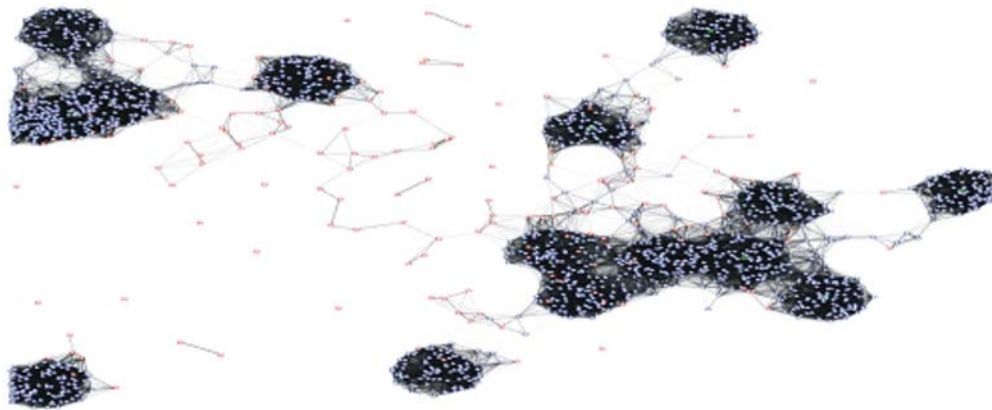


**Τίτλος Εργασίας :Κινητά Κατά Περίπτωση Δίκτυα**

**Project Title: Mobile Ad Hoc Networks (MANETs)**



Φοιτήτρια : Αθανασιάδου Χριστίνα  
Student: Athanasiadou Christina

**23 Φεβρουαρίου 2009**

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας  
ΠΜΣ Πληροφορικά Συστήματα  
Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων  
Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

University of Macedonia  
Master Information Systems  
Networking Technologies  
Professor: A.A. Economides



## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....σελ.4
2. Ορισμός MANET.....σελ.5
3. Χαρακτηριστικά.....σελ.6-7
4. Τοπολογία Δικτύου.....σελ.8
5. Μοντέλα Κίνησης Κόμβων σε ένα Mobile Ad-Hoc Network.....σελ.9-11
6. Τεχνολογίες MANET.....σελ.12-15
7. Εφαρμογές Mobile Ad-hoc Δικτύων.....σελ.16-17
8. Συμπεράσματα.....σελ.18
9. Βιβλιογραφία.....σελ.19-20

## Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε μια ταχεία ανάπτυξη στον τομέα των κινητών υπολογιστών (mobile computing) λόγω του πολλαπλασιασμού των χαμηλού κόστους και ευρέως διαθέσιμων ασύρματων συσκευών (όπως τα laptop, συσκευές PDA ή των κινητών τηλεφώνων). Ένα Κινητό Κατά Περίπτωση Δίκτυο (MANET) αποτελεί μια αυτόνομη συλλογή από κινητές συσκευές οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ασύρματων συνδέσεων και συνεργάζονται με κατακεκομμένο τρόπο έτσι ώστε να παράσχουν την απαιτούμενη λειτουργικότητα ενός δικτύου εν απουσία της κλασικής δικτυακής υποδομής. Ο συγκεκριμένος τύπος δικτύου ανοίγει δρόμους για καινούργιες και συναρπαστικές εφαρμογές. Τα σενάρια των εφαρμογών συμπεριλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε : επιχειρήσεις εκτάκτου ανάγκης ή διάσωσης, περιπτώσεις συνεδρίων ή ρυθμίσεις δικτύων σε campus, προσωπική δικτύωση, κτλ.

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει μια πλήρης περιγραφή των MANET. Περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των δικτύων, οι τοπολογίες και τα πρωτόκολλα επικοινωνιών που χρησιμοποιούν. Επιπλέον, παρουσιάζει θέματα ασφαλείας που προκύπτουν, εφαρμογές και μελλοντικές «προκλήσεις» που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι ειδικοί.

## Abstract

In the past few years, we have seen a rapid expansion in the field of mobile computing due to the proliferation of inexpensive, widely available wireless devices (laptops, PDA's or mobile phones). A mobile ad hoc network is an autonomous collection of mobile devices that communicate with each other over wireless links and cooperate in a distributed manner in order to provide the necessary network functionality in the absence of a fixed infrastructure. This type of network paves the way for numerous new and exciting applications. Application scenarios include, but are not limited to: emergency and rescue operations, conference or campus settings, personal networking, etc.

This paper provides a full description of the MANETs including their characteristics, network topologies and their communication protocols. Then it presents security issues that emerge as well as applications and future challenges.

## 1. Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε κατά το δεύτερο εξάμηνο σπουδών στο Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα στα Πληροφοριακά Συστήματα του Πανεπιστημίου Μακεδονίας, στα πλαίσια του Μαθήματος «Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων». Είναι μια βιβλιογραφική εργασία που καλύπτει θέματα που αφορούν τα Κινητά Κατά Περίπτωση Δίκτυα. Στο υπόλοιπο της εργασίας, θα χρησιμοποιηθεί η αγγλική ονομασία των κατά περίπτωση δικτύων – MANET.

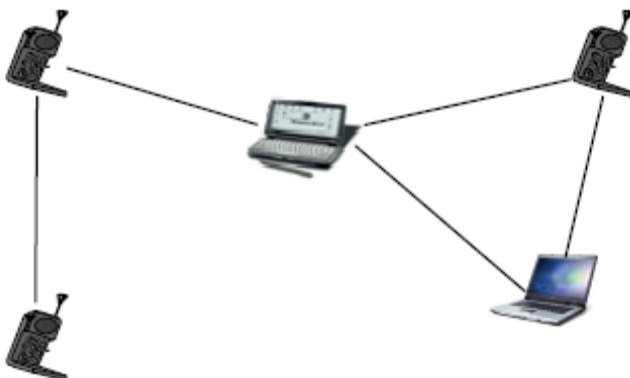
Τα τελευταία χρόνια, όλο και περισσότερο, γίνεται λόγος για την ασύρματη επικοινωνία. Ο χώρος της ασύρματης επικοινωνίας και των προτύπων, τα οποία καθορίζουν, βρίσκεται στο επίκεντρο του ερευνητικού ενδιαφέροντος πολλών επιστημονικών ομάδων ανά τον κόσμο. Μεγάλες εταιρίες, αλλά και πανεπιστημιακές ομάδες αναπτύσσουν ανταγωνιστικές τεχνολογίες ασύρματων δικτύων με σκοπό την κυριαρχία σε μια αγορά που αναμένεται στα επόμενα χρόνια να εκτοξευτεί σε μερικά δισεκατομμύρια δολάρια. Ασύρματα δίκτυα υπάρχουν εδώ και αρκετά χρόνια από διάφορους κατασκευαστές, αλλά η ταχύτητα που προσέφεραν ήταν μικρή και δεν υπήρχε συμβατότητα μεταξύ τους. Πλέον έχουν τυποποιηθεί νέα πρότυπα, τα οποία παρέχουν μεγαλύτερη ευκολία, όπως για παράδειγμα το Bluetooth.

Μια κατηγορία ασύρματων δικτύων είναι και τα Mobile Ad Hoc Network γύρω από τα οποία, τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλη κινητικότητα και έρευνα καθώς γίνεται αντιληπτό ότι η επόμενη γενιά συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας θα βασίζεται σε ανεξάρτητους, ασύρματους χρήστες χωρίς καμιά κεντροποιημένη υποδομή.

## 2. Ορισμός MANET

Ένα Mobile Ad-Hoc Δίκτυο είναι ένα ασύρματο ειδικό δίκτυο στο οποίο δεν υπάρχει καμία σταθερή υποδομή και είναι αυτόνομο. Το MANET μπορεί να αναπτυχθεί απλά και ευέλικτα σχεδόν σε κάθε περιβάλλον, αλλά έχει περιορισμένη ασύρματη κάλυψη και η συνδεσιμότητά του περιορίζεται στα όρια του ίδιου του δικτύου. Η ταχεία ανάπτυξη του διαδικτύου καθώς και των υπηρεσιών και εφαρμογών του και η πορεία των ασύρματων δικτύων τέταρτης γενιάς προς την κατεύθυνση των δικτύων αποκλειστικής χρήσης (**All-IP networks**), έχουν οδηγήσει σε μια αυξανόμενη απαίτηση για τη δυνατότητα των κόμβων MANET να συνδέονται με το διαδίκτυο και να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές του. Οι κινητές IP διευθύνσεις και τα πρωτόκολλα κινητών IP επιτρέπουν σε έναν κινητό κόμβο να έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο και ν' αλλάζει το σημείο πρόσβασής του χωρίς να χάνει τη σύνδεση. Ο κινητός κόμβος πρέπει να βρίσκεται μέσα στην ακτίνα κάλυψης του σημείου πρόσβασης και να έχει άμεση σύνδεση με αυτό. Έτσι, με τη συνεργασία μεταξύ των πρωτοκόλλων δρομολόγησης του MANET και του πρωτοκόλλου κινητών IP, η συνδεσιμότητα του διαδικτύου με τους κόμβους του δικτύου MANET μπορεί να επιτευχθεί. Η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων και η προώθηση-δρομολόγηση των μηνυμάτων (routing-forwarding) μπορεί να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα άλματα (one-hop ή multi-hop) ανάλογα με το πόσο απέχουν οι κόμβοι που επιθυμούν να επικοινωνήσουν. Στο εξής, όταν λέγοντας ότι οι κόμβοι επικοινωνούν θα εννοούμε ότι είτε συνδέονται απευθείας, είτε συνδέονται μέσω ενδιάμεσων κόμβων. Πολλές λύσεις έχουν προταθεί για να καταστήσουν τα MANET ικανά να συνδεθούν με το Διαδίκτυο χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα κινητών IP.

Στο Σχήμα 1 φαίνεται ένα Mobile Ad-Hoc Δίκτυο το οποίο αποτελείται από laptops, palmtops και κινητά τηλέφωνα. Κάθε μια από αυτές τις ηλεκτρονικές συσκευές είναι ένας κόμβος του Ad-Hoc Δικτύου και όλες μαζί σχηματίζουν το συνολικό δίκτυο. Δεν χρησιμοποιούνται καθόλου καλώδια, ενώ από τη φύση των συσκευών είναι προφανές ότι αυτές μπορούν να μετακινηθούν και να αλλάξει έτσι η τοπολογία του δικτύου.



Σχήμα 1: Παράδειγμα Mobile Ad-Hoc Δικτύου.

### 3. Χαρακτηριστικά

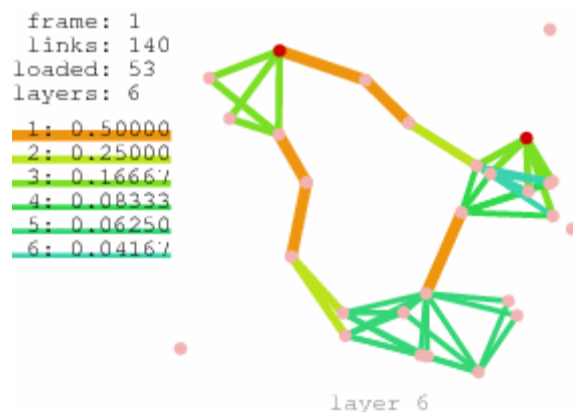
Τα Mobile Ad-Hoc Δίκτυα έχουν χαρακτηριστικά που τα κάνουν ιδιαίτερα δημοφιλή και ενδιαφέροντα σαν αντικείμενο μελέτης. Ένα MANET απαρτίζεται από κόμβους (για παράδειγμα ένα δρομολογητή με πολλαπλούς εξυπηρετητές και ασύρματες συσκευές), οι οποίοι **κινούνται αυθαίρετα**. Οι κόμβοι μπορεί να βρίσκονται πάνω σε αεροπλάνα, πλοία, φορτηγά, ίσως ακόμη και πάνω σε ανθρώπους ή πολύ μικρές συσκευές και μπορεί να υφίστανται πολλαπλοί εξυπηρετητές ανά δρομολογητή. Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί απομονωμένα ή διαμέσου πυλών (gateways) και να αλληλεπιδρά με ένα συμβατικό δίκτυο.

Τα Manet έχουν ορισμένα αξιοπρόσεκτα χαρακτηριστικά, τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα εξής:

- **Αυτοδυναμία.** Τα Mobile Ad-Hoc Δίκτυα δε συνδέονται με άλλα τοπικά δίκτυα ή το Internet προκειμένου να σχηματίσουν το Ad-Hoc Δίκτυο και να λειτουργήσουν. Οι κόμβοι σχηματίζουν το δίκτυο αυτοδύναμα και επικοινωνούν μεταξύ τους. Βέβαια, η σύνδεση οποιουδήποτε κόμβου είτε με κάποιο τοπικό δίκτυο είτε με το Internet δεν είναι απαγορευμένη. Αν κάποιος κόμβος το επιθυμεί μπορεί να συνδεθεί με οποιοδήποτε άλλο κόμβο.
- **Έλλειψη κεντρικού συντονιστή.** Δεν υπάρχει κάποιος κεντρικός κόμβος που να συντονίζει την επικοινωνία των κόμβων του δικτύου. Δυο κόμβοι επικοινωνούν είτε απευθείας (one-hop communication), αν η μεταξύ τους απόσταση το επιτρέπει, είτε μέσω άλλων ενδιάμεσων κόμβων (multi-hop communication) που απλώς προωθούν τα μηνύματα επικοινωνίας, χωρίς όμως να εκτελούν χρέη συντονιστή.
- **Ισοδυναμία κόμβων.** Όλοι οι κόμβοι του δικτύου είναι ισοδύναμοι, όσον αφορά τις αρμοδιότητες που έχουν ως μέλη του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι κάθε κόμβος μπορεί να δρα ως πηγή, δέκτης ή ενδιάμεσος κόμβος επικοινωνίας, χωρίς να υπάρχουν κόμβοι που μπορεί να έχουν περισσότερα ή λιγότερα «δικαιώματα» από κάποιους άλλους.
- **Μεταβλητή τοπολογία και αυξημένη κινητικότητα των κόμβων.** Λόγω της κίνησης των κόμβων η συνολική εικόνα του δικτύου διαρκώς αλλάζει (Σχήμα 2). Έτσι μπορεί να υπάρχουν κόμβοι που α) ενώ δε συνδέονταν, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα να συνδέονται και β) ενώ συνδέονται για κάποιο χρονικό διάστημα μετά από λίγο να παύουν να επικοινωνούν. Γι' αυτό και δεν μπορεί να υπάρξει κεντρικό firewall.
- **Μικρή διάρκεια ζωής των κόμβων.** Η διάρκεια ζωής των κόμβων μπορεί να είναι μικρή σχετικά με τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Για παράδειγμα μερικοί ταξιδιώτες στην αίθουσα αναμονής του αεροδρομίου ανοίγουν τα palmtop τους, τους φορητούς υπολογιστές τους ή άλλες ηλεκτρονικές φορητές συσκευές και γίνονται μέλη ενός Ad-Hoc δικτύου. Μετά από λίγα λεπτά ένας από τους ταξιδιώτες κλείνει το palmtop του και φεύγει για να επιβιβαστεί στην πτήση του, οπότε αυτόματα βγαίνει από το δίκτυο. Το δίκτυο ωστόσο συνεχίζει να υπάρχει.

- **Μικρό εύρος ζώνης συχνοτήτων κόμβων.** Οι κόμβοι του δικτύου έχουν σχετικά μικρό bandwidth, με εμβέλεια μερικών δεκάδων ή χιλιάδων μέτρων, καλύπτοντας μια σχετικά μικρή γεωγραφική περιοχή.
- **Περιορισμένη ισχύς.** Οι κόμβοι ενός τέτοιου δικτύου είναι κινητοί και άρα λειτουργούν με μπαταρίες. Αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι κινούνται και δεν είναι εύκολο να βρίσκονται συνεχώς κοντά σε μια σταθερή βάση απ' όπου θα προμηθεύουν ενέργεια, οδηγεί αναπόφευκτα σε μικρή διάρκεια λειτουργίας των κόμβων. Αυτό σημαίνει ότι ένας κόμβος μπορεί να λειτουργεί για ένα διάστημα, έπειτα για να εξοικονομήσει ενέργεια να σταματάει τη λειτουργία του, μετά να λειτουργεί ξανά κ.ο.κ.

Επιπλέον, ορισμένα δίκτυα (π.χ. κινητά στρατιωτικά δίκτυα ή δίκτυα ταχείας κυκλοφορίας) μπορεί να είναι ιδιαίτερα μεγάλα (δεκάδες ή εκατοντάδες κόμβοι ανά περιοχή δρομολόγησης). Η ανάγκη για εύκολη κλιμάκωση (scalability), αποτελεί κάτι το δεδομένο. Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά, οι μηχανισμοί ώστε να επιτευχθεί η εύκολη κλιμάκωση θεωρούνται επίσης δεδομένοι. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά δημιουργούν ένα σύνολο από υποθέσεις και θέματα αποδοτικότητας που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό πρωτοκόλλων που είναι πέρα από αυτά των συμβατικών δικτύων.

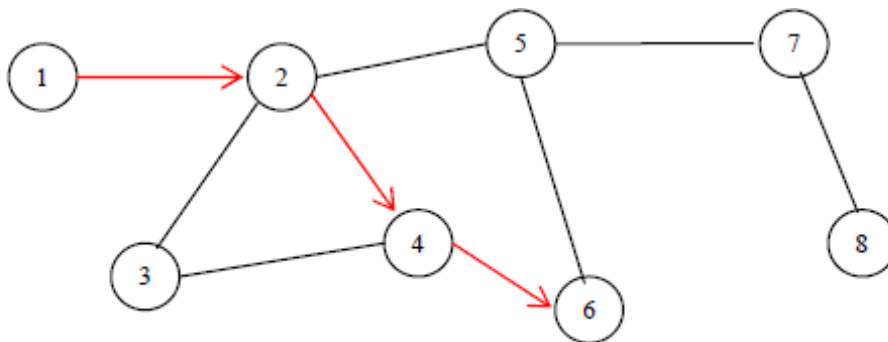


Σχήμα 2: Γραφικό μοντέλο της δυναμικής τοπολογίας ενός MANET

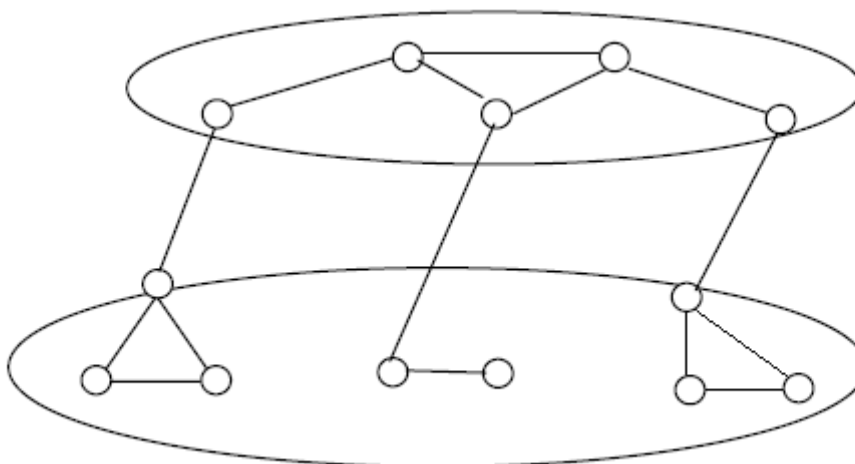
## 4. Τοπολογία του Δικτύου

Σε ένα Mobile Ad-Hoc Δίκτυο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν υπάρχει κάποια υποδομή. Δυο είναι οι βασικές αρχιτεκτονικές που συναντώνται: Επίπεδη Αρχιτεκτονική (Flat Architecture) και Ιεραρχική Αρχιτεκτονική (Hierarchical Architecture).

- Επίπεδη Αρχιτεκτονική. Όλοι οι κόμβοι του δικτύου βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και δεν υπάρχει καθόλου ιεραρχία. Στην προώθηση των μηνυμάτων του δικτύου συμμετέχουν όλοι οι κόμβοι. Για παράδειγμα, στο Σχήμα.... Όλοι οι κόμβοι βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και έστω ότι ο κόμβος 1 επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον κόμβο 6 και στέλνει ένα μήνυμα. Το μήνυμα αυτό προωθούν οι ενδιάμεσοι κόμβοι 2 και 4.
- Ιεραρχική Αρχιτεκτονική. Το δίκτυο αποτελείται από τουλάχιστον δυο επίπεδα και οι κόμβοι σχηματίζουν clusters (συστάδες). Κάθε cluster έχει έναν επικεφαλή (head) κόμβο. Η προώθηση των μηνυμάτων γίνεται μέσω των cluster heads, οι οποίοι επιπλέον κρατούν πληροφορίες σχετικές με τη θέση του cluster. (Σχήμα ....)



Σχήμα 3: Επίπεδη Αρχιτεκτονική



Σχήμα 4: Ιεραρχική Αρχιτεκτονική



## 5. Μοντέλα Κίνησης Κόμβων σε ένα Mobile Ad-Hoc Network

Οι κόμβοι σε ένα MANET μπορούν, όπως είδαμε να κινούνται. Ωστόσο, δεν υπάρχει μοναδικός τρόπος κίνησης κόμβων. Ο τρόπος κίνησης μπορεί να διαφέρει από MANET σε MANET ή και μέσα στο ίδιο MANET από κόμβο σε κόμβο. Επίσης, η κίνηση των κόμβων είναι στενά συνδεδεμένη και με την εφαρμογή για την οποία είναι σχεδιασμένο το MANET.

Για παράδειγμα, φανταστείτε ένα πεδίο μάχης όπου σκοπός των στρατιωτικών μονάδων είναι η κατάληψη ενός οχυρού. Οι μονάδες αυτές (κόμβοι) κινούνται προς την κατεύθυνση του οχυρού με σκοπό να φτάσουν όσο πιο κοντά γίνεται και να το κυριεύσουν. Η κίνησή τους είναι συγκεκριμένη. Κινούνται προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, η οποία δεν αλλάζει και με μεταβλητή ταχύτητα (που είναι ανάλογη με τα εμπόδια που συναντούν).

Στο κέντρο μια πόλης, όπου το MANET σχηματίζεται από κινούμενα οχήματα, ο τρόπος κίνησης είναι τελείως διαφορετικός με πριν. Τα οχήματα (κόμβοι) κινούνται από τον ένα δρόμο στον άλλο, στρίβουν σε διασταυρώσεις, σταματούν σε φανάρια, ξεκινούν ξανά, αναπτύσσουν ταχύτητα σε μεγάλους και άδειους δρόμους, κινούνται αργά όταν βρεθούν σε μποτιλιάρισμα κ.α. Η κατεύθυνση προς την οποία κινούνται συνεχώς αλλάζει, ομοίως και η ταχύτητά τους. Πρόκειται, δηλαδή, για έναν τελείως διαφορετικό τρόπο κίνησης.

Στο χώρο αναμονής ενός αεροδρομίου οι ταξιδιώτες κινούνται πολύ λιγότερο σε σχέση με τις δυο προηγούμενες περιπτώσεις, Συνήθως κάθονται και περιμένουν την πτήση τους, ενώ μπορεί να περπατήσουν μέχρι το κυλικείο για να προμηθευτούν κάτι. Η ταχύτητα κίνησης είναι μικρή και η κατεύθυνση λίγο-πολύ συγκεκριμένη.

Επειδή, λοιπόν δεν υπάρχει ένας συγκεκριμένος τρόπος κίνησης των κόμβων, που απαρτίζουν ένα MANET, έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα κίνησης. Κάθε ένα από αυτά μοντελοποιεί κίνηση με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα τρία σημαντικότερα:

### Random Way Point Model

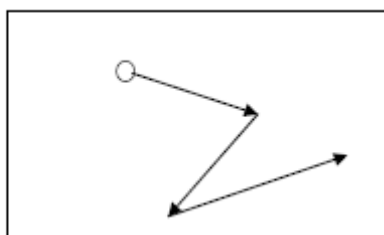
Στο μοντέλο αυτό (Σχήμα 5) οι κόμβοι είναι τοποθετημένοι σε μια περιοχή (συνήθως τετράγωνη) κάποιων διαστάσεων και κινούνται μέσα σε αυτή με σταθερή ταχύτητα  $v$  που επιλέγεται τυχαία στο διάστημα  $[v_{\min}, v_{\max}]$ , όπου  $v_{\max}$  είναι η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορούν να κινούνται οι κόμβοι. Κάθε κόμβος επιλέγει το σημείο στο οποίο επιθυμεί να φτάσει και κινείται προς το σημείο αυτό με την επιλεγμένη ταχύτητα. Όταν φτάσει στο σημείο σταματάει για κάποιο τυχαίο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια επιλέγει το νέο σημείο προς το οποίο θα κινηθεί και τη νέα ταχύτητα κίνησης, ανεξάρτητα από την προηγούμενη ταχύτητα, την προηγούμενη θέση και το χρόνο αναμονής.

Οι κόμβοι κατά την κίνησή τους συγκεντρώνονται κυρίως, στο κέντρο της περιοχής στην οποία βρίσκονται. Η πυκνότητα των κόμβων ελαττώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από το κέντρο της περιοχής και κατευθυνόμαστε προς τα άκρα.

Το Random Way Point μοντέλο κίνησης προσομοιώνει αρκετά ρεαλιστικά την κίνηση κόμβων σε MANET, ωστόσο μελέτες που έγιναν, σχετικά με το μοντέλο, εντόπισαν κάποια προβλήματα. Όσο περνάει ο χρόνος, το μοντέλο δεν φτάνει σε μια σταθερή κατάσταση όσον αφορά την ταχύτητα. Αντίθετα, η ταχύτητα συνεχώς μειώνεται. Μια διαισθητική εξήγηση αυτού του φαινομένου είναι και η ακόλουθη : Στο Random Way Point οι κόμβοι επιλέγουν μια κατεύθυνση και μια ταχύτητα και κινούνται με αυτή τη συγκεκριμένη ταχύτητα έως ότου φτάσουν στον προορισμό τους. Αν η ταχύτητα που επιλέγει είναι μικρή και ο προορισμός μακριά, το ταξίδι θα διαρκέσει πολύ ώρα, ή και ακόμη, μπορεί ο κόμβος να μη προλάβει να φτάσει καν στον προορισμό του μέσα στο χρόνο προσομοίωσης. Για παράδειγμα, σε μια περιοχή διαστάσεων 1500m x 500m και με ταχύτητα στο διάστημα (0,20] m/s, αν ο προορισμός απέχει 1000m μακριά και η ταχύτητα επιλεγεί να είναι 0,1m/s, ο χρόνος ταξιδιού θα είναι 10.000 δευτερόλεπτα. Αν ο κόμβος τελικά φτάσει στον προορισμό του πιθανότατα να επιλέξει μια νέα μεγαλύτερη ταχύτητα, αλλά μοιάζει να έχει παγιδευτεί σε αυτά τα αργά ταξίδια για αρκετό χρονικό διάστημα. Αυτό, συνολικά, μειώνει τη μέση ταχύτητα με την οποία κινούνται οι κόμβοι.

Το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να λυθεί προτείνοντας η ελάχιστη ταχύτητα με την οποία κινούνται οι κόμβοι να μην είναι μηδενική. Από πειράματα που έγιναν αποδεικνύεται ότι, κάνοντας αυτό, η ταχύτητα συγκλίνει σε μια σταθερή τιμή. Συνεπώς, αν η ταχύτητα  $v_{min}$  που επιλέγεται είναι αυστηρά θετική, η μέση ταχύτητα δεν τείνει στο μηδέν και το πρόβλημα επιλύεται.

Random Way Point μοντέλο προτάθηκε για πρώτη φορά από τους D.B. Johnson και D. A. Maltz.

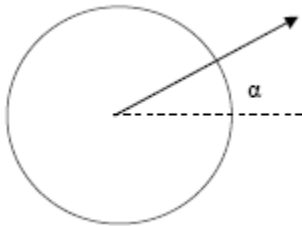


Σχήμα 5: Random Way Point μοντέλο

### Random Direction Moving Model

Στο μοντέλο αυτό (Σχήμα 6) κάθε κόμβος έχει μια αρχική διεύθυνση  $\theta$ , μια αρχική ταχύτητα  $v \in [v_{min}, v_{max}]$  και ένα πεπερασμένο χρόνο κίνησης  $\tau$ . Ο κόμβος κινείται κατά τη διεύθυνση  $\theta$  για χρόνο  $\tau$  και με σταθερή ταχύτητα  $v$ . Όταν ο χρόνος κίνησης λήξει, επιλέγεται νέα διεύθυνση, νέα ταχύτητα και νέος χρόνος κίνησης, ανεξάρτητα από τις προηγούμενες διευθύνσεις, ταχύτητες και χρόνους κίνησης. Όταν ένας κόμβος φτάσει στα όρια της περιοχής, είτε αντανakλάται, είτε εμφανίζεται στην απέναντι πλευρά (σαν να τυλίγεται η περιοχή).

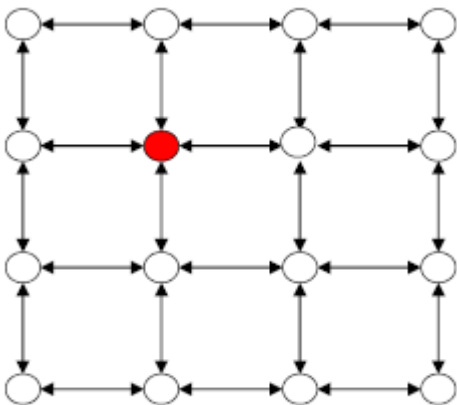
Στο Random Direction Model έχει αποδειχτεί ότι η πυκνότητα των κόμβων είναι ομοιόμορφη για κάθε σημείο της περιοχής στην οποία βρίσκονται και για οποιαδήποτε κατανομή διεύθυνσης, ταχύτητας και χρόνου κίνησης. Επίσης, στο μοντέλο αυτό ο διαχωρισμός του δικτύου σε συνιστώσες είναι πιο πιθανός απ' ό τι στα υπόλοιπα μοντέλα κίνησης. Η πυκνότητα των κόμβων στο Random Direction Model έρχεται σε αντίθεση με το Random Way Point Model, όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα συγκέντρωσης των κόμβων στο κέντρο της περιοχής. Μια επιπλέον διαφορά είναι ότι στο Random Direction Moving Model η ταχύτητα  $v_{min}$  δεν είναι αυστηρά θετική. Μπορεί να είναι ακόμη και ίση με το μηδέν μιας και ο κόμβος κινείται με αυτή την ταχύτητα μόνο για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.



Σχήμα 6. Random Direction Moving Model

### Random Walkers Moving Model

Στο Random Walker Model κίνησης δύο διαστάσεων (Σχήμα 7) κάθε κόμβος κινείται πάνω σε ένα πλέγμα δυο διαστάσεων σαν ένας random walker. Ο χρόνος είναι διακριτικός και σε κάθε χρονικό βήμα κάθε κόμβος έχει  $\frac{1}{4}$  πιθανότητα να κινηθεί πάνω, κάτω, δεξιά ή αριστερά από τη θέση στην οποία βρίσκεται. Αν ο κόμβος φτάσει στα όρια του πλέγματος, κάνει ένα βήμα και επιστρέφει ξανά στην αμέσως προηγούμενη θέση του. Για το Random Walker μοντέλο κίνησης η πυκνότητα των κόμβων πάνω σε ένα πλέγμα δυο διαστάσεων είναι ομοιόμορφη. Δηλαδή, δεν υπάρχουν σημεία στα οποία συνωστίζονται οι κόμβοι και σημεία στα οποία δεν υπάρχουν καθόλου κόμβοι.



Σχήμα 7: Random Walker Model

## 6. Τεχνολογίες MANET

Στην παράγραφο αυτή θα μελετήσουμε τις τεχνολογίες δικτύωσης των MANET οι οποίες διευκολύνουν την υλοποίηση των συγκεκριμένων δικτύων. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλες οι τεχνολογίες δικτύωσης, έξι εκ των οποίων θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Τεχνολογία	Θεωρητικό Bit Rate	Συχνότητα	Εύρος	Κατανάλωση Ενέργειας
IEEE 802.11b	1,2,5.5 και 11Mbit/s	2.4GHz	25-100 m(indoor) 100-500m(outdoor)	~30mW
IEEE 802.11g	Πάνω από 54Mbit/s	2.4GHz	25-50 m(indoor)	~79mW
IEEE 802.11a	6,9,12,24,36,49 και 54Mbit/s	5GHz	10-40 m(indoor)	40mW, 250mW ή 1W
Bluetooth (IEEE 802.15.1)	1Mbit/s (v1.1)	2.4GHz	10m (έως 100m)	1mW (έως 100mW)
UWB (IEEE 802.15.3)	110-480Mbit/s	3-10GHz	~10m	100mW, 250mW
IEEE 802.15.4	20,40 ή 250kbit/s	868 MHz, 915MHz ή 2.4GHz	10-100m	1mW
HiperLan2	Έως 54Mbit/s	5GHz	30-150m	200mW ή 1W
IrDA	Έως 4Mbit/s	Υπέρυθρη (850nm)	~10m	Βασίζεται στην απόσταση
HomeRF	1Mbit/s (v1.0), 10Mbit/s (v2.0)	2.4GHz	~50m	100mW
IEEE 802.16 IEEE 802.16a IEEE 802.16e (Broadband Wireless)	32-134Mbit/s έως 75Mbit/s έως 15Mbit/s	10-66GHz <11GHz <6GHz	2-5km 7-10km(max 50km) 2-5 km	Σύνθετος έλεγχος ενέργειας

Πίνακας 1 : Τεχνολογίες Mobile Ad Hoc Network

### Bluetooth

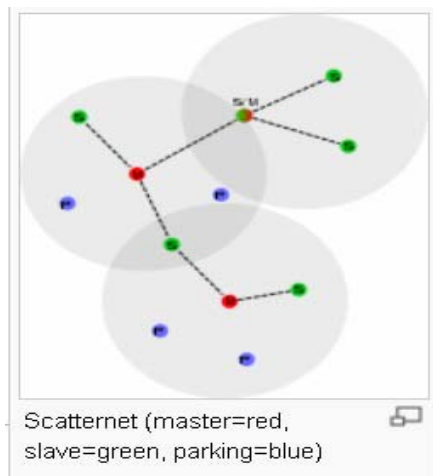
Η τεχνολογία Bluetooth είναι μια μικρού εύρους τεχνολογία που αρχικά προοριζόταν για να αντικαταστήσει τα καλώδια σε συνδέσεις σταθερών υπολογιστών, ασύρματων συσκευών, handsets και headsets. Σήμερα, το Bluetooth χρησιμοποιείται για επέκταση ασύρματων προσωπικών δικτύων σε σπίτια και γραφεία

Οι συσκευές Bluetooth λειτουργούν σε συχνότητα 2.4 GHz. Υπάρχουν προδιαγραφές για εκπομπές ενέργειας και φάσματος καθώς και για παρεμβολές, τα οποία οι συσκευές Bluetooth πρέπει να αποφύγουν. Επιπλέον προσφέρει 3 διαφορετικές τάξεις εύρους ενέργειας:

1. 10m (κατώτερη),
2. 20m,
3. 100m (μέγιστη).

Η τεχνολογία Bluetooth χρησιμοποιεί την τεχνολογία piconet, η οποία είναι ένα δίκτυο MANET με μια master συσκευή η οποία ελέγχει μια ή πολλές slave συσκευές. Επιπλέον επιτρέπει τη δημιουργία scatternet τα οποία αποτελούνται από δύο ή

περισσότερα piconets. Το Bluetooth έχει σχεδιαστεί για να διαχειρίζεται την κυκλοφορία φωνής και δεδομένων.



Σχήμα 8 : Scatternet

## UWB

Η Ultra-Wideband τεχνολογία γνωστή και σαν baseband ή impulse radio, είναι μια carrier-free τεχνολογία μετάδοσης ραδιοσυχνοτήτων, που χρησιμοποιεί χαμηλής ενέργειας παλμούς που μεταφέρουν την ενέργεια σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Η UWB πλεονεκτεί σε αντίθεση με τις συμβατικές carrier-based επικοινωνίες. Για παράδειγμα, καταναλώνεται λίγη ενέργεια, έχει απλή αρχιτεκτονική και χαμηλό κόστος υλοποίησής τους. Επιπροσθέτως, η UWB παρέχει πληροφορίες εύρους ζώνης και σε ένα δίκτυο μπορεί να ανακτήσει στοιχεία θέσης. Η UWB έχει χρησιμοποιηθεί για ραντάρ επίγειας διείσδυσης και ασφαλείς επικοινωνίες. Πρόσφατες εκδόσεις του UWB Report and Order του FCC δηλώνουν εντατοποίηση των προσπαθειών για εφαρμογή της τεχνολογίας σε εμπορικές εφαρμογές. Παραδείγματα UWB εφαρμογών περιλαμβάνουν ραντάρ αποφυγής σύγκρουσης, RF tagging, έυρεση γεωγραφικής θέσης και επικοινωνίες δεδομένων σε PAN και LAN περιβάλλοντα.



Σχήμα 9: HandSet εφαρμογές που χρησιμοποιούν το πρότυπο UWB.

## **HiperLAN/2**

Η HiperLAN/2 τεχνολογία ακολουθεί τα στάνταρντς του ασύρματου LAN (WLAN) τα οποία έχουν αναπτυχθεί από το ETSI. Η αρχιτεκτονική της HiperLAN/2 τεχνολογίας βασίζεται στην αρχιτεκτονική των ATM. Η HiperLAN/2 παρέχει συχνότητες : 6, 16, 36 και 54 Mbps

## **IEEE 802.11**

Η IEEE οικογένεια είναι κατάλληλη για indoor και WLAN εντός κτηρίων. Υπάρχουν πολλοί τύποι αυτού του στάνταρντ. Οι τρέχοντες διαθέσιμοι τύποι είναι οι : ο 802.11a, ο 802.11b και ο 802.11g, ενώ παράλληλα εξετάζονται και άλλοι. Το πρότυπο 802.11 υποστηρίζει *ad hoc* δικτύωση καθώς και συνδέσεις που χρησιμοποιούν access point (AP). Το πρότυπο παρέχει προδιαγραφές για το PHY επίπεδο και το MAC επίπεδο. Τα 802.11 πρότυπα έχουν τις ίδιες MAC sublayer προδιαγραφές, σε αντίθεση με τις προδιαγραφές του PHY επιπέδου. Το MAC χρησιμοποιεί το CSMA/CA για την πρόσβαση και παρέχει υπηρεσίες σχετικά με το σύνδεσμο, ασφάλεια, διαχείριση ενέργειας και δυνατότητες roaming. Το MAC παρέχει ανεξάρτητο configuration (*ad hoc network mode*) και την υποδομή του (που χρησιμοποιεί τα σημεία πρόσβασης για να αυξήσει το εύρος).

Το φυσικό επίπεδο του προτύπου 802.11a είναι παρόμοιο με αυτό του HiperLAN/2. Το PHY χρησιμοποιεί τη μέθοδο OFDM και λειτουργεί στα 5Ghz UNII. Το πρότυπο 802.11a υποστηρίζει bit rate δεδομένων της τάξης 6 με 54Mbps. Επίσης, μπορεί να υποστηρίζει εφαρμογές πολυμέσων σε περιβάλλοντα πολλών χρηστών. Το πρότυπο 802.11b, που προτείνεται από κοινού από το Harris Corporation και τη Lucent Technologies, επεκτείνει το πρότυπο 802.11 και παρέχει 5.5 και 11Mbps. Για να παράσχει υψηλότερα bit rate, το πρότυπο 802.11b χρησιμοποιεί 8-chip CCK (*complementary code keying*), μια τεχνική διαμόρφωσης που κάνει αποδοτική την χρήση του ραδιοφάσματος.

Η προδιαγραφή 802.11g χρησιμοποιεί το ίδιο σχέδιο (OFDM) με το πρότυπο 802.11a και λειτουργεί με τις ίδιες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων με το δεύτερο. Εντούτοις, το πρότυπο 802.11g λειτουργεί στη συχνότητα 2.4-GHz την οποία καταλαμβάνει το πρότυπο 802.11b καταλαμβάνει, και για αυτόν τον λόγο πρέπει να είναι συμβατό με τις υπάρχουσες υποδομές WLAN.

## **IEEE 802.15.3**

Το συγκεκριμένο πρότυπο ορίζει τις προδιαγραφές για το MAC και το PHY (2.4 GHz) επίπεδο για ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN). Το πρότυπο είναι βασισμένο στην ιδέα του piconet, το οποίο είναι ένα δίκτυο που περιορίζεται σε 10m του POS (*personal operating space*) γύρω από ένα άτομο ή αντικείμενο. Ένα WPAN αποτελείται από ένα ή δυο παραθέμενα piconet. Κάθε δίκτυο piconet ελέγχεται από έναν συντονιστή (PNC) και μπορεί να αποτελείται από συσκευές (DEVs). Το πρότυπο 802.15.3 για το φυσικό επίπεδο ορίζεται στα 2.4 έως 2.4835 GHz και έχει δυο

καθορισμένα σχεδιασμένα κανάλια. Υποστηρίζει πέντε διαφορετικές rate δεδομένων (από 11 έως 55 Mbps).

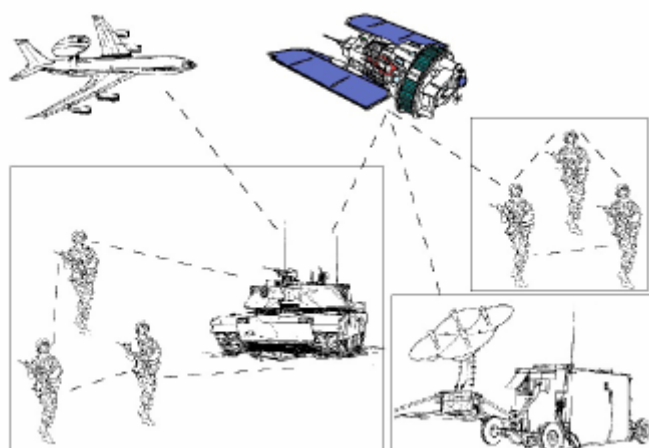
## **HomeRF**

Η ομάδα εργασίας HomeRF δημιουργήθηκε για να αναπτυχθεί ένα πρότυπο για ασύρματες επικοινωνίες δεδομένων ανάμεσα σε προσωπικούς υπολογιστές και ηλεκτρονικές συσκευές. Το πρότυπο HomeRF είναι απλό, ασφαλές και εύκολο στη χρήση. Το HomeRF χρησιμοποιεί το Shared Wireless Access πρωτόκολλο (SWAP) έτσι ώστε να παράσχει αποδοτική μεταφορά ήχου και δεδομένων. Το πρωτόκολλο SWAP χρησιμοποιεί ενέργεια μετάδοσης έως 100 mW και bit rate δεδομένων των 2 Mbps. Επιπλέον μπορεί να υποστηρίξει 127 συσκευές (max) ανά δίκτυο.

## 7. Εφαρμογές Mobile Ad-hoc Δικτύων

Τα MANETs χρησιμοποιούνται κυρίως όταν δεν είναι βιώσιμη η εγκατάσταση σταθερών σημείων πρόσβασης και υποδομής δικτύου κορμού ή όταν η σταθερή υποδομή δεν έχει πρακτική εφαρμογή όταν η σταθερή υποδομή έχει καταστραφεί ή δε λειτουργεί προσωρινά. Σε γενικές γραμμές, έχουν στρατιωτικές, εκπαιδευτικές και εμπορικές εφαρμογές. Σήμερα, μεταξύ των άλλων, τα Ad-Hoc χρησιμοποιούνται για διασύνδεση μικρών καταστημάτων και για υπηρεσίες διάσωσης, ενώ σε λίγο καιρό θα χρησιμοποιούνται επίσης για πρόσβαση σε κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς, για τοπική μητροπολιτική διασύνδεση κατοικιών και για ασύρματη διασύνδεση διαφόρων ειδών αισθητήρων. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα εφαρμογών που προαναφέρθηκαν.

- **Στρατιωτικές Εφαρμογές:** τα MANET δίκτυα είναι ιδιαίτερα σημαντικά και για τις ένοπλες δυνάμεις, για εφαρμογές όπως: στα στρατιωτικά οχήματα σ' ένα πεδίο μάχης, στα τηλεκατευθυνόμενα εναέρια οχήματα, σ' έναν στόλο πλοίων στη θάλασσα, στους τομείς των αισθητήρων και στα γοργά αναπτυσσόμενα δίκτυα πεδίου μάχης.



Σχήμα 10: Πιθανό σενάριο : συνθήκες πολέμου

- **Εκπαιδευτικές Εφαρμογές:** για παράδειγμα στα συνέδρια ή σε διάφορες διαλέξεις, όπου όλα τα τερματικά και τα access points είναι απαραίτητο να είναι κινητά και στις οποίες έχουμε συγκέντρωση ατόμων με φορητούς υπολογιστές σε μια περιοχή που δεν διαθέτει δίκτυο 802.11. Αφού είναι άμεση ανάγκη για τους συνέδρους να μετακινούνται, να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να επικοινωνούν χωρίς να εξαρτώνται αποκλειστικά από ένα σταθερό σημείο πρόσβασης, το MANET υλοποιεί επιτυχώς όλες αυτές τις απαιτήσεις.
- **Εμπορικές Εφαρμογές:** Σε ένα μεγάλο εμπορικό κέντρο, όπου υπάρχουν καταστήματα της ίδιας εταιρίας σε διαφορετικά σημεία, υπάρχει ανάγκη της μεταξύ τους επικοινωνίας για ανταλλαγή πληροφοριών σχετικών με τις πωλήσεις, τα αποθέματα κ.α. Η σταθερή υποδομή είναι μια λύση, επειδή



όμως η γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκονται τα καταστήματα είναι περιορισμένη, ένα MANET θα συμπεριφέρονταν εξίσου καλά και αποδοτικά.

- **Disaster Management:** χρησιμοποιείται εκεί που δημιουργούνται ομάδες αποκατάστασης και **διαχείρισης καταστροφής**, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να στηριχθούν στην υπάρχουσα υποδομή, π.χ. το προσωπικό άμεσης ανάγκης σ' ένα σεισμό που κατάστρεψε την υπάρχουσα υποδομή
- **Neighborhood Area Networks (NANs):** τα οποία είναι δίκτυα που αναφέρονται στη διαμοιρασμένη πρόσβαση στο Internet σε αστικές τοποθεσίες υψηλής πυκνότητας.

### Πρακτική Χρήση - Παραδείγματα

- Το πρόγραμμα One Laptop per Child (OLPC) αναπτύχθηκε για να δώσει εκπαιδευτικές ευκαιρίες στα φτωχότερα παιδιά του κόσμου με την παροχή laptop σε κάθε παιδί. Τα συγκεκριμένα laptop είναι χαμηλής ισχύος, χαμηλού κόστους, με δυνατότητες σύνδεσης στο Internet αλλά και διασύνδεσής τους με άλλους υπολογιστές και με ειδικά σχεδιασμένο περιεχόμενο και λογισμικό που σχεδιάζεται για ευχάριστη μάθηση από το ίδιο το παιδί. Για το πρόγραμμα αναπτύχθηκαν laptop τα οποία χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο IEEE 802.11s και είναι βασισμένα σε ένα chip τεχνολογίας MANET για να υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας με άλλους υπολογιστές. Το πρόγραμμα έχει ξεκινήσει από το 2001.
- Το Σεπτέμβριο του 2007, η σουηδική εταιρία TerraNet AB παρουσίασε ένα δίκτυο κινητών τηλεφώνων που επιτρέπει τη δρομολόγηση κλήσεων και δεδομένων μεταξύ hand set μηχανημάτων, χωρίς να χρειαστεί η σύνδεσή τους σε κάποιο τηλεφωνικό δίκτυο.

## 8.Συμπεράσματα

Τα MANET μπορούν να προσφέρουν εμπορικές ευκαιρίες για παροχή υπηρεσιών δικτύου και ανοίγουν νέους δρόμους στην ασύρματη δικτύωση για τους νέους χρήστες. Η έλλειψη υποδομής στα MANET αποτελεί πόλο έλξης για τα νέα εμπορικά συστήματα δεδομένου ότι παρακάμπτει τις δαπάνες που χρειάζονται για το στήσιμο ενός κανονικού δικτύου. Επενδύσεις, που συσχετίζονται μ' αυτήν την τάση(κυρίως στις ΗΠΑ) δημιούργησαν μια δευτεροβάθμια αγορά, που έχει σαν στόχο να εξαλείψει/μειώσει τα εμπόδια στους νέους χειριστές που μπαίνουν στην αγορά των ασύρματων υπηρεσιών. Παραδείγματος χάριν, το MANET θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να επεκτείνει αποτελεσματικά την ικανότητα/ κάλυψη των hot spot WI-FI. Ωστόσο παρά τις προσπάθειες της επιστημονικής κοινότητας και τις τεχνολογικές εξέλιξης, πολλά τεχνικά θέματα έχουν μείνει αναπάντητα. Από οικονομικής απόψεως τα MANET δημιουργούν επαγγελματικές δυνατότητες για τους παροχείς υπηρεσιών. Εντούτοις κατάλληλα επαγγελματικά σενάρια, εφαρμογές και οικονομικά μοντέλα (για τον προσδιορισμό κέρδους από τη χρήση τους) μαζί με τις προόδους της τεχνολογίας πρέπει να προσδιοριστούν έτσι ώστε να μεταβούμε μέσω των MANET σε έναν βιώσιμο εμπορικό κόσμο.

## Βιβλιογραφία

- 1)Raffaele Bruno, Marco Conti, and Enrico Gregori, National Research Council (CNR), Μάρτιος 2005, Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks, IEEE, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1404606&isnumber=30467>, [13 Φεβρουαρίου 2009]
- 2)Eleonora Borgia, Marco Conti, Franca Delmastro, Enrico Gregori, Andrea Passarella, Μάιος 2008, MANET perspective: current and forthcoming technologies, IIT Institute, <http://bruno1.iit.cnr.it/~andrea/docs/ist06.pdf>, [13 Φεβρουαρίου 2009]
- 3)Jun-Zhao Sun, Mobile Ad Hoc Networking: An Essential Technology for Pervasive Computing, University of Oulu, <http://www.mediateam oulu.fi/publications/pdf/92.pdf>, [12 Φεβρουαρίου 2009]
- 4)H Yang, H Y. Luo, F Ye, S W. Lu, L Zhang, Φεβρουάριος 2004, Security in mobile ad hoc networks: Challenges and solutions, IEEE, <http://cone.informatik.uni-freiburg.de/teaching/labcourse/Adhocnetworks-w07/manet/materials/papers/security-manet.pdf>, [10 Φεβρουαρίου 2009]
- 5)Imrich Chlamtac, Marco Conti, Jennifer J.-N. Liu, Ιούλιος 2003, Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges, Elsevier, <http://cone.informatik.uni-freiburg.de/teaching/labcourse/Adhocnetworks-w07/manet/materials/papers/Mobile%20ad%20hoc%20networking%20imperatives%20and%20challenges.pdf>, [9 Φεβρουαρίου 2009]
- 6)Jeroen Hoebeke, Ingrid Moerman, Bart Dhoedt, Piet Demeester, Σεπτέμβριος 2004, An overview of MANETs : Applications and Challenges, 43<sup>rd</sup> Telecommunications Congress, <http://www.ibcn.intec.ugent.be/papers/2152.pdf>, [20 Δεκεμβρίου 2008]
- 7)Shih-Lin Wu, Yu-Chee Tseng, M2007, Wireless Ad Hoc Networking, 2<sup>nd</sup> Edition, Auerbach Publications, New York
- 8)Prasant Mohapatra, Chao Gui, Jian L, Ιανουάριος 2009, Group Communications in Mobile Ad Hoc Networks, IEEE, <http://wwwcsif.cs.ucdavis.edu/~guic/group.pdf>, [20 Δεκεμβρίου 2008]
- 9)M. Guarnera, M. Villari, A. Zaia, A. Puliafito, Μάρτιος 2003, MANET: POSSIBLE APPLICATIONS WITH PDA IN WIRELESS IMAGING ENVIRONMENT, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1046573&isnumber=22425>, [20 Δεκεμβρίου 2008]

- 10) Bhavyesh Divecha, Ajith Abraham, Crina Grosan Sugata Sanyal, Μάρτιος 2007, Impact of Node Mobility on MANET Routing Protocols Models, <http://www.softcomputing.net/jdim3.pdf>, [12 Ιανουαρίου 2009]
- 11) MANET Systems Research Projects, Ιανουάριος 2009, Mobile Ad-Hoc Network Systems Research, <http://www.cs.utexas.edu/users/ygz/adhoc/>, [12 Ιανουαρίου 2009]
- 12) Benoit BEGUE, Comparison of several MANET routing protocols, an.kaist.ac.kr/courses/2006/cs492/term\_projects/team\_2\_mid.ppt, [12 Ιανουαρίου 2009]
- 13) Luc Hogue, Pascal Bouvry, Μάρτιος 2007, An Overview of MANETs Simulation, [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=MIimg&\\_imagekey=B75H1-4JCCCYV-7-1&\\_cdi=13109&\\_user=109815&\\_orig=search&\\_coverDate=03%2F09%2F2006&\\_sk=998499998&view=c&wchp=dGLbVzb-zSkzS&md5=7e334579beed4b1978e4cb34b9c45d7d&ie=/sdarticle.pdf](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B75H1-4JCCCYV-7-1&_cdi=13109&_user=109815&_orig=search&_coverDate=03%2F09%2F2006&_sk=998499998&view=c&wchp=dGLbVzb-zSkzS&md5=7e334579beed4b1978e4cb34b9c45d7d&ie=/sdarticle.pdf), [12 Ιανουαρίου 2009]
- 14) Joseph P. Mackera , M. Scott Corsonb, Ιανουάριος 2001, Mobile Ad Hoc Networking and the IETF, [http://www.sigmobile.org/MC2R/articles/manet\\_v2n1.pdf](http://www.sigmobile.org/MC2R/articles/manet_v2n1.pdf), [10 Ιανουαρίου 2009]
- 15) Stuart Kurkowski, Tracy Camp, Michael Colagrosso, Νοέμβριος 2006, MANET Simulation Studies: The Incredibles, MCS Department, <http://brage.unik.no/personer/adhocnet/2006/articles/Simulation-kurkowski.pdf>, [12 Ιανουαρίου 2009]
- 16) David Cavin, Yoav Sasson, Andr´e Schiper, Οκτώβριος 2002, On the Accuracy of MANET Simulators, EPFL, <http://delivery.acm.org/10.1145/590000/584499/p38-cavin.pdf?key1=584499&key2=6340754321&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=21748020&CFTOKEN=56769340>, [12 Ιανουαρίου 2009]
- 17) Johansson, P., Kazantzidis, M., Kapoor, R., Gerla, M., Αύγουστος 2002, Bluetooth: an enabler for personal area networking, IEEE, [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=953231](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=953231), [5 Φεβρουαρίου 2009]
- 18) Ram Ramanathan, Jason Redi, Μάιος 2002, A BRIEF OVERVIEW OF AD Hoc NETWORKS: CHALLENGES AND DIRECTION, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1006968&isnumber=21724>, [15 Φεβρουαρίου 2009]
- 19) A.J. Goldsmith, S.B. Wicker, Απρίλιος 2002, Design challenges for energy-constrained ad hoc Wireless networks, IEEE, Wireless Communications.