίχνευσης σε επίπεδο ζεύξης δεδομένων, αποθηκεύει σε κατάλληλο buffer το προς μετάδοση πακέτο και στη συνέχεια εκπέμπει παντού – broadcast – ένα πακέτο ενημέρωσης για την διαδρομή στους γειτονικούς του κόμβους αφού πρώτα σβήσει από την μνήμη και τον πίνακα δρομολόγησής του κάθε μονοπάτι όπου συμμετέχει η εν λόγω ζεύξη. Το πακέτο αυτό θα το ονομάζουμε στο εξής RouteUpdate (RUPD), και είναι το μήνυμα που συντάσσεται από τον κόμβο που ανιχνεύει την οποιαδήποτε αποτυχία στις συνδέσεις και τις αλλαγές στην δικτυακή τοπολογία. Έχει όλα τα χαρακτηριστικά μετάδοσης ενός hello πακέτου, αφού σκοπός του μηνύματος είναι να βρεθεί ένας καινούριος έγκυρος δρόμος μέσα από την εκ νέου διαδικασία ανταλλαγής της πληροφορίας που αφορά την τοπική γειτονία κάθε κόμβου και τον επαναπροσδιορισμό των ομάδων MPR. Όπως δηλώνει και το ίδιο το όνομά του, ενημερώνει τους κόμβους για την αναδιαμόρφωση της τοπολογίας του δικτύου. Οι γειτονικοί κόμβοι, μόλις λάβουν ένα RUPD πακέτο, ελέγχουν πρώτα ώστε να διαπιστώσουν εάν ο αποστολέας του μηνύματος ανήκει στην ομάδα των γειτόνων τους που απέχουν μόνο ένα άλμα. Αν συμβαίνει έτσι, κάθε κόμβος ενημερώνει τον πίνακα δρομολόγησής του, την ομάδα του MPR, και τις διαδρομές στην μνήμη του σε απόκριση της λήψης του RUPD. Από την στιγμή που ο πίνακας δρομολόγησης καλύπτει μόνο την περιοχή των δύο αλμάτων, η ευρυεκπομπή του ενός άλματος από τον κόμβο που ανιχνεύει το σφάλμα είναι επαρκής για να ενημερώσει τους πίνακες δρομολόγησης που επηρεάζονται από αυτή την αποτυχία της

ζεύξης. Αναφορικά με την μνήμη όπου διατηρούνται οι διαδρομές, εκείνες που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη σύνδεση θα ακυρωθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα, επειδή δεν θα ξαναχρησιμοποιηθούν μέσα στον χρόνο που έχει ορισθεί να παραμένουν στην βάση των δεδομένων του κάθε κόμβου. Έπειτα, ο κόμβος που ανιχνεύει το σφάλμα αποκτά μία καινούρια διαδρομή προς τον προορισμό εκκινώντας την διαδικασία εύρεσης δρόμου όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Στην ιδιάζουσα τώρα περίπτωση όπου ο κόμβος που έχει ανιχνεύσει το σφάλμα στην αρχική διαδρομή δεν καταφέρει να εντοπίσει ένα νέο δρόμο για τη συνέχιση της μετάδοσης των δεδομένων – συνήθως συμβαίνει όταν στην επιλεχθείσα διαδρομή συμπεριλαμβάνονται κόμβοι με μόνο ένα γείτονα – θα ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία: Συγκεκριμένα όταν εμφανιστεί μια τέτοια περίπτωση, ο κόμβος που δεν κατάφερε να εντοπίσει εναλλακτική διαδρομή θα συντάσσει ένα πακέτο RouteError ή εν συντομία RERR, το οποίο θα αποστέλλεται στην πηγή με διαδικασία όμοια με του RRET, και με τον τρόπο αυτό θα ενημερώνεται η πηγή για την αποτυχία. Στη συνέχεια η πηγή αν επιθυμεί να συνεχιστεί η μετάδοση θα πρέπει να προσδιορίσει μια νέα διαδρομή με το γνωστό τρόπο του RSCH.

Από την άλλη πλευρά, εάν ο κόμβος που ανιχνεύει την αποτυχία στο δίκτυο δεν ανήκει σε καμία από τις ομάδες των γειτόνων του ενός άλματος, αυτό σημαίνει ότι ο εν λόγω κόμβος προκύπτει ως νέος κινητός σταθμός σ' αυτή την γειτονιά. Είναι η περίπτωση όπου ο κόμβος της πηγής βρίσκεται σε κίνηση, έτσι, ώστε να χάσει την συνδεσιμότητά του με τον επόμενο κόμβο κατά μήκος της διαδρομής μεταξύ πηγής και προορισμού. Σαν απάντηση στο RUPD πακέτο από τον κόμβο της πηγής, οι γειτονικοί δρομολογητές δημιουργούν μία νέα είσοδο στον πίνακα δρομολόγησής τους και στον πίνακα των γειτόνων του ενός άλματος, κι έπειτα παρέχουν στην πηγή την πληροφορία της γειτονιάς τους έτσι ώστε αυτή να είναι σε θέση να επαναρχικοποιήσει τους τοπικούς της πίνακες που σχετίζονται με την δρομολόγηση. Στην πληροφορία αυτή συμπεριλαμβάνουν τον πίνακα δρομολόγησης, τον πίνακα των γειτόνων, και την ομάδα MPR. Αμέσως μετά, ο κόμβος της πηγής γνωστοποιεί την ομάδα του MPR με το να στείλει broadcast την πληροφορία στους γειτονικούς του δρομολογητές. Τελικά, ο κόμβος της πηγής επανεκκινεί την διαδικασία εύρεσης δρόμου ώστε να αποκτήσει ένα νέο μονοπάτι προς τον προορισμό.

Επιπρόσθετα της ανίχνευσης σε επίπεδο ζεύξης δεδομένων, οι κινούμενοι κόμβοι μπορούν να λειτουργήσουν με τέτοιο τρόπο ώστε να ενημερώνουν άμεσα τις διαδρομές τους σε απάντηση στις αλλαγές της δικτυακής τοπολογίας. Κάθε κόμβος επιτρέπεται να “υποκλέπει” τα πακέτα που, μέσω της δικτυακής του διεπαφής, μπορεί να “κρυφακούσει” – όταν βρίσκεται στην περιοχή εμβέλειας του αποστολέα, αφού οι πόροι που καταλαμβάνονται

προέρχονται από το broadcast κανάλι. Συγκεκριμένα, όταν ο κόμβος του προορισμού κινείται προς το μέρος του κόμβου της πηγής, μπορεί να λάβει τα πακέτα άμεσα με το να υποκλέψει την πληροφορία που προορίζονταν γι' αυτόν αφού κρυφάκουσε την διεύθυνση του τελικού παραλήπτη, ακόμη κι αν δεν είναι ο κόμβος του επόμενου άλματος κατά μήκος της οδού επικοινωνίας. Παράλληλα, μία διαδρομή προς τον προορισμό ενημερώνεται άμεσα με την ευρυεκπομπή ενός RUPD πακέτου σε όλους τους γειτονικούς κόμβους. Σε απάντηση του RUPD μηνύματος, οι γειτονικοί κόμβοι ενημερώνουν τους πίνακες δρομολόγησής τους, την πληροφορία της τοπικής γειτονιάς του, κι έπειτα στέλνουν πίσω τα νέα δεδομένα – όπως διαμορφώθηκαν με την κινητικότητα των κινητών σταθμών και την τυχαιότητα ανάπτυξης του ad-hoc δικτύου – έτσι, ώστε ο κόμβος του προορισμού να μπορεί να αρχικοποιήσει ξανά τους τοπικούς του πίνακες σχετικά με την δρομολόγηση. Έπειτα, ο προορισμός γνωστοποιεί την ομάδα του MPR εκπέμποντας την πληροφορία στο σύνολο των γειτόνων του ενός άλματος.

Στις διαδικασίες της συντήρησης του δρόμου συμμετέχουν και οι υπέρ-κόμβοι, οι οποίοι μπορούν και αυτοί με την σειρά τους να συντάξουν και να μεταδώσουν ένα RUPD μήνυμα προκαλώντας την επαναδιαμόρφωση των πινάκων δρομολόγησης και της πληροφορίας σχετικά με την γειτονιά τους. Επίσης, κάθε ένα μήνυμα RUPD που φθάνει σε κάποιο WLAN προκαλεί αντίστοιχα αναδιατάξεις στα δεδομένα που διατηρεί ο υπέρ-κόμβος σχετικά με την δρομολόγηση και την επικοινωνία σε δεύτερο επίπεδο, ώστε να γνωστοποιηθούν οι αλλαγές και στα υπόλοιπα τοπικά δίκτυα.

5.1.6. Παραδείγματα Δρομολόγησης

Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε μία σειρά από παραδείγματα που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο διακινούνται τα δεδομένα σύμφωνα με το υβριδικό σχήμα δρομολόγησης που προτείνεται παραπάνω. Έτσι, θα δούμε σε ποιο βαθμό μπορεί να συμμετέχει, αλλά και να συμβάλλει, στην ταχύτερη και πιο αξιόπιστη δρομολόγηση των πακέτων που διακινούνται στο περιβάλλον ad-hoc με την παρουσία ασύρματων τοπικών δικτύων.

5.1.6.1. Παράδειγμα Δρομολόγησης Χωρίς τη Συμμετοχή των Υπέρ-κόμβων

Θεωρούμε ένα κινητό ad-hoc δίκτυο που περιλαμβάνει τους συνηθισμένους κόμβους και δύο υπέρ-κόμβους (Σχήμα 1 – Παράρτημα 2). Κάθε κινητός σταθμός σχεδιάζεται ως

ένας μικρός κύκλος, ενώ κάθε υπέρ-κόμβος περιγράφεται από ένα μεγαλύτερο κύκλο και δηλώνεται, ταυτόχρονα, και η περιοχή εμβέλειας αυτών. Υποθέτουμε ότι ο κόμβος 1 είναι ένας κινητός σταθμός που επιθυμεί να επικοινωνήσει με κάποιον άλλο κόμβο – τον κόμβο προορισμού. Ο κόμβος 1, συνεπώς, είναι ο κόμβος της πηγής. Υπάρχουν δύο κύκλοι που είναι σχεδιασμένοι γύρω από τον κόμβο της πηγής: ο μικρότερος για την περιοχή του ενός άλματος και ο μεγαλύτερος για την περιοχή των δύο αλμάτων. Οι δρομολογητές που ανήκουν στην τοπική γειτονιά του κόμβου της πηγής χαρακτηρίζονται, ώστε να είναι διακριτοί, με αριθμούς ενώ οι υπόλοιποι, είτε βρίσκονται στην περιοχή εμβέλειας ενός WLAN είτε όχι, με γράμματα.

Για να ελαχιστοποιηθεί η κίνηση των πακέτων λόγω της πλημμύρας, κατά την δυναμική αναζήτηση δρόμου από την πηγή, επιλέγονται αρχικά οι κόμβοι που συνιστούν την ομάδα MPR ανάμεσα από τους γείτονες του ενός άλματος (κινητοί σταθμοί 2, 3, 4 και 5), με τρόπο ώστε όλοι οι δρομολογητές στην περιοχή των δύο αλμάτων να μπορούν να καλυφθούν με τον ελάχιστο αριθμό προωθήσεων. Στο παράδειγμά μας, αυτοί οι κινητοί σταθμοί είναι ο 2 και ο 5. Σαφώς, θα μπορούσε να επιλεγεί μία άλλη δυάδα κόμβων που να πληροί τις απαιτήσεις μίας ομάδας MPR. Θεωρείται, όμως, ότι επιλέγονται εκείνοι, τελικά, οι δρομολογητές που, εκτός των παραπάνω, έχουν και περισσότερα ενεργειακά αποθέματα. Ο κόμβος της πηγής, που γνωρίζει και το ενεργειακό επίπεδο κάθε γείτονά του, είναι υπεύθυνος για την επιλογή της ομάδας MPR και την γνωστοποίηση αυτής στους κόμβους που βρίσκονται ένα άλμα μακριά. Έτσι για την συγκεκριμένη δικτυακή τοπολογία, οι κόμβοι 2 και 3 γνωρίζουν ότι δεν θα συμμετέχουν στην προώθηση πακέτων που αφορούν την αναζήτηση δρόμου κι έχουν αποστολέα τη συγκεκριμένη πηγή.

Εάν ο κόμβος του προορισμού βρίσκεται στην περιοχή των δύο αλμάτων, ο κόμβος της πηγής εξετάζει προσεκτικά τον πίνακα δρομολόγησής του και αποκτά απευθείας ένα δρόμο προς τον προορισμό. Για την περιοχή έξω από τα δύο άλματα, από την άλλη πλευρά, ανακαλύπτει μία διαδρομή με δυναμικό τρόπο χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της επιλεκτικής πλημμύρας βάσει της ομάδας MPR. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1 του Παραρτήματος 2, εάν ο κόμβος g είναι ο προορισμός, ο κόμβος της πηγής 1 μεταδίδει στο δίκτυο ένα RSCH πακέτο μέσω της MPR πλημμύρας, προκειμένου να βρεθεί μία οδός προς τον προορισμό. Όταν το RSCH πακέτο φθάσει στον κόμβο 8, αυτός, γνωρίζοντας ήδη έναν δρόμο για τον g, θα συντάξει ένα RFND μήνυμα με στόχο το κοντινότερο WLAN ώστε να ενημερώσει ότι βρέθηκε απευθείας δρόμος πηγής-προορισμού και δεν χρειάζεται την συμμετοχή των υπέρ-κόμβων για τις ανάγκες της αναζήτησης. Στη συνέχεια, περιμένει κάποιο χρονικό διάστημα για την περίπτωση που λάβει νέα πακέτα RSCH που

περιλαμβάνουν καλύτερες διαδρομές επικοινωνίας, με την έννοια ότι προκαλούν λιγότερα προβλήματα για το δίκτυο.

Δεχόμαστε ότι ο κόμβος του προορισμού, για το σχήμα μας, έλαβε δύο υποψήφιες διαδρομές: την πρώτη, που φαίνεται με συνεχή έντονη μαύρη γραμμή και περιλαμβάνει τους κόμβους (1, 2, 8, y, g) – είναι, δηλαδή, τεσσάρων αλμάτων – και την δεύτερη, που φαίνεται με μαύρη διακεκομμένη γραμμή, περιλαμβάνει τους κόμβους (1, 2, 9, x, b, c, g) και είναι έξι αλμάτων. Τέλος, σύμφωνα με τα κριτήρια επιλογής που ισχύουν για τον δρόμο επικοινωνίας, ο σταθμός προορισμού επιλέγει την επικρατέστερη διαδρομή – βάσει της καθυστέρησης, των επιπέδων ενέργειας και της συνδεσιμότητας – και την γνωστοποιεί, συντάσσοντας ένα πακέτο RRET με παραλήπτη τον κόμβο της πηγής (κόμβος 1). Πρέπει να σημειωθεί, ότι η μετάδοση του μηνύματος RRET είναι μία εύκολη υπόθεση αφού κάθε δρομολογητής γνωρίζει, βάσει του πίνακα δρομολόγησής του, το επόμενο άλμα μέχρι την πηγή.

5.1.6.2. Παράδειγμα Δρομολόγησης με Συμμετοχή των Υπέρ-κόμβων

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 2 – Παράρτημα 2), ας θεωρήσουμε την περίπτωση που ο κόμβος της πηγής (κόμβος 1) επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον κόμβο V που βρίσκεται κοντά στην περιοχή του WLAN 1.

Σ' αυτή την περίπτωση, το κοντινότερο τοπικό δίκτυο, που είναι το WLAN 1, βρίσκεται σε απόσταση 4 αλμάτων (διαδρομή 1, 5, 6, a, r) ενώ ο κόμβος του προορισμού βρίσκεται σε απόσταση 7 αλμάτων (διαδρομή 1, 5, 6, a, r, p, u, v). Το δεύτερο τοπικό δίκτυο της εν λόγω τοπολογίας βρίσκεται 5 άλματα μακριά από την πηγή. Αυτό σημαίνει, ότι το RSCH πακέτο που θα μεταδοθεί από την πηγή θα φθάσει νωρίτερα στον υπέρ-κόμβο 1, που θα είναι και αυτός που θα λάβει την απόφαση της συμμετοχής των τοπικών δικτύων στη δρομολόγηση της κίνησης.

Ο κόμβος της πηγής, επομένως, συντάσσει ένα RSCH μήνυμα και το προωθεί στο δίκτυο σε εύρος 5 (hopcount + 1) άλματα. Επειδή ο κόμβος του προορισμού βρίσκεται πιο μακριά (7 άλματα), το RSCH πακέτο θα φτάσει πρώτα στο WLAN 1, το οποίο και θα περιμένει ένα μικρό χρονικό διάστημα να ενημερωθεί για το κατά πόσον είναι δυνατή η απευθείας επικοινωνία πηγής-προορισμού. Αυτό συμβαίνει με την αποστολή πακέτου RFND στο κοντινότερο WLAN από την πλευρά του προορισμού. Κάτι τέτοιο, βέβαια, στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν συμβαίνει. Άρα, ο υπέρ-κόμβος 1 αποφασίζει την συμμετοχή των τοπικών δικτύων στην αναζήτηση του κόμβου του προορισμού.

Αυτό που συμβαίνει, στη συνέχεια, είναι η προώθηση του RSCH πακέτου από εκείνον τον υπέρ-κόμβο – αφού, ούτως ή άλλως, υπάρχει επικοινωνία σε δεύτερο επίπεδο μεταξύ των τοπικών ασύρματων δικτύων – που έχει την πιο πρόσφατη πληροφορία για το πού βρίσκεται ο κόμβος του προορισμού. Στο σχήμα μας, την πληροφορία αυτή την έχει ο υπέρ-κόμβος 1 αφού ο προορισμός (κόμβος ν) βρίσκεται στην τοπική γειτονιά (περιοχή του ενός άλματος) του κόμβου u, που είναι στην εμβέλεια του WLAN 1. Επομένως, ο υπέρ-κόμβος 1 στέλνει ένα RRET μήνυμα, με την αντίστροφη πορεία προς την πηγή, ενημερώνοντάς την για τον δρόμο επικοινωνίας με τον προορισμό που εντοπίστηκε. Στην περίπτωση που ο κόμβος του προορισμού δεν βρίσκεται μέσα στην περιοχή των δύο αλμάτων κανενός από τους κόμβους που βρίσκονται στην περιοχή εμβέλειας οποιουδήποτε τοπικού δικτύου, άρα δεν γνωρίζει απευθείας δρόμο σύνδεσης, προωθείται ένα RSCH πακέτο με συγκεκριμένη τιμή στο πεδίο σημαίας, όπως θα δούμε στο παράρτημα 1, όπου περιγράφονται αναλυτικά τα διάφορα είδη πακέτων, που θα δηλώνει τη συμμετοχή των WLANS στην δρομολόγηση. Σ' αυτή την περίπτωση, η προώθηση του RSCH πακέτου λαμβάνει χώρα είτε από τον υπέρ-κόμβο που έχει την πιο πρόσφατη και αξιόπιστη γνώση για την οδό επικοινωνίας είτε από το σύνολο των υπέρ-κόμβων, ώστε να μειωθεί ο χρόνος αναζήτησης. Τελικά, ο κόμβος που θα γνωρίζει δρόμο προς τον προορισμό είναι και ο υπεύθυνος για την μετάδοση RRET μηνύματος ώστε να ενημερώσει την πηγή.

Σημειώνεται, ότι στην περίπτωση που ένα RSCH πακέτο καταλήγει στον προορισμό με την συμμετοχή των υπέρ-κόμβων, δεν συντάσσεται μήνυμα RFND.

Στην περίπτωση του σχήματος 2, η δρομολόγηση γίνεται βάσει της συνεχούς γραμμής (όταν πρόκειται για fully ad-hoc τρόπο μετάδοσης) και την διακεκομμένη γραμμή (όταν πρόκειται για συμμετοχή των υπέρ-κόμβων στην κίνηση των δεδομένων).

5.1.6.3. Παράδειγμα Συντήρησης Δρόμου με Κίνηση Ενδιάμεσου Δρομολογητή

Το σχήμα δρομολόγησής μας διατηρεί δρόμους δυναμικά, με την έννοια ότι μία αποτυχία σε κάποια ζεύξη ανιχνεύεται μόνο, όταν δεν υπάρχει καμία επιβεβαίωση σε ένα πακέτο δεδομένων στο επίπεδο της ζεύξης δεδομένων. Σαν παράδειγμα, θεωρούμε ότι ο κόμβος 8 κινείται σύμφωνα με την πορεία του Σχήματος 3 – Παράρτημα 2. Σημειώνουμε ότι ο δρόμος επικοινωνίας είναι αυτός που βλέπουμε με την συνεχή γραμμή.

Αρχικά, ο κόμβος 2, που είναι το προηγούμενο βήμα στην οδό επικοινωνίας που έχει επικυρωθεί μεταξύ πηγής και προορισμού, ανιχνεύει ένα σφάλμα στην ζεύξη επικοινωνίας

αυτού με τον κόμβο 8 όταν δεν λαμβάνει καμία επιβεβαίωση σαν απάντηση σε κάποιο πακέτο δεδομένων. Αυτό συμβαίνει, επειδή ο κόμβος 8 εξαφανίζεται μακριά από τη περιοχή λήψης του κόμβου 2 εξαιτίας της κινητικότητας των δρομολογητών. Έπειτα, ο κόμβος 2 ενημερώνει τον πίνακα δρομολόγησής του και την κρυφή του μνήμη, και στη συνέχεια μεταδίδει παντού ένα RUPD πακέτο στους γειτονικούς του κόμβους, έτσι ώστε να ενημερώσουν και αυτοί με την σειρά τους, τους πίνακές τους. Ακολουθώντας, προκειμένου να αποκτήσει μία νέα διαδρομή προς τον κόμβο του προορισμού, ο κόμβος 2 επανεκκινεί τη διαδικασία εύρεσης διαδρομής στέλνοντας ένα RSCH πακέτο στους γειτονικούς του κόμβους. Το TTL αυτού του RSCH μηνύματος καθορίζεται από την απόσταση του νέου αποστολέα (κόμβος 2) από το κοντινότερο WLAN. Όταν ο κόμβος 9 λάβει το RSCH μήνυμα, μπορεί να προσφέρει απευθείας μία διαδρομή προς τον προορισμό κοιτάζοντας, απλά, στον πίνακα δρομολόγησής του, επειδή ο κόμβος του προορισμού (κόμβος g) βρίσκεται στην περιοχή των δύο αλμάτων του κόμβου 9. Μία υποψήφια οδός επικοινωνίας είναι και αυτή που φαίνεται με τη διακεκομμένη γραμμή.

Πρέπει να σημειώσουμε, ότι ο κόμβος του προορισμού οφείλει να περιμένει ένα μικρό χρονικό διάστημα ωστόσο στείλει ένα RRET μήνυμα επικυρώνοντας την διαδρομή, για τη περίπτωση που λάβει και άλλες υποψήφιες διαδρομές, από τις οποίες θα επιλέξει την καταλληλότερη.

Στην περίπτωση συντήρησης ενός δρόμου μπορεί με τον ίδιο τρόπο να συμμετέχει κι ένας υπέρ-κόμβος, μόνο που θα έχει μεγαλύτερη βάση δεδομένων και δυνατότητα επικοινωνίας και σε δεύτερο επίπεδο. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί γρηγορότερα και με μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας η αναζήτηση του νέου δρόμου, αφού οι ζεύξεις μεταξύ των τοπικών δικτύων είναι πιο αξιόπιστες και δεν καταλαμβάνουν πόρους σημαντικούς για τη βιωσιμότητα του δικτύου.

5.1.6.4. Παράδειγμα Συντήρησης Δρόμου με Κίνηση του Κόμβου Πηγής

Ένα ακόμη παράδειγμα, είναι η περίπτωση όπου ο κόμβος 1 – που είναι και ο κόμβος της πηγής – κινείται σύμφωνα με την πορεία του Σχήματος 4, στο Παράρτημα 2. Υπάρχει μία οδός επικοινωνίας μεταξύ κόμβων 1 και g.

Με τον γνωστό από τα προηγούμενα παραδείγματα τρόπο, ο κόμβος της πηγής ανιχνεύει την αποτυχία μετάδοσης στην ζεύξη με τον κόμβο 2 όταν δεν υπάρχει επιβεβαίωση της αποστολής των πακέτων δεδομένων. Σε αυτό το σημείο, ο κόμβος της πηγής στέλνει ένα

RUPD μήνυμα στους γειτονικούς κόμβους. Από τη στιγμή που ο κόμβος της πηγής είναι καινούργιος σε αυτή την γειτονιά, οι γειτονικοί δρομολογητές τον καταχωρούν στους πίνακές τους ως νέα είσοδο, και ο κόμβος της πηγής αρχικοποιεί ξανά τις δομές δεδομένων τους, συμπεριλαμβανομένων των πινάκων δρομολόγησής τους, της κρυφής τους μνήμης και των ομάδων MPR. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα με την αποστολή hello μηνυμάτων που προκαλούνται από την μετάδοση του RUPD πακέτου. Αμέσως μετά, ο κόμβος της πηγής εκτελεί την διαδικασία εύρεσης νέου δρόμου, στέλνοντας ένα πακέτο RSCH, με τους κανόνες που ήδη γνωρίζουμε, στο δίκτυο. Οι γειτονικοί κόμβοι προωθούν το μήνυμα αναζήτησης νέας διαδρομής ώστε να αποκτηθεί έγκυρος δρόμος για τις ανάγκες της επικοινωνίας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, ο κόμβος της πηγής ήδη γνωρίζει τον ακριβή δρόμο επικοινωνίας με τον προορισμό αφού αυτός (κόμβος g) βρίσκεται στην περιοχή των δύο αλμάτων αυτού. Έτσι, η δρομολόγηση των δεδομένων λαμβάνει χώρα σύμφωνα με την διαδρομή της διακεκομμένης γραμμής.

Πρέπει να σημειώσουμε, για άλλη μία φορά, ότι την ευθύνη της επιλογής ανάμεσα στις δυνατές διαδρομές έχει ο προορισμός. Παράλληλα, όπου χρειάζεται η συμμετοχή των υπέρ-κόμβων για την δρομολόγηση μέσω μίας νέας διαδρομής, αυτό πραγματοποιείται σύμφωνα με τους κανόνες που ήδη γνωρίζουμε.

5.1.6.5. Παράδειγμα Συντήρησης Δρόμου με τη Βοήθεια της “υποκλοπής”

Το παράδειγμα αυτό δείχνει πώς το πρωτόκολλό μας λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε να συντηρεί τους δρόμους δυναμικά, ανταποκρινόμενο στις συχνές αλλαγές μίας δικτυακής τοπολογίας. Υποθέστε ότι ο κόμβος της πηγής g κινείται προς τον κόμβο της πηγής 1, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5 του Παραρτήματος 2. Αν και ο κόμβος g δεν είναι ο δρομολογητής του επόμενου άλματος για τον κόμβο 8 στην αρχική διαδρομή μεταξύ πηγής και προορισμού, ο κόμβος του προορισμού παραλαμβάνει τα πακέτα απευθείας από τον κόμβο 8 υποκλέπτοντας την διεύθυνση αποστολής τους. Σε αυτό το σημείο, ο δρόμος μεταξύ των κόμβων 1 και g ενημερώνεται άμεσα με την αποστολή ενός RUPD πακέτου στους γειτονικούς κόμβους. Αφού ο κόμβος του προορισμού είναι νέος στην γειτονιά, οι γειτονικοί δρομολογητές τον καταγράφουν στους πίνακές τους ως μία νέα είσοδο, και ο κόμβος του προορισμού αρχικοποιεί τις δομές δεδομένων τους, όπως τον πίνακα δρομολόγησής τους, την κρυφή μνήμη και τις ομάδες MPR. Έπειτα, τα πακέτα ακολουθούν τη διαδρομή της διακεκομμένης γραμμής του σχήματος.

5.1.6.6. Παράδειγμα Ανεπιτυχούς Αναζήτησης Διαδρομής

Στο Σχήμα 6 του Παραρτήματος 2, έχει ήδη αποκατασταθεί επικοινωνία μεταξύ του κόμβου της πηγής, που είναι ο κόμβος 1, και του κόμβου προορισμού, που είναι ο κόμβος v . Στην οδό επικοινωνίας υφίστανται ζεύξεις καθαρά ad-hoc τρόπου επικοινωνίας (συνεχής γραμμή) και συμμετοχή ασύρματων τοπικών δικτύων (διακεκομμένη γραμμή). Το σενάριο σε αυτή την περίπτωση είναι ότι κινείται ο κόμβος του προορισμού σε μία περιοχή όπου δεν υπάρχει κανένας άλλος δρομολογητής στην ακτίνα λήψης κι αποστολής. Στην περιοχή, δηλαδή, του ενός άλματος δεν υπάρχει κόμβος που να γειτνιάζει με τον v .

Κατά τα γνωστά, ο γειτονικός κόμβος, που είναι το προηγούμενο βήμα στην προώθηση των πακέτων των δεδομένων στον προορισμό, μόλις διαπιστώσει σφάλμα στην μεταξύ τους σύνδεση – ζεύξη u, v – αφού δεν λάβει την αντίστοιχη επιβεβαίωση, στέλνει παντού, στην περιοχή του ενός άλματος, ένα μήνυμα RUPD. Αυτό συμβαίνει για να ενημερωθούν οι γείτονες για την αλλαγή στην δικτυακή τοπολογία και να επακολουθήσει η ανταλλαγή των hello μηνυμάτων ώστε να προσαρμοστούν τα δεδομένα στους πίνακες δρομολόγησης, την κρυφή μνήμη και τις ομάδες της επιλεκτικής πλημμύρας (MPR).

Στη συνέχεια, ο κόμβος u , λαμβάνοντας υπόψη τα νέα στοιχεία, είναι υπεύθυνος για την αναζήτηση ενός νέου δρόμου για τις ανάγκες της επικοινωνίας μεταξύ πηγής και προορισμού. Σ' αυτή την αναζήτηση μπορούν να συμμετέχουν τόσο οι απλοί δρομολογητές όσο και οι υπέρ-κόμβοι. Στην περίπτωση του σχήματός μας όμως, ο κόμβος του προορισμού έχει μετακινηθεί σε μία περιοχή όπου δεν υπάρχει πρόσβαση από κανένα δρομολογητή. Επομένως η αναζήτηση του νέου δρόμου οδηγείται σε αναπόφευκτη αποτυχία. Το μόνο που μένει να κάνει ο κόμβος u , είναι να στείλει ένα πακέτο RERR ακολουθώντας την αντίστροφη πορεία πίσω στον κινητό σταθμό της πηγής. Με αυτό τον τρόπο ενημερώνει για το αποτυχία της αναζήτησης, την παρούσα χρονική στιγμή, και αναθέτει την ευθύνη της επικοινωνίας στον κόμβο της πηγής, η οποία και θα προσπαθήσει να βρει μία διαδρομή από την αρχή χωρίς την μεσολάβηση κανενός ενδιάμεσου δρομολογητή.

5.1.6.7. Κατάδειξη Πλεονεκτήματος Λόγω της Ύπαρξης Ασύρματων Τοπικών Δικτύων σε Ad-Hoc Περιβάλλον

Στο Σχήμα 7 του Παραρτήματος 2 δείχνουμε ένα απλό παράδειγμα που καταδεικνύει με σαφήνεια τα πλεονεκτήματα που προσδίδει σε ένα ad-hoc περιβάλλον η ύπαρξη των τοπικών ασύρματων δικτύων.

Μία σημαντική παράμετρος στην μελέτη ενός ad-hoc δικτύου είναι, εκτός από την κινητικότητα των δρομολογητών, τις περιορισμένες ενεργειακές δυνατότητες και την συχνή αναδιαμόρφωση της τοπολογίας, η κατανομή των κινητών κόμβων στο χώρο. Μία σχετική πληροφορία για την πυκνότητα των κόμβων ανά περιοχή θα έδινε έναν σαφή προσανατολισμό για τις εφαρμοζόμενες μεθόδους δρομολόγησης και τα απαραίτητα σχήματα εξοικονόμησης πόρων για το σύστημα.

Θεωρούμε ότι μία δικτυακή τοπολογία που περιλαμβάνει, εκτός από τους κινητούς σταθμούς, και ένα σύνολο από τοπικά ασύρματα δίκτυα θα ακολουθεί συγκεκριμένη γεωγραφική κατανομή της πυκνότητας των κόμβων. Το πιθανότερο σενάριο θα ανέφερε την παρουσία του μεγαλύτερου μέρους των δρομολογητών πολύ κοντά σε τοπικά δίκτυα – όχι παραπάνω από τρία άλματα – ενώ ένα μικρό μέρος των κόμβων θα βρίσκονταν σε περιοχή σχετικά απομονωμένη από την παρουσία υπέρ-κόμβων. Σαν παράδειγμα, μπορούμε να σχολιάσουμε μία πανεπιστημιούπολη με μία σχετικά μεγάλη έκταση, όπου σε κάθε κτίριο κάποιας σχολής ενδέχεται να έχει στηθεί από ένα τοπικό ασύρματο δίκτυο με μικρή σχετικά εμβέλεια. Οι φοιτητές, που κατά κύριο λόγο διατρέχουν την περιοχή της πανεπιστημιούπολης, θα βρίσκονται συνήθως κοντά ή μέσα στα κτήρια των σχολών – επομένως, κοντά στην εμβέλεια ενός WLAN – ενώ, λίγοι μόνο από αυτούς θα είναι απομακρυσμένοι. Δηλαδή, για την περιοχή κοντά στα WLANS θα έχουμε υψηλή πυκνότητα κόμβων και άρα μεγάλες δυνατότητες συνδεσιμότητας. Για την περιοχή μακριά από τους υπέρ-κόμβους, η πυκνότητα των κόμβων είναι αρκετά χαμηλή και η πιθανότητα αποκοπής ενός δρομολογητή από το υπόλοιπο δίκτυο ιδιαίτερα αυξημένη. Αυτός είναι και ο λόγος που στο πρωτόκολλο δρομολόγησης που επιλέγουμε, λαμβάνουμε υπόψη μας την απόσταση από τον κοντινότερο υπέρ-κόμβο, στο proactive κομμάτι του, και το πρόβλημα της συνδεσιμότητας, κατά κύριο λόγο, στο κομμάτι της αναζήτησης διαδρομής.

Ας δούμε όμως, το παράδειγμα του Σχήματος 7 για να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο μπορεί η επικοινωνία των υπέρ-κόμβων σε μία δικτυακή τοπολογία να επιταχύνει, κι όχι μόνο, τη διαδικασία της αναζήτησης. Ο κόμβος της πηγής είναι ο κόμβος 1 και θέλει να επικοινωνήσει με τον κόμβο του προορισμού 8. Χωρίς την παρουσία των WLANS μία υποψήφια διαδρομή επικοινωνίας μεταξύ των δύο κόμβων θα ήταν αυτή που φαίνεται με την λεπτή μαύρη γραμμή. Πρόκειται για μία ζεύξη που αποτελείται από 9 άλματα.

Ας δούμε το βαθμό βελτίωσης της δρομολόγησης όταν στην δικτυακή τοπολογία του σχήματος προστεθούν δύο τοπικά δίκτυα. Τότε, κατά τα γνωστά, ο κόμβος 1 βρίσκεται ένα μόνο άλμα από το WLAN 1 κι επομένως γνωρίζει ακριβώς δρόμο για να φθάσει σε αυτό. Η δρομολόγηση της κίνησης, πλέον, γίνεται με την ενεργή συμμετοχή των υπέρ-κόμβων. Το

WLAN 1 επικοινωνεί σε δεύτερο επίπεδο με το WLAN 2 για να ενημερωθεί, εφόσον υπάρχει πληροφορία, για το πού βρίσκεται ο κόμβος του προορισμού (αφού το WLAN 1 δεν έχει αυτή την πληροφορία). Ο δεύτερος υπέρ-κόμβος γνωρίζει ακριβώς την θέση του προορισμού, αφού είναι γείτονας κόμβου που βρίσκεται στην περιοχή της εμβέλειάς του (του h). Έτσι, γνωστοποιεί στον υπέρ-κόμβο 1 την δυνατότητα δρομολόγησης της κίνησης δεδομένων στον κόμβο του προορισμού. Πρέπει να σημειώσουμε ότι η διαδικασία της αναζήτησης του δρόμου ακολουθεί όλα εκείνα τα βήματα που έχουμε αναφέρει σε προηγούμενα παραδείγματα. Άρα μία υπονήφια διαδρομή επικοινωνίας είναι αυτή που φαίνεται με την παχιά γραμμή και περιέχει και την επικοινωνία των δύο υπέρ-κόμβων (διακεκομμένη γραμμή). Αυτή η οδός επικοινωνίας έχει δύο άλματα που λαμβάνουν χώρα με fully ad-hoc τρόπο, δύο άλματα σε μορφή επικοινωνίας κινητού σταθμού-τοπικού δικτύου και ένα άλμα επικοινωνίας δευτέρου επιπέδου μεταξύ των υπέρ-κόμβων.

Συμπερασματικά, η ύπαρξη των τοπικών δικτύων σε μία τοπολογία μπορεί να συνεισφέρει στην ταχύτερη εξυπηρέτηση των πελατών (λιγότερα άλματα), σε πιο αξιόπιστη μεταφορά των πακέτων (το δεύτερο επίπεδο επικοινωνίας έχει πολύ μικρότερη πιθανότητα σφαλμάτων απ' ότι το καθαρά ad-hoc), στην εξοικονόμηση σημαντικών πόρων ενέργειας και φόρτου επεξεργασίας (αφού ένας μεγάλος αριθμός από δρομολογητές απαλλάσσονται από το καθήκον της προώθησης της πληροφορίας), στις μεγαλύτερες δυνατότητες υποστήριξης QoS (οι πολυαλματικές ζεύξεις σε ασύρματο περιβάλλον με καθαρά ad-hoc τρόπο συνιστούν ένα, μάλλον, εφιαλτικό σενάριο), και στην αυξημένη ευχέρεια συντήρησης των δρόμων (αφού οι υπέρ-κόμβοι έχουν πολύ μεγάλο αποθηκευτικό χώρο χωρίς το πρόβλημα της ενέργειας, κεντροκοπιώντας τον έλεγχο των κλήσεων). Σε γενικές γραμμές ένα τέτοιο σχήμα, δίνει την αίσθηση ενός δικτύου κορμού μέσα στην έντονη κινητικότητα των δρομολογητών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΕΙΔΗ ΠΑΚΕΤΩΝ

1. Πακέτο Hello

Σκοπός: Γνωστοποίηση και διαμόρφωση της πληροφορίας της τοπικής γειτονιάς για κάθε κόμβο, και απόκτηση γνώσης για το πόσο μακριά βρίσκεται (από πλευράς αριθμού αλμάτων) από το κοντινότερο WLAN. Δεν εκπέμπεται περιοδικά αλλά μόνο όταν ένας κόμβος εισέρχεται σε ένα υπάρχον δίκτυο ή θέλει να διαμορφώσει μία νέα δικτυακή τοπολογία για τις ανάγκες μιας επικοινωνίας, ή ακόμη κι όταν βρεθεί στην εμβέλεια ενός ασύρματου τοπικού δικτύου, όπου λαμβάνει το beacon σήμα από τον υπέρ-κόμβο. Στην τελευταία, μάλιστα, περίπτωση προκαλείται η παραγωγή αντίστοιχων μηνυμάτων στα όρια όλου του δικτύου προσφέροντας, ταυτόχρονα, την πολύτιμη πληροφορία απόστασης από το WLAN στην περιοχή του οποίου κινήθηκε ο εν λόγω κόμβος. Πρέπει να σημειωθεί, επίσης, ότι η μετάδοση των hello μηνυμάτων προκαλείται και στην περίπτωση που διαπιστωθούν αλλαγές στην δικτυακή τοπολογία με σκοπό την αναδιαμόρφωση της πληροφορίας που φέρουν οι κόμβοι για την τοπική τους γειτονιά.

Τα hello μηνύματα έχουν τον χαρακτήρα της ευρυεκπομπής (broadcast) αφού στέλλονται παντού με παραλήπτες το σύνολο των γειτόνων του ενός άλματος. Δεν περιέχουν πεδίο TTL (Time To Live) αφού κάθε κινητός σταθμός μεταδίδει ένα hello πακέτο μόνο στην περιοχή του ενός άλματος μακριά, και προκαλεί την εκπομπή νέων μηνυμάτων hello από πλευράς των παραληπτών με τα δικά τους, πλέον, στοιχεία.

Αυτή η διαδικασία δεν δίνει σε κάθε δρομολογητή την πληροφορία του ακριβούς δρόμου επικοινωνίας με οποιοδήποτε WLAN, αλλά το δεδομένο της απόστασης σε άλματα που βρίσκεται μακριά από τον κοντινότερο υπέρ-κόμβο. Για να γνωρίζει κάθε κόμβος τον δρόμο προς τον υπέρ-κόμβο θα απαιτούνταν μεγαλύτερο φορτίο σε πλεονάζουσα πληροφορία ελέγχου – overhead – και μεγαλύτερη ανάγκη σε χωρητικότητα μνήμης για να διατηρεί κάθε κινητή μονάδα τα δεδομένα, σπατάλη ενέργειας για την επεξεργασία και μετάδοση περισσότερων πληροφοριών με συνέπεια την, μάλλον, ανούσια κατάληψη πόρων του συνολικού συστήματος.

HELLO πακέτο

Ενδείκτης Πακέτου	Διεύθυνση Κόμβου	Λίστα γειτόνων του ενός άλματος	Ενδείκτης μπαταρίας	Hopcount
-------------------	------------------	---------------------------------	---------------------	----------

Ένα hello πακέτο περιλαμβάνει τα εξής πεδία τιμών:

- ◆ *Ενδείκτης Πακέτου*: χαρακτηριστικός αριθμός 3 bit ο οποίος χρησιμοποιείται για να προσδιορίζει τα μεταδιδόμενα πακέτα
- ◆ *Διεύθυνση κόμβου*: χαρακτηριστικός αριθμός δικτύου, μοναδικός για κάθε κόμβο
- ◆ *Λίστα γειτόνων του ενός άλματος*: διευθύνσεις των κόμβων με τους οποίους μπορεί άμεσα να επικοινωνήσει ο κινητός σταθμός
- ◆ *Ενδείκτης μπαταρίας*: αριθμός που δηλώνει το επίπεδο ενέργειας στο οποίο βρίσκεται ο κόμβος
- ◆ *Hopcount*: απόσταση από τον κοντινότερο υπέρ-κόμβο σε αριθμό αλμάτων. Κάθε κόμβος που εισέρχεται στην περιοχή εμβέλειας ενός τοπικού δικτύου αρχικοποιεί την τιμή του hopcount = 0. Μεταδίδει, ταυτόχρονα ένα hello πακέτο στους γείτονές του, οι οποίοι, με την σειρά τους, διαμορφώνουν την δική τους τιμή hopcount σύμφωνα με το proactive κομμάτι του πρωτοκόλλου σε σχέση με το σύνολο της πληροφορίας που λαμβάνεται από το δίκτυο. Τελικά, καταλήγει να κρατά την ελάχιστη τιμή hopcount από τους γείτονες του ενός άλματος αυξάνοντάς την κατά μία μονάδα.

2. RSCH πακέτο

Σκοπός: Το μήνυμα αυτό παίρνει το όνομά του από την λέξη RouteSearCH. Είναι ένα από τα δύο βασικά πακέτα που μεταδίδονται – μαζί με το RRET – κατά την διαδικασία εύρεσης δρόμου μεταξύ του κόμβου πηγής και προορισμού, και συντάσσεται από τον κινητό σταθμό που επιθυμεί να επικοινωνήσει με κάποιον άλλον. Το πακέτο προωθείται με την μέθοδο της επιλεκτικής πλημμύρας μέχρι και ένα άλμα πιο μακριά από τον κοντινότερο, προς την πηγή, υπέρ-κόμβο (καθορίζεται από το πεδίο TTL). Κάθε δρομολογητής που συμμετέχει στην προώθηση του πακέτου προς τον προορισμό εγγράφει σε αυτό την διεύθυνσή του ώστε να γνωρίζει ο παραλήπτης το επόμενο άλμα για την μετάδοση του RRET πακέτου προς την αντίστροφη πορεία, στην περίπτωση που επιλεγθεί το συγκεκριμένο μονοπάτι για τις ανάγκες της επικοινωνίας. Ο προορισμός επιλέγει την κατάλληλη διαδρομή ανάμεσα σε

εκείνες που καθορίζονται από τα RSCH πακέτα που έχει δεχθεί ανάλογα με τις τιμές κόστους και τον μετρητή επικινδυνότητας αυτών.

RSCH πακέτο

Ενδείκτης Πακέτου	Σημαία (1 bit)	Διεύθυνση Πηγής	Διεύθυνση Προορισμού	Αριθμός Αίτησης	TTL	Τιμή Κόστους	Μετρητής Επικινδυνότητας	Διεύθυνση Δρομολογητή
-------------------	----------------	-----------------	----------------------	-----------------	-----	--------------	--------------------------	-----------------------

Ένα RSCH πακέτο περιλαμβάνει τα παρακάτω πεδία τιμών:

- ◆ *Ενδείκτης Πακέτου*: χαρακτηριστικός αριθμός 3 bit ο οποίος χρησιμοποιείται για να προσδιορίζει τα μεταδιδόμενα πακέτα
- ◆ *Σημαία*: πρόκειται για ένα bit το οποίο λαμβάνει την τιμή 0 όταν το μήνυμα συντάσσεται από τον κόμβο της πηγής ενώ παίρνει την τιμή 1 όταν στην προώθηση του πακέτου προς τον τελικό προορισμό συμμετέχει κάποιο τοπικό δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο ενημερώνεται ο προορισμός για τον αποστολέα του RSCH πακέτου και έμμεσα γνωρίζει εάν χρειάζεται να μεταδώσει μία απάντηση RFND προς τον κοντινότερο υπέρ-κόμβο – εάν δεν έχει ήδη συμμετάσχει ο τελευταίος στην δρομολόγηση του RSCH πακέτου (τιμή 1) – ή αν απαιτείται μονάχα η επιστροφή, απλώς, του RRET μηνύματος, για την επικύρωση της επιλεγθείσας διαδρομής, στον κόμβο της πηγής (τιμή 0).
- ◆ *Διεύθυνση Πηγής*: είναι ο χαρακτηριστικός αριθμός δικτύου, μοναδικός για κάθε δρομολογητή και αναφέρεται στον κόμβο της πηγής.
- ◆ *Διεύθυνση Προορισμού*: είναι ο χαρακτηριστικός αριθμός δικτύου, μοναδικός για κάθε δρομολογητή και αναφέρεται στον κόμβο του προορισμού.
- ◆ *Αριθμός Αίτησης*: είναι ένας συγκεκριμένος αριθμός που φέρει κάθε τέτοιο μήνυμα ώστε μαζί με τις διευθύνσεις πηγής και προορισμού να πιστοποιείται μοναδικά η ταυτότητά του. Έτσι, κάθε κόμβος που είναι υπεύθυνος για την προώθηση ενός RSCH πακέτου εξετάζει αυτά τα τρία πεδία κι εφόσον δεν εξυπηρέτησε νωρίτερα μία αίτηση με τα ίδια χαρακτηριστικά συνεχίζει την δρομολόγηση του πακέτου, αλλιώς το απορρίπτει. Ο αριθμός αίτησης καθορίζεται αρχικά από την πηγή και αυξάνεται κατά μια μονάδα κάθε φορά που πραγματοποιείται επαναμετάδοση του RSCH πακέτου από την πηγή.
- ◆ *TTL (Time To Live)*: είναι ένας αριθμός που δηλώνει μέχρι πόσα άλματα θα προωθηθεί το μήνυμα μέσα στο δίκτυο. Καθορίζεται από την τιμή hopcount του κόμβου της πηγής. Συγκεκριμένα, είναι $TTL = \text{hopcount} + 1$, ώστε αν βρίσκεται ο κόμβος του προορισμού κοντά στην περιοχή του τοπικού δικτύου να βρεθεί απευθείας, χωρίς την συμμετοχή των υπέρ-κόμβων. Όταν το RSCH πακέτο φθάσει στον κοντινότερο υπέρ-κόμβο για την

περάτωση της διαδικασίας εύρεσης δρόμου, τότε, καθορίζεται εκ νέου καινούρια τιμή TTL (αφού το hopcount των κινητών σταθμών που βρίσκονται στην εμβέλεια των τοπικών δικτύων έχει μηδενική τιμή) ανάλογα με το ποια πληροφορία υπάρχει για τον προορισμό. Αν δεν υπάρχει καμία πληροφορία η τιμή του TTL απειρίζεται.

- ◆ *Τιμή Κόστους:* πάνω σε αυτό το πεδίο του πακέτου προστίθεται – από κάθε κόμβο που το προωθεί – ο αριθμός που δηλώνει το επίπεδο ενέργειάς του, ώστε το RSCH που θα φτάσει, τελικά, στον προορισμό να περιέχει την συνολική ενεργειακή ταυτότητα της οδού επικοινωνίας.
- ◆ *Μετρητής Επικινδυνότητας:* είναι μία τιμή που δηλώνει τον συνολικό αριθμό των κόμβων που λαμβάνουν μέρος στο μονοπάτι επικοινωνίας και παρουσιάζουν πρόβλημα συνδεσιμότητας, δηλαδή, έχουν μόνο έναν γείτονα. Κατά την προώθηση ενός RSCH πακέτου, κάθε δρομολογητής αυξάνει την τιμή του μετρητή κατά 1 όταν δεν έχει παραπάνω από έναν γειτονικούς κόμβους, αλλιώς δεν την μεταβάλλει καθόλου. Με αυτό τον τρόπο, η τελική μορφή του πακέτου που φτάνει στον προορισμό περιλαμβάνει τον βαθμό των προβλημάτων συνδεσιμότητας στην συγκεκριμένη διαδρομή – όσο μεγαλύτερη η τιμή του μετρητή, τόσο οξύτερο το πρόβλημα.
- ◆ *Διεύθυνση Δρομολογητή:* σε αυτό τον χώρο του μηνύματος, κάθε κόμβος που προωθεί ένα RSCH πακέτο εγγράφει την διεύθυνση του ώστε να γνωρίζει ο παραλήπτης (διατηρώντας την πληροφορία) το επόμενο άλμα για την αντίστροφη πορεία, την απάντηση επικύρωσης προς την πηγή. Σε επόμενο άλμα ο δρομολογητής διατηρεί αυτή την διεύθυνση του αποστολέα και γράφει πάνω σε αυτή την δικιά του. Έτσι, κάθε κινητός σταθμός γνωρίζει μόνο το επόμενο άλμα και όχι την συνολική διαδρομή.

3. RFND πακέτο

Σκοπός: πρόκειται για τα αρχικά της λέξης RouteFouND. Συντάσσεται από τον κόμβο του προορισμού ώστε να ενημερώσει τους υπέρ-κόμβους ότι βρέθηκε απευθείας δρόμος επικοινωνίας με τον κόμβο της πηγής και δεν απαιτείται η συμμετοχή των τοπικών δικτύων για τις ανάγκες της αναζήτησης.

RFND πακέτο

Ενδείκτης Πακέτου	Διεύθυνση Πηγής	Διεύθυνση Προορισμού	Αριθμός Απάντησης	TTL
-------------------	-----------------	----------------------	-------------------	-----

Περιλαμβάνονται τα εξής πεδία τιμών:

- ◆ *Ενδείκτης Πακέτου*: χαρακτηριστικός αριθμός 3 bit ο οποίος χρησιμοποιείται για να προσδιορίζει τα μεταδιδόμενα πακέτα
- ◆ *Διεύθυνση Πηγής*: είναι ο χαρακτηριστικός αριθμός δικτύου για τον κόμβο της πηγής που συνέταξε το αντίστοιχο RSCH μήνυμα.
- ◆ *Διεύθυνση Προορισμού*: είναι ο χαρακτηριστικός αριθμός δικτύου για τον κόμβο του προορισμού.
- ◆ *Αριθμός Απάντησης*: είναι ο χαρακτηριστικός αριθμός που πιστοποιεί μαζί με τις δύο παραπάνω παραμέτρους μοναδικά την ταυτότητα του πακέτου. Ο αριθμός αυτός είναι ο ίδιος με τον αντίστοιχο αριθμό αίτησης του RSCH, ώστε να γίνεται κατανοητό σε ποια αίτηση αναφέρεται η απάντηση.
- ◆ *TTL (Time To Live)*: είναι ο αριθμός των αλμάτων που θα μεταδοθεί το πακέτο μέσα στο δίκτυο. Αφού προορίζεται για τον κοντινότερο υπέρ-κόμβο, η παράμετρος αυτή ορίζεται στην τιμή hopcount.

4. RRET πακέτο

Σκοπός: είναι τα αρχικά από την λέξη RouteRETurn. Πρόκειται για το πακέτο που συντάσσεται από τον κόμβο του προορισμού για να γνωστοποιήσει την εγκυρότητα της υποψήφιας διαδρομής που ορίστηκε από το αντίστοιχο RSCH. Ο τελικός κόμβος-στόχος του μηνύματος είναι ο κόμβος της πηγής από τον οποίο και προήλθε το RSCH. Ο κόμβος του προορισμού μπορεί να λάβει πολλά διαφορετικά RSCH αλλά μόνο ένα RRET πακέτο θα επιστρέψει στην πηγή, αυτό του επικρατέστερου δρόμου επικοινωνίας.

RRET πακέτο

Ενδείκτης Πακέτου	Διεύθυνση Πηγής	Διεύθυνση Προορισμού	Αριθμός Πακέτου	Διεύθυνση Δρομολογητή
-------------------	-----------------	----------------------	-----------------	-----------------------

Περιλαμβάνει τα παρακάτω πεδία τιμών:

- ◆ *Ενδείκτης Πακέτου*: χαρακτηριστικός αριθμός 3 bit ο οποίος χρησιμοποιείται για να προσδιορίζει τα μεταδιδόμενα πακέτα
- ◆ *Διεύθυνση Πηγής*: είναι ο χαρακτηριστικός αριθμός δικτύου που σχετίζεται με τον κόμβο της πηγής – τον κόμβο που εκκίνησε την διαδικασία της αναζήτησης.

- ◆ *Διεύθυνση Προορισμού*: είναι ο χαρακτηριστικός αριθμός δικτύου που σχετίζεται με τον κόμβο του προορισμού – ο οποίος και συντάσσει το RRET πακέτο.
- ◆ *Αριθμός πακέτου*: είναι ο ίδιος αριθμός που ορίζει το αντίστοιχο RSCH πακέτο. Έτσι, ορίζεται μοναδικά ανάμεσα σε όλα τα υπόλοιπα μηνύματα στο δίκτυο.
- ◆ *Διεύθυνση Δρομολογητή*: στον χώρο αυτό του πακέτου κάθε δρομολογητής, που προωθεί το πακέτο προς την πηγή, εγγράφει την διεύθυνσή του αφού, πρώτα, κρατήσει στην μνήμη του την διεύθυνση του αποστολέα. Με αυτό τον τρόπο, ο κάθε κόμβος ή υπέρ-κόμβος που συμμετέχει στην δρομολόγηση γνωρίζει ποιο είναι το επόμενο άλμα για την πορεία προς τον προορισμό (hop-by-hop).

5. RUPD πακέτο

Σκοπός: είναι τα αρχικά της λέξης RouteUPDate. Χρησιμοποιείται στη διαδικασία της συντήρησης του δρόμου για την γνωστοποίηση σφαλμάτων σε μία οδό επικοινωνίας, όταν διαπιστωθεί αποτυχία κάποιας ζεύξης από έναν κόμβο που συμμετέχει σε αυτή. Υπεύθυνος για την μετάδοσή του είναι ο κόμβος που διαπιστώνει το σφάλμα στο δίκτυο κι έχει στόχο την ενημέρωση των γειτόνων και τελικά τον επανακαθορισμό της τοπικής γειτονιάς κάθε κόμβου και των ομάδων τους MPR.

RUPD πακέτο

Ενδείκτης Πακέτου	Διεύθυνση Κόμβου	Εσφαλμένη Ζεύξη
----------------------	---------------------	--------------------

Περιλαμβάνει τις εξής παραμέτρους :

- ◆ *Ενδείκτης Πακέτου*: χαρακτηριστικός αριθμός 3 bit ο οποίος χρησιμοποιείται για να προσδιορίζει τα μεταδιδόμενα πακέτα
- ◆ *Διεύθυνση Κόμβου*: αναγράφεται ο χαρακτηριστικός αριθμός του κόμβου που διαπίστωσε το σφάλμα στα πλαίσια μίας επικοινωνίας.
- ◆ *Εσφαλμένη Ζεύξη*: περιγράφει με ακρίβεια σε ποια ζεύξη έχει παρουσιαστεί σφάλμα έτσι ώστε να διαγράψουν οι γειτονικοί κόμβοι τη ζεύξη αυτή από τη μνήμη τους.

6. RERR πακέτο

Σκοπός: είναι τα αρχικά της λέξης RouteError. Χρησιμοποιείται στην διαδικασία της συντήρησης του δρόμου για την γνωστοποίηση στην πηγή ότι ο κόμβος που εντόπισε το σφάλμα στην αρχική διαδρομή δεν έχει τη δυνατότητα προσδιορισμού μιας νέας εναλλακτικής διαδρομής και ότι το έργο αυτό θα πρέπει να το αναλάβει πάλι η πηγή. Στη μετάδοσή του μοιάζει με το πακέτο RRET.

RERR πακέτο

Ενδείκτης Πακέτου	Διεύθυνση Πηγής	Διεύθυνση Προορισμού	Αριθμός Αίτησης
-------------------	-----------------	----------------------	-----------------

Περιλαμβάνει τις εξής παραμέτρους :

- ◆ *Ενδείκτης Πακέτου*: χαρακτηριστικός αριθμός 3 bit ο οποίος χρησιμοποιείται για να προσδιορίζει τα μεταδιδόμενα πακέτα
- ◆ *Διεύθυνση Πηγής*: είναι ο χαρακτηριστικός αριθμός δικτύου για τον κόμβο της πηγής που αρχικά συνέταξε το αντίστοιχο RSCH μήνυμα.
- ◆ *Διεύθυνση Προορισμού*: είναι ο χαρακτηριστικός αριθμός δικτύου για τον κόμβο του προορισμού.
- ◆ *Αριθμός Αίτησης*: είναι ο χαρακτηριστικός αριθμός που πιστοποιεί μαζί με τις δύο παραπάνω παραμέτρους μοναδικά την ταυτότητα του πακέτου. Ο αριθμός αυτός είναι ο ίδιος με τον αντίστοιχο αριθμό αίτησης του RSCH, ώστε να γίνεται κατανοητό σε ποια αίτηση αναφέρεται η εν λόγω διαπίστωση αδυναμίας δημιουργίας σύνδεσης.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ABR	Associativity-Based long-lived Routing
ACF	Association Control Function
ACK	Acknowledgement
AODV	Ad Hoc On-Demand Distance Vector
AP	Access Point
ARQ	Automatic Repeat Request
ASCH	Association Control CHannel
BCH	Broadcast CHannel
BRP	Broadcast Resolution Protocol
BSS	Basic Service Set
CA	Collision Avoidance
CC	Central Controller
CDMA	Code Division Multiple Access
CL	Convergence Layer
C-PDU	Control Protocol Data Unit
CSGR	Cluster Switch Gateway Routing
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CTS	Clear To Send
DCC	Data Link Control Connection Control
DCF	Distributed Coordination Function
DCCH	Dedicated Control CHannel
DFS	Dynamic Frequency Selection
DIFS	DCF InterFace Space
DL	DownLink
DLC	Data Link Control
DR	Data Rate
DS	Distribution System
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector
DSR	Dynamic Source Routing
DSS	Distribution System Service
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EC	Error Control
EIFS	Extended InterFrame Space
ESS	Extended Service Set
FCA	Fixed Capacity Agreement
FCH	Frame Control CHannel
FEC	Forward Error Control
FH	Frequency Hopping
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FN	Forwarding Node
FSA	Fixed Slot Allocation
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
GPR	General Packet Radio

HEE	Home Extension Environment
HIC	Highest Connectivity
HID	Highest ID
HR	High Rate
IARP	IntraZone Routing Protocol
IBSS	Independent Basic Service Set
ICT	In-Cluster Traffic
ID	IDentification
IERP	IntErzone Routing Protocol
IFS	InterFrame Space
IRDA	InfraReD Association
ISC	Inter Subnet Connection
ISDN	Integrated System Digital Network
LAN	Local Area Network
LAR	Location-Aided Routing
LCCH	Link Control CHannel
LCH	Long Transport CHannel
LDV	Lowest Distance Value
LID	Lowest ID
LMP	Link Manager Protocol
LOS	Line Of Sight
LQS	Longest Queue Scheduling
L2CAP	Logical Link Control Application Protocol
MAC	Medium Access Control
MIB	Management Information Base
MLME	MAC Layer Management Entity
MMRP	Max-Min Routing Protocol
MPR	Multi Point Relaying
MRL	Message Retransmission List
MT	Mobile Terminal
NACK	Negative ACKnowledgement
NAV	Network Allocation Vector
NET-ID	NETwork-ID
NPDU	Network Protocol Data Unit
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open System Interconnection
PAN	Personal Area Network
PC	Personal Computer
PCF	Point Coordination Function
PCN	Personal Communication Network
PDA	Personal Digital Assistant
PDU	Protocol Data Unit
PHY	PHYSical Layer
PLCP	Physical Layer Convergence Protocol
PMD	Physical Medium Dependent
PSTN	Public Switched Telephony Network
QoS	Quality of Service
RCH	Random Access CHannel
RDRP	Request-Delay Routing Protocol
RERR	Route ERRor

RFND	Route FouND
RG	Resource Grant
RID	Router ID
RLC	Radio Link Control
RR	Radio Resource
RRC	Radio Resource Control
RREP	Route REPlY
RREQ	Route REQuEst
RRET	Route RETurn
RSCH	Route SearCH
RSS	Received Signal Strength
RTS	Request To Send
RUPD	Route UPDate
SBCH	Slow Broadcast CHannel
SCH	Short Transport CHannel
SCO	Service Connection-Oriented
SDP	Service Discovery Protocol
SDU	Signaling Data Unit
SIFS	Short InterFrame Space
SME	Station Management Entity
SNR	Signal-Noise Ratio
SS	Station Service
SSCS	Service Specific Convergence Sublayer
SSR	Signal Stability Routing
STAR	Source Tree Adaptive Routing
TCP	Transaction Capabilities Protocol
TCS	Telephony Control Service
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TORA	Temporally ORdered Algorithm
TTL	Time To Live
UDCH	User Data CHannel
UL	UpLink
U-PDU	User-PDU
WAP	Wireless Application Protocol
WLAN	Wireless Local Area Network
WRP	Wireless Routing Protocol
ZRP	Zone Routing Protocol

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *Ad Hoc Mobile Wireless Networks*, C – K Toh, Prentice Hall 2002
2. *Ad Hoc Networking*, C. Perkins, Addison – Welsey 2001
3. *Bluetooth Revealed*, B. A. Miller, C. Bisdikian, Prentice Hall 2001
4. **“DSR – based Energy – aware Routing Protocols in Ad Hoc Networks”**, W. Yu, J. Lee
5. **“A Comprehensive Energy Conservation Solution for Mobile Ad Hoc Networks”**, J. A. Stine, G. Veciana, ICC 2002
6. **“MPR – based Hybrid Routing for Mobile Ad Hoc Networks”**, J. Inwheel, S. G. Batsell
7. **“A Cluster – based Routing Protocol for Ad Hoc Wireless Networks”**, I. Chakraborty, G. Barua
8. **“A Rate Adaptation Scheme and Interference – aware Routing Algorithm for Ad Hoc Networks”**, W. H. Yuen, H. Lee, T. D. Andersen
9. **“A TDMA – based Bandwidth Reservation Protocol for QoS Routing in a Wireless Mobile Ad Hoc network”**, W. Liao, Y. Tseng, K. Shih
10. **“A More Reliable Ad Hoc Multihop Routing Protocol”**, T. Okuda, S. Ishihara, T. Watanabe
11. **“Signaling and QoS Guarantees in Mobile Ad Hoc Networks”**, C. Yeh, H. T. Mouftah, H. Hassanein
12. **“Performance Study of Access Control in Wireless LANs – IEEE 802.11 DFWMAC and ETSI RES 10 HIPERLAN”**, J. Weinmiller, M. Schlager, A. Festag, A. Wolisz
13. **“HiperLAN/2 – The Broadband Radio Transmission Technology Operating in the 5 GHz Frequency Band”**, M. Johnsson, HiperLAN/2 Global Forum, 1999
14. **“Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERLAN Type 2; Functional Specification Data Link Control (DLC) Layer; Part 4 – Extension for Home Environment”**, ETSI, 2000
15. **“Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERLAN Type 2; Data Link Control (DLC) Layer; Part 2: Radio Link Control (RLC) sublayer”**, ETSI, 2000
16. **“Quality of Service in HiperLAN/2 Multihop Ad Hoc Networks Based on Forwarding in the Frequency Domain”**, J. Peetz
17. **“HiperLAN/2 Multihop Ad Hoc Communication by Multiple – Frequency Forwarding”**, J. Peetz
18. **“Dynamic Clustering with Quality of Service Guarantees and Forwarder Selection in Wireless Ad Hoc Networks”**, J. Habetha, M. Nadler, D. Calvo de No
19. **“A Forwarding Concept for HiperLAN/2”**, N. Esseling, H. S. Vandra, B. Walke
20. **“A Concept for Interconnecting HiperLAN/2 Ad Hoc Subnets Operating on Different Frequency Channels”**, J. Peetz
21. **“Effects of Forwarder Coordination on the Data Transmission Across HiperLAN/2 Ad Hoc Subnets”**, J. Peetz, B. Strahinjc
22. **“HiperLAN/2 Ad Hoc Network Configuration by CC Selection”**, J. Peetz, A. Hettich, O. Klein

23. **“Performance Evaluation of Multi-hop Ad Hoc Network Routing Protocols Handling Bi-directional VBR Traffic”**, E. Celebi, C. Ersoy

Ηλεκτρονική Αρθρογραφία

1. www.bluetooth.org
2. www.bluetooth.com
3. www.ieee.org
4. www.hiperlan2.com
5. www.adhoc-networking.de