

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
Εισαγωγή στα mobile ad hoc networks	3
Υποδομή ενός manet router	4
Χαρακτηριστικά των MANETS	6
Εξελίσσοντας την κινητικότητα. (Evolving mobility)	8
Εφαρμογές	9
Αναφορά σε ad hoc routing protocols	12
Table driven routing protocols .....	13
Destination Sequenced Distance Vector Routing (DSDV).....	13
Αρχιτεκτονική των manet	14
Χτίζοντας ένα Μετακινούμενο Διαδίκτυο ( Mobile Internet)	15
Σχεδίαση για μεγιστη ευελιξία	17
Κάθετη επικοινωνία για διατήρηση εύρους ζώνης.	19
Θέματα Σχεδιασμού αρχιτεκτονικών διευθυνσιοδότησης	20
Δημιουργώντας μετακινούμενα εμπορικά και στρατιωτικά δίκτυα.	21
Mobile packet radio systems	22
Ευελιξία	23
Διαλειτουργικότητα	25
Μελλοντική Υποστήριξη της Ποιότητας των Υπηρεσιών ( QoS Support)	25
Μελλοντικές Σκέψεις –Συπεράσματα	26

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Από τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα , η αγορά των ασύρματων κινητών δικτύων γνωρίζει πρωτοφανή ανάπτυξη συνοδευόμενη από μια έκρηξη πληροφοριών και τεχνολογική επανάσταση. Στο χώρο των ραδιοσυχνοτήτων, η τάση είναι η μεταπήδηση από χαμηλού εύρους σε ευρίας – εύρους συχνότητες με μια ποικιλία προτύπων προσαρμοσμένα στις ανάγκες των εκάστοτε εφαρμογών. Πολλές νέες τεχνολογίες όπως είναι η πολλαπλής πρόσβασης διαχωρισμός συχνότητας (wideband code – division multiple access) , software defined radio , ευφυής κεραίες (intelligent antennas), και συστήματα ψηφιακής επεξεργασίας (digital processing devices), έχουν βελτιώσει σημαντικά την αποδοτικότητα των συστημάτων τρίτης γενιάς. Στο χώρο των κινητών δικτύων, η τάση είναι η μεταπήδηση από παραδοσιακά συστήματα μεταγωγής κυκλωματος σε προγραμματιζόμενα δίκτυα μεταγωγής πακέτου που ενοποιούν υπηρεσίες πακέτου και φωνής , και εξελίσσονται προς μια υποδομή που θα έχει ένα χαρακτήρα ολικά IP. Επιπρόσθετα, με την συνδρομή της τεχνολογίας κινητής ασύρματης τοποθεσίας , το ασύρματο κινητό Internet αναμένεται να φέρει επανάσταση τις υπηρεσίες που μπορούν να δοθούν σε χρήστες στο σωστό μέρος και στο σωστό χρόνο. Οι ασύρματες επικοινωνίες κινητής μορφής όχι μόνο θα συμπληρώσουν το υφιστάμενο ασύρματο δίκτυο αλλά ίσως να αποτελέσει και ένα σοβαρό ανταγωνιστή για το μέλλον. Στα επόμενα εξετάζουμε τις εξελίξεις σε θέματα πρωτοκόλλων και τεχνολογίας, και εξετάζουμε ενδεχόμενες τάσεις πάνω σε ασύρματες κινητές λύσεις. Επίσης εξετάζεται η τεχνολογία του mobile ad hoc networking technology και οι προσπάθειες που γίνονται για καθιέρωση προτύπων. Περιγράφονται οι αρχιτεκτονικές σκέψεις μιας ομάδας εργασίας που έχει συσταθεί για αυτόν τον σκοπό , το Manet (Mobile Ad Hoc Networks Working Group), εξετάζουμε τους σημερινούς περιορισμούς της παραπάνω τεχνολογίας και επισυμαίνονται θέματα έρευνας που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν.

## **ABSTRACT**

At the start of the 21<sup>st</sup> century, the wireless mobile markets are witnessing unprecedented growth fueled by an information explosion and technology revolution. In the radio frequency arena, the trend is to move from narrowband to wideband with a family of standards tailored to a variety of application needs. Many enabling technologies including wideband code – division multiple access, software defined radio , intelligent antennas, and digital processing devices are greatly improving the spectral efficiency of third generation systems. In the mobile area network, the trend is to move from traditional circuit-switched systems to packet – switched programmable networks that integrate both voice and packet services, and eventually evolve toward an all IP network. Furthermore, accompanied by wireless mobile location technology, wireless mobile internet is expected to revolutionize the services that can be provided to consumers in the right place and at the right time. Wireless mobile communications may not only complement the well established wireless network ; it may also become a serious competitor in the years to come. In this article we examine the current progress in standards and technologies, and discuss possible trends for wireless mobile solutions. We also give an overview of mobile ad hoc networking technology and standardization efforts. We describe architectural concepts evolving from the Mobile Ad Hoc Networks ( Manet) Working Group, discuss current limitations of the technology and raise research issues to be addressed.

## **Εισαγωγή στα mobile ad hoc networks**

Με δεδομένη τις τεχνολογικές εξελίξεις σε θέματα ασύρματων επικοινωνιών, το mobile computing αναμένεται να έχει μεγάλη απήχηση και εφαρμογή, και ένα μεγάλο μέρος θα έχει να κάνει με τη χρήση του Internet Protocol (IP). Το επιθυμητό αποτέλεσμα του ad hoc networking είναι είναι η υποστήριξη στιβαρών και αποδοτικών λειτουργιών σε mobile networks μέσα από την παροχή των υπηρεσιών δρομολόγησης σε κινητούς κόμβους. Δίκτυα αυτού του τύπου αναμένεται να έχουν δυναμικές , δυναμικά μεταβαλλόμενες , τοπολογίες που θα απαρτίζονται από

ασύρματους δεσμούς που θα έχουν περιορισμούς , ωστόσο , για λόγους περιορισμένου εύρους ζώνης

Ένα ad hoc mobile network αποτελεί συλλογή από κινητούς κόμβους τα οποία τοποθετούνται δυναμικά και αυθαίρετα κατά τρόπο που οι μεταξύ των κόμβων διασυνδέσεις μπορούν να μεταβάλλονται σε συνεχή βάση. Προκειμένου να διευκολυνθεί η επικοινωνία εντός του δικτύου, ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης (routing protocol) χρησιμοποιείται για να ανακαλύψει διόδους μεταξύ των κόμβων. Πρωταρχικός στόχος των πρωτοκόλλων αυτού του τύπου είναι η σωστή και αποδοτική εγκαθίδρυση διοδίων μεταξύ ενός ζεύγους κόμβων ώστε να μηνύματα να μπορούν να μεταδοθούν σε χρόνο έγκαιρο. Η διασαφήνιση των δρομολογήσεων θα πρέπει να γίνει με τη χαμηλότερη δυνατή χρήση και επιβάρυνση του δικτύου και του εύρους ζώνης .

### **Υποδομή ενός manet router**

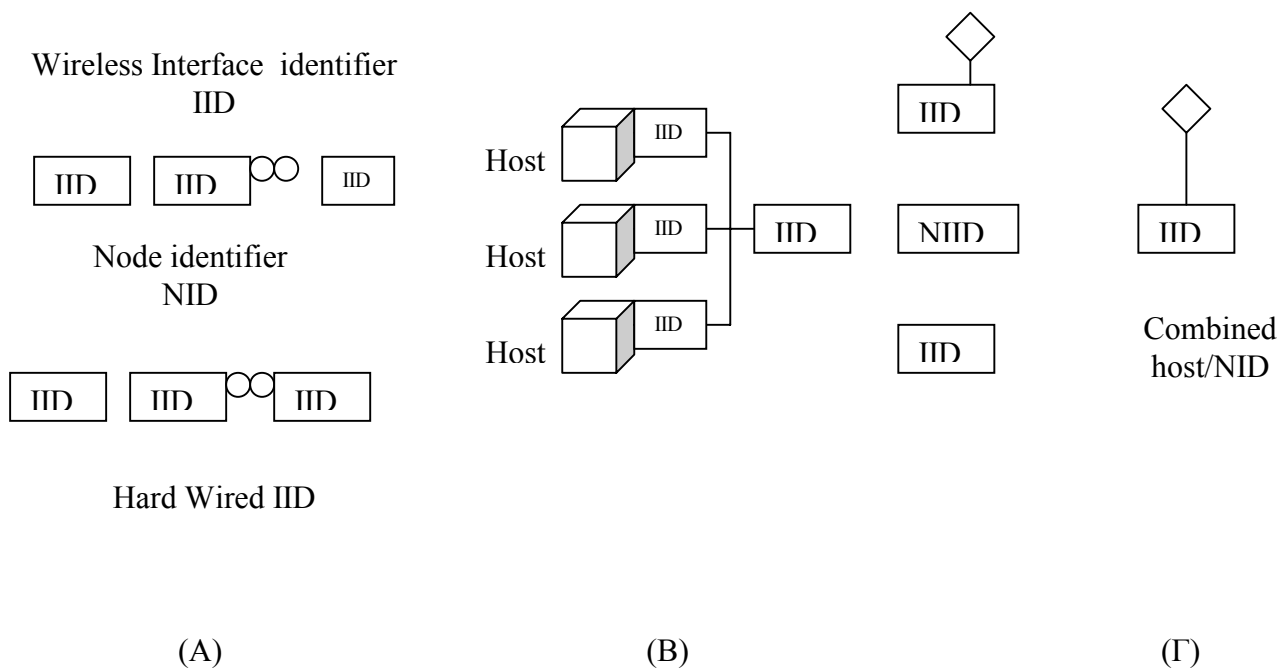
Καθε κόμβος σε ένα ad hoc mobile network (manet) απαρτίζεται από έναν δρομολογητή με πολλαπλούς πιθανούς IP's εξυπηρετητές και πολλαπλές ασύρματες επικοινωνιακές συσκευές. (Σχήμα 1) Ένας κόμβος μπορεί να αποτελείται σε φυσικό επίπεδο από ξεχωριστά δικτυακές συσκευές ( σχήμα 1β) , η μπορεί να είναι ενοποιημένος σε μια μονάχα συσκευή όπως π.χ έναν φορητό υπολογιστή η έναν υπολογιστή χειρός. (σχήμα 1γ) Ένα σύνολο κόμβων που απαρτίζουν ένα manet αποτελεί στην ουσία “ μια κινητή μονάδα δρομολόγησης “ και μπορεί να λειτουργεί είτε απομονωμένα είτε να συνδεθεί με το διαδίκτυο μέσω άλλων δρομολογήσεων .

Οι κόμβοι είναι εξοπλισμένοι με ασύρματους αναμεταδότες και δέκτες μέσω κεραιών που μπορεί να είναι :

- omnidirectional (broadcast )
- Highly directional (point-to-point)
- Steerable (arrays)
- Συνδιασμός όλων των παραπάνω

Σε μια δεδομένη στιγμή , και ανάλογα με τη θέση των κόμβων καθώς και την πορεία των καλύψεων των αναμεταδοτών , τα επίπεδα ισχύς των διαβιβάσεων , τότε υφίσταται μια ασύρματη σύνδεση μεταξύ των κόμβων που έχει τη μορφή ενός τυχαίου Multihop graph η ‘ad hoc’ network. Αυτη η τοπολογία δύναται να μεταβληθεί με το χρόνο καθώς οι κόμβοι μετακινούνται η αναπροσαρμόζουν τις παραμέτρους αναμετάδοσης και λήψης μηνυμάτων.

Σχήμα 1



## **Χαρακτηριστικά των MANETS**

Ενα manet απαρτίζεται από κινητές πλατφόρμες (για παράδειγμα ένα δρομολογητή με πολλαπλούς εξυπηρετητές και ασύρματες συσκευές επικοινωνίας που εδώ αναφέρονται ως ‘‘κόμβοι’’ τα οποία κινούνται αυθαίρετα. Οι κόμβοι μπορεί να βρίσκονται πάνω σε αεροπλάνα, πλοία , φορτηγά, ίσως ακόμη και πάνω σε ανθρώπους η πολύ μικρές συσκευές, και μπορεί να υφίστανται πολλαπλοί εξυπηρετητές ανά δρομολογητή. Ενα MANET είναι ένα αυτόμο σύστημα από κινητούς κόμβους. Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί απομονωμένα, η μπορεί να λειτουργεί , διαμέσου πυλών ( gateways) και να αλληλεπιδρά με ένα συμβατικό δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή , τυπικά προβλέπεται να λειτουργήσει ως stub network , το οποίο διασυνδέεται με ένα συμβατικό internetnetwork. Τα stub networks διαχειρίζονται το φόρτο προς και / η προς προοριζόμενα για εσωτερικούς κόμβους, αλλά δεν επιτρέπουν σε εξωτερικά στοπχιεία να διαπεράσουν μέσα από το stub network.

Τα Manets έχουν ορισμένα αξιοπρόσεκτα χαρακτηριστικά όπως :

**1 .Δυναμικές τοπολογίες :** Οι κόμβοι δύναται να μετακινούνται αυθαίρετα. Επομένως η τοπολογία του δικτύου, η οποία είναι τυπικά multihop, μπορεί να μεταβληθεί τυχαία και με ταχύς ρυθμούς σε απρόβλεπτους χρόνους, , και μπορεί να απαρτίζεται ταυτόχρονα από δεσμούς διπλής κατεύθυνσης και ασυντόνιστους δεσμούς.

**2. Δεσμούς που υπόκεινται σε περιορισμούς αναφορικά με το εύρος ζώνης και μεταβαλλόμενη χωριτικότητα.** Οι ασύρματοι δεσμοί θα συνεχίσουν να διατηρούν σημαντικά χαμηλότερη χωριτικότητα από τους αντίστοιχους των συμβατικών δικτύων. Επιπρόσθετα, η πραγματική παραγωγή των ασύρματων επικοινωνιών – αφού ληφθούν υπόψη οι επιδράσεις της πολλαπλής σύνδεσης,

θορύβου, και των συνθηκών παρέμβασης- είναι κατά πολύ μικρότερη από τη μεγιστη συχνότητα μετάδοσης ενός ραδιοφώνου.

Μια επίδραση των σχετικά χαμηλών χωριτικοτήτων των δεσμών – συνδέσεων είναι ότι η συμφόρηση αποτελεί περισσότερο τον κανόνα παρά την εξαίρεση , δηλαδή οι σωρευμένες απαιτήσεις εφαρμογών δεν πρόκειται να αγγίξουν η να ξεπεράσουν τη χωριτικότητα του δικτύου. Δεδομένου ότι το κινητό δίκτυο αποτελεί συχνά προέκταση ενός σταθερού συμβατικού δικτύου, οι χρήστες των κινητών δικτύων θα έχουν παρόμοιες απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις αυτές θα συνεχίσουν να αυξάνονται καθώς οι αλληλεπιδρατικές εφαρμογές και οι εφαρμογές multimedia θα συνεχίσουν να πληθαίνουν.

**3. Περιορισμούς σε ότι αφορά την κατανάλωση ενέργειας .** Μερικοί η όλοι οι κόμβοι σε ένα manet μπορεί να στηρίζονται σε μπαταρίες η άλλες μορφές αναλώσιμης ενέργειας για την παροχη ενέργειας. Για τους κόμβους αυτούς, το θέμα της διαχείρισης ενέργειας αποτελεί ένα από τα σημαντικότετρα θέματα βελτιστοποίησης κατά το σχεδιασμό του όλου συστήματος.

**4.Περιορισμένη ασφάλεια σε φυσικό επίπεδο.** Τα κινητά ασύρματα δίκτυα είναι πιο ευάλωτα σε φυσικές απειλές από ότι τα συμβατικά καλωδιωμένα δίκτυα. Θα πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα τα θέματα διαροής καθώς και denial of service attacks. Οι υφιστάμενες μέθοδοι ασφάλειας δεσμών εφαρμόζονται συχνά στα ασύρματα δίκτυα ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απειλές ασφάλειας. Ως πλεονέκτημα , μπορεί να αναφερθεί ότι η αποκεντρωτική φύση της διαχείρισης δικτύου ενός manet παρέχει μεγαλύτερη στιβαρότητα σε σχέση με περισσότερο συγκεντρωτικές μεθόδους διαχείρισης.

Επιπλέον, ορισμένα δίκτυα ( π.χ. κινητά στρατιωτικά δίκτυα η δίκτυα ταχείας κυκλοφορίας) μπορεί να είναι ιδιαίτερα μεγάλα. ( δεκάδες η εκατοντάδες κόμβοι ανά περιοχή δρομολόγησης) Η ανάγκη για εύκολη κλιμάκωση ( scalability) αποτελεί κάτι

το δεδομένο. Λαβάνοντας υπόψη τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά , οι μηχανισμοί ώστε να επιτευχθεί η εύκολη κλιμάκωση θεωρούνται δεδομένοι.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά δημιουργούν ένα σύνολο από υποθέσεις και θέματα αποδοτικότητας που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό πρωτοκόλλων που είναι περα από αυτά των συμβατικών δικτύων.

### **Εξελίσσοντας την κινητικότητα. (Evolving mobility)**

Σε ένα manet οι δρομολογητές μπορεί να είναι κινητοί και οι εσωτερική συνδεσιμότητα μεταξύ τους μπορεί να μεταβληθεί συχνά σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας. Αντίθετα το Internet , όπως και όλα τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, στηρίζονται σε σχετικά σταθερή ( quasi fixed ) υποδομή που αποτελείται από δρομολογητές η διακόπτες που μεταφέρουν πληροφορία μέσα απο καλωδιακούς δεσμούς. Παραδοσιακά, οι τελικοί αποδέκτες , δηλαδή οι Ηλεκτρονικοί υπολογιστές η οι τηλεφωνικές συσκευές, συνδέονται με αυτά τα δίκτυα από σταθερές τοποθεσίες. Συνέπεια αυτού οι σταθμοί αυτοί παίρνουν ορισμένη διεύθυνση της τοποθεσίας όπου βρίσκονται μέσα σε ένα δικτυακό σύστημα που είναι αυστηρά δομημένο και ιεραρχημένο και πολλές φορές η ταυτότητα του αποδέκτη ταυτίζεται με την συγκεκριμένη διεύθυνση. Η ταυτοσημότητα αυτή διευκολύνει πολύ την δρομολόγηση αυτών των συστημάτων , δεδομένου ότι η τοποθεσία του αποδέκτη δεν μεταβάλλεται.

Από την άλλη πλευρά, , έχουμε τους τελικούς αποδέκτες που είναι κινητοί , που σημαίνει ότι μπορεί να μεταβληθεί τη σημείο σύνδεσης σε μια σταθερη δικτυακή υποδομή. Αυτό αποτελεί και σημείο υπεροχής της κινητής τηλεφωνίας και του κινητού IP (mobile IP). Στην περίπτωση αυτή, η ταυτότητα του αποδέκτη εξαρτάται από τα εάν ο αποδέκτης χρησιμοποιεί ως μέσο αναγνώρισης που είναι εξαρτημένο από την τοποθεσία ( location dependant-temporary ) η μη εξαρτημένο από την τοποθεσία ( location independent-permanent)



Οι αποδέκτες που χρησιμοποιούν προσωρινά μέσα αναγνώρισης αναφέρονται ως νομαδικοί (nomadic) και οι αποδέκτες με που χρησιμοποιούν μόνιμα μέσα αναγνώρισης αναφέρονται σαν κινητοί ( mobile users). Η διαφοροποίηση έγκειται στο ότι παρόλο που οι νομαδικοί χρήστες μπορεί να μετακινούνται , εκτελούν τις περισσότερες λειτουργίες που έχουν να κάνουν με τη δικτύωση σε μια σταθερή τοποθεσία. Από την άλλη , οι κινητοί χρήστες, πρέπει να εργαστούν “ επι τόπου”, αλλάζοντας τα σημεία σύνδεσης κατά περίπτωση. Σε κάθε περίπτωση, μπορεί να χρειαστούν επιπρόσθετες υπηρεσίες δικτύωσης ώστε να εντοπιστεί η τοποθεσία του χρήστη μέσα στο δίκτυο ώστε να μπορεί να διοχετευθεί πληροφορία στην τρέχουσα τοποθεσία του κάνοντας χρήση των υπηρεσιών δρομολόγησης μέσα από την παραδοσιακή – σταθερή – ιεραρχία.

Τα manet αλλάζουν την κατάσταση ακόμη περισσότερο. Τώρα η υποδομή που έχει να κάνει με την δρομολόγηση μπορεί να μετακινηθεί μαζί με τους τελικούς χρήστες. Επομένως η τοπολογία δρομολόγησης μπορεί να αλλάξει , και η διευθυνσιοδότηση μέσα στην τοπολογία μπορεί να μεταβληθεί. Σε αυτή την κατάσταση η συχέτιση του τελικού χρήστη με έναν κινητό δρομολογητή ( το σημείο συνδεσιμότητας ) καθορίζει και τη θέση του μέσα στο manet. Οπως και πρίν, η ταυτότητα του χρήστη μπορεί να είναι προσωρινή η μόνιμη. Αλλα τώρα , δεδομένης της αλλαγής της σύνθεσης της υποδομής δρομολόγησης ( δηλαδή από σταθερή , καλωδιακή και υψηλού εύρους ζώνης σε δυναμική , ασύρματη και περιορισμένου εύρους ζώνης ) , οι περισσότερες από τις υπηρεσίες ελέγχου της σταθερής υποδομής δεν είναι πλέον χρήσιμες. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης της νέας υποδομής και επιπλέον η ίδια η δικτύωση θα πρέπει να αναθεωρηθεί ώστε να λειτουργεί αποτελεσματικά και αποδοτικά σε ένα μετακινούμενο περιβάλλον.

## **Εφαρμογές**

Οπως ακριβώς και τα packet radio networks, έτσι και και τα ad hoc wireless δίκτυα έχουν σημαντικό ρόλο να διαδραματίσουν σε στρατιωτικές εφαρμογές. Στρατιώτες εξοπλισμένοι με κινητές επικοινωνιακές συσκευές που είναι Multi mode μπορούν να επικοινωνούν επι τούτου, χωρίς να χρειάζονται σταθεροί ασύρματοι σταθμοί. Επιπλέον, μικρές κινητές συσκευές εξοπλισμένοι με αισθητήρες ακοής και

κάμερες μπορούν να τοποθετηθούν σε στρατηγικής σημασίας περιοχές για τη συλλογή πληροφοριών περιβαλλοντικής ή χωροταξικής σημασίας που μπορεί να κατευθύνει προς έναν κόμβο επεξεργασίας ( processing node ) μέσα από συστήματα κινητών επικοινωνιών. Μπορούν να αναπτυχθούν επίσης κινητά συστήματα επικοινωνιών μεταξύ πλοίων δεδομένου ότι παρέχει εναλλακτικές διαδρομές επικοινωνίες που δεν στηρίζονται στις υφιστάμενες εναέριες ή επίγειες επικοινωνιακές υποδομές.

Εμπορικές εφαρμογές που προτείνονται για ad hoc ασύρματα δίκτυα περιλαμβάνουν :

- A) Συνέδρα, συναντήσεις διαλέξεις
- B) υπηρεσίες εκτακτης ανάγκης
- Γ) επιβολή νομοθετικών κανόνων

Οι άνθρωποι σήμερα παρακολουθούν διαλέξεις και συνέδρα μέσω φορητών υπολογιστών , υπολογιστές χειρός κλπ. Είναι επιθυμητό επομένως να υπάρχει άμεση διαμόρφωση δικτύου , και επιπλέον δυνατότητες μοιρασμού αρχείων και πόρων χωρίς την παρουσία σταθερών σταθμών εργασίας και ειδικών διαχειριστών δικτύου. Ένας παρουσιαστής μπορεί να κάνει multicast διαφάνειες και ήχο σε συγκεκριμένους αποδέκτες. Επίσης τα ad hoc επικοινωνιακά συστήματα μπορούν να έχουν πρακτική εφαρμογή σε αναμεταδιδόμενες πληροφορίες ( πχ τρέχουσα κατάσταση, βαθμός ολοκλήρωσης κλπ) ,μέσω video, data και voice μεταξύ σωστικών συνεργείων μέσα από μια μικρή φορητή συσκευή. Αυτό μπορεί να έχει εφαρμογή και σε όργανα επιβολής του νόμου κλπ.

Οι τρέχουσες προκλήσεις που τα ad hoc ασύρματα δίκτυα καλούνται να απαντήσουν είναι :

- A) Multicast
- b) QOS υποστηριξη
- γ) Power aware routing
- δ) location aid routing

Όπως προαναφέρθηκε, το multicast είναι επιθυμητό ώστε να υποστηρίζει ασυρματές επικοινωνίες πολλαπλών χρηστών. Δεδομένου ότι η ιεραρχία multicast δεν είναι πλέον στατική ( η τοπολογία του μεταβάλεται στο χρόνο ), το πρωτόκολλο δρομολόγησης multicast θα πρέπει να μπορεί να ανταπεξέλθει με την κινητικότητα αυτή, περιλαμβανομένου της δυναμικής multicast membership (leave – join). Σε όρους QOS , είναι ανεπαρκής να θεωρηθεί το QOS μονάχα στο επίπεδο του δικτύου χωρίς να λάβει υπόψη του το υποκείμενο media access control layer. Λαμβάνοντας υπόψη τα προβλήματα που συσχετίζονται με τη δυναμική των κόμβων, τα κρυμμένα τερματικά , και τα διακυμαινόμενα χαρακτηριστικά των επικοινωνιακών δεσμών, η υποστήριξη end to end QOS είναι θέμα που απαιτεί περισσότερη διερεύνηση. Προς το παρόν, υπάρχει η τάση για μια προσέγγιση ενός προσαρμόσιμου QOS από μια απλή μέθοδο συγκράτησης πόρων με QOS guarantees. Άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η περιορισμένη δυνατότητα παροχής ισχύς των φορητών συσκευών που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στην μετάδοση των πακέτων σε ένα κινητό περιβάλλον ad hoc. Επιπλέον η δρομολόγηση του επικοινωνιακού φόρτου βασισμένη στην δυνατότητες ισχύς των κόμβων είναι ένας τρόπος για τον διαχωρισμό των δρομολογητών που έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από κάποια άλλα. Τέλος αντί της χρήσης αναζήτησης μέσα από beaconing η broadcast, η δρομολόγηση location – aided χρησιμοποιεί πληροφορίες αναφορικά με την τοποθεσία για να προκαθορίσει σχετιζόμενες περιοχές ώστε η δρομολόγηση να είναι περιορισμένης έκτασης.

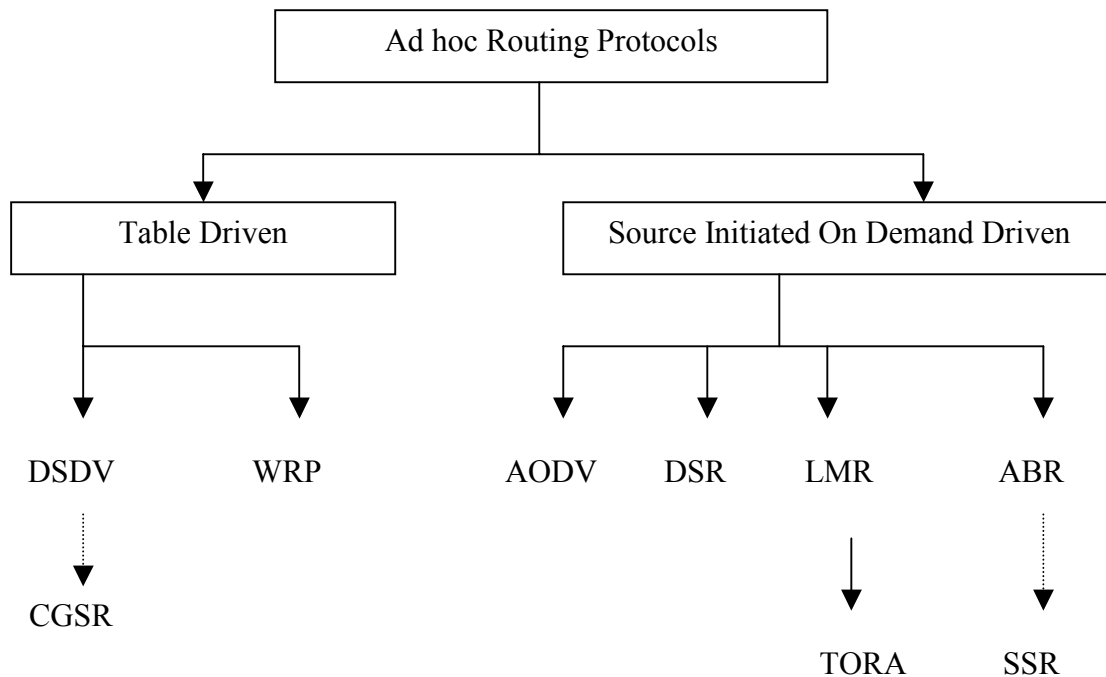
Οι υφιστάμενες ad hoc προσεγγίσεις δρομολόγησης έχουν εμφανίσει αρκετά νέα θέματα προς διερεύνηση , όπως είναι η διερεύνηση της ζήτησης του χρήστη, και των παραμέτρων που έχουν να κάνουν με τη χρήση της τοποθεσίας, της ισχύς κλπ. Η δυνατότητα προσαρμογής και αυτορύθμισης είναι χαρακτηριστικά κλειδιά αυτών των προσεγγίσεων. Ωστόσο η ευλιξία αποτελεί ακόμη ένα σημαντικό θέμα. Ένα ευέλικτο ad-hoc πρωτόκολλο δρομολόγησης μπορεί να συμπεριλάβει προσεγγίσεις table – driven και /η on-demand που βασίζονται σε δεδομένες καταστάσεις και επικοινωνιακές απαιτήσεις. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο προσεγγίσεων μπορεί να είναι ασήμαντη δεδομένου ότι οι σχετιζόμενοι κόμβοι θα πρέπει να συχνοτιστούν με αυτήν την αλληλεπίδραση. Η συνύπαρξη των δύο προσεγγίσεων μπορεί να υφίσταται σε ομάδες που είναι spatially clustered , με intra cluster απασχόληση της table driven προσέγγισης και inter-cluster απασχόληση της demand driven

απασχόλησης η ανάποδα. Περισσότερη διερεύνηση απαιτείται για τις δυνατότητες και την μέτρηση της αποτελεσματικότητας των υβριδικών ad hoc προσεγγίσεων δρομολόγησης. Επιπλέον , χρειάζεται περισσότερη έρευνα σε θέματα media access control , ασφάλεια, και Internet protocol operability προτού η προοπτική του ad hoc mobile networking μπορέσει να γίνει εφικτή.

### Αναφορά σε ad hoc routing protocols

Μετά την έλευση των packet radio networks στις αρχές της δεκαετίας του 1970, έκαναν την εμφάνιση τους πλήθος από ad hoc mobile networks. Δεδομένου ότι τα πρωτόκολλα θα πρέπει να αντιμετωπίσουν τους τυπικούς περιορισμούς αυτών των δικτύων, μεταξύ των οποίων είναι η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, , το χαμηλό εύρος ζώνης , και το υψηλό ποσοστό σφαλμάτων, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής :

- A) Table driven
- b) Source initiated on demand driven



Σχημα 2

Οι συμπαγές γραμμές στο σχήμα δείχνουν τους άμεσους επίγονους ενώ οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν λογικούς επίγονους. Παρόλο που έχουν σχεδιαστεί για τον ίδιο τύπο δικτύου , τα χαρακτηριστικά καθε πρωτοκόλλου παρουσιάζουν αρκετές διαφορές. Στα παρακάτω περιγράφονται μερικά από αυτά τα πρωτόκολλα .

### **Table driven routing protocols**

Τα table driven routing protocols επιχειρούν την συνεπή , και έγκαιρη δρομολόγηση της πληροφόρησης από το ένα κόμβο του δικτύου στο άλλο. Τα πρωτόκολλα αυτά απαιτούν από κάθε κόμβο να διατηρήσει έναν η περισσότερους πίνακες γαι να αποθηκεύσει τις πληροφορίες δρομολόγησης, και ανταποκρίνονται στις μεταβολές της τοπολογίας του δικτύου κάνοντας ενημερώσεις σε ολόκληρο το δίκτυο ώστε να έχει μια ξεκάθαρη όψη του δικτύου. Τα σημεία που τα πρωτόκολλα διαφοροποιούνται είναι αριθμός των απαραίτητων πινάκων που απαιτούνται και οι μέθοδοι με τις οποίες γίνεται η εκπομπή των αλλαγών στην τοπολογία του δικτύου. Στα παρακάτω περιγράφεται το πρωτόκολλο DSDV.

### **Destination Sequenced Distance Vecror Routing (DSDV)**

Αποτελεί αλγόριθμος που βασίζεται στο κλασσικό μηχανισμό δρομολόγησης του Bellman Ford. Οι βελτιώσεις που έγιναν πάνω σε αυτόν τον αλγόριθμο περιλαμβάνουν την απελευθέρωση από συνεχής επαναλήψεις μέσα στους πίνακες δρομολόγησης.

Κάθε κινητός κόμβος στο δίκτυο διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης όπου καταγράφονται όλοι οι πιθανοί προορισμοί εντός του δικτύου και ο αριθμός των μετακινήσεων ( hops) που απαιτούνται σε κάθε προορισμό. Κάθε εγγραφή μαρκάρεται με έναν σειριακό αριθμό που του δίνεται από τον κόμβο προορισμού. Οι σειριακοί αριθμοί επιτρέπουν στους μετακινούμενους κόμβους να διαχωρίσουν παλιές δρομολογήσεις από νέες, και έτσι αποφεύγεται η δημιουργία των επαναλαμβανόμενων δρομολογήσεων. Οι ενημερώσεις των πινάκων γίνονται σε περιοδική βάση και μεταδίδονται σε ολόκληρο το δίκτυο έτσι ώστε να υπάρχει πλήρη

συνάφεια και συνοχή μεταξύ των πινάκων. Προκειμένου να ελατρωθεί ο φόρτος του δικτύου λόγω των συνεχόμενων ενημερώσεων, οι ενημερώσεις μπορούν να αφορούν δύο ειδών πακέτων (packets). Το πρώτο είναι γνωστό ως "full dump". Ο τύπος αυτός πακέτου κουβαλάει κάθε διαθέσιμη πληροφορία δρομολόγησης και μπορεί να απαιτήσει πολλαπλές μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου δικτύου ( Multiple Network protocol data units- NPDU). Σε περιόδους συχνών μετακινήσεων, τα πακέτα αυτά μεταδίδονται με ελάχιστη συχνότητα. Μικρότερα πακέτα "οριακού περιεχομένου" χρησιμεύουν ώστε να μεταδοθεί μόνο η πληροφορία εκείνη που άλλαξε από τη στιγμή του τελευταίου full dump. Καθεμία από αυτές τις μεταδόσεις θα πρέπει να χωράει σε προκαθορισμένης χωρητικότητας NPDU, μειώνοντας έτσι τον όγκο του φόρτου που δημιουργείται. Οι μετακινούμενοι κόμβοι διατηρούν έναν επιπρόσθετο πίνακα όπου αποθηκεύουν τα δεδομένα των "οριακών" πακέτων.

Νέες μεταδόσεις δρομολόγησης περιέχουν την διεύθυνση του προορισμού, των αριθμό των μετακινήσεων που χρειάζονται για να φτάσουν στον προορισμό, τον σειριακό αριθμό της πληροφορίας που παραλήφθηκε αναφορικά με τον προορισμό, καθώς και ένας νέος σειριακός αριθμός μοναδικός για τη συγκεκριμένη μετάδοση. Η δρομολόγηση που έχει μαρκαριστεί με τον πιο πρόσφατο σειριακό αριθμό είναι αυτός που παντα χρησιμοποιείται. Σε περίπτωση που δυο ενημερώσεις έχουν τον ίδιο σειριακό αριθμό, η διαδρομή με το μικρότερο βαθμό metric είναι αυτός που χρησιμοποιείται ώστε να ελαχιστοποιηθεί η διαδρομή.

### **Αρχιτεκτονική των manet**

Έχουν συσταθεί ειδικές ομάδες εργασίας με σκοπό τη καθιέρωση προτύπων για θέματα δρομολόγησης και διεπαφής που θα υποστηρίζουν αυτο-οργανωμένα ( self organizing ) μετακινούμενα δίκτυα. Απώτερος σκοπός είναι η καθιέρωση των θεμελιωδών αρχών για μια ανοιχτή, ευέλικτη και ευπροσάρμοστη αρχιτεκτονική της τεχνολογίας manet.

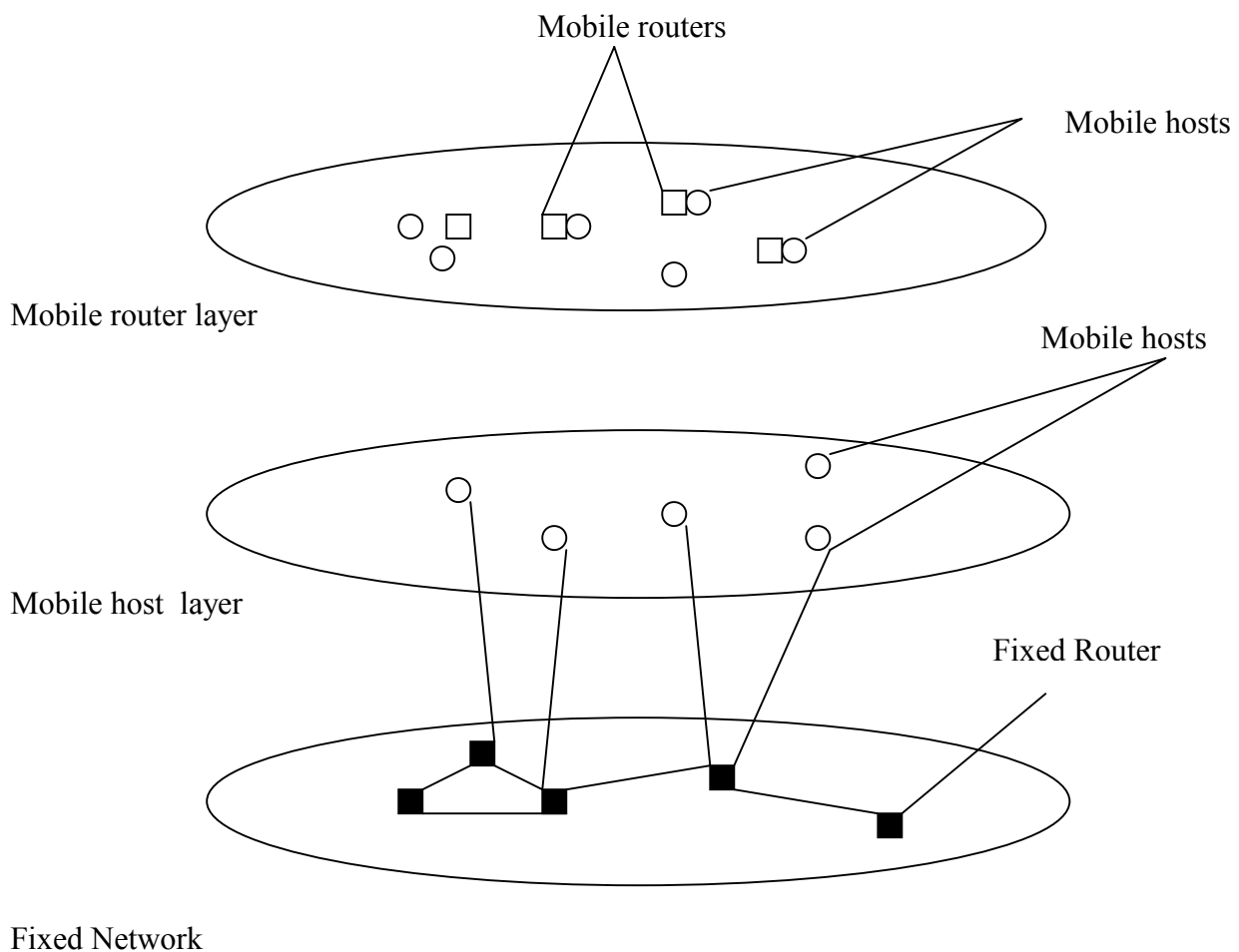
Υπάρχουν πολλά θέματα που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για την ανάπτυξη ενός στιβαρού μετακινούμενου δικτυακού συστήματος. Δεδομένου ότι σκοπός των ομάδων εργασίας είναι η προτυποποίηση της τεχνολογίας δρομολόγησης των manets

, θα πρέπει να να το κάνει λαμβάνοντας υπόψη τις πιθανές μελλοντικές εξελίξεις στα μετακινούμενα δίκτυα και θα πρέπει να εξασφαλίσει την συμβατότητα με άλλα πρότυπα που εξεσισονται σήμερα στο διαδύκτυο.

### Χτίζοντας ένα Μετακινούμενο Διαδίκτυο ( Mobile Internet)

Μπορούμε να διαχωρίσουμε το επερχόμενο μετακινούμενο διαδίκτυο σε δύο επίπεδα :

1. Τον μετακινούμεμο εξυπηρετητή ( Mobile host)
2. Τα μετακινούμενα επίπεδα δρομολόγησης ( mobile router layers )



### **Σχήμα 3 : Κινητοί εξυπηρετητές και επίπεδα κινητής δρομολόγησης ενός manet και οι σχέσεις τους με το παραδοσιακό Internet**

Το επίπεδο του μετακινούμενου εξυπηρετητή απαρτίζεται από προσωρινούς εξυπηρετητές που συνδέονται με δρομολογητές στη σταθερή δικτυακή υποδομή , η αλλιώς σταθεροί δρομολογητές. ( Η προσέγγιση αυτή υποστηρίζεται από πρότυπα όπως είναι το mobile IP και DHCP). Οι εξυπηρετητές αυτοί είναι λογικά ένα βήμα (hop) από σταθερό δρομολογητή και οι διασυνδέσεις τους μπορεί να είναι ασύρματες η ενσύρματες. Οι βασικές λειτουργίες αυτών των τεχνολογιών είναι η διαχείριση της διευθυνσιοδότησης και τοποθεσίας. Η λειτουργία σε επίπεδο end to end απαιτεί υπηρεσίες υποστήριξης δρομολόγησης από την σταθερή δικτυακή υποδομή.

Το επίπεδο του μετακινούμενου δρομολογητή ( Manet technology) απαρτίζεται από κινητούς δρομολογητές και κινητούς εξυπηρετητές , με κάθε κινητό εξυπηρετητή να σχετίζεται , είτε μόνιμα είτε προσωρινά, με έναν κινητό δρομολογητή. ( σε μερικές περιπτώσεις η διακρισή αυτή είναι σε λογικό επίπεδο , καθώς μια συσκευή μπορεί να είναι ταυτόχρονα κινητός εξυπηρετητής και δρομολογητής. ) Το επίπεδο του κινητού δρομολογητή δεν χρειάζεται υπηρεσίες υποστήριξης δρομολόγησης από την σταθερή δικτυακή υποδομή , δεδομένου ότι διαμορφώνει μια κινητή υποδομή παραλληλα με την σταθερή δικτυακή υποδομή.

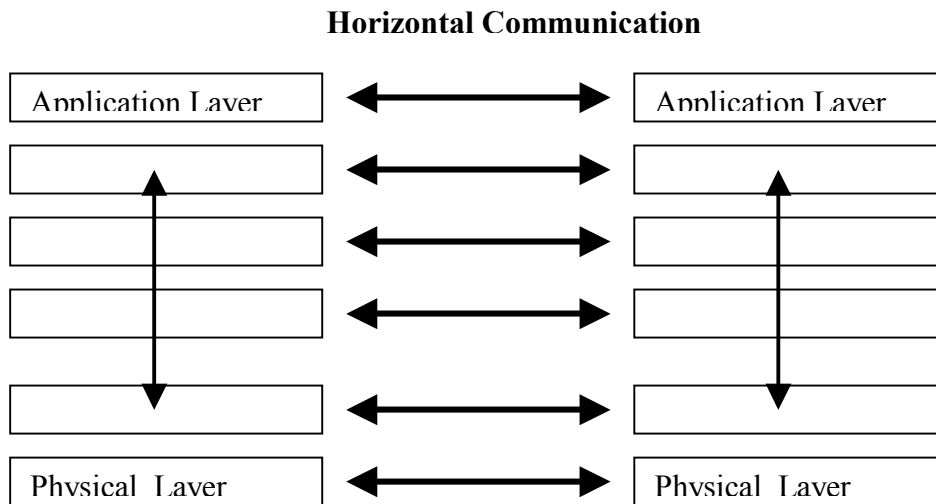
Το επίπεδο του μετακινούμενου επιπέδου δρομολόγησης μπορεί να θεωρηθεί σαν εναλλακτική λύση του παραδοσιακού σταθερού επιπέδου δικτύου , μολονότι αυτό δεν είναι καθόλου επιθυμητό εξαιτίας της χαμηλότερης χωριτικότητας. Επομένως , τα δίκτυα στο επίπεδο του μετακινούμενου δρομολογητή θα λειτουργούν ως “stub networks” μεταφέροντας δεδομένα που είναι προορισμένα η έχουν εξέλθει από έναν εξυπηρετητή στο επίπεδο του μετακινούμενου δρομολογητή. Επίσης , ενώ , λογικά εξεταζόμενο, το επίπεδο του μετακινούμενου δρομολογητή μπορεί να θεωρηθεί ενιαίο σε σχέση με το σταθερό δίκτυο , στο μέλλον είναι περισσότερο πιθανό να διαχωριστεί σε ξεχωριστά αυτόνομα συστήματα μετακινούμενων δρομολογητών. Ενδεχομένως οι τεχνολογικές εξελίξεις να απαλείψουν αυτούς τους περιορισμούς , επιτρέποντας τη δημιουργία καθολικών και ενοποιημένων ασύρματων δικτύων μεταφέροντας φόρτο του διαδικτύου παράλληλα με τα σταθερό δίκτυο. Ένα τέτοιου είδους δίκτυο θα περιλαμβάνει κόμβους εναέριους η βασιζόμενους σε δορυφόρους.



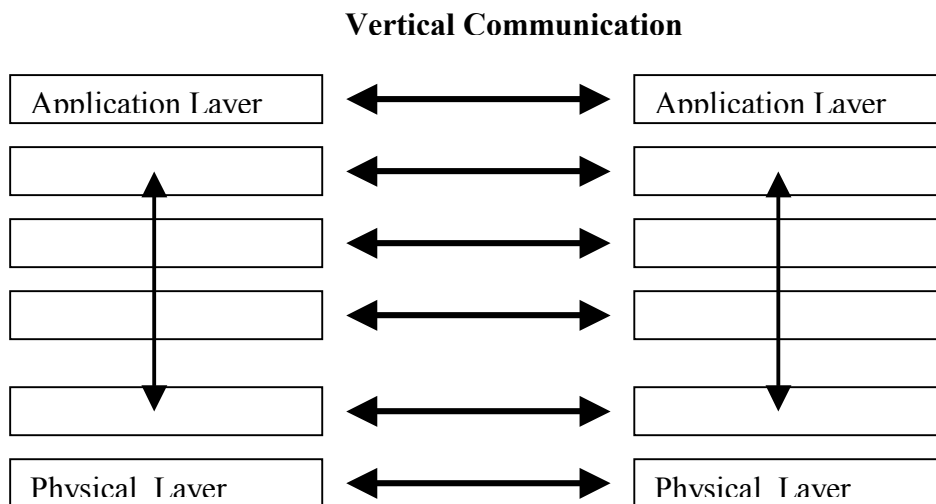
Ενας εξυπηρετητής manet ( δηλαδή, εξυπηρετητής που σχετίζεται με μετακινούμενο δρομολογητή , η ένας που ο ίδιος είναι μετακινούμενος δρομολογητής ) στο επίπεδο του μετακινούμενου δρομολογητή μπορεί να λάβει μια από τις δύο καταστάσεις σε σχέση με την σταθερή δικτυακή υποδομή : τελείως αποσυνδεδεμένος από το σταθερό δίκτυο η μεγαλύτερης της μιας θέσης ( one hop) από το σταθερό δίκτυο. Όταν αποσυνδεθεί , το manet στο οποίο βρίσκεται ο εξυπηρετητής σχηματίζει ένα αυτόνομο σύστημα που είναι ανεξάρτητο από την σταθερή δικτυακή υποδομή. Ειδικά , όταν συνδεθεί , τουλάχιστον ένας μετακινούμενος δρομολογητής του manet βρίσκεται μεταξύ του μετακινούμενου εξυπηρετητή και ενός σταθερού δρομολογητή. Με άλλα λόγια, ο μετακινούμενος εξυπηρετητής συνδέεται άμεσα με έναν δρομολογητή του manet ( one hop), και ο δρομολογητής του manet είναι , είτε άμεσα συνδεδεμένος με τον σταθερό δρομολογητή ( μέσα από δεύτερο hop) , είτε συνδέεται έμμεσα με τον σταθερό δρομολογητή μέσω άλλων δρομολογητών manet ( μέσα από πολλαπλούς hop). Εδώ , ο σταθερός δρομολογητής σχηματίζει μια είδους πύλης ( gateway) με το σταθερό δίκτυο. Σε μερικές περιπτώσεις ο δρομολογητής πύλης μπορεί να είναι ένας μετακινούμενος IP foreign agent , διευκολύνοντας έτσι την επικοινωνία με το σταθερό δίκτυο μέσα από μετακινούμενο IP. Η σύνδεση ( Hop) μεταξύ ενός Mobile εξυπηρετητή και ενός manet δρομολογητή μπορεί να είναι ενσύρματη η ασύρματη, ενώ η συνδέσεις ( Hops) μεταξύ Manet δρομολογητών είναι κυρίως ασύρματες.

### **Σχεδίαση για μεγιστη ευελιξία**

Το διαδίκτυο αποτελεί δίκτυο με μια τοπολογία multihop. Ακριβώς το ίδιο είναι η τοπολογία σε λογικό επίπεδο ενός manet, όπως φαίνεται στο σχήμα 4. Ενώ τα δύο δίκτυα υπόκεινται σε περιορισμούς σε επίπεδο πόρων ( resource constrained), οι διαφοροποιήσεις στους πόρους παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους.



**a**



**β**

**Σχήμα 4**

Οι περιορισμοί πόρων του Διαδικτύου ( ένα περιβάλλον πιο πλούσιο σε εύρος ζώνης ) οδήγησαν στη σχεδίαση ενός πρωτοκόλλου που οδηγεί αφενός σε αμελητέο περιορισμό του εύρους ζώνης αφετέρου, ελαχιστοποιεί , στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό, την ανάγκη για επεξεργασία η αποθήκευση στους δρομολογητές. Αυτή η προσέγγιση στο σχεδιασμό στηρίζεται σε μια οριζόντια peer-to peer επικοινωνία

μεταξύ των επιπέδων πρωτοκόλλου γειτονικών δρομολογητών ( σχήμα 4<sup>α</sup>) ελαχιστοποιώντας το φόρτο από την επικοινωνία μεταξύ των επιπέδων εντός του πρωτοκόλλου σε ένα δεδομένο δρομολογητή. Αυτό πολλές φορές αναφέρεται και ως η αρχή του αυστηρού διαχωρισμού επιπέδου πρωτοκόλλου ( strict protocol- layer seperation). Η προσέγγιση αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι τα γειτονικά επίπεδα πρωτοκόλλου δεν μοιράζονται σε μεγάλο βαθμό τις συνέπειες του ενός με τον άλλον, και επίσης απλουστεύει του σχεδιασμό πρωτοκόλλου.

### **Κάθετη επικοινωνία για διατήρηση εύρους ζώνης.**

Οι περιορισμοί πόρων των manets είναι σε κάποιο βαθμό αντίθετοι από αυτούς στο σταθερό διαδίκτυο , και αυτό σημαίνει μια διαφορετική προσέγγιση σχεδιασμού πρωτοκόλλου – ενός που ελαχιστοποιεί τις απαιτήσεις επικοινωνίας σε οριζόντιο επίπεδο ( που σπαταλά εύρος ζώνης ) και αυξάνει τις απαιτήσεις επικοινωνίας σε κάθετο επίπεδο μέσα στη σωρό του πρωτοκόλλου ( σχήμα 3β). Αυτοί οι σωροί πρωτοκόλλου συνδέονται πιο λογικά μεταξύ τους : Η διπλής κατεύθυνσης αυξημένη επικοινωνία επιτρέπει σε πρωτόκολλα ανώτερου επιπέδου να δεθούν πιο στενά με πρωτόκολλα χαμηλότερου επιπέδου , και έτσι ελαχιστοποιούνται οι αναποτελεσματικότητες που μπορεί να οδηγήσουν σε επιπρόσθετη οριζόντια επικοινωνία.

Με παρόμοιο τρόπο, τα πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου μπορεί να δεθούν πιο στενά με επίπεδα δεσμών μέσα από “πλούσια “ interfaces, επιτρέποντας σε πρωτόκολλα να εκμεταλευτούν τα χαρακτηριστικά των επιπέδων δεσμών για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα όταν αυτό είναι δυνατόν. Ορισμένες προτάσεις που ακούγονται προτείνουν την αξιοποίηση της λειτουργικότητας RTS/CTS του προτύπου IEEE 802.11, όταν αυτό επιτρέπεται, ώστε να γίνει αποδοτικός ο εντοπισμός του επιπέδου δεσμού των γειτονικών συνδέσεων. Ερευνες έδειξαν ότι αυτό βελτιώνει την αποδοτικότητα και μειώνει τις επιπρόσθετες απαιτήσεις για τα πρωτόκολλα αυτά. Ωστόσο και τα δύο πρωτόκολλα μπορούν να λειτουργήσουν κάνοντας χρήση απλούστερων CSMA/CA επίπεδα δεσμών που δεν παρέχουν αυτήν την λειτουργικότητα. Η ανάπτυξη ενός προτύπου Interface IP Το IEEE 802.11 θα επιτρέψει σε μελλοντικούς αλγόριθμους δρομολόγησης IP να αξιοποιήσουν περισσότερο τις υπηρεσίες του 802.11. Η ανάπτυξη τέτοιων interfaces για κοινα

χρησιμοποιούμενα επίπεδα δεσμών όπως είναι το IEEE 802.11 ( και πιθανώς στο μέλλον του Bluetooth) επιτρέπει την εύκολη χρήση τους από άλλους developers.

Βέβαια, αυτή η ολική προσέγγιση που δίνει έμφαση σε στενότερη κάθετη επικοινωνία αντίθετα από τον παραδοσιακό τρόπο σχεδιασμού , είναι πιθανόν να υπαγορεύεται από θέματα οικονομίας, απλούστευσης και διαλειτουργικότητας με υπάρχοντα διαδικτυακά πρωτόκολλα. Θα πρέπει να γίνουν ορισμένοι συμβιβασμοί και δεν είναι επιθυμητή η εκτενής επικοινωνία στο κάθετο επίπεδο όταν ο επιδιωκόμενος στόχος είναι η απλότητα και η ευελιξία. Εάν είναι επιθυμητή η διαλειτουργικότητα στο υπάρχον δίκτυο τότε ίσως να μην είναι εφικτό να προστεθεί κάποια επιπλέον ασύρματη υπηρεσία μεταφοράς όπως το TCP. Σε μια τέτοια περίπτωση, η μεγαλύτερη ενοποίηση των χαμηλών επιπέδων ( η δρομολόγηση Internet και το ασύρματο επίπεδο δεσμού ) αποτελεί πιο λογική λύση. Η προσέγγιση αυτή αφήνει ανοιχτή την πιθανότητα ότι μελλοντικά πρωτόκολλα σε επίπεδο εφαρμογής η μεταφοράς μπορούν να σχεδιαστούν αποτελεσματικά σε μια πιο ενοποιημένη βάση ώστε να βελτιωθεί η λειτουργία πάνω από manet δίκτυα.

### **Θέματα Σχεδιασμού αρχιτεκτονικών διευθυνσιοδότησης**

Έχει διαπιστωθεί ότι αποτελεσματικές αρχιτεκτονικές διευθυνσιοδότησης θα πρέπει να υποστηρίζουν τις ακόλουθες δυνατότητες :

- Διαλειτουργικότητα μέσα από την υποστήριξη της αρχιτεκτονικής IP addressing
- Ταυτόχρονη χρήση πολλαπλών ασύρματων τεχνολογιών
- Τη παρουσία πολλαπλών εξυπηρετητών ανά δρομολογητή

Οι δυνατότητες αυτές μπορούν να υλοποιηθούν από μια αρχιτεκτονική που :

- Αναγνωρίζει τους τελικούς εξυπηρετητές μέσα από τις IP διευθύνσεις
- Αναγνωρίζει ένα manet κόμβο με κάποιο αναγνωριστικό κωδικό (Node ID) το οποίο διαφέρει από την αναγνώριση του interface , και
- Επιτρέπει την προβολή πολλαπλών εξυπηρετητών ανά κόμβο του manet

Η διαφοροποίηση αναγνώρισης του δρομολογητή και Interface είναι παρόμοια με την τακτική που ήδη ακολουθείται στα μέρη του σταθερού δικτύου ( για παράδειγμα στο πρωτόκολλο δρομολόγησης OSPF του διαδικτύου ) και φαίνεται αποδεκτό για την κατασκευή υποδομής δρομολόγησης που ενσωματώνει την αρχή δομημένης δρομολόγησης. Η προσέγγιση αυτή δεν καθορίζει τι είναι τα μέσα αναγνώρισης η πώς αυτοί ανατίθενται. Αυτό αποτελεί ξεχωριστό θέμα, παρόλο που συνδέεται με θέματα δρομολόγησης. Πολιτικές και πρωτόκολλα για θέματα ανάθεσης μέσω αναγνώρισης αναφορικά με δρομολογητές εξυπηρετητές η και interface θα αναπαυχθούν εφόσον προκύψει η ανάγκη. Αυτές οι πολιτικές θα πρέπει να αντικατοπτρίζουν τη φύση του manet domain και την πολιτική δρομολόγησης που χρησιμοποιείται κάθε φορά.

#### **Δημιουργώντας μετακινούμενα εμπορικά και στρατιωτικά δίκτυα.**

Ορισμένα από τα οφέλη του IP based networking για μετακινούμενα ασύρματα συστήματα – αποδοτικότητα κόστους , ευελιξία , διαλειτουργικότητα κ.α.- συνηγορούν στην άποψη ότι το ασύνδετο datagram forwarding αποτελεί μια στιβαρή και λογική προσέγγιση για ανάπτυξη μετακινούμενων δικτύων. Η άποψη αυτή ισχύει τόσο για εμπορικές όσο και για στρατιωτικές εφαρμογές μελλοντικών τεχνολογιών Manet.

Λόγω της σχετικά χαμηλής χωριτικότητας που επιτυγχάνεται από μετακινούμενα, multihop ασύρματα δίκτυα, η τεχνολογία manet δεν μπορεί να παρέχει δικτυακές υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας και ευρέως χρήσης. Αυτό όμως δεν σημαίνει η χρήση του manet να αποκλειστεί εκεί όπου η παραδοσιακή καλωδιακή υποδομή είναι λιγότερο οικονομική η εφικτή.

Η τεχνολογία manet πιθανώς να κάνει πρωταρχικά την εμφάνιση της σε δίκτυα με λιγότερους από 100 κόμβους. Σε εμπορικές εφαρμογές , η τεχνολογία μπορεί να έχει χρήση στην επέκταση της WLAN τεχνολογίας πάνω από πολλαπλά radio hops. Δίκτυα που καλύπτουν μερικά τετραγωνικά χιλιόμετρα μπορούν να χτιστούν πάνω σε WLAN τεχνολογίες όπως την IEEE 802.11. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν έπειτα να διαδικτυωθούν κάνοντας χρήση της IETF MANET τεχνολογίας δρομολόγησης, έτσι ώστε να δημιουργηθούν υβριδικά δίκτυα κάνοντας χρήση των δύο τεχνολογιών. Άνθρωποι και οχήματα μπορούν να διαδικτυωθούν σε περιοχές χωρίς υφιστάμενη

επικοινωνιακή υποδομή , η όταν η χρήση αυτής της υποδομής απαιτεί ασύρματη επικοινωνία.

Σε μικρότερη κλίμακα, τεχνολογίες όπως είναι η Bluetooth μπορούν να αξιοποιηθούν με ενδιαφέροντες τρόπους ( ίσως σε συνδιασμό με τεχνολογία τύπου 802.11) για την κατασκευή ενσωματωμένων ασύρματων δικτύων . Τα δίκτυα αυτά μπορούν να έχουν ένα συνδιασμό στατικών και μετακινούμενων κόμβων ( για παράδειγμα φανταστείτε ένα δίκτυο από χαμηλής ισχύς μικροκύτταρα και ρομπότς ), που θα μπορούσαν να ρυθμιστούν χωρίς καμμία καλωδίωση η προ-ρύθμιση. Καθώς οι συσκευές επικοινωνίας και επεξεργασίας συνεχίζουν να αναπτύσσονται , οι χρήσεις αυτής της τεχνολογίας θα γίνουν ακόμη πιο ορατές ειδικά στους χώρους των ενσωματωμένων συστημάτων και των μικρο-δικτυακών εφαρμογών ( Micronetworking).

Τα ασύρματα μετακινούμενα multihop δικτυακά συστήματα αποτελούν μεγάλη πρόκληση για τους σχεδιαστές των IP δικτυακών συστημάτων. Τέτοια συστήματα θα πρέπει να λειτουργούν σε περιβάλλοντα με κόμβους μεγάλης κινητικότητας, επικοινωνιακές δυνατότητες χαμηλού και αναξιόπιστου εύρους ζώνης και μεγάλο βαθμό ενοχλήσεων. Ακόμη μια πρόκληση για την ευρεία χρήση αυτής της τεχνολογίας είναι η σχετικά χαμηλή απόδοση που επιτυγχάνεται πάνω από επίγεια ( terrestrial ) μετακινούμενα multihop ασύρματα δίκτυα. Η επιλογή του δικτύου μπορεί να μην είναι μια αποκλειστικά επίγεια ad hoc δικτύωση εάν υφίστανται δορυφορικές η επίγειες πλατφόρμες για τη χρήση δρομολόγησης από μετακινούμενους κόμβους. Μαλλον περισσότερο , ενα καθετοποιημένο δικτυακό υβριδικό σύστημα που απαρτίζεται από επίγειους , εναέριους, και δορυφορικούς κόμβους μπορεί να εξυπηρετήσει καλύτερα τους μετακινούμενους χρήστες . Μακροπρόθεσμα, η manet τεχνολογία φαίνεται πως είναι η κατάλληλη τεχνολογία για την διαδικτύωση αυτών των ανομοιογενών δικτύων.

### **Mobile packet radio systems**

Τα μετακινούμενα πακέτα radio systems χρησιμοποιούν αποκλειστικά, υψηλή καθετοποιημένη και ενοποιημένη τεχνολογία σε όλα τα επίπεδα της διαχείρισης δικτύου. Αυτό γίνεται , κύριως εξαιτίας της ανάγκης για μεγιστοποίηση της απόδοσης από χαμηλής χωριστικότητας αλλά συνάμα υψηλού κόστους συστήματα. Τετοια δίκτυα χρησιμοποιούσαν μια ασύρματη τεχνολογία της οποίας η συνδεσιμότητα σχημάτιζε μια ασύρματη τοπλογία. Η πολλαπλή πρόσβαση και λοιπά πρωτόκολλα

διαχείρισης δικτύου – ειδικά η δρομολόγηση – ήταν ειδικά διαμορφωμένες για λειτουργία με την εκάστοτε ασύρματη τεχνολογία , μια προσέγγιση που συχνά αναφέρεται και σαν subnet η δρομολόγηση link-layer.

Πολλές τεχνικές αλλαγές συνεχίζουν να υφίστανται στα επίπεδα δεσμού και στο φυσικό επίπεδο ( για παράδειγμα στις περιοχές της πολλαπλής πρόσβασης, ποιότητα υπηρεσιών QOS κ.α.). Ωστόσο, αυτές οι τεχνολογίες θα συνεχίσουν να αναπτύσσονται στο χρόνο , ελαχιστοποιώντας τη χρησιμότητα των μετακινούμενων πακέτων radio systems.

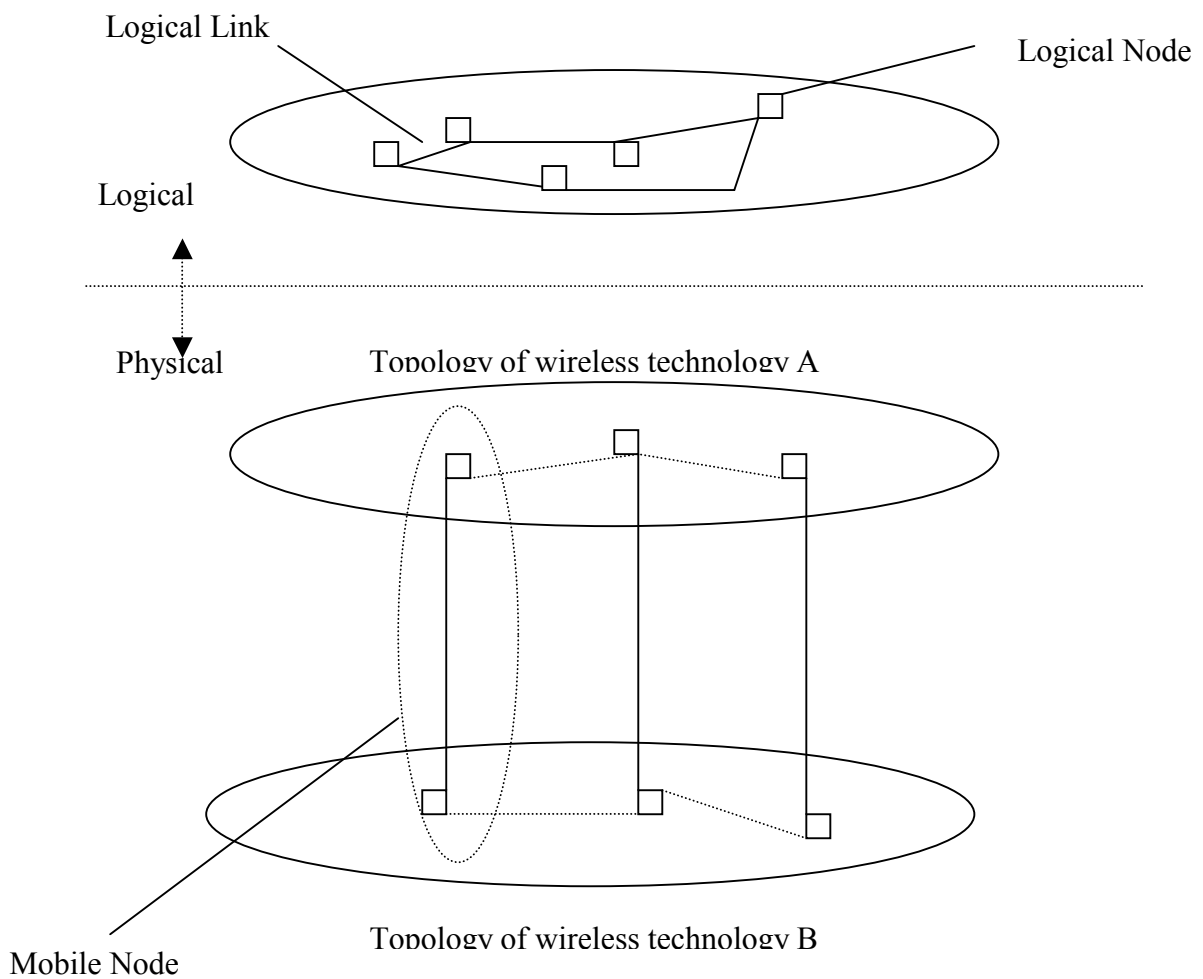
Οι εξελίξεις στον τομέα του εξοπλισμού ηλεκτρονικών έχουν αποφέρει σημαντικά αποτελέσματα στις περιοχές της αποδοτικότητας των συστημάτων , παράλληλα έχουν μειώσει σημαντικά το κόστος τους. Στα επόμενα χρόνια οι επικοινωνιακές συσκευές ευρέως φάσματος θα γίνουν ολοένα και πιο φτηνές. Ενδεχομένως να καταστεί πιο σκόπιμο , με εμπορικούς όρους, να αναπτυχθούν προχωρημένες επικοινωνιακές συσκευές ( όπως είναι προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί –Personal Digital Assistants η κινητά τηλέφωνα ) που να χρησιμοποιούν πολλαπλές ασύρματες τεχνολογίες ταυτόχρονα. Αυτό ήδη υλοποιείται σήμερα σε εργαστηριασμούς χώρους χρησιμοποιώντας φορητούς υπολογιστές ως πλατφόρμες δρομολόγησης.

Οι εξελίξεις αυτές στον τομέα του εξοπλισμού , σε συνδιασμό με την αυξημένη χρήση της IP τεχνολογίας τόσο σε εμπορικές όσο και σε στρατιωτικές εφαρμογές, οδηγούν σε μια μετατόπιση από συστήματα κλειστά, αποκλειστικά , σε συστήματα ανοιχτά και συμβατά με το Δαιδίκτυο.

### **Ευελιξία**

Όταν πολλαπλές ασύρματες τεχνολογίες υπάρχουν σε δεδομένο μετακινούμενο δίκτυο, είναι επιθυμητό η δρομολόγηση να γινεί στο επίπεδο του IP. Στο σχήμα Α φαίνεται ένα δίκτυο όπου ο κάθε κόμβος απαρτίζεται από ένα μετακινούμενο δρομολογητή με ένα συνδεδεμένο subnet που περιέχει μια η περισσότερες εξυπηρετητές η συσκευές που είναι IP- addressable. Ορισμένοι κόμβοι χρησιμοποιούν μια μονάχα ασύρματη συσκευή της τεχνολογίας Α , άλλοι μια διαφορετική ασύρματη συσκευή της τεχνολογίας Β, και άλλοι αξιοποιούν και τις δύο τεχνολογίες. Γενικά , η ασύρματη συνδεσιμότητα , και επόμενως η τοπολογία του δικτύου , που ανταποκρίνεται σε κάθε τεχνολογία , θα είναι διαφορετική. Επομένως γειτονικοί κόμβοι , μπορεί να συνδεθούν μια η και δύο τεχνολογίες μαζί.

Μέσα από την δρομολόγηση στο επίπεδο του IP, είναι δυνατή η ευέλικτη και αποτελεσματική μετάδοση του πακέτου μέσα από το ασύρματο φάσμα, δηλαδή τη λογική ένωση των τοπολογιών των μεμονομένων ασύρματων τεχνολογιών. Η δυνατότητα για τη δυναμική δρομολόγηση μεταξύ ασύρματων τεχνολογιών προσδίδει ευελιξία στον αλγόριθμο δρομολόγησης, και ακόμη μεγαλύτερη στιβαρότητα σε αλλαγές της τοπολογίας και επίσης μεγαλύτερη απόδοση, ειδικά σε δυναμικά δίκτυα μεγάλης κινητικότητας. Αυτό προϋποθέτει ότι η προσέγγιση της δρομολόγησης θα είναι σε κάποιο βαθμό ανεξάρτητη από οποιαδήποτε ασύρματη τεχνολογία.



**Σχημα Α**



### **Διαλειτουργικότητα**

Η ολική επανασχεδίαση της τεχνολογίας στα επίπεδα των δικτύων για κάθε τεχνολογία που ανακύπτει θα ήταν ανέφικτη και πολύ δαπανηρή. Καθόσον ο ασύρματος εξοπλισμός καθίσταται περισσότερο προσβάσιμος, τότε η ανοιχτή προσέγγιση σχεδιασμού υπαγορεύει ότι μονάχα τα επίπεδα δεσμού και επίπεδα πρόσβασης θα πρέπει να αντικατοπτρίζουν τα χαρακτηριστικά του δεδομένου φυσικού επιπέδου κάθε τεχνολογίας. Παρόλο που είναι πιο αποτελεσματική η στενά συνδεδεμένη σχεδίαση δρομολόγησης για ασύρματα δίκτυα, μια σχετικά πιο χαλαρή σύνδεση μεταξύ ενός αλγόριθμου δρομολόγησης και ενός επιπέδου δεσμού μπορεί να επιτύχει το ίδιο βαθμό απόδοσης και με σχετικά χαμηλότερο κόστος.

Η προτυποποίηση των interfaces για το network/link layer μπορεί να βοηθήσει στην εύκολη διάχυση και την συνεργασία μεταξύ ετερογενών συστημάτων. Τέτοια interfaces επίσης επιτρέπουν σε τεχνολογία δρομολόγησης στο επίπεδο του IP να επαναχρησιμοποιηθεί πάνω από πολλές ασύρματες τεχνολογίες. Διαμέσου αυτών των Interfaces μπορεί να καταστεί δυνατή η αποτελεσματική διάθεση πληροφοριών αναφορικά με το επίπεδο δεσμού στο επίπεδο δικτύου.

Μια κατασκευή ασύρματης μετακινούμενης δρομολόγησης μπορεί να απαρτίζεται από πολλούς διαφορετικούς τύπους ασύρματων δεσμών και τεχνολογίες. Μια τέτοιου είδους αρχιτεκτονική θα προάγει τη μαζική παρασκευή οικονομικών ασύρματων συσκευών που μπορούν να συνεργάζονται μεταξύ τους απευθείας διαμέσου του επιπέδου δεσμού, η εμμέσως από το επίπεδο του IP, όπου η δρομολόγηση του επιπέδου IP αποτελεί τον συνδετικό κρίκο του μετακινούμενου κατασκευάσματος

### **Μελλοντική Υποστήριξη της Ποιότητας των Υπηρεσιών ( QoS Support)**

Οι ασύρματες τεχνολογίες μαλλον δεν πρόκειται να μεταβληθούν ( για παράδειγμα θα έχουν διαφορετικές χωριτικότητες, τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης, και υποστήριξη για QoS), και, αναλόγως των χαρακτηριστικών του QoS Traffic, ίσως θα είναι προτιμότερο να δρομολογηθούν ορισμένα traffic classes μέσα από συγκεκριμένες τεχνολογίες Interface, και μεταπηδώντας σε άλλες λιγότερο επιθυμητές τεχνολογίες ( όπως χαμηλότερης χωριτικότητας η υψηλότερης κατανάλωσης ισχύς) μόνον όταν είναι απαραίτητο. Σε αυτές τις περιπτώσεις η δρομολόγηση στο επίπεδο του IP παρέχει τη δυνατότητα επιλογής του δρομολογητή η της πολιτικής μετάδοσης που δεν είναι εφικτές όταν η δρομολόγηση είναι

περιορισμένη σε ένα μονάχα ασύρματο μέσο. Επίσης διευκολύνει την ενοποίηση των IP QoS μηχανισμών που έχουν αναπτυχθεί για τα σταθερό Internet. Παρόλο που το μέλλον της μετακινούμενης δρομολόγησης που να υποστηρίζει QoS αποτελεί θέμα έρευνας, η αρχιτεκτονική manet μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στον τομέα αυτό.

### **Μελλοντικές Σκέψεις –Συπεράσματα**

Πρίν ακόμη η manet τεχνολογία μπορέσει να βρεί εφαρμογή σε στρατιωτικές η εμπορικές εφαρμογές , θα πρέπει πρωτίστως να γίνουν βελτιώσεις σε περιοχές όπως είναι η υψηλή χωρτικότητα των ασύρματων τεχνολογιών, τη διαχείριση διευθυνσιοδότησης και εντοπισμού τοποθεσίας , τη διαλειτουργικότητα και την ασφάλεια. Μελλοντικές εξελίξεις σε θέματα τεχνολογίας του φυσικού επιπέδου και επιπέδου δεσμού θα επιτρέψουν στα manets να διαχειριστούν μεγάλο όγκο φόρτου και να παρέχει υπερισίες προστιθέμενης αξίας σε μεγάλες αποστάσεις. Οι τρέχουσες ασύρματες επικοινωνίες παρέχουν χαμηλό βαθμό χωρτικότητας και περιορισμένες μεθόδους πολλαπλών προσβάσεων. Έρευνες σε περιοχές για εντοπισμό πολλαπλών χρηστών και πολλαπλών μεθόδων πρόσβασης υπόσχονται μεγαλύτερη φασματική και χωροταξική χρησιμότητα , καθώς και μεγαλύτερη χωρτικότητα. Όταν αυτό καταστεί εφικτό, αυτές οι τεχνικές ίσως επιτρέψουν την ανάπτυξη οικονομικών τεχνολογιών πολλαπλής πρόσβασης που να αρμόζουν σε μεγάλης κλίμακας , μετακινούμενα επικοινωνιακά συστήματα.

Οι προκλήσεις υφίστανται επίσης στο επίπεδο του δικτύου. Ενώ έχουν γίνει αξιολογικές προσπάθειες για την ανάπτυξη τεχνολογιών δρομολόγησης για manets , η δυναμική IP διευθυνσιοδότηση και διαχείριση τοποθεσίας έχει τύχη λιγότερης προσοχής. Αυτό μπορεί να συμβαίνει διότι στα σταθερά δίκτυα , η διευθυνσιοδότηση μεταξύ των δρομολογητών είναι συχνά ρυθμιζόμενη από το χρήστη και στατική , και επομένως δεν θεωρείται σαν πρόβλημα ίσης σημασίας με αυτό της δρομολόγησης. Ορισμένες ερευνητικές προσπάθειες έχουν οδηγήσει σε ορισμένες προσεγγίσεις , αλλά μεταξύ τους δεν υπάρχει κάποια συνοχή , δεδομένου ότι το πρόβλημα είναι domain- specific. Παρόλα αυτά ένα γενικό πλαίσιο για την αυτο-οργανωμένη διαχείριση της διευθυνσιοδότησης είναι σημαντικό για την εφαρμογή του manet σε περισσότερο γενικά αυτο-οργανωμένα δίκτυα.

Η διατήρηση της διαλειτουργικότητας με το σταθερό δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου των δορυφορικών και των επίγειων συστημάτων, αποτελεί επίσης πρόκληση. Παρόλο

που τα manets είναι αυτόνομα μερικές φορές θα είναι επιθυμητό να συνδεθούν με τη σταθερή δικτυακή υποδομή. Μια τέτοια προοπτική σημαίνει ότι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη όλοι οι παράμετροι του σχεδιασμού δικτύων όπως είναι η διευθυνσιοδότηση, η διαχείριση της κινητικότητας σχετικά με το σταθερό δίκτυο, ασφαλεία κ.α.

Η ανάπτυξη μιας κατανεμημένης, κλιμακούμενης και αποδεκτού εύρους ζώνης αρχιτεκτονικής ασφάλειας που να συνεργάζεται με τις υπάρχουσες εμπορικές και DoD υποδομές είναι επίσης απαραίτητη για την ευρεία διάδοση αυτής της τεχνολογίας.

Το πεδίο του ad hoc mobile networks γνωρίζει μεγάλη άνθηση και διαρκώς μεταβάλλεται, και παρόλο που υπάρχουν πολλές προκλήσεις που μένει να αντιμετωπιστούν, είναι μάλλον απίθανο ότι τέτοιου είδους δίκτυα θα γνωρίσουν ευρεία διάδοση στα επόμενα χρόνια.

## **Βιβλιογραφία**

### **Papers Δημοσιεύσεις:**

1. Wireless Mobile communications at the start of the 21 st century  
IEEE communications Magazine ,January 2001 Page 110-116
2. The software radio architecture  
IEEE communications ,May 1995 ,page 26-38
3. Internet-Based mobile ad hoc networking  
IEEE Internet computing July August 1999, page 63-70
4. A performance comparison of multihop wireless ad hoc routing protocols  
Proc. Fourth Ann ACM/IEEE Conference of Mobile Computing , October 1998
5. Emerging mobile and wireless networks  
Communications of the ACM ,June 2000/Vol 43, No. 6
6. The challenges of mobile computing  
IEEE Computing , April 1994 Page 23-30
7. Wireless LAN and mobile networking : standards and future directions  
IEEE Communication magazine , August 1996
8. Preparing for a new generation of wireless data  
Computer magazine , August 1999, Page 8-11
9. Recent advances in Wireless Networking  
Computer Magazine , June 2000 , Page 100-103
10. Adaptive shared tree multicast in mobile wireless networks , Proceedings of GLOBECOM 1998, November 1998, page 1817-1822
11. Routing in clustered Multihop, mobile wireless networks with fading channel,  
Proceedings of IEEE SICON 1997, April 1997, page 197-211
12. A distributed routing algorithm for mobile wireless networks

- ACM /Baltzer Wirelss Networks Journal ,Vol. 1 Febuary 1995,page 61-81
13. Signal stability based adaptive routing for ad hoc mobile networks, IEEE Personal Communications ,Febuary 1997, page 36-45
  14. Tree Multicast Strategies in Mobile , Multihop Wireless Networks , ACM /Baltzer Mobile Networks and Applications Journal, 1998
  15. The DARPA Packet Radio Network Protocols  
Proceedings of the IEEE, Vol. 75,No.1 page 31-32, 1997
  16. Location – aided routing (LAR) in mobile Ad hoc Networks,  
Proceedings of ACM/IEEE MOBICOM 1998, October 1998

### **Internet**

1. Wireless Mobile Networks  
<http://www.eng.auburn.edu/users/lim/wireless.html>
  
2. A Taxonomy for Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks  
<http://citeseer.nj.nec.com/feeney99taxonomy.html>
  
3. Programmable Mobile Networks  
<http://citeseer.nj.nec.com/campbell99programmable.html>
  
4. Handoff with Dynamic Guard Channels in ATM-Based Mobile Networks  
<http://www.computer.org/proceedings/icoin/7225/72250439abs.htm>
  
5. Routing in wireless/mobile ad hoc networks via dynamic group construction  
<http://www.acm.org/pubs/citations/journals/monet /2000-5-1/p27-chang>
  
6. Middleware for a New Generation of Mobile Networks  
[http://www.isoc.org/isoc/whatis/conferences/inet/96/proceedings/a6/a6\\_3.htm](http://www.isoc.org/isoc/whatis/conferences/inet/96/proceedings/a6/a6_3.htm)
  
7. Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks  
<http://www.neda.com/mobileIpSurvey/html/node17.html>
  
8. Mobile Ad-hoc Networks (manet)  
<http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
  
9. Publications on Mobile Ad Hoc Networks (MANETs)  
[http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/G.Aggelou/MANET\\_PUBLICATIONS.html](http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/G.Aggelou/MANET_PUBLICATIONS.html)

10. Mobile Agents for Dynamic Multi-Hop Networks

<http://nelson.www.media.mit.edu/people/nelson/research/routes/>

11. Papers on Ad-hoc Multihop Wireless Networks

<http://www.ics.uci.edu/~atm/adhoc/paper-collection/papers.html>

12. A packet media access protocol for mobile networks

<http://www.tid.es/presencia/publicaciones/comsid/ing/articulos/vol41/pack/pack.html>

13 Performance Issues in Mobile Wireless Networks

<http://citeseer.nj.nec.com/krishna96performance.html>

14. Dynamic Quality-of-Service for Mobile Ad Hoc Networks

[http://www.mitre.org/support/papers/tech\\_papers99\\_00/thomson\\_mp\\_adhoc/index.shtml](http://www.mitre.org/support/papers/tech_papers99_00/thomson_mp_adhoc/index.shtml)

15 Cooperating Mobile Agents for Dynamic Network Routing

<http://lcs.www.media.mit.edu/people/nelson/research/routes-bookchapter>

16. Mobile Computing and Networking Group

<http://www.cs.tamu.edu/faculty/vaidya/mobile.html>

17. Achieving user privacy in mobile networks

<http://computer.org/proceedings/acsac/8274/82740108abs.htm>