

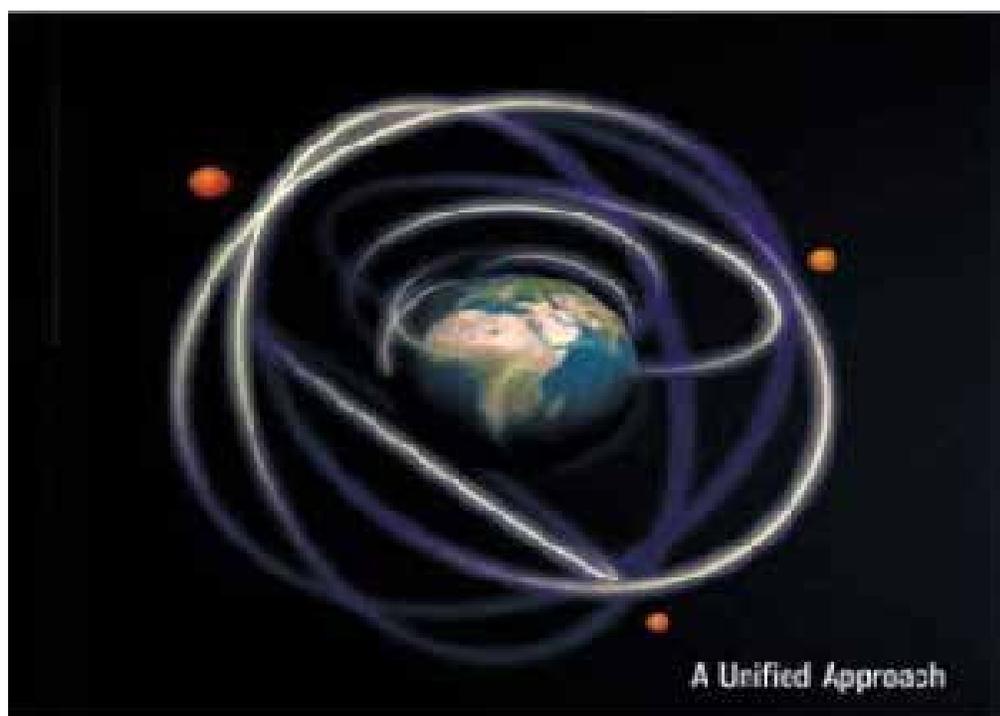


**Τ.Ε.Ι ΗΠΕΙΡΟΥ**  
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΗΠΕΙΡΟΥ**  
**ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **ΔΙΚΤΥΑ AD HOC**

**ΜΙΑ ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ**



**Επιβλέπων Καθηγητής : ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΓΓΕΛΗΣ**

**ΚΑΜΙΝΙΩΤΗ ΒΑΪΑ (Α.Μ: 1830)**

**ΑΡΤΑ 2004**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα.....	I
Πρόλογος.....	iii

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΜΙΑ ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

1.1	Μοντέλο λειτουργίας (μια γενική εικόνα).....	1
1.1.1	Ζεύξεις και συμμετρία.....	3
1.1.2	Ad hoc στο επίπεδο 2.....	4
1.1.3	Πολυεκπομπή (multicast).....	5
1.2	Εφαρμογές των δικτύων ad hoc.....	5
1.2.1	Τηλεδιασκέψεις.....	6
1.2.2	Δίκτυο στο οικιακό περιβάλλον.....	6
1.2.3	Σε περιπτώσεις ανάγκης.....	6
1.2.4	Άλλες εφαρμογές που μπορούν να εφαρμοστούν στα Ad Hoc.....	7
1.3	Παράγοντες που επηρεάζουν τα ad hoc (τεχνικοί-επιχειρηματικοί).....	8
1.3.1	Επεκτασιμότητα στα ασύρματα δίκτυα.....	10
1.3.2	Ποια η απαιτούμενη ενέργεια και ποια η καθυστέρηση.....	11
1.3.3	Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων σε ασύρματα δίκτυα.....	13
1.3.4	Η ασφάλεια στα ασύρματα δίκτυα.....	14
1.3.5	Ζητήματα κάλυψης.....	15
1.3.6	Επίπεδο μόρφωσης των χρηστών.....	15

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ 17

2	Κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης.....	17
2.1	Πρωτόκολλα δρομολόγησης καθοδηγούμενα από πίνακες (table driven).....	18
2.1.1	Destination- Sequenced Distance –Vector Routing(DSDV).....	19
2.1.2	The Wireless Routing Protocol- WRP .....	21
2.1.3	Clusterhead Gateway Switch Routing (CGSR).....	23
2.2	Πρωτόκολλα Δρομολόγησης On Demand.....	25
2.2.1	Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing.....	25
2.2.2	Dynamic Source Routing (DSR).....	30
2.3	Υβριδικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης.....	31
2.3.1	Zone Routing Protocol (ZRP).....	31
2.4	QOS.....	32
2.4.1	Μονάδες μέτρησης QoS.....	33

2.4.2	Συμβιβαστικές αρχές.....	35
2.4.3	Qos και αλγόριθμοι δρομολόγησης.....	36

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3      AD HOC ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

3.1	Bluetooth.....	38
3.1.1	Εφαρμογές.....	40
3.1.2	Βασική αρχιτεκτονική συστήματος.....	41
3.1.3	Εγκατάσταση συνδέσεων.....	45
3.2	HIPERLAN/2 .....	48
3.2.1	Το δίκτυο HIPERLAN/2.....	49
3.2.2	Τι περιλαμβάνει το HIPERLAN/2.....	50

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι κινητοί υπολογιστές ,όπως οι φορητοί υπολογιστές (notebook computers) και οι ψηφιακοί προσωπικοί βοηθοί PDA(personal digital assistants),αποτελούν τον πλέον γοργά αναπτυσσόμενο τομέα της βιομηχανίας υπολογιστών. Πολλοί απ τους ιδιοκτήτες τέτοιων συσκευών διαθέτουν στο γραφείο τους επιτραπέζιες συσκευές συνδεδεμένες με LAN ή WAN και επιθυμούν να είναι συνδεδεμένοι με τη βάση τους ακόμα και όταν απουσιάζουν ή όταν βρίσκονται στο δρόμο. Εφόσον είναι αδύνατη η ενσύρματη σύνδεση μέσα σε αυτοκίνητα και αεροπλάνα , υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για ασύρματα δίκτυα.

Στην πραγματικότητα , η ψηφιακή ασύρματη μετάδοση δεν είναι καινούργια ιδέα. Ήδη από το 1901 , ο ιταλός φυσικός Γουλιέλμος Μαρκονι πραγματοποίησε την επίδειξη ενός ασύρματου τηλεγράφου για επικοινωνία ενός πλοίου με την ακτή, χρησιμοποιώντας τον κώδικα Morse (εξ άλλου οι τελείες και οι παύλες είναι ψηφιακές ). Τα σύγχρονα ασύρματα δίκτυα έχουν καλύτερη απόδοση αλλά η ιδέα παραμένει η ίδια.

Ο τομέας των ad hoc δικτύων προβάλλεται έντονα ανάμεσα στην άνευ προηγουμένου ανάπτυξη ,στην ποικιλία και την κλίμακα , των δικτυακών τοπολογιών. Έχουν εμφανιστεί νέοι ορίζοντες ασύρματης συνδεσιμότητας μαζί με μια νέα αίσθηση του αναπόφευκτου των ασύρματων μεταδόσεων δεδομενων, με τη βοήθεια του πρωτοκόλλου IP (Internet Protocol). Με τα νέα ασύρματα προϊόντα , η ερευνά έχει εξοικειώσει σε μεγάλο βαθμό τους μηχανικούς ότι το ασύρματο δίκτυο είναι τόσο καλό όσο και το ενσύρματο για τη μετάδοση δεδομένων, όσο κάποιος μπορεί να παραβλέψει τις διαφορές στις ταχύτητες μετάδοσης .

Στη συνέχεια περιγράφονται ,με λίγα λόγια , οι θεματικές ενότητες των κεφαλαίων που ακολουθούν.

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο εισάγεται η έννοια των ad hoc δικτύων ,εστιάζοντας στην σπουδαιότητα και σημασια τους στην εξέλιξη των δικτύων τρίτης γενιάς και παρουσιάζονται με λεπτομέρεια οι σύγχρονες εφαρμογές τους . 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 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πιο γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης που εφαρμόζονται στα δίκτυα ad hoc .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.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφονται οι 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 , πρόκειται για μια 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. Στη συνέχεια περιγράφεται τα ο 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 ) .

Τέλος ,αν και πολλοί πιστεύουν πως τα ασύρματα δίκτυα και οι ασύρματοι φορητοί υπολογιστές είναι η τάση του μέλλοντος , μια τουλάχιστον διαφωνία έχει ακουστεί. Ο Bob Metcalfe, ο εφευρέτης του Ethernet, έχει γράψει: "Οι φορητοί ασύρματοι υπολογιστές είναι σαν κινητές τουαλέτες χωρίς αποχέτευση. Συναθίζονται σε οχήματα ,εργοτάξια και συναυλίες ροκ. Η συμβουλή μου είναι να καλωδιώσετε το σπίτι σας και να παραμείνετε εκεί" (Metcalfe 1995) Θα ακολουθήσουν οι περισσότεροι τη συμβουλή του Metcalfe; Ο χρόνος θα δείξει.

Κλείνοντας τη συντομη αναφορά στο περιεχομενο της παρουσας εργασιας θα ηθελα να εκφρασω τις ειλικρινες και θερμες ευχαριστιες μου στον καθηγητη μου κ. Κωνσταντίνο Αγγέλη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο επίκαιρο και σημαντικό θέμα , για την βοήθεια του στην επίλυση των όποιων προβλημάτων παρουσιάστηκαν και τέλος για την όλκιμη συνεργασία μας .

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο και ξάδερφο μου Ακρίβο Βασίλειο για την πολύτιμη βοήθεια του.

Καμινιώτη Βαΐα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### ΜΙΑ ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

#### 1.1. Μοντέλο Λειτουργίας (μια γενική εικόνα λειτουργίας )

Γενικά 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 ένα πολύ βασικό στοιχείο που ένα δίκτυο υπολογιστών δεν μπορεί εξ' ορισμού να υπάρξει χωρίς αυτό.

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

*Ad hoc* δίκτυο είναι αυτό που δημιουργείται όταν χρειάζεται, χωρίς να είναι απαραίτητη η βοήθεια της υπάρχουσας υποδομής. Για παράδειγμα, κάποιος θα μπορούσε να ενεργοποιήσει 10 φορητούς υπολογιστές, όπου ο καθένας 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 δυνατότητα θα ήταν χρήσιμη ακόμα και στη περίπτωση όπου οι υπολογιστές ήταν στάσιμοι.

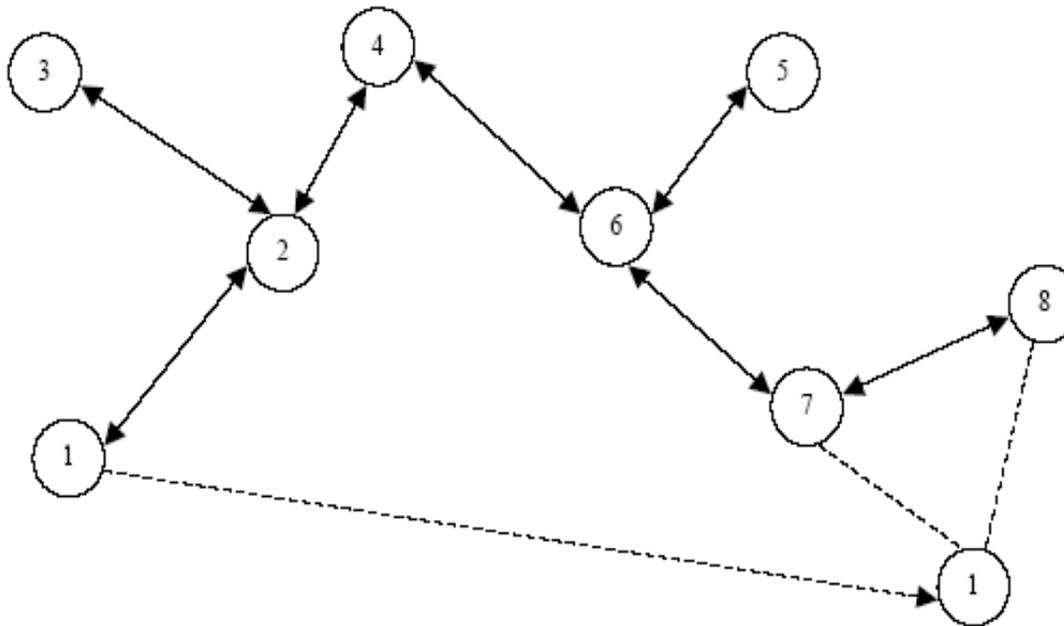
Στο χώρο σχεδιασμού ενός *ad hoc* δικτύου υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία διαστάσεων. Για παράδειγμα σκεφτείτε , αν η περιοχή ασύρματης μετάδοσης πρέπει να είναι μεγάλη ή μικρή σε σύγκριση με την γεωγραφική κατανομή των κινητών κόμβων. Αν όλοι οι κινητοί κόμβοι είναι εντός του μεταξύ τους εύρους, τότε δεν χρειάζεται δρομολόγηση και το *ad hoc* δίκτυο είναι εξ' ορισμού πλήρως συνδεδεμένο. Στην πράξη μια τέτοια κατάσταση θα ήταν ιδανική. Επιπλέον, η ισχύς που απαιτείται για να

επιτευχθεί πλήρης συνδεσιμότητα μπορεί να μην είναι η κατάλληλη, να σπαταλάει υπερβολική ενέργεια, να είναι πολύ ευάλωτη σε εντοπισμό ή ακόμα και παράνομη.

Έτσι, θα ασχοληθούμε με τις προτάσεις που παρέχουν λύσεις στην περίπτωση που κάποιοι 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).

Ένα δεύτερο παράδειγμα, θα μπορούσε να είναι η υπόθεση ότι οι χρήστες των ασύρματων συσκευών μπορούν να μετρήσουν τις σχετικές τους αποστάσεις 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 εφαρμογή θα λειτουργούσε, αλλά δεν θα ήταν και τόσο εξυπηρετική, οι πληροφορίες ζεύξης πιθανότατα θα άλλαζαν καθώς οι χρήστες κινούνται σε σχέση με τους υπολοίπους. Ουσιαστικά δεν μας ενδιαφέρει να περιορίσουμε την προσοχή μας στις προτάσεις που παρέχουν αυτόματη εγκατάσταση της τοπολογίας και δυναμική διαχείριση αυτής, δίνοντας στο χρήστη δυνατότητα κινητικότητας.

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. ΖΕΥΞΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ

Μερικά 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 στην πραγματικότητα δεν είναι συμβατές απαραίτητα με τον παραπάνω συμβιβασμό. Η υπόθεμενη συμμετρία αναφέρεται διότι η δρομολόγηση σε δίκτυα με μονόπλευρες ζεύξεις είναι αρκετά δύσκολη. Βέβαια, αν το δίκτυο παρουσιάζει μεγάλο βαθμό συνδεσιμότητας και σχετικά μικρό αριθμό μονόπλευρων ζεύξεων, τότε είναι δυνατό να εντοπιστούν εναλλακτικές διαδρομές που περιλαμβάνουν αποκλειστικά συμμετρικές ζεύξεις.

Εμφανίζεται ακόμη ένας παράγοντας που μετριάζει τη σημασία της απόφασης να αγνοηθούν οι ασύμμετρες διαδρομές. Μια μονόπλευρη ζεύξη είναι αρκετές φορές στα πρόθυρα κατάρρευσης. 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. Ad Hoc Στο Επιπέδου 2**

Γενικά τα πρωτόκολλα των *ad hoc* δικτύων τα συναντάμε στο επίπεδο 3. Πρακτικά μπορούν να προσαρμοστούν για χρήση στο επίπεδο 2. Για να γίνει εφικτή αυτή η διαδικασία θα πρέπει αρχικά να μεγενθύνει το πεδίο της διεύθυνσης IP και αντί για 32 bits να περιλαμβάνει 48 ή και περισσότερα. Για να γίνει εφικτή η παραπάνω διαδικασία θα πρέπει να δοθεί στο πρωτόκολλο η δυνατότητα να χρησιμοποιήσει τη διευθυνσιοδότηση του 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.

Όμως η δυνατότητα αυτής της λειτουργίας εξαλείφεται όταν η δρομολόγηση βασίζεται σε διευθύνσεις επιπέδου 2. Έτσι ο πίνακας δρομολόγησης περιλαμβάνει διευθύνσεις αυτού του επιπέδου. Αυτό σημαίνει 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, αν η αναζήτηση διαδρομής στο επίπεδο 2 έχει 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 δίκτυα *ad hoc* παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της πρόκλησης που παρουσιάζουν στο να διατηρηθεί το μονοπάτι επικοινωνίας μεταξύ πηγής και προορισμού, έστω κι αν κάποιοι 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 πειστικής 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.

## **1.2. Εφαρμογές των δικτύων *Ad Hoc***

Σε αυτό το σημείο της εργασίας μας θα εξετάσουμε κάποιες πιθανές εφαρμογές για τα *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. Τηλεδιασκέψεις

Η εργασία με τη σημερινή της μορφή είναι ένας χώρος με ραγδαία ανάπτυξη στις απαιτήσεις της τεχνολογίας. Η χρήση φορητών υπολογιστών είναι όλο και μεγαλύτερη, ιδιαίτερα στις εργασίες όπου η επικοινωνία είναι απαραίτητη και έξω από το περιβάλλον εργασίας. Ένα τέτοιο παράδειγμα μπορεί να είναι οι τηλεδιασκέψεις που ενδεχομένως απαιτεί τη δημιουργία ενός *ad hoc* δικτύου όταν οι χρήστες κινητών υπολογιστών βρίσκονται έξω απ το περιβάλλον εργασίας.

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. Δίκτυο στο οικιακό περιβάλλον

Ένα άλλο παράδειγμα, μπορεί να είναι η υπόθεση 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, βέβαια αυτή η υπόθεση γίνεται συνεχώς πράξη με το πέρασμα των χρόνων. 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.

### 1.2.3. Σε περιπτώσεις ανάγκης

Τα *ad hoc* δίκτυα μπορούν να βοηθήσουν στο να ξεπεραστεί η βλάβη των δικτύων κατά τη διάρκεια μιας 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 ς τεχνικές και πρωτόκολλα 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.. 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.

#### 1.2.4. Άλλες εφαρμογές που μπορούν να εφαρμοστούν τα *ad hoc*

Την εποχή όπου τα δυναμικά πρωτόκολλα δρομολόγησης εφαρμοστούν σε μεγαλύτερο εύρος, τα *ad hoc* δίκτυα θα καταστούν πλήρως διαθέσιμα και θα είναι χρήσιμα με πολλούς τρόπους τους οποίους δεν μπορούμε ακόμα να φανταστούμε με δεδομένη την τωρινή εμπειρία μας. 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. 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. Όμοια, σε νοσοκομεία, οι απασχολημένοι γιατροί και νοσοκόμες θέλουν να στηρίζονται 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 γίνονται τις περισσότερες φορές μέσω της υποδομής αλλά θα πρέπει οι ίδιες επικοινωνίες να μπορούν να υλοποιηθούν και χωρίς τη μεσολάβηση της υποδομής. Βέβαια όλα τα παραπάνω χρειάζονται πολλά χρόνια για να εφαρμοστούν αν και ορισμένα απ' αυτά χρησιμοποιούνται εν μέρη.

Ακόμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα δίκτυα ad hoc σε εφαρμογές όπως :

#### ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ

- Επικοινωνία σε πεδία μαχών
- Δίκτυα αισθητήρων
- Υπηρεσίες σε καταστάσεις ανάγκης

#### ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ

- Αυτοματοποίηση πωλήσεων
- PANS (Personal Area Networks)

#### ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ

- Συνδιαλέξεις
- Σεμινάρια
- Τηλεκπαίδευση
- Συνέδρια

### **1.3. Παράγοντες που Επηρεάζουν τα Ad Hoc Δίκτυα(τεχνικοί - επιχειρηματικοί)**

Οι κόμβοι που υπάρχουν 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 επέκτασιμότητας 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. Επεκτασιμότητα στα ασύρματα δίκτυα

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 έχει σαν αποτέλεσμα 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. Συνεπώς έχουμε διάφορα προβλήματα που θα πρέπει να δούμε.

1. 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.

2. 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.

3. 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.

Αρα, 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. Ποια η Απαιτούμενη Ενέργεια Και Ποια η 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:

**Ενας 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

#### α) ΜΕΙΩΜΕΝΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

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.

#### β) ΥΨΗΛΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

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. Η ασφάλεια στα ασύρματα δίκτυα

Όπως σε κάθε περίπτωση ασύρματης επικοινωνίας, η κίνηση σε ένα *ad hoc* δίκτυο είναι ευαίσθητη όσον αφορά την ασφάλεια. Το ιδιαίτερο σημείο σε ένα *ad hoc* δίκτυο είναι ότι οι 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 σημάνει 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.

### **1.3.5. 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.

### **1.3.6. Το επίπεδο μόρφωσης των χρηστών.**

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η εξάπλωση των ασύρματων δικτύων, είναι η μόρφωση των χρηστών. Πολλές λάθος επιλογές από τους χρήστες όπως δικτυακοί τόποι με μεγάλα αρχεία εικόνων και η είσοδος αλφαριθμητικών δεδομένων σε μικρές συσκευές είναι καταστάσεις προβληματικές για τους αρχάριους. Βέβαια αυτά τα προβλήματα σιγά σιγά εξαλείφονται καθώς αυξάνεται ο αριθμός PDAs και των τερματικών με WAP. Επίσης, οι περιορισμοί στις εισόδους από τους χρήστες περιορίζονται με τη χρήση απλοποιημένων επιλογών καταλόγου από ειδικά σχεδιασμένους δικτυακούς τόπους.

Τις περισσότερες φορές τα εμπόδια στην αποδοχή των χρηστών είναι πιο τετριμμένες ιδιότητες. Οι σύγχρονες ασύρματες συσκευές βασίζονται σε εξωτερικές

κεραίες για αξιόπιστη λειτουργία . Αυτό βέβαια πολλές φορές αποτελεί πρόβλημα με τη μορφή ενόχλησης. Αν πάρουμε για παράδειγμα κάποια ασύρματα τηλέφωνα ,όπου η επέκταση της κεραία αποτελεί μέσο για την βελτίωση της φωνής , θα δούμε ότι αν πάσα στιγμή η συσκευή μπορεί να καταστραφεί από απρόσεχτη χρήση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

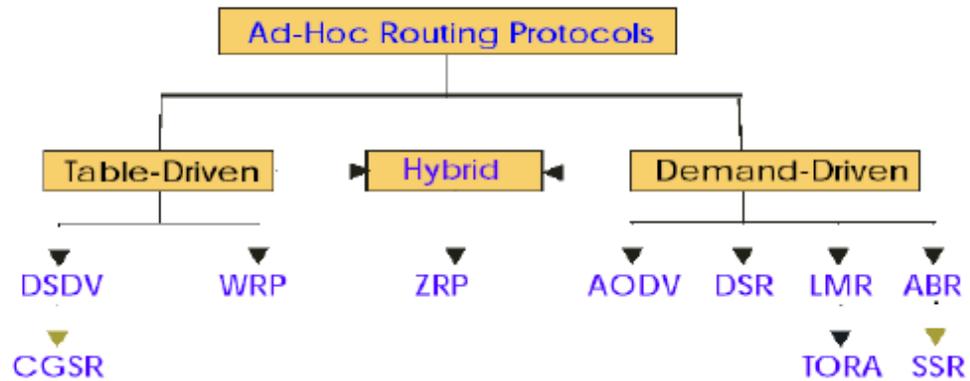
### Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Μια αποτυχία σε οποιεσδήποτε από τις απαιτήσεις ενός δικτύου μπορεί να υποβιβάσει την απόδοση και την αξιοπιστία του. Ένα πρωτόκολλο που υλοποιείται για να χρησιμοποιηθεί σε ένα τέτοιο δίκτυο πρέπει να μπορεί να ικανοποιήσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τους παρακάτω στόχους :

- Ø Υψηλή ρυθμαπόδοση
- Ø Χαμηλή μέση καθυστέρηση
- Ø Υποστήριξη ετερογενούς κίνησης(δεδομένα, φωνή, video)
- Ø Επεκτασιμότητα
- Ø Εξοικονόμηση ενέργειας
- Ø QoS

#### **2 Κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης**

Σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουμε τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που σχεδιάζονται για αυτά τα ειδικά δίκτυα και θα περιγράψουμε τη λειτουργία ορισμένων από τα πρωτόκολλα αυτά και επίσης θα συγκρίνουμε τα διάφορα χαρακτηριστικά τους. Η κύρια κατηγοριοποίηση των πρωτοκόλλων για ad hoc δίκτυα παρουσιάζεται στον πίνακα 1.



Πίνακας 1

## 2.1 Πρωτόκολλα δρομολόγησης καθοδηγούμενα από πίνακες (Table Driven).

Το χαρακτηριστικό αυτών των πρωτοκόλλων δρομολόγησης είναι :

- ∅ Ότι κάθε κόμβος διατηρεί έναν ή περισσότερους πίνακες που περιέχουν τις πληροφορίες δρομολόγησης για κάθε άλλο κόμβο στο δίκτυο.
- ∅ Όλοι οι κόμβοι ενημερώνουν αυτούς τους πίνακες ώστε να διατηρηθεί μια συνεπής και ενημερωμένη όψη του δικτύου.
- ∅ Όταν η τοπολογία δικτύων αλλάζει οι κόμβοι διαδίδουν τα μηνύματα αναπροσαρμογών σε όλο το δίκτυο προκειμένου να διατηρηθούν συνεπή και ενημερωμένα τα στοιχεία που περιέχουν οι πίνακες δρομολόγησης για ολόκληρο το δίκτυο.

Αυτά τα πρωτόκολλα δρομολόγησης διαφέρουν στη μέθοδο με την οποία οι πληροφορίες αλλαγής τοπολογίας διανέμονται στο δίκτυο.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά αυτής της κατηγορίας δρομολόγησης είναι :

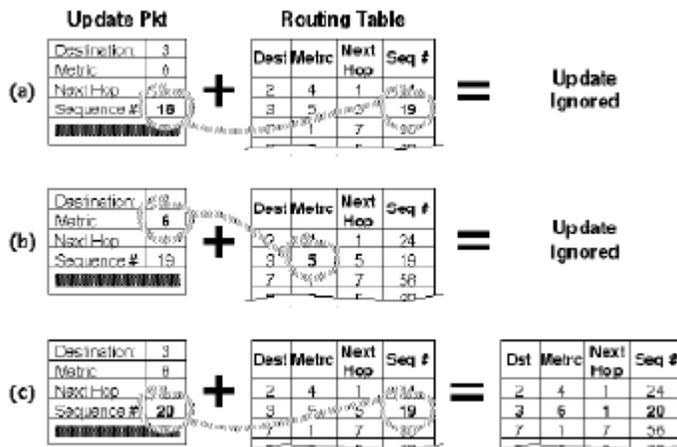
- Ελάχιστη καθυστέρηση εύρεσης δρόμου
- Επιπρόσθετο φορτίο μηνυμάτων ελέγχου
- Δεν μπορούν να υποστηρίξουν υψηλή κινητικότητα
- Διατηρούν διαδρομές για όλους τους κόμβους

### **2.1.1 Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV)**

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης (DSDV) που περιγράφεται είναι ένας αλγόριθμος που στηρίζεται σε πίνακες και βασίζεται στον κλασικό μηχανισμό δρομολόγησης Bellman-Ford. Οι βελτιώσεις που γίνονται στον αλγόριθμο Bellman-Ford περιλαμβάνουν την ελευθερία από τους βρόχους στη δρομολόγηση των πινάκων. Κάθε κινητός (mobile) κόμβος στο δίκτυο διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης στον οποίο όλοι οι πιθανοί προορισμοί μέσα στο δίκτυο καθώς και ο αριθμός μετακινήσεων σε κάθε προορισμό καταγράφονται. Κάθε είσοδος είναι χαρακτηρισμένη με έναν αριθμό ακολουθίας που ανατίθεται από τον κόμβο προορισμού. Οι αριθμοί ακολουθίας επιτρέπουν στους κινητούς κόμβους να διακρίνουν τις παλαιότερες διαδρομές από τις νέες. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται ο σχηματισμός βρόχων κατά την δρομολόγηση. Οι αναβαθμίσεις των πινάκων δρομολόγησης διαβιβάζονται περιοδικά σε όλο το δίκτυο προκειμένου να διατηρηθεί η συνέπεια των πινάκων. Για να βοηθηθεί το δίκτυο από την ενδεχομένως μεγάλη κυκλοφορία που τέτοιες αναβαθμίσεις μπορούν να παράγουν, μπορούν να υιοθετηθούν δύο πιθανοί τύποι πακέτων. Ο πρώτος είναι γνωστός ως "πλήρης απόρριψη" (full dump). Αυτός ο τύπος πακέτου μεταφέρει όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες δρομολόγησης και μπορεί να απαιτήσει τις πολλαπλάσιες μονάδες στοιχείων πρωτοκόλλου δικτύων (NPDUs). Κατά τη διάρκεια των περιόδων περιστασιακής μετακίνησης, αυτά τα πακέτα διαβιβάζονται σπάνια. Τα μικρότερα "επαυξητικά" πακέτα χρησιμοποιούνται για την μεταφορά μόνο εκείνων των

πληροφοριών που έχουν αλλάξει από την τελευταία “πλήρη απόρριψη”. Κάθε μια από αυτές τις μεταδόσεις πρέπει να ταιριάζει με το μέγεθος του NPDU αφού με τον τρόπο αυτό μειώνεται το ποσό κυκλοφορίας που παράγεται. Οι κινητοί (mobile) κόμβοι διατηρούν έναν επιπλέον πίνακα όπου εκεί καταχωρούνται τα στοιχεία που στέλνονται στα επαυξητικά πακέτα πληροφοριών δρομολόγησης (incremental routing information packets) .

Κάθε φορά που διαβιβάζεται ένα αναβαθμισμένο πακέτο, το πακέτο όχι μόνο περιέχει τη διεύθυνση του ενδεχόμενου προορισμού, αλλά περιέχει επίσης τη διεύθυνση του κόμβου που μεταβιβάζει το πακέτο αυτό και η διεύθυνση του εισάγεται στον πίνακα δρομολόγησης (εκτός αν το πακέτο αγνοείται). Το επόμενο σχήμα επεξηγεί πώς ένας κόμβος επεξεργάζεται ένα αναβαθμισμένο πακέτο.



Σχήμα 2.1 Παράδειγμα κόμβου που λαμβάνει 3 αναβαθμισμένα πακέτα

### Ανάλυση του DSDV

Ο DSDV είναι βασισμένος σε ένα συμβατικό πρωτόκολλο δρομολόγησης που ονομάζεται RIP, το οποίο είναι προσαρμοσμένο για τη χρήση στα adhoc δίκτυα. Η δρομολόγηση επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση των πινάκων δρομολόγησης που διατηρούνται από κάθε κόμβο. Ο όγκος της πολυπλοκότητας στον DSDV έγκειται στην

παραγωγή και τη διατήρηση αυτών των πινάκων δρομολόγησης. Ο DSDV απαιτεί οι κόμβοι να διαβιβάζουν περιοδικά τα αναπροσαρμοζόμενα πακέτα των πινάκων δρομολόγησης, ανεξάρτητα από την κυκλοφορία του δικτύου. Αυτά τα αναπροσαρμοζόμενα πακέτα μεταδίδονται σε όλο το δίκτυο έτσι ώστε κάθε κόμβος στο δίκτυο ξέρει πώς να φθάσει σε κάθε άλλο κόμβο. Δεδομένου ότι ο αριθμός κόμβων στο δίκτυο αυξάνεται, το μέγεθος των πινάκων δρομολόγησης και το εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth) που απαιτείται για να ενημερώσει τους πίνακες αυξάνεται επίσης. Αυτή η επιβάρυνση (overhead) είναι βασική αδυναμία του DSDV. Επιπλέον, οποτεδήποτε παρουσιαστούν αλλαγές στην τοπολογία, ο DSDV είναι ασταθής μέχρι ότου τα αναπροσαρμοζόμενα πακέτα διαδοθούν σε όλο το δίκτυο. Ο Broch βρήκε ότι ο DSDV έχει τομεγαλύτερο πρόβλημα (σε σχέση με άλλα πρωτόκολλα) όσον αφορά την δυνατότητα της κινητικότητας (mobility) των κόμβων.

### 2.1.2 The Wireless Routing Protocol- WRP

Το πρωτόκολλο αυτό εντοπίζει τις αναβαθμίσεις στους άμεσους γειτονικούς κόμβους. Όταν ένας νέος κόμβος A κινείται στη περιοχή ενός κόμβου B και ένα μήνυμα παραλαμβάνεται από αυτόν, ο κόμβος A προστίθεται στον πίνακα δρομολόγησης του B, και αποστέλλεται ένα πλήρες αντίγραφο του πίνακα. Όταν μια σύνδεση αποτυγχάνει, ένας κόμβος στέλνει αναβαθμίσεις στους γειτονικούς του κόμβους.

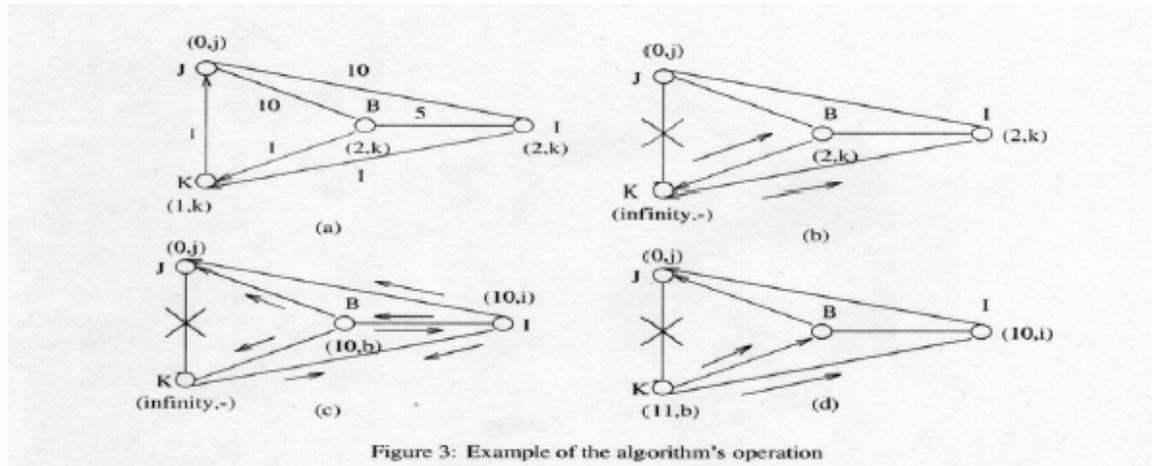
Το ασύρματο πρωτόκολλο δρομολόγησης (WRP) είναι ένα distance-vector πρωτόκολλο δρομολόγησης βασισμένο σε πίνακες δρομολόγησης. Κάθε κόμβος στο δίκτυο διατηρεί έναν πίνακα απόστασης (distance table), έναν πίνακα δρομολόγησης (routing table), έναν πίνακα σύνδεσης-κόστους (Link-Cost table) και μια λίστα επαναμετάδοσης μηνυμάτων. Ο πίνακας απόστασης ενός κόμβου X περιέχει την απόσταση κάθε κόμβου προορισμού Y μέσω κάθε γειτονικού κόμβου Z στο X. Περιέχει επίσης τον προς τα κάτω γειτονικό κόμβο του Z μέσω του οποίου αυτό το μονοπάτι πραγματοποιείται. Ο πίνακας δρομολόγησης του κόμβου X περιέχει την απόσταση κάθε κόμβου προορισμού Y από τον κόμβο X, τον πρόγονο και τον διάδοχο του κόμβου X σε αυτό το μονοπάτι. Περιέχει επίσης μια ετικέτα για να προσδιορίσει εάν η είσοδος είναι ένα απλό μονοπάτι, ένας βρόχος ή αν αυτή δεν ισχύει. Η καταχώρηση του προγόνου και

του διαδόχου στον πίνακα είναι ευεργετική στην ανίχνευση των βρόχων και στην αποφυγή των προβλημάτων χωρίς λύση. Ο πίνακας σύνδεσης-κόστους (Link-Cost table) περιέχει το κόστος της σύνδεσης σε κάθε γείτονα του κόμβου και τον αριθμό των διακοπών από τη στιγμή που ένα χωρίς λάθη μήνυμα παραλήφθηκε από εκείνο τον γείτονα. Ο κατάλογος επαναμετάδοσης μηνυμάτων (MRL) περιέχει τις πληροφορίες που επιτρέπουν σε έναν κόμβο να γνωρίζει ποιος από τους γειτονικούς του κόμβους δεν έχει λάβει γνώση του αναβαθμισμένου μηνύματος έτσι ώστε να μεταδώσει το αναβαθμισμένο αυτό μήνυμα σε εκείνο τον γειτονικό κόμβο.

Εάν δεν υπάρχει καμία αλλαγή στον πίνακα δρομολόγησης από την τελευταία αναβάθμιση (update), ο κόμβος απαιτείται να στείλει ένα απλό μήνυμα για να εξασφαλίσει τη συνδεσιμότητα. Κατά τη λήψη ενός αναβαθμισμένου μηνύματος ο κόμβος τροποποιεί τον πίνακα απόστασής του (Distance Table) και ψάχνει τα καλύτερα μονοπάτια χρησιμοποιώντας τις νέες πληροφορίες. Οποιοδήποτε νέο μονοπάτι που βρίσκεται με αυτό τον τρόπο μεταδίδεται πίσω στους αρχικούς κόμβους έτσι ώστε αυτοί να μπορούν να ενημερώσουν τους πίνακές τους. Ο κόμβος ενημερώνει επίσης τον πίνακα δρομολόγησης του εάν το νέο μονοπάτι είναι καλύτερο από το υπάρχον μονοπάτι. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού του αλγορίθμου είναι ότι ελέγχει τη συνέπεια όλων των γειτονικών του κόμβων κάθε φορά που ανιχνεύει μια αλλαγή στη σύνδεση, οποιοδήποτε και αν είναι αυτοί οι γειτονικοί κόμβοι.

Ουσιαστικά το WRP στηρίζεται στο να επικοινωνήσει για τις αλλαγές με τους γειτονικούς κόμβους, η οποία επικοινωνία διαδίδεται αποτελεσματικά σε όλο το δίκτυο. Το εμφανές πλεονέκτημα του WRP είναι η αξιοσημείωτη μείωση της πιθανότητας βρόχων στις υπολογισμένες διαδρομές. Το βασικό μειονέκτημα όμως του WRP για την δρομολόγηση σε ασύρματα δίκτυα είναι το γεγονός ότι οι κόμβοι δρομολόγησης διατηρούν συνεχώς τις πλήρεις πληροφορίες δρομολόγησης σε κάθε κόμβο δικτύων, οι οποίες αποκτήθηκαν με σχετικά υψηλό κόστος. Έτσι λοιπόν τα κυριότερα χαρακτηριστικά του αλγορίθμου WRP είναι τα παρακάτω: Πρόκειται για έναν αλγόριθμο εύρεσης μονοπατιού που χρησιμοποιεί τις πληροφορίες σχετικά με το μήκος του μονοπατιού και επιλέγει το συντομότερο μονοπάτι για κάθε προορισμό. Επίσης μειώνει το πρόβλημα του ατέρμονος υπολογισμού (Count to Infinity Problem). Τέλος ένα αναβαθμισμένο μήνυμα στέλνεται είτε μετά από την επεξεργασία των

αναβαθμίσεων από γειτονικούς κόμβους είτε μετά από μια αλλαγή στη σύνδεση με έναν γειτονικό.



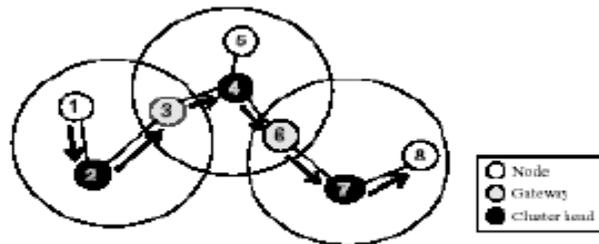
Σχήμα 2.2 Παράδειγμα αλγόριθμου εύρεσης μονοπατιού

### 2.1.3 Clusterhead Gateway Switch Routing (CGSR)

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης (CGSR) διαφέρει από το πρωτόκολλο DSDV στον τύπο διευθυνσιοδότησης και οργάνωσης δικτύων που υιοθετείται. Αντί ενός "επίπεδου" δικτύου, το CGSR είναι ένα τμηματοποιημένο (clustered) multihop ασύρματο δίκτυο με διάφορα σχέδια (αλγόριθμους) δρομολόγησης. Οι ερευνητές δηλώνουν ότι έχοντας την κεφαλή ενός τομέα (cluster head) και ελέγχοντας κατά αυτόν τον τρόπο μια ομάδα από ad-hoc κόμβους, ένα πλαίσιο για το χωρισμό κώδικα (μεταξύ των τομέων), η πρόσβαση καναλιών, η δρομολόγηση και η κατανομή εύρους ζώνης συχνοτήτων μπορούν να επιτευχθούν. Ένας αλγόριθμος επιλογής κεφαλής τομέα χρησιμοποιείται για να εκλέξει έναν κόμβο ως κεφαλή τομέα (cluster head) χρησιμοποιώντας έναν κατανεμημένο αλγόριθμο μέσα στον τομέα αυτόν. Το μειονέκτημα της κατοχής ενός cluster head αλγόριθμου είναι οι συχνές αλλαγές κεφαλών τομέων που μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην απόδοση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης δεδομένου ότι οι κόμβοι είναι απασχολημένοι με την διαδικασία επιλογής κεφαλών τομέων παρά την μετάδοση πακέτων. Ως εκ τούτου, αντί της διαρκούς επανεπιλογής κεφαλής τομέα κάθε φορά που αλλαγές στους τομείς πραγματοποιούνται, ένας νέος αλγόριθμος εισάγεται και ονομάζεται Least Cluster Change (LCC). Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο LCC, οι

κεφαλές τομέων αλλάζουν μόνο όταν δυο τουλάχιστο κεφαλές τομέων έρχονται σε επαφή, ή όταν ένας κόμβος κινείται μακριά από όλες τις κεφαλές τομέων.

Ο CGSR χρησιμοποιεί DSDV που λειτουργεί ως ο βασικός αλγόριθμος δρομολόγησης. Εντούτοις, τροποποιεί τον DSDV λόγω της χρησιμοποίησης μιας ιεραρχικής προσέγγισης δρομολόγησης με τομείς από κεφαλή σε πύλη (head to gateway) για να δρομολογήσει την κυκλοφορία από την πηγή στον προορισμό. Οι κόμβοι πυλών είναι κόμβοι που βρίσκονται μέσα στα πλαίσια επικοινωνίας δύο ή περισσότερων κεφαλών τομέων. Ένα πακέτο που στέλνεται από έναν κόμβο καθοδηγείται αρχικά από την κεφαλή του τομέα του, και έπειτα το πακέτο δρομολογείται από την κεφαλή τομέα σε μια πύλη που βρίσκεται σε άλλη κεφαλή τομέα. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να φτάσει το πακέτο στην κεφαλή τομέα του κόμβου προορισμού. Το πακέτο τέλος μεταβιβάζεται στον προορισμό. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει ένα παράδειγμα αυτού του σχεδίου δρομολόγησης.



Σχήμα 2.3 Παράδειγμα CGSR: Δρομολόγηση από τον κόμβο 1 στον κόμβο 8.

Χρησιμοποιώντας αυτήν την μέθοδο, κάθε κόμβος πρέπει να διατηρεί έναν "πίνακα μελών τομέων" όπου αποθηκεύεται η κεφαλή τομέα του προορισμού για κάθε κόμβο στο δίκτυο. Αυτοί οι πίνακες μεταδίδονται περιοδικά από κάθε κόμβο χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο DSDV. Οι κόμβοι ενημερώνουν τους πίνακες αυτούς στη διάρκεια λήψης ενός τέτοιου πίνακα από έναν γειτονικό κόμβο. Εκτός από τον πίνακα "μελών τομέων", κάθε κόμβος πρέπει επίσης να διατηρήσει έναν πίνακα δρομολόγησης, ο οποίος χρησιμοποιείται για να καθορίσει το επόμενο hop προκειμένου να φτάσουμε στον

προορισμό. Με την λήψη ενός πακέτου, ένας κόμβος θα συμβουλευθεί τον πίνακα μελών τομέων του και τον πίνακα δρομολόγησης για να καθορίσει το κοντινότερη κεφαλή τομέα κατά μήκος της διαδρομής προς τον προορισμό. Έπειτα ο κόμβος θα ελέγξει τον πίνακα δρομολόγησης του για να καθορίσει τον κόμβο προκειμένου να φθάσει στην επιλεγμένη κεφαλή τομέα και τέλος μεταδίδει το πακέτο στον κόμβο αυτό.

## 2.2 Πρωτόκολλα δρομολόγησης ON-Demand

Σε αντίθεση με τα table driven πρωτόκολλα δρομολόγησης όλες οι ενημερωμένες διαδρομές δεν διατηρούνται σε κάθε κόμβο, άντ' αυτού οι διαδρομές δημιουργούνται όταν και όπως απαιτείται. Όταν μια πηγή θέλει να στείλει σε έναν προορισμό, καλεί τους μηχανισμούς εύρεσης διαδρομών για να βρει το μονοπάτι προς τον προορισμό. Η διαδρομή παραμένει έγκυρη μέχρις ότου ο προορισμός είναι εφικτός ή μέχρι η διαδρομή δεν είναι πλέον απαραίτητη.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά αυτής της κατηγορίας δρομολόγησης είναι :

- Û Η πληροφορία για τη δρομολόγηση μεταδίδεται μόνο όταν χρειάζεται
- Û Κατανάλωση μικρότερου εύρους ζώνης
- Û Δραματική αύξηση καθυστέρησης για κάποιες εφαρμογές

Κάποια από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης αυτής της κατηγορίας είναι:

### 2.2.1 Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing

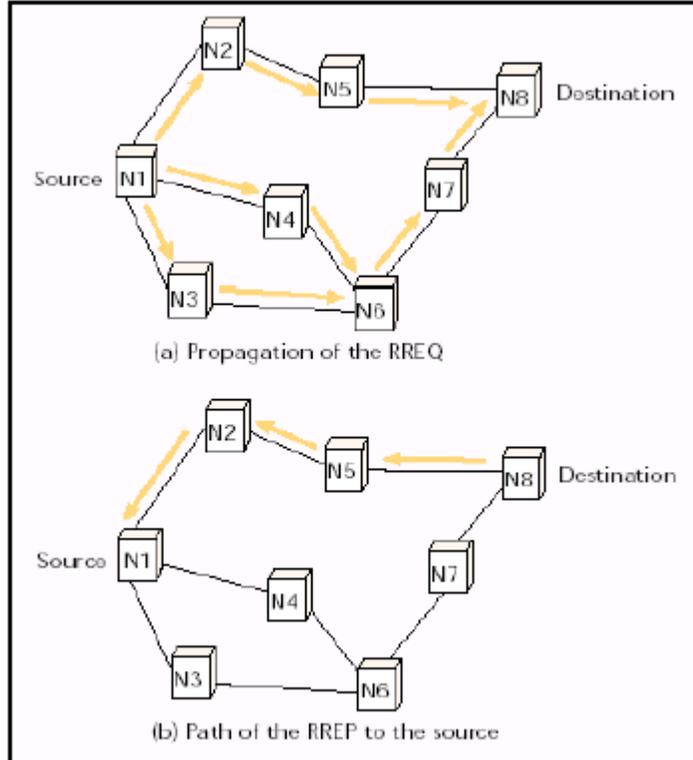
Το πρωτόκολλο δρομολόγησης AODV έχει τις ρίζες του στο πρωτόκολλο δρομολόγησης DSDV Εντούτοις, το AODV έχει σχεδιαστεί συγκεκριμένα για τα ειδικά

ασύρματα δίκτυα. Το AODV παρέχει γρήγορη εγκατάσταση διαδρομών και ελάχιστη επιβάρυνση ελέγχου.

### Ø Η λειτουργία του AODV

Το AODV είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που σχεδιάστηκε ειδικά για τα ειδικά κινητά δίκτυα. Εκτός από τη δρομολόγηση unicast υποστηρίζει και multicasting. Ο AODV είναι ένας αλγόριθμος- ζήτησης, το οποίο σημαίνει ότι οι διαδρομές μεταξύ των κόμβων δημιουργούνται μόνο όταν αυτό ζητείται από έναν κόμβο που θέλει να αποστείλει ένα μήνυμα. Οι διαδρομές διατηρούνται μόνο εφ' όσον τις χρειάζονται οι δημιουργοί. Το multicasting υποστηρίζεται με τη διαμόρφωση δέντρων που συντίθενται από ομάδες multicast κόμβων και των ενδιάμεσων κόμβων που απαιτούνται για να συνδέσουν τα μέλη ομάδας. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ισχύς των διαδρομών ο AODV χρησιμοποιεί αριθμούς ακολουθίας. Η εύρεση των διαδρομών στον AODV γίνεται μετά από ζήτηση και ακολουθεί ένας κύκλος εύρεσης διαδρομής μέσω μιας αίτησης / απάντησης. Όποτε απαιτείται μια διαδρομή μεταξύ δύο κόμβων, ο κόμβος πηγή μεταδίδει ραδιοφωνικά ένα αίτημα διαδρομών (RREQ) προς το δίκτυο. Οι κόμβοι που λαμβάνουν αυτό το RREQ θα ενημερώσουν τα στοιχεία τους για τον κόμβο πηγή και θα δημιουργήσουν δείκτες προς τον κόμβο πηγή στους πίνακες δρομολόγησης τους (η αντίστροφη διαδρομή ιδρύεται προκειμένου να διαβιβαστεί ένα πακέτο RREP πίσω στο δημιουργό από τον προορισμό ή από έναν ενδιάμεσο κόμβο που συνδέεται με τον προορισμό).

Το RREQ περιέχει τον πιο πρόσφατο αριθμό ακολουθίας προορισμού για τον οποίο ο κόμβος πηγή είναι ενήμερος. Ένας κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα RREQ μπορεί εκπέμψει μια απάντηση (RREP) πίσω στον κόμβο πηγή εάν: (1) είναι ο προορισμός ή (2) εάν έχει μια πιο νέα διαδρομή στον προορισμό (ο αριθμός ακολουθίας μεγαλύτερος ή ίσος με αυτόν που περιείχε στο RREQ). Διαφορετικά, ο κόμβος κάνει μια αναμετάδοση το RREQ. Όλοι οι κόμβοι κρατούν τη διαδρομή εκείνων των RREQs που έχουν ήδη δει(διεύθυνση πηγής IP - Ζευγάρι ταυτότητας RREQ). Εάν το ίδιο RREQ παραλαμβάνεται πάλι, απορρίπτεται.



Σχήμα 2.4 Παπαδειγμα λειτουργίας AODV

Δεδομένου ότι το RREP μεταδίδεται πίσω στον κόμβο πηγή, όλοι οι κόμβοι κατά μήκος του μονοπατιού ιδρύουν τους μπροστινούς δείκτες στον κόμβο προορισμού (μια μπροστινή διαδρομή ιδρύεται για να στείλει τα πακέτα δεδομένων από έναν κόμβο πηγή προς τον επιθυμητό προορισμό της. Μόλις λάβει ο κόμβος πηγή το RREP, θα είναι σε θέση να στείλει τα πακέτα δεδομένων στον κόμβο προορισμού. Εάν ο κόμβος πηγή λάβει αργότερα ένα RREP περιέχοντας έναν μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας ή ένα RREP με τον ίδιο αριθμό ακολουθίας αλλά μια μικρότερη αρίθμηση τμημάτων(hop), μπορεί να ενημερώσει τον πίνακα δρομολόγησης του για εκείνο τον προορισμό και να επιλέξει τη "καλύτερη" διαδρομή.

Κάθε πίνακας δρομολόγησης περιλαμβάνει τα ακόλουθα πεδία:

- Διεύθυνση προορισμού IP
- Αριθμός ακολουθίας προορισμού
- Interface
- Αρίθμηση τμημάτων (αριθμός τμημάτων μέχρι τον προορισμό)
- Τελευταία αρίθμηση hop(η αρίθμηση hop που υποδεικνύεται στο πακέτο RREP καταχωρείται ως η τελευταία αρίθμηση hop στον πίνακα δρομολόγησης).

Û Επόμενο hop

Û Κατάλογος προδρόμων (περιέχει τις διευθύνσεις IP για τους γείτονες που είναι πιθανό να χρησιμοποιήσουν αυτόν τον κόμβο ως επόμενο hop προς τον προορισμό που είναι τώρα απρόσιτος)

Û Διάρκεια ζωής (χρόνος λήξης ή διαγραφής των πληροφοριών για τους μέχρι τώρα απρόσιτους προορισμούς. Εάν ο κόμβος πηγή χρειάζεται ακόμα τις διαδρομές σε αυτούς τους προορισμούς, μπορεί να επανακινήσει τη διαδικασία εύρεσης διαδρομής).

Û Σημαίες δρομολόγησης

Οι διαδρομές διατηρούνται εφ' όσον παραμένουν ενεργές (εφ' όσον υπάρχει αρκετά συχνή κυκλοφορία δεδομένων προς τον προορισμό). Όταν η κυκλοφορία σε έναν προορισμό σταματά, η διαδρομή αδρανοποιείται και τελικά θα διαγραφεί από τον πίνακα δρομολόγησης. Εάν παρουσιαστεί ένα σπάσιμο στη σύνδεση ενώ η διαδρομή είναι ακόμα ενεργή, τότε δημιουργείται ένα σφάλμα διαδρομής RERR και στέλνεται από τον κόμβο που είναι πιο στενός στον κόμβο πηγή. Το μήνυμα RERR περιλαμβάνει τις πληροφορίες για τους μέχρι τώρα απρόσιτους προορισμούς. Εάν ο κόμβος πηγή χρειάζεται ακόμα τις διαδρομές σε αυτούς τους προορισμούς, μπορεί να επανακινήσει τη διαδικασία εύρεσης διαδρομής.

Ø **AODV και QoS**

Το AODV είναι ένα από τα λίγα ειδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης που είναι σε θέση να παρέχουν εγγύηση της ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Υπάρχουν όλο και περισσότερες νέες εφαρμογές που να ωφεληθούν από αυτές τις εγγυήσεις QoS. Παραδείγματος χάριν, η εγγύηση της μέγιστη καθυστέρηση και jitter είναι πολύ χρήσιμη για τη φωνή πάνω από IP (VoIP) όπως επίσης στα κινητά ειδικά δίκτυα. Προκειμένου να παρασχεθεί QoS, ορισμένες επεκτάσεις μπορούν να προστεθούν στα μηνύματα που χρησιμοποιούνται για την εύρεση διαδρομών. Ένας κόμβος που λαμβάνει ένα μήνυμα RREQ με μια επέκταση QoS πρέπει να είναι σε θέση να ικανοποιήσει τη δεδομένη απαίτηση υπηρεσίας. Εάν, μετά από την εγκατάσταση μιας διαδρομής, οποιοσδήποτε κόμβος κατά μήκος του μονοπατιού ανιχνεύσει ότι οι ζητούμενες παράμετροι QoS δεν μπορούν να διατηρηθούν άλλο, εκείνος ο κόμβος πρέπει να στείλει ένα "ICMP QOS\_LOST" πίσω στον κόμβο, ο οποίος αρχικά ζήτησε την ικανοποίηση αυτών των παραμέτρων. Τα ακόλουθα πεδία προστίθενται σε κάθε πίνακα δρομολόγησης που αντιστοιχεί σε κάθε προορισμό:

- Μέγιστη καθυστέρηση
- Ελάχιστο διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων
- Κατάλογος με τους κόμβους που ζητούν εγγυήσεις μέγιστης καθυστέρησης
- Κατάλογος με τους κόμβους που ζητούν εγγυήσεις εύρους ζώνης

### 2.2.2 Dynamic Source Routing (DSR)

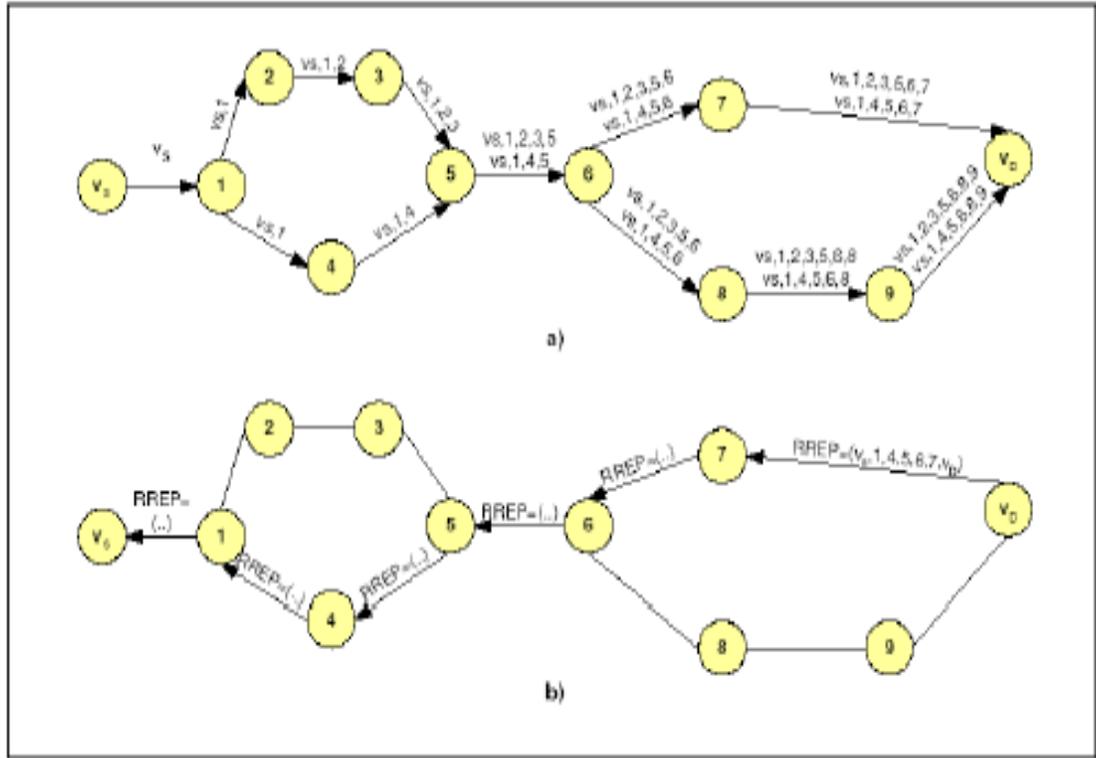
Η βασική ιδέα δρομολόγησης του αλγόριθμου DSR είναι ότι ο κόμβος πηγή περιλαμβάνει τις πλήρεις πληροφορίες δρομολόγησης σε κάθε πακέτο δεδομένων, π.χ. (vS, v1, v2. .. vD), για ένα πακέτο vD που δρομολογείται μέσω v1, v2, κ.λ.π. Ο DSR εφαρμόζει τη μέθοδο Source Routing στα κινητά ειδικά δίκτυα. Ο DSR χρησιμοποιεί δύο φάσεις:

- Û ανακάλυψη διαδρομών
- Û συντήρηση διαδρομών

Εάν ένας κόμβος πηγή vS δεν έχει μια διαδρομή για έναν ορισμένο προορισμό vD αρχίζει μια διαδικασία εύρεσης διαδρομών μεταδίδοντας ένα αίτημα RREQ στους γείτονές του (σχήμα α). Το RREQ είναι ένα μικρό πακέτο που περιέχει vS, vD, μια μοναδική ταυτότητα RREQ\_ID, και Lsd που είναι ο κατάλογος κόμβων που διαβίβασε το RREQ. Ένας ενδιαμέσος κόμβος που λαμβάνει ένα RREQ για πρώτη φορά επισυνάπτει τη διεύθυνσή του στο Lsd και την μεταδίδει ραδιοφωνικά στους γείτονές του, αλλά όχι πίσω στον κόμβο από όπου το αίτημα προήλθε.

Εάν ο κόμβος προορισμού vD λάβει το αίτημα διαδρομών εξάγει ένα Lsd, δημιουργεί ένα μήνυμα RREP απάντησης που περιέχει το Lsd και το επιστρέφει στον κόμβο πηγή (σχήμα b).

Η δεύτερη φάση της προσπέλασης είναι η συντήρηση διαδρομών. Όταν ένας κόμβος VI μεταδίδει προς τα εμπρός ένα πακέτο στοιχείων στον κόμβο vj αυτός αναμένει μια επιβεβαίωση από το vj. Εάν ο VI δεν λάβει οποιοδήποτε επιβεβαίωση σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, θα στείλει ένα μήνυμα RERR σφάλματος στον κόμβο πηγή το οποίο περιέχει τη σύνδεση πέρα από την οποία η διαβίβαση έχει αποτύχει. Στη συνέχεια, ο κόμβος πηγή θα αναζητήσει μιας εναλλακτική λύση στον πίνακα δρομολόγησης της ή θα αρχίσει μια νέα διαδικασία εύρεσης διαδρομών.



Σχήμα 2.5 Παράδειγμα λειτουργίας DSR

## 2.3 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

### 2.3.1 ZONE ROUTING PROTOCOL (ZRP)

Γενικώς, τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν να ταξινομηθούν είτε ως proactive (table driven) είτε ως reactive (on demand). Τα proactive πρωτόκολλα προσπαθούν συνεχώς να αξιολογήσουν τις διαδρομές μέσα στο δίκτυο, έτσι ώστε όταν χρειάζεται να διαβιβαστεί ένα πακέτο, η διαδρομή να είναι ήδη γνωστή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί αμέσως. Η οικογένεια των Distance-Vector πρωτοκόλλων είναι ένα παράδειγμα proactive πρωτοκόλλων. Τα reactive πρωτόκολλα, καλούν μια διαδικασία προσδιορισμού διαδρομών μόνο κατά ζήτηση (on demand). Κατά συνέπεια, όταν απαιτείται μια διαδρομή, κάποια καθολική διαδικασία αναζήτησης υιοθετείται. Η

οικογένεια των κλασικών flooding αλγορίθμων ανήκει στην ομάδα των reactive. Ένα παράδειγμα reactive πρωτοκόλλου είναι ο TORA.

Αυτό που πλέον απαιτείται είναι ένα πρωτόκολλο που να πραγματοποιεί τη διαδικασία εύρεσης διαδρομής κατά ζήτηση, αλλά με περιορισμένο κόστος αναζήτησης. Ένα τέτοιο πρωτόκολλο, είναι το "πρωτόκολλο δρομολόγησης ζώνης (ZRP)," και είναι ένα παράδειγμα ενός υβριδικού reactive/proactive πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Το ZRP, από την μια πλευρά, περιορίζει το πεδίο της proactive διαδικασίας μόνο όμως "στην τοπική γειτονιά" του κόμβου, και από την άλλη πλευρά, η αναζήτηση στο δίκτυο γίνεται με αποτελεσματικό τρόπο από κάποιους επιλεγμένους κόμβους στο δίκτυο, οι οποίοι κατά κάποιο τρόπο ερωτώνται για την βέλτιστη διαδρομή, και όχι με όλους τους κόμβους του δικτύου.

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 QoS

Η αυξημένη ανάγκη για ποιότητα στην υπηρεσία (QoS) στις αναπτυσσόμενες εφαρμογές είχε ως αποτέλεσμα την ανάγκη να υποστηριχθούν παρόμοιες υπηρεσίες και στα ασύρματα κινητά δίκτυα. Οι περιορισμοί σε πόρους και η ποικιλότητα συντέλεσαν στην ανάγκη για παροχή ποιότητας στις υπηρεσίες αυτών των δικτύων. Παρόλα αυτά, τα χαρακτηριστικά αυτών των δικτύων κάνουν την υποστήριξη της QoS μία αρκετά πολύπλοκη διαδικασία. Η υποστήριξη του QoS στα ασύρματα κινητά δίκτυα

περιλαμβάνει ζητήματα που αφορούν τα επίπεδα εφαρμογής, μεταφοράς, δικτύου, πρόσβασης στο μέσο, καθώς και το φυσικό επίπεδο των δομημένων δικτύων.

### 2.4.1 Μονάδες Μέτρησης QoS

Το QoS ορίζεται σαν ένα σύνολο από απαιτήσεις υπηρεσίας το οποίο πρέπει να συναντάται σε κάθε δίκτυο κατά τη μετάδοση πακέτων από την πηγή στον προορισμό. Οι ανάγκες του δικτύου υπόκεινται στις απαιτήσεις σε υπηρεσία οι οποίες καθορίζονται από τις εφαρμογές των τελικών χρηστών. Το δίκτυο αναμένεται να εγγυάται ένα σύνολο από μετρήσιμα προκαθορισμένα χαρακτηριστικά υπηρεσίας στους χρήστες στα πλαίσια της από άκρη σε άκρη (end-to-end) απόδοσης, όπως η καθυστέρηση, το εύρος ζώνης, η πιθανότητα απώλειας πακέτων, η διακύμανση καθυστέρησης (jitter) κλπ. Η κατανάλωση ενέργειας και η περιοχή κάλυψης υπηρεσιών είναι δύο ακόμα χαρακτηριστικά του QoS τα οποία είναι πιο συγκεκριμένα στα ασύρματα κινητά δίκτυα .

Οι μονάδες μέτρησης της QoS μπορεί να εξαρτώνται από την τιμή ενός μόνο τμήματος της διαδρομής ή μπορεί να είναι προσθετικές. Το εύρος ζώνης είναι για παράδειγμα ανήκει στην πρώτη κατηγορία με την έννοια ότι το από άκρη σε άκρη εύρος ζώνης είναι το ελάχιστο από όλες τις συνδέσεις στη διαδρομή. Η καθυστέρηση και η διακύμανση καθυστέρησης είναι προσθετικές. Η από άκρη σε άκρη καθυστέρηση είναι η συσσώρευση όλων των καθυστερήσεων των συνδέσεων της διαδρομής.

#### **Υποστήριξη της QoS στα ασύρματα κινητά δίκτυα – Θέματα και δυσκολίες .**

Τα κινητά ασύρματα δίκτυα πολλαπλών τμημάτων διαφέρουν από τα παραδοσιακά ενσύρματων δομών. Οι διαφορές παρουσιάζουν μοναδικά θέματα και δυσκολίες όσον αφορά την υποστήριξη της QoS στα ασύρματα κινητά δίκτυα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

**Μη προβλέψιμες ιδιότητες συνδέσεων:** Τα ασύρματα μέσα είναι απρόβλεπτα. Στα ασύρματα δίκτυα η σύγκρουση των πακέτων είναι πραγματική – εσωτερική. Η

μετάδοση του σήματος αντιμετωπίζει δυσκολίες όπως η εξασθένησή του, παρεμβολές, και ακύρωση πολλαπλών διαδρομών. Όλες αυτές οι ιδιότητες κάνουν τις μονάδες, όπως το εύρος ζώνης και την καθυστέρηση μιας ασύρματης σύνδεσης, απροσδιόριστες.

**Το πρόβλημα του κρυφού τερματικού:** Η αναμετάδοση πακέτων με την τεχνική των πολλαπλών τμημάτων παρουσιάζει το πρόβλημα του κρυφού τερματικού. Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται όταν σήματα από δύο κόμβους, οι οποίοι βρίσκονται έξω από την μεταξύ τους εμβέλεια μετάδοσης, συγκρούονται με ένα κοινό αποδέκτη.

**Η κινητικότητα των κόμβων:** Η κινητικότητα των κόμβων δημιουργεί μία τοπολογία δυναμικού δικτύου. Οι συνδέσεις θα σχηματιστούν δυναμικά όταν δύο κόμβοι εισέρχονται στην μεταξύ τους περιοχή μετάδοσης και καταστρέφονται όταν αποχωρούν από αυτήν.

**Η διατήρηση της διαδρομής:** Η δυναμική φύση της τοπολογίας των δικτύων και η μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του μέσου επικοινωνίας κάνουν πολύ δύσκολη την ακριβή διατήρηση της πληροφορίας για την κατάσταση του δικτύου. Έτσι οι αλγόριθμοι δρομολόγησης στα ad-hoc δίκτυα πρέπει να λειτουργούν με ακριβή πληροφόρηση. Επιπλέον στα ad-hoc δικτυακά περιβάλλοντα οι κόμβοι μπορούν να συμμετέχουν ή να εγκαταλείπουν οποτεδήποτε. Τα εγκαθιδρυμένα μονοπάτια δρομολόγησης μπορεί να κοπούν ακόμα και κατά τη διάρκεια της μεταφοράς δεδομένων. Έτσι αυξάνεται η ανάγκη για διατήρηση και ανακατασκευή των διαδρομών δρομολόγησης με στόχο την ελάχιστη καθυστέρηση. Η δρομολόγηση με βάση το QoS θα απαιτούσε διατήρηση των πόρων στους ενδιάμεσους κόμβους. Παρόλα αυτά, με τις αλλαγές στην τοπολογία οι ενδιάμεσοι κόμβοι επίσης αλλάζουν και νέα μονοπάτια δημιουργούνται. Έτσι η εξασφάλιση της διατήρησης με τις αλλαγές στα μονοπάτια δρομολόγησης γίνεται πολύ δύσκολη.

**Περιορισμένη ζωή μπαταρίας:** Οι κινητές συσκευές γενικά εξαρτώνται από περιορισμένα αποθέματα μπαταρίας. Η ανεύρεση πόρων για την παροχή της QoS πρέπει να λάβει υπόψη την απομείνουσα ενέργεια της μπαταρίας και την αναλογία της κατανάλωσης της μπαταρίας σχετικά με τη χρήση των πόρων. Έτσι όλες οι τεχνικές παροχής QoS πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την ενέργεια και να είναι διαθέσιμες όσον αφορά την τελευταία.

**Ασφάλεια:** Η ασφάλεια πρέπει να θεωρηθεί ως ένα χαρακτηριστικό της QoS. Χωρίς την κατάλληλη ασφάλεια, μη εξουσιοδοτημένες προσβάσεις και χρήσεις μπορεί να παραβιάσουν τις διαπραγματεύσεις του QoS. Η φύση των μεταδόσεων στα ασύρματα δίκτυα ενδεχομένως οδηγεί σε πιο ασφαλείς εκθέσεις. Το φυσικό μέσο επικοινωνίας είναι από τη φύση του μη ασφαλές. Έτσι για τα ad-hoc δίκτυα πρέπει να σχεδιάζονται αλγόριθμοι που λαμβάνουν υπόψη τους την ασφάλεια.

### 2.4.2 Συμβιβαστικές αρχές

Η δυναμική φύση των ασύρματων δικτύων αποδίδεται σε πολλές πηγές, διάφορα χαρακτηριστικά συνδέσεων, κινήσεις κόμβων, μεταβαλλόμενη τοπολογία και διάφορες απαιτήσεις εφαρμογών. Η παροχή του QoS σε ένα τέτοιο δυναμικό περιβάλλον είναι πολύ δύσκολη. Δύο συμβιβαστικές αρχές για την παροχή QoS στα ασύρματα δίκτυα είναι οι: χαλαρή QoS και QoS με προσαρμογές.

Εξαιτίας των ειδικών ιδιοτήτων των κινητών ασύρματων δικτύων μερικοί ερευνητές έχουν προτείνει την χαλαρή QoS. Χαλαρή QoS σημαίνει ότι μετά την εγκατάσταση της σύνδεσης μπορεί να υπάρχουν μεταβατικά διαστήματα χρόνου στα οποία δεν ακολουθούνται αυστηρά τις προδιαγραφές του QoS. Παρόλα αυτά, μπορούμε να ποσοτικοποιήσουμε το επίπεδο απόδοσης της QoS διαιρώντας το συνολικό χρόνο διαταραχής με το συνολικό χρόνο σύνδεσης. Ο λόγος αυτός δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο όριο.

Σε μία καθορισμένου επιπέδου QoS προσέγγιση, η κράτηση των πόρων παριστάνεται από ένα χώρο  $n$ -διαστάσεων με συντεταγμένες να καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας. Σε μία δυναμική QoS προσέγγιση, μπορούμε να επιτρέψουμε σε μία κράτηση πόρων να καθορίσει ένα εύρος τιμών, παρά μια μόνο συγκεκριμένη τιμή. Με αυτή την προσέγγιση, καθώς αλλάζουν οι διαθέσιμοι πόροι, το δίκτυο μπορεί να αναπροσαρμόσει τις κρατήσεις μέσα στο παραπάνω εύρος. Με παρόμοιο τρόπο, είναι επιθυμητό για τις εφαρμογές να μπορούν να προσαρμοστούν σ'αυτού του είδους τις επαναδεσμεύσεις. Ένα καλό παράδειγμα είναι το video

πραγματικού χρόνου το οποίο απαιτεί μία επιβεβαίωση μέγιστου εύρους ζώνης και επιτρέπει ανώτερα επίπεδα QoS όταν είναι διαθέσιμοι επιπλέον πόροι.

Η QoS προσαρμογή μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορα επίπεδα. Το φυσικό επίπεδο πρέπει να φροντίσει για τις αλλαγές στην ποιότητα μετάδοσης, για παράδειγμα αυξάνοντας ή μειώνοντας προσαρμοστικά την ισχύ μετάδοσης. Το επίπεδο σύνδεσης πρέπει να αντιδρά στις αλλαγές στην αναλογία των σφαλμάτων σύνδεσης, συμπεριλαμβανομένου και την τεχνική της χρήσης αυτόματης αίτησης-απάντησης (ARQ).

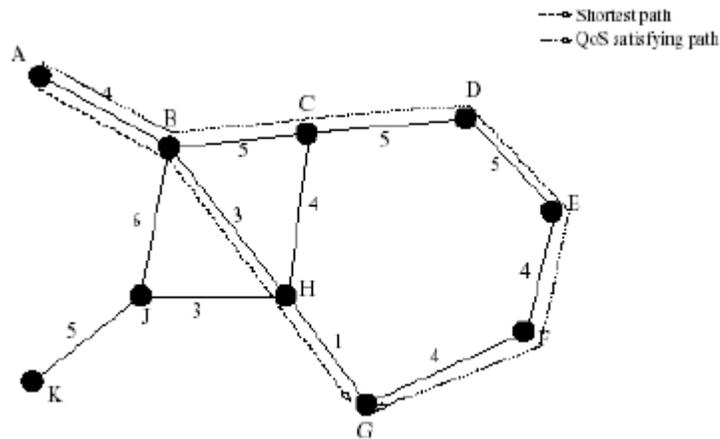
Μία πιο εξεζητημένη τεχνική περιλαμβάνει ένα μηχανισμό προσαρμοστικής διόρθωσης λαθών ο οποίος θα αυξήσει ή θα μειώσει την ποσότητα των μηνυμάτων που στέλνονται για τη διόρθωση των λαθών σε συνδυασμό με τις αλλαγές στην ποιότητα μετάδοσης. Έτσι η κύρια επίδραση που παρατηρείται στο επίπεδο δικτύου είναι η αλλαγή σε ένα αποτελεσματικό εύρος ζώνης και η καθυστέρηση.

### 2.4.3 QoS Και Αλγόριθμοι Δρομολόγησης

Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης που παρουσιάσαμε μέχρι τώρα δεν παρέχουν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την πλήρη υποστήριξη εφαρμογών που απαιτούν υποστήριξη QoS. Οι μεγάλη πλειοψηφία των αλγόριθμων προσπαθεί να ανακαλύψει το συντομότερο μονοπάτι μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Ο μόνος αλγόριθμος ο οποίος έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει QoS είναι ο AODV με τις επεκτάσεις του οι οποίες αναφέρονται στην υποστήριξη υπηρεσιών με απαίτηση σε QoS. Επιπλέον παρουσιάσαμε και δύο αλγόριθμους τον ABR και τον SSR οι οποίοι στη διαδικασία εύρεσης της καλύτερης διαδρομής λαμβάνουν υπόψη τους τη δύναμη του σήματος και τη σταθερότητα της θέσης των κόμβων.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζουμε ένα ασύρματου δικτύου στο οποίο οι αριθμοί σε κάθε τμήμα αναπαριστούν το διαθέσιμο εύρος ζώνης μεταξύ δύο κόμβων. Αν υποθέσουμε ότι θέλουμε μια διαδρομή από τον κόμβο A στον κόμβο G για μια εφαρμογή η οποία απαιτεί ελάχιστο εύρος ζώνης 4. Ένας αλγόριθμος ο οποίος υπολογίζει μια διαδρομή βάση τον αριθμό των κόμβων (συντομότερη διαδρομή) θα

επέλεγε τη διαδρομή A-B-H-G. Ένας αλγόριθμος όμως ο οποίος θα αναζητούσε μια διαδρομή χρησιμοποιώντας ως μονάδα μέτρησης το εύρος ζώνης θα επέλεγε τη διαδρομή A-B-C-D-E-F-G.



Σχήμα 2.6 Παράδειγμα ασύρματου δικτύου που λειτουργεί με το εύρος ζώνης

Ο πρωταρχικός στόχος ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης το οποίο υποστηρίζει QoS είναι να προσδιορίσει μια διαδρομή από μια πηγή σε ένα προορισμό η οποία θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις ενός επιθυμητού επιπέδου QoS. Μια τέτοια διαδρομή καθορίζεται βάση κάποιων περιορισμών όπως είναι ο μικρότερος χρόνος αναζήτησης, η απόσταση, και οι συνθήκες της κυκλοφορίας στο δίκτυο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### **AD HOC ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε δυο 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. Αναλυτικότερα θα δούμε την προδιαγραφή Bluetooth και θα αναφερθούμε περιληπτικά στην προδιαγραφή HIPERLAN/2

#### **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 καλώδια. Η διαθέσιμη τεχνολογία - IRDA OBEX (InfraRed Association) είναι βασισμένη στις υπέρυθρες συνδέσεις που είναι περιορισμένες στο LOS (Line Of Sight). 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 διασυνδεόμενα 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 (Personal Digital Assistant) 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*

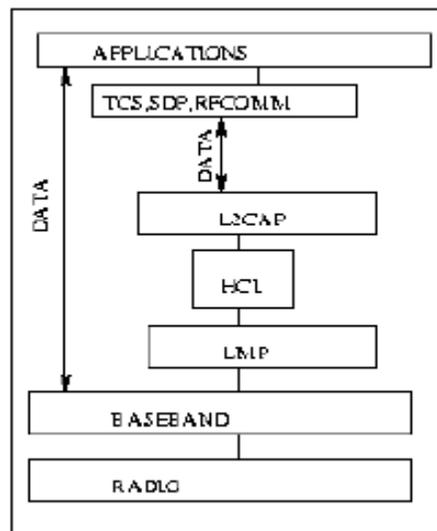
Αυτές οι εφαρμογές θα δίνουν τη δυνατότητα πρόσβασης στις κινητές συσκευές του χρήστη, ακόμα κι αν αυτές βρίσκονται στην τσέπη του.

- *Τριπλή Χρήση Τηλεφωνικής Συσκευής*

Μια απλή συσκευή χειρός θα μπορεί να λειτουργεί σαν ενδοεπικοινωνία στο γραφείο (χωρίς χρέωση), σαν σταθερό τηλέφωνο PSTN(Public Switched Telephony Network), 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 μπάντα 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(frequency hopping)), 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)

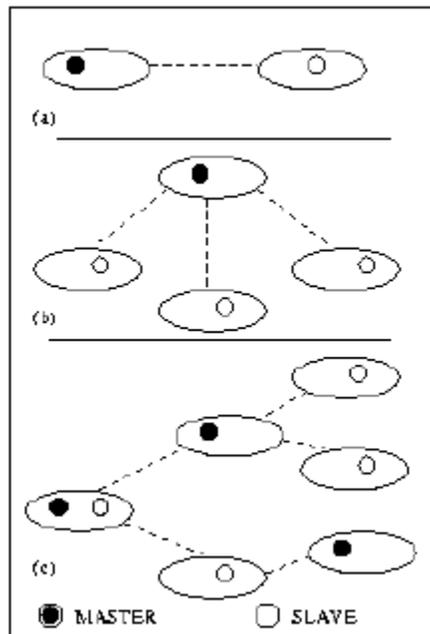
Οι βασικότερες λειτουργίες του LMP κατατάσσονται ως εξής:

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.

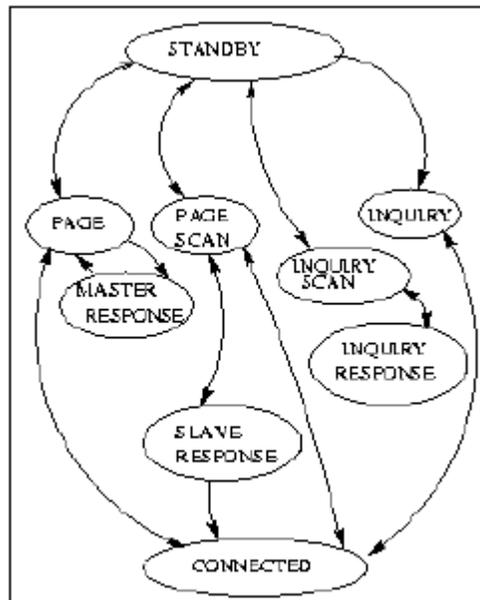
### 3.1.3. Εγκατάσταση Συνδέσεων

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

αποστέλλει 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 χρονοισμό 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 κυψελωτά 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).

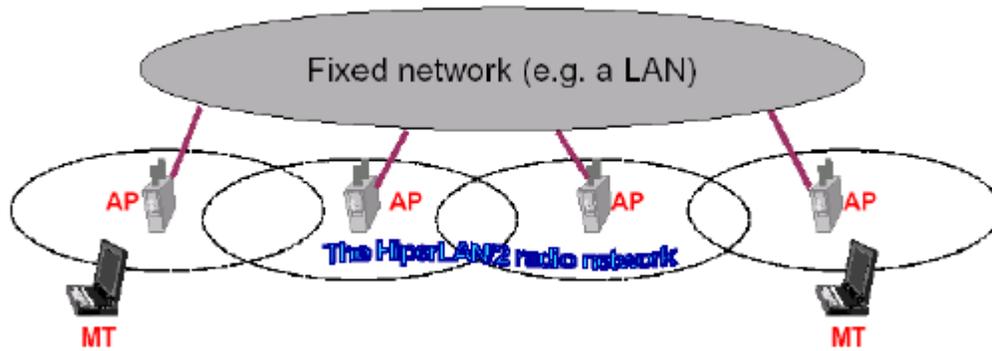
Ασύρματες υπηρεσίες δεδομένων που προσφέρουν την αναγκαία ρυθμιαπόδοση ώστε να ικανοποιήσουν τις πραγματικές απαιτήσεις για την πρόσβαση στο εσωτερικό του δικτύου ή στο διαδίκτυο βρίσκονται, μόλις, στο αρχικό στάδιο της αναμενόμενης εξέλιξής τους στην αγορά. Στο περιβάλλον των τοπικών δικτύων (Local 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 αυτό 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 κυψελωτά 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. 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.



Σχήμα 3.5: Ένα δίκτυο HIPERLAN/2

### 3.2.2. Τι περιλαμβάνει το HIPERLAN/2

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

- **Υψηλής ταχύτητας μετάδοση**

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 σηματοδότηση. 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.

- **QoS και HIPERLAN/2**

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.

- **Κατανομή συχνοτήτων αυτόματη**

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 βασισμένο 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.

#### **• Κινητικότητα**

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 διαπραγμάτευση 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 περιόδοι διαφορετικής διάρκειας υποστηρίζονται προκειμένου να επιτραπεί η ικανοποίηση των απαιτήσεων για χαμηλή καθυστέρηση και μικρή κατανάλωση ενέργειας.