



Project: Mobile MAN

Όνομα: Μπαλάκου Ιωάννα

Μάθημα: Δίκτυα Υπολογιστών

Επιβλέπων Καθηγητής: Αναστάσιος Οικονομίδης



Δ.Π.Μ.Σ στα Πληροφοριακά Συστήματα

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2009

Περιεχόμενα

Γενική επισκόπηση του project	σελ. 3
Εισαγωγή	σελ. 4
Στόχοι του έργου	σελ. 5
Τεχνική προσέγγιση – Μεθοδολογία	σελ. 6
Network Status	σελ. 6
Middleware	σελ. 8
Network Protocol	σελ. 8
Transport Protocol	σελ. 9
Enabling Technologies	σελ. 10
Applications	σελ. 11
Αποτελέσματα / εφαρμογές των mobileMAN	σελ. 12
Κοινωνικές επιπτώσεις / Αντιδράσεις	σελ. 14
Οικονομικές επιπτώσεις	σελ. 16
Το μέλλον των mobileMAN	σελ. 17
References	σελ. 19

Γενική επισκόπηση του Project

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος « Δίκτυα Υπολογιστών » , του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στα Πληροφοριακά Συστήματα του Πανεπιστημίου Μακεδονίας. Η εργασία αναλύει τα Κινητά Μητροπολιτικά ad hoc Δίκτυα (Mobile Metropolitan Ad hoc Networks - MobileMAN), στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος « Emergent and future technologies – sector: User-friendly information society ».

Το συγκεκριμένο ευρωπαϊκό έργο ερευνά τις δυνατότητες των Κινητών ad hoc Δικτύων (Mobile Ad hoc NETWORKS – MANET's) και συγκεκριμένα στοχεύει να προσδιορίσει και να αναπτύξει μια μητροπολιτική περιοχή ασύρματου δικτύου, δηλαδή αυτό το οποίο ονομάζουμε Κινητό Μητροπολιτικό ad hoc Δίκτυο (MobileMAN).

Το έργο ξεκίνησε στις 1/10/2002 και ολοκληρώθηκε στις 30/9/2005. Οι οργανισμοί που συμμετείχαν στην υλοποίηση του έργου παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Κατά μήκος της εργασίας, θα παρουσιαστούν οι στόχοι του έργου, η τεχνολογία που αναπτύχθηκε για την υλοποίηση του, οι τομείς στους οποίους εφαρμόστηκαν τα αποτελέσματα της έρευνας, οι κοινωνικοοικονομικές επιδράσεις του έργου και οι μελλοντικές προεκτάσεις που μπορεί να έχει.

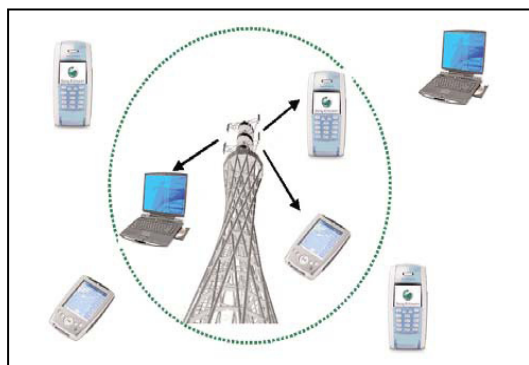
Οργανισμός	Χώρα
Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)	Ιταλία
University of Cambridge (UCAM-CLAB)	Ηνωμένο Βασίλειο
Institut Eurecom (EURECOM)	Γαλλία
Helsinki University (HUT)	Φιλανδία
NETikos (NETikos)	Ιταλία
Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (SUPSI)	Ελβετία

Πίνακας 1: Συμμετέχοντες στο έργο

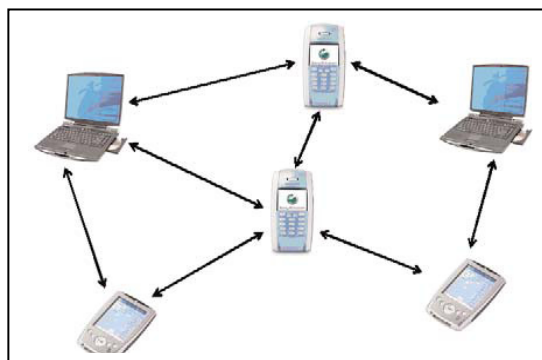
Εισαγωγή

Η ασύρματη τεχνολογία διαφαίνεται από τώρα πως θα παίζει σημαντικό ρόλο στην μελλοντική κοινωνία της πληροφορίας. Το πρότυπο της επικοινωνίας θα αλλάξει και θα περάσουμε σε αυτοδύναμα πληροφοριακά και τηλεπικοινωνιακά συστήματα στα οποία, οι κινητές συσκευές των χρηστών θα αποτελούν το δίκτυο. Σύμφωνα με τον Tanenbaum (2006), τα δίκτυα που αποτελούνται από κόμβους οι οποίοι απλώς τυχαίνει να βρίσκονται κοντά μεταξύ τους ονομάζονται ad hoc δίκτυα (ad hoc networks) ή Κινητά ad hoc Δίκτυα ή MANET (Mobile Ad hoc NETworks). Σε ένα MANET η τοπολογία μπορεί να αλλάζει συνεχώς, έτσι η καταλληλότητα ή ακόμα και η εγκυρότητα των διαδρομών μπορεί να αλλάξει σε οποιαδήποτε στιγμή, χωρίς προειδοποίηση.

Το έργο λοιπόν αυτό στοχεύει να εφαρμόσει το πρότυπο αυτό για την επικοινωνία σε μια μεγάλη μητροπολιτική περιοχή, η οποία ονομάζεται Mobile Metropolitan Ad Hoc Network (MobileMAN). Σύμφωνα με τον Θεολόγου(2007), ένα MobileMAN είναι ένα αυτόνομο, αυτοδύναμο και ασύρματο δίκτυο πολυμέσων το οποίο στηρίζεται αποκλειστικά στις συσκευές (terminals) των χρηστών του. Πεδία μαχών, επιχειρήσεις διάσωσης, μεγάλης κλίμακας ασύρματες συσκευές, οικιακή δικτύωση, κλπ., όπου η μεταφορά δεδομένων δεν μπορεί να βασιστεί στην υποδομή του σταθερού δικτύου είναι υποψήφιες εφαρμογές των MANET. Στις εικόνα 1, βλέπουμε το παραδοσιακό mobile δίκτυο, στο οποίο ένας κεντρικός κόμβος συνδέεται με ασύρματες συσκευές, όμως κάποιες συσκευές βρίσκονται μακριά και δεν μπορούν να έρθουν σε επικοινωνία. Στην εικόνα 2, βλέπουμε ένα mobileMAN, στο οποίο δύο ή περισσότεροι χρήστες επικοινωνούν μεταξύ τους με την έλλειψη άμεσης σύνδεσης αλλά και υποδομής.



Εικόνα 1: παραδοσιακό δίκτυο



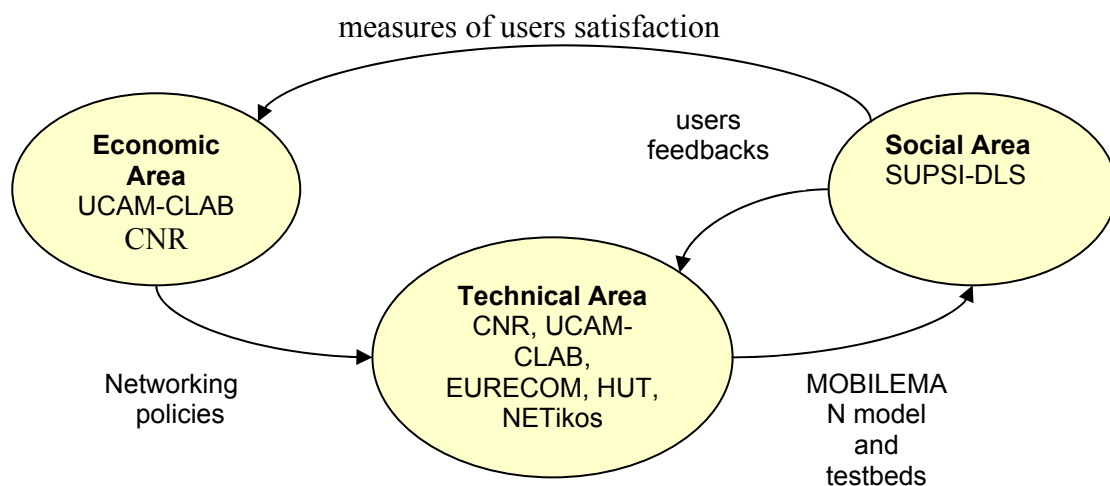
Εικόνα 2: mobileMAN δίκτυο

Στόχοι του έργου

Στο δεύτερο deliverable του έργου παρουσιάζονται οι στόχοι που τέθηκαν πριν αρχίσει η υλοποίηση του. Το έργο έχει ως στόχο να αναλύσει το mobileMAN πρότυπο από τρεις διαφορετικές, αλλά αλληλοεξαρτώμενες σκοπιές:

- ✓ Τεχνική σκοπιά: ανάπτυξη, αξιολόγηση, εφαρμογή και δοκιμή της αρχιτεκτονικής και των σχετικών πρωτοκόλλων για τη δημιουργία και διαχείριση ενός mobileMAN.
- ✓ Κοινωνική σκοπιά: αξιολόγηση του αυτοδύναμου προτύπου από κοινωνικής σκοπιάς μέσω, κυρίως, των εικονικών κοινοτήτων (virtual communities).
- ✓ Οικονομική σκοπιά: δημιουργία περιβάλλοντος που θα προωθεί νέες επιχειρηματικές δραστηριότητες και διαδικασίες.

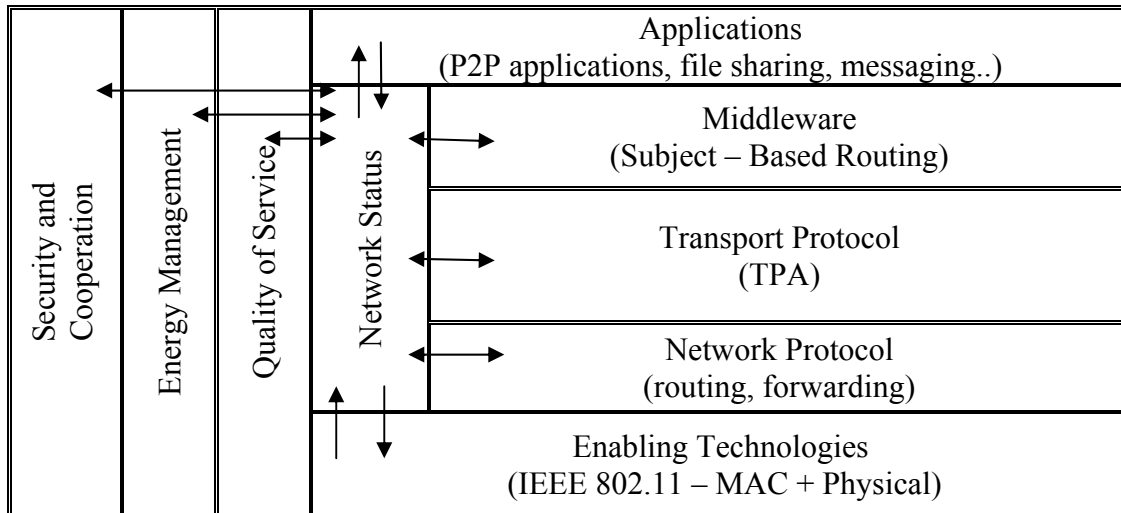
Το παρακάτω σχεδιάγραμμα (Σχεδ. 1), σκιαγραφεί την υπάρχουσα συσχέτιση μεταξύ των τριών αυτών περιοχών και των οργανισμών που ανέλαβαν την κάθε μία από αυτές.



Σχεδιάγραμμα 1: Συσχετίσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων του έργου

Τεχνική Προσέγγιση – Μεθοδολογία

Το μοντέλο αναφοράς της αρχιτεκτονικής των mobileMAN, παρουσιάζεται στο 14^ο deliverable. Το μοντέλο αυτό, έχει ενισχυθεί έτσι ώστε να ενσωματώνει την ιδέα της διαστρωμάτωσης (cross – layering). Η αρχιτεκτονική αυτή παρουσιάζεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα (Σχεδ. 2).



Σχεδιάγραμμα 2: MobileMAN cross-layering Reference Model

Με βάση το παραπάνω σχεδιάγραμμα θα αναλύσουμε παρακάτω το κάθε συστατικό μέρος του μοντέλου αυτού.

➤ Network Status (NeSt)

Στο deliverable 13, το Network Status (Nest) αναφέρεται ως, το βασικό στοιχείο το οποίο σχεδιάστηκε για την εισαγωγή cross-layer αλληλεπιδράσεων στην mobileMAN αρχιτεκτονική, διατηρώντας παρόλα ταύτα την αρχή του διαχωρισμού των επιπέδων. Έτσι το NeSt διεκπεραιώνει τις cross-layer αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα πρωτόκολλα. Η ιδέα είναι να εξάγει μια διεπαφή κατά μήκος των πρωτοκόλλων, έτσι ώστε να επιτρέπεται το μοίρασμα πληροφοριών και η αντίδραση σε συγκεκριμένα γεγονότα.

Το NeSt υποστηρίζει την εφαρμογή της διαστρωμάτωσης με δύο μοντέλα αλληλεπίδρασης ανάμεσα στα πρωτόκολλα: συγχρόνως και ασύγχρονα.

- Τα πρωτόκολλα αλληλεπιδρούν συγχρόνως όταν μοιράζονται private δεδομένα.
- Οι ασύγχρονες αλληλεπιδράσεις υπάρχουν σε συγκεκριμένες συνθήκες, στις οποίες τα πρωτόκολλα ίσως να είναι πρόθυμα να αντιδράσουν.

Εν κατακλείδι, μπορούμε να πούμε ότι όλα τα πρωτόκολλα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτό το είδος μνήμης για να γράψουν τις πληροφορίες τις οποίες θέλουν να μοιράσουν στα άλλα πρωτόκολλα, αλλά και να διαβάσουν τις πληροφορίες που έχουν δημιουργηθεί από εκείνα. Οι τρεις βασικές συνιστώσες του NeSt, σύμφωνα με τους Chlamtac et al. (2003), είναι:

1) Η ασφάλεια και συνεργασία (Security and Cooperation)

Τα mobile δίκτυα είναι πιο ευάλωτα σε απειλές απ' ό,τι τα σταθερά. Αυτό, σε συνδυασμό με την έλλειψη υποδομής και με το ότι η τοπολογία αλλάζει δυναμικά, έκανε την ασφάλεια των ad hoc δικτύων ένα πολύ δύσκολο εγχείρημα.

Η βασική απαίτηση λοιπόν, για να διατηρηθεί το δίκτυο λειτουργικό ήταν να ενισχυθεί η συνεισφορά των ad hoc κόμβων στις λειτουργίες του δικτύου (π.χ. στη δρομολόγηση των πακέτων). Σε αντίθεση λοιπόν με δίκτυα που χρησιμοποιούν συγκεκριμένους κόμβους για την υποστήριξη βασικών λειτουργιών δικτύου, στα ad hoc δίκτυα, οι λειτουργίες αυτές διεκπεραιώνονται από όλους τους διαθέσιμους κόμβους. Αυτή η διαφορά ήταν ο πυρήνας αλλά και η λύση κάποιων από τα προβλήματα ασφάλειας των ad hoc δικτύων.

Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, η συνεργασία ανάμεσα στους κόμβους κρίθηκε απαραίτητη, για αυτό οι λύσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό κόμβων που δεν "συμπεριφέρονταν" καλά στην έννοια της συνεργασίας ήταν: ο μηχανισμός Watchdog, το πρωτόκολλο CONFIDANT και ο μηχανισμός CORE.

2) Η διαχείριση ενέργειας (Energy Management)

Οι ασύρματες συσκευές βασίζονται στην μπαταρία για ενέργεια, και αυτό αποτελεί έναν μεγάλο περιορισμό στον σχεδιασμό αλγορίθμων για τις συσκευές αυτές, αφού η ενέργεια της μπαταρίας εξαντλείται σύντομα.

Ο στόχος λοιπόν της στρατηγικής που ακολουθήθηκε (CMMBCR στρατηγική), ήταν η δημιουργία ισορροπίας ανάμεσα στην ελάχιστη ενέργεια και στη μέγιστη διάρκεια ζωής. Η στρατηγική αυτή χρησιμοποιεί την ελάχιστη διαδρομή ενέργειας (energy route), εάν η εναπομένουσα ενέργεια των κόμβων είναι μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο όριο. Σε αντίθετη περίπτωση, επιλέγεται η διαδρομή που μεγιστοποιεί την ελάχιστη εναπομένουσα ενέργεια.

3) Η ποιότητα των υπηρεσιών (Quality of Service)

Τα χαρακτηριστικά των MANET γενικά, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι αυτός ο τύπος δικτύων παρέχει χαμηλή υποστήριξη QoS (Quality of Service – Ποιότητα Υπηρεσίας).

Η ποιότητα υπηρεσίας που παρέχεται από το δίκτυο δεν σχετίζεται με κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο δικτύου, αλλά απαιτεί συντονισμένη προσπάθεια από όλα τα επίπεδα. Τα σημαντικά λοιπόν συστατικά της ποιότητας υπηρεσιών περιλαμβάνουν: το QoS MAC πρωτόκολλο, την QoS δρομολόγηση και την εξασφάλιση σηματοδότησης.

Τα QoS MAC πρωτόκολλα έλυσαν το πρόβλημα της διαμάχης των μέσων. Υποστηρίζουν τις unicast επικοινωνίες και παρέχουν εξασφάλιση πόρων σε περίπτωση συμφόρησης σε καταναμημένο ασύρματο περιβάλλον. Μεταξύ πολλών πρωτοκόλλων MAC και βελτιώσεων που έχουν προταθεί, πρωτόκολλα που μπορούν να παρέχουν εγγυήσεις QoS σε πραγματικό χρόνο κυκλοφορίας σε ένα καταναμημένο ασύρματο περιβάλλον, είναι το GAMA/PR πρωτόκολλο και ο Black-Burst (BB) μηχανισμός. Από την άλλη τόσο η QoS δρομολόγηση όσο και η QoS σηματοδότηση συντονίζονται με το QoS MAC πρωτόκολλο για να προσφέρουν την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας.

➤ **Middleware**

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται στο deliverable 14 του έργου, στην mobileMAN αρχιτεκτονική ενσωματώθηκε μια P2P middleware πλατφόρμα βασισμένη στο Pastry (Free Pastry), το οποίο βοήθησε να τρέξουν απλές P2P εφαρμογές στην κορυφή του multi-hop ad hoc δικτύου. Το Free Pastry είναι μια open-source εφαρμογή του Pastry μοντέλου δικτύου. Αυτό που κάνει είναι να προσδιορίζει τις εσωτερικές δομές δεδομένων στοχεύοντας να διατηρήσει την επικάλυψη της πληροφορίας. Επίσης προσδιορίζει το σύνολο εντολών που χρειάζονται, για να συσταθούν και ενωθούν οι κυκλικές και σχετιζόμενες απομακρυσμένες διασυνδέσεις που είναι απαραίτητες για να ανακτηθεί η πληροφορία αυτή.

Για να βελτιστοποιηθεί η απόδοση της middleware πλατφόρμας, εκμεταλεύοντας τις cross-layer αλληλεπιδράσεις, σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε μια ενισχυμένη εκδοχή του Pastry middleware, η οποία λέγεται CrossROAD.

Το CrossROAD παρουσιάζει ένα βελτιωμένο P2P σύστημα για ad hoc δίκτυα, βασισμένο στο Pastry μοντέλο δικτύου. Συγκεκριμένα εκμεταλλεύεται την cross-layer αρχιτεκτονική, χρησιμοποιώντας πληροφορίες δρομολόγησης δικτύων ώστε να συντηρήσει μια αντιστοιχία ανάμεσα στην φυσική τοπολογία δικτύου και στη λογική διεύθυνση χώρου στην οποία αποτυπώνονται οι κόμβοι (nodes) και τα δεδομένα.

Επίσης, ένα plugin, το οποίο λέγεται XL-plugin, προσδιορίστηκε έτσι ώστε να περιλαμβάνει επιπρόσθετες πληροφορίες στα πακέτα δρομολόγησης. Οι πληροφορίες αυτές απεικονίζονται με δείκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να συσχετιστούν με τη λίστα υπηρεσιών που ο κάθε κόμβος παρέχει τοπικά.

➤ **Network Protocol**

Σε ένα MANET για αντιμετωπιστεί το δυναμικό, ασταθές, Peer - to - Peer περιβάλλον επικοινωνίας, οι περισσότερες από τις βασικές λειτουργίες των πρωτοκόλλων δικτύωσης (δηλαδή των πρωτοκόλλων δικτύου και μεταφοράς στην αρχιτεκτονική του Internet) θα έπρεπε να σχεδιαστούν εκ νέου.

Όπως λοιπόν αναφέρεται στο 13^ο deliverable του έργου, στόχος των πρωτοκόλλων δικτύωσης είναι να χρησιμοποιούν one-hop υπηρεσίες μεταφοράς που παρέχονται από τις τεχνολογίες καρτών δικτύωσης για να κατασκευαστεί end-to-end παροχή υπηρεσιών, από τον αποστολέα προς τον δέκτη. Να καθιερωθεί μια end-to-end επικοινωνία, την οποία χρειάζεται ο αποστολέας για να εντοπίσει τον αποδέκτη μέσα στο δίκτυο. Ο σκοπός τη υπηρεσίας αυτής είναι να θέσει δυναμικά τη λογική διεύθυνση της συσκευής του αποδέκτη, στην τρέχουσα θέση του στο δίκτυο. Από τη στιγμή που θα βρεθεί ο χρήστης, πρέπει να παρέχονται οι αλγόριθμοι δρομολόγησης και προώθησης, ώστε να παίρνουν το δρόμο τους οι πληροφορίες μέσα στο MANET. Τέλος, η χαμηλή αξιοπιστία των επικοινωνιών (λόγω του ότι είναι ασύρματες και λόγω της κινητικότητας των χρηστών κλπ), καθώς και η πιθανότητα συμφόρησης του δικτύου απαιτούσαν επανασχεδιασμό των μηχανισμών των επιπέδων μεταφοράς.

Κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους του έργου εντοπίστηκαν υπάρχοντα πρωτόκολλα που μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την επίτευξη των στόχων του έργου κα σχεδιάστηκαν λύσεις όπου κρίθηκε απαραίτητο. Συγκεκριμένα προσδιορίστηκαν δύο πρωτόκολλα δρομολόγησης, το AOVD και το OLSR, και παρουσιάστηκε η προκαταρκτική μελέτη ενός αξιόπιστου συστήματος αποστολής (το REEF) και ένα νέο πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς (το TPA). Κατά τη διάρκεια του δεύτερου έτους του έργου, η εστίαση επικεντρώθηκε στην

ενίσχυση του πλαισίου της Ad hoc αρχιτεκτονικής για την υποστήριξη και εκμετάλλευση των cross-layer αλληλεπιδράσεων. Συγκεκριμένα, η κύρια συνεισφορά της δραστηριότητας αυτής ήταν:

- Η επέκταση του πλαισίου σε ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που βασίζεται στην περιορισμένη διάδοση των πολιτικών, το οποίο ονομάζεται Hazy Sighted Link State (HSLS), στο οποίο οι ενημερώσεις των δρομολογήσεων απλώνονται στο δίκτυο με μια δυαδική εκθετική ακολουθία.
- Η επέκταση του μηχανισμού (που χρησιμοποιείται από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης) να είναι σε θέση να κάνει τα πακέτα ικανά να κουβαλούν προαιρετικές πληροφορίες όπως είναι οι πληροφορίες υπηρεσιών. Με την αξιοποίηση αυτής της επέκτασης στην cross-layer αρχιτεκτονική, σχεδιάστηκε ένα αποτελεσματικό Service Discovery πρωτόκολλο.
- Ο ορισμός ενός αποτελεσματικού μηχανισμού, που ονομάζεται REEF, για την αξιόπιστη διαβίβαση των δεδομένων μεταξύ αποστολέα και αποδέκτη. Το REEF πραγματοποιεί το έργο του εκμεταλλεύοντας την πληροφορία που παράγεται από το πρωτόκολλο δρομολόγησης και τις cross-layer αλληλεπιδράσεις με το πρωτόκολλο μεταφοράς.

Κατά τη διάρκεια του τρίτου έτους ολοκληρώθηκε ο σχεδιασμός και η επικύρωση του πρωτοκόλλου TPA (αναλύεται παρακάτω). Συγκεκριμένα η επικύρωση του πραγματοποιήθηκε μέσω προσομοίωσης με τη σύγκριση της επίδοσης του με εκείνη του πρωτοκόλλου TCP. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε όλα τα σενάρια το TPA υπερτερεί του TCP.

➤ **Transport Protocol**

Για το project, αναπτύχθηκε ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο μεταφοράς για ad hoc δίκτυα, το TPA (Transport Protocol for Ad hoc networks) . Σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο deliverable 13, το TPA είναι ειδικά προσαρμοσμένο στα χαρακτηριστικά του MANET περιβάλλοντος. Η πρόταση αυτή υπαγορεύτηκε από το γεγονός ότι το TCP πρωτόκολλο εμφανίζει χαμηλή απόδοση σε περιβάλλον MANET. Ο βασικός λόγος γι' αυτό είναι ότι τα MANETs συμπεριφέρονται με πολύ διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τα παραδοσιακά ενσύρματα δίκτυα, όπως στο Internet, για το οποίο είχε αρχικά σχεδιαστεί το πρωτόκολλο TCP.

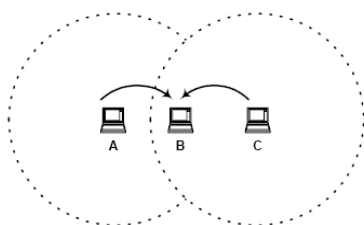
Το πρωτόκολλο TPA παρέχει έναν αξιόπιστο, προσανατολισμένο στη σύνδεση τύπο υπηρεσίας και περιλαμβάνει αρκετές καινοτομίες σε σχέση με το πρωτόκολλο TCP. Σε αντίθεση λοιπόν με το TCP, το TPA είναι σε θέση να διαχειρίζεται αποτελεσματικά τις αποτυχιές διαδρομής (route failures) και τις αλλαγές διαδρομής που μπορεί να προκύψουν λόγω της κινητικότητας των κόμβων. Επιπλέον, ο μηχανισμός ελέγχου συμφόρησης του TPA έχει σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη την φύση των φαινομένων συμφόρησης στα MANET. Τέλος, το TPA υλοποιεί μια πολιτική αναμετάδοσης για τη μείωση των άχρηστων αναμεταδόσεων και κατά συνέπεια για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Το TPA αναλύθηκε με προσομοίωση και η επίδοση του συγκρίθηκε με αυτή του TCP, σε ένα στατικό σενάριο (δηλαδή υποθέτοντας ότι οι κόμβοι είναι στατικοί). Αυτό το MANET σενάριο είναι γνωστό ότι είναι από τα πιο ευνοϊκά για το πρωτόκολλο TCP, αν και οι αποδόσεις του απέχουν από το ιδανικό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ακόμα και σε ένα τέτοιο σενάριο, το TPA υπερτερεί του TCP, σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας. Συγκεκριμένα

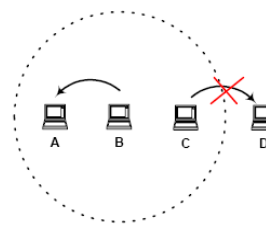
, το TPA είναι σε θέση να εξοικονομεί ενέργεια, αποφεύγοντας άχρηστες αναμεταδόσεις, ενώ παρέχει τουλάχιστον την ίδια απόδοση που παρέχεται από το TCP. Επίσης, η απόδοση που επιτυγχάνεται από το TPA είναι πολύ μεγαλύτερη στην περίπτωση ακραίων σεναρίων συμφόρησης (δηλαδή όταν οι μεγάλες καθυστερήσεις στην ανακάλυψη δρομολογίων λαμβάνονται υπόψη). Επιπλέον, η διαφορά στις επιδόσεις αναμένεται να είναι ακόμα μεγαλύτερη σε ένα mobile σενάριο, διότι σε αντίθεση με το πρωτόκολλο TCP, το TPA περιλαμβάνει μηχανισμούς για την αποτελεσματική διαχείριση σε περιπτώσεις αποτυχίας δρομολόγησης και σε αλλαγές που προκαλούνται από τις κινήσεις των κόμβων.

➤ Enabling Technologies

Σήμερα, η de facto τεχνολογία για την δημιουργία ad hoc δικτύων είναι το πρότυπο IEEE 802.11. Το πρότυπο IEEE 802.11 είναι η πιο ώριμη και εφικτή ασύρματη τεχνολογία για την υλοποίηση πραγματικών multi-hop ad hoc δικτύων. Ωστόσο, αρκετές ερευνητικές εργασίες κατέδειξαν ότι τα ad hoc χαρακτηριστικά του προτύπου αυτού δεν μπορούν να εμποδίσουν αποτελεσματικά τα προβλήματα των κρυφών και εκτεθειμένων κόμβων (Εικόνες 3 και 4 – διαθέσιμες στο 5^ο deliverable).



Εικόνα 3: ο κρυφός κόμβος



Εικόνα 4: ο εκτεθειμένος κόμβος

Σύμφωνα με τον Θεολόγου (2007), για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, το πρωτόκολλο MAC διαθέτει μηχανισμό με μηνύματα request-to-send/clear-to-send (RTS/CTS). Ο μηχανισμός αυτός διαθέτει μικρή εξασφάλιση για την ποιότητα της υπηρεσίας. Ο backoff αλγόριθμος του προτύπου αυτού δηλαδή, υποβαθμίζει σημαντικά την χρησιμοποίηση του καναλιού σε high contention συνθήκες, επειδή αυτή η πολιτική πρέπει να πληρώσει το κόστος των συγκρούσεων, όταν υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο. Συγκεκριμένα είχε προταθεί, να ελέγχεται δυναμικά η συμφόρηση του δικτύου, ερευνώντας τον αριθμό των χρηστών μέσα στο σύστημα. Ωστόσο είναι δύσκολο να υπάρχει γνώση του αριθμού των ανταγωνιστικών σταθμών και αυτό υπόκειται σε σημαντικά σφάλματα, ιδιαίτερα σε μπλοκαρισμένα συστήματα. Από την άλλη πλευρά αξιοποιήθηκαν αποτελέσματα αναλύσεων που αποδεικνύουν ότι η μέση backoff τιμή που μεγιστοποιεί τη χρησιμοποίηση του καναλιού είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την διάρθρωση του δικτύου (αριθμός των ανταγωνιστικών σταθμών). Ως εκ τούτου η μέγιστη αξιοποίηση του καναλιού μπορεί να επιτευχθεί χωρίς να γνωρίζουμε τον αριθμό των ενεργών σταθμών. Συγκεκριμένα ο βέλτιστος συντονισμός του backoff αλγόριθμου επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της διάρκειας των μέσων περιόδων και συγκρούσεων. Αντ' αυτού προτάθηκε ο Asymptotically Optimal Backoff (AOB) μηχανισμός, ο οποίος συντονίζει τις backoff παραμέτρους κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται το contention επίπεδο του δικτύου να υπερβαίνει τη βέλτιστη αξία του. Ο μηχανισμός αυτός εκτιμά το contention επίπεδο του δικτύου μετρώντας το ποσοστό χρησιμοποίησης του διαθέσιμου χρόνου χρήσης. Ο AOB αλγόριθμος, είναι ένας από τους πιο

αποτελεσματικούς και κατάλληλους αλγορίθμους συντονισμού για τα ασύρματα περιβάλλοντα που βασίζονται στο πρότυπο 802.11b .

Έτσι δημιουργήθηκαν αρκετά ad hoc δίκτυα μικρής κλίμακας τα οποία στηρίζονται στο 802.11 πρότυπο, για να δοκιμαστεί η επικοινωνία που προτάθηκε και τα πρωτόκολλα δικτύου σε πραγματικές συνθήκες. Από τις δοκιμές που έγιναν, επιβεβαιώθηκε ότι τα ad hoc δίκτυα είναι εγγενώς ανοικτά περιβάλλοντα, στα οποία η προσβασιμότητα δεν μπορεί να περιοριστεί από συγκεκριμένες εφαρμογές των ασύρματων καρτών δικτύου. Επιπλέον, ακόμα και αν η φυσική ανίχνευση απόστασης μεταφοράς είναι πολύ μεγάλη (σε σύγκριση με την περιοχή μετάδοσης), θα μπορούσε να περιλαμβάνει τους περισσότερους από τους σταθμούς που βρίσκονται γύρω από αυτόν που μεταδίδει. Τα εμπόδια τα οποία βρίσκονται συνήθως σε εσωτερικούς χώρους, δεν επιτρέπουν πλήρη ορατότητα ανάμεσα στους ασύρματους σταθμούς.

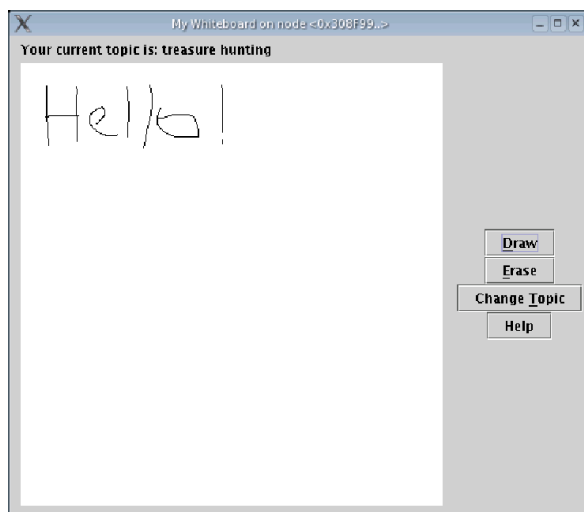
➤ Applications

Από το 14^ο deliverable φαίνεται ότι στην mobileMAN αρχιτεκτονική ενσωματώθηκαν:

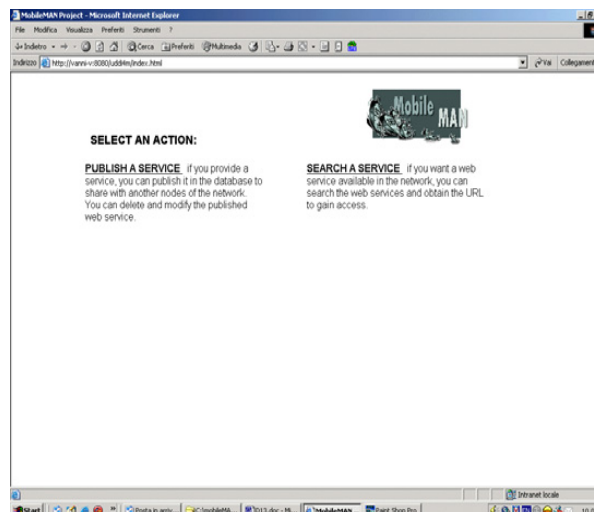
- Συνεργατικά εργαλεία για τον διαμοιρασμό εγγράφων/περιεχομένου, τα οποία βασίζονται στην P2P αρχιτεκτονική (Whiteboard και UDDI).
- VoIP εφαρμογές, οι οποίες εκμεταλλεύονται το πρωτόκολλο TCP/IP.

Οι χρήστες της Whiteboard εφαρμογής δημιουργούν μια εικονική κοινότητα (virtual community) για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να ανταλλάξουν δυναμικά, περιεχόμενο (π.χ. σχέδια, κείμενο). Όπως καταλαβαίνουμε, η εφαρμογή αυτή παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με το Instant Messaging. Η εικόνα 5, παρουσιάζει το interface του χρήστη μόλις ξεκινά η εφαρμογή.

Το UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) είναι μια ανεξάρτητη πλατφόρμα, η οποία βασίζεται στην γλώσσα XML (Extensible Markup Language). Το UDDI για τα MANET (UDDI4m) σύμφωνα με το 13^ο deliverable, είναι το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την αναζήτηση υπηρεσιών μέσα στα δίκτυα αυτά. Έτσι ο χρήστης ανοίγει έναν web browser και συνδέεται με το local url. Η σελίδα ανοίγει και εμφανίζονται δύο επιλογές (εικόνα 6): PUBLISH or SEARCH SERVICE. Ο χρήστης διαλέγει μία από της δύο επιλογές.



Εικόνα 5: The whiteboard interface



Εικόνα 6: επιλογή υπηρεσίας

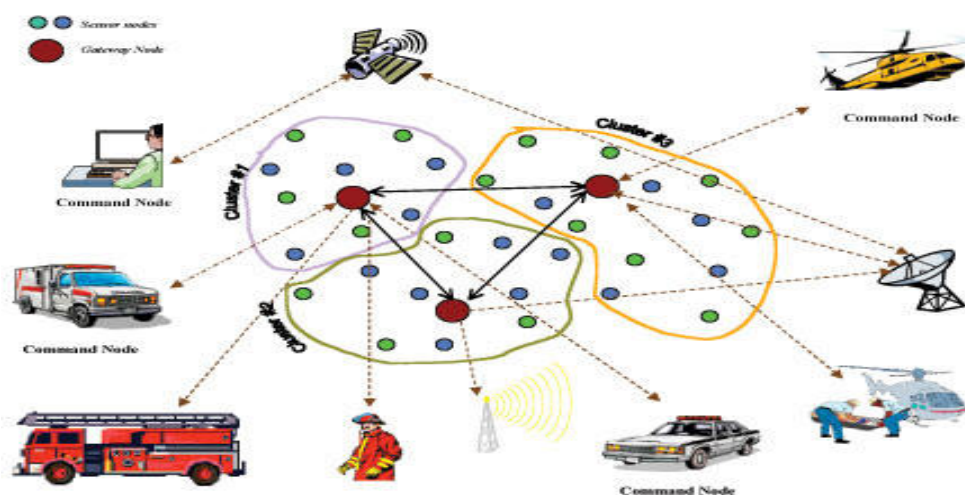
VoIP (Voice over Internet Protocol) είναι μια real-time εφαρμογή η οποία είναι απαραίτητη για τα ad hoc δίκτυα. Η φωνητική επικοινωνία είναι μια υπηρεσία η οποία προσθέτει αξία στα δίκτυα αυτά, αφού οι χρήστες επωφελούνται από μία επικοινωνία η οποία δεν χρειάζεται να υποστηρίζεται από κάποια ιδιαίτερη υποδομή.

Αποτελέσματα/εφαρμογές των mobileMAN

Με την ευρεία διάδοση του συνόλου προδιαγραφών ασυρμάτων δικτύων IEEE 802.11, τα mobile ad hoc networks (MANETs) αναδείχθηκαν σε ένα ταχέως αναπτυσσόμενο πεδίο έρευνας. Έχοντας μεγάλο εύρος εφαρμογών, από στρατιωτικές επιχειρήσεις, και αποστολές διάσωσης / επέμβασης εκτάκτου ανάγκης ως απροσχεδίαστα δίκτυα οικιακής χρήσης, τα MANET προσφέρουν ένα περιβάλλον με πολλές προκλήσεις.

Τα mobileMAN, όπως παρουσιάζονται στο 17^ο deliverable, βρίσκουν εφαρμογή:

- ❖ Σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης
- ❖ Σε επιχειρηματικά συνέδρια
- ❖ Σε αμφιθέατρα
- ❖ Σε εμπορικές εφαρμογές
- ❖ Για επαγγελματική χρήση
- ❖ Για διασκέδαση και multiplayer παιχνίδια
- ❖ Για κοινή χρήση αρχείων σε διασκέψεις
- ❖ Για τα κινούμενα οχήματα
- ❖ Για οδηγό ταξιδιών και αγορών κ.α.



Εικόνα 7: Υποψήφιες εφαρμογές των MANET (Άμεση επέμβαση, Συνέδρια, Εμπόλεμη περίοδος, Επικοινωνία ομάδας)

Στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 2) παρουσιάζονται εφαρμογές των MANET, αλλά και πιθανές μελλοντικές εφαρμογές.

Applications	Descriptions/services
Tactical Networks	<ul style="list-style-type: none"> • Military communication, operations • Automated Battlefields
Sensor Networks	<ul style="list-style-type: none"> • Home applications: smart sensor nodes and actuators can be buried in Appliances to allow end users to manage home devices locally and remotely • Environmental applications include tracking the movements of animals (e.g., birds and insects), chemical/biological detection, precision agriculture, etc. • Tracking data highly correlated in time and space, e.g., remote sensors for weather, earth activities
Emergency Services	<ul style="list-style-type: none"> • Search and rescue operations, as well as disaster recovery; e.g., early retrieval and transmission of patient data (record, status, diagnosis) from/to the hospital • Replacement of a fixed infrastructure in case of earthquakes, hurricanes, fire etc.
Commercial Environment	<ul style="list-style-type: none"> • E-Commerce: e.g., Electronic payments from anywhere (i.e., taxi) • Business: <ul style="list-style-type: none"> _ dynamic access to customer files stored in a central location on the fly _ provide consistent databases for all agents _ mobile office • Vehicular Services: <ul style="list-style-type: none"> _ transmission of news, road condition, weather, music _ local ad hoc network with nearby vehicles for road/accident guidance
Home and Enterprise Networking	<ul style="list-style-type: none"> • Home/Office Wireless Networking (WLAN) e.g., shared whiteboard application; use PDA to print anywhere; trade shows • Personal Area Network (PAN)
Educational applications	<ul style="list-style-type: none"> • Setup virtual classrooms or conference rooms • Setup ad hoc communication during conferences, meetings, or lectures
Entertainment	<ul style="list-style-type: none"> • Multi-user games • Robotic pets • Outdoor Internet access
Location aware services	<ul style="list-style-type: none"> • Follow-on services, e.g., automatic call-forwarding, transmission of the actual workspace to the current location • Information services <ul style="list-style-type: none"> _ push, e.g., advertise location specific service, like gas stations _ pull, e.g., location dependent travel guide; services (printer, fax, phone, server, gas stations) availability information

Πίνακας 2: MANET εφαρμογές

Κοινωνικές Επιπτώσεις/Αντιδράσεις

Από κοινωνικής άποψης, η τεχνολογία που αναπτύχθηκε μέσω του project θα έχει πολύ σημαντικό αντίκτυπο στη δημιουργία εικονικών κοινοτήτων για χρήστες που θέλουν να μοιραστούν τη γνώση πάνω στην εκπαίδευση, την εργασία ή και την ψυχαγωγία. Οι χρήστες αυτοί λοιπόν θα έχουν την δυνατότητα για πρώτη φορά, να οργανώσουν αυτόνομα το δικό τους δίκτυο με καθόλου (ή έστω χαμηλό) κόστος, το οποίο θα εξυπηρετεί τις ανάγκες τους και θα τους δώσει την ευκαιρία να ικανοποιήσουν τις προσδοκίες τους για καλύτερη ποιότητα ζωής.

Σύμφωνα με την έρευνα των Brazzola et al. (2003), τα mobileMAN δίκτυα μπορούν να διαδραματίσουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην προώθηση αυτού που ονομάζουμε «κοινωνία της πληροφορίας» της οποίας ο πυρήνας θα είναι οι ίδιοι οι πολίτες και ειδικά για τις εικονικές κοινότητες (Virtual Communities VCs) οι οποίες αποτελούν ένα ισχυρό σύστημα επικοινωνίας για την κοινωνική ένταξη ιδίως των ατόμων με ειδικές ανάγκες. Τα mobileMAN έχουν ως στόχο να προσφέρουν σε αυτά τα άτομα, χαμηλού κόστους και ίσες ευκαιρίες για την πλήρη συμμετοχή τους στην κοινωνία (π.χ. περισσότερες ευκαιρίες κοινωνικής επαφής, φιλική πρόσβαση σε υπηρεσίες και πληροφορίες για μία ανεξάρτητη διαβίωση).

Ο μοναδικός στόχος της προσέγγισης των mobileMAN είναι να προσφέρει έναν καινοτόμο τρόπο για την πρόσβαση σε δημοφιλείς υπηρεσίες, όπως τα SMS και το Chatting, αλλά και επιπλέον να τις επεκτείνουν σε νέους τομείς όπως τα multimedia μηνύματα, η online ηλεκτρονική συνεργασία και τα ασύρματα διαδραστικά παιχνίδια. Αυτό θα ενισχύσει τις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, αρχής γινομένης από τις νέες γενιές.

Οι ερευνητές που πήραν μέρος στο έργο, ετοίμασαν ερωτηματολόγια, τα οποία βρίσκονται στο 17^ο deliverable, τα οποία και μοίρασαν σε διάφορες ομάδες ανθρώπων για να δούνε πως θα αντιδρούσαν σε τέτοιου είδους δίκτυα και πόσο χρήσιμα θα τα έβρισκαν. Ο επικεφαλής του έργου Marco Conti αναφέρει χαρακτηριστικά: «η κοινωνική πτυχή του έργου είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι η επιθυμία των ατόμων να χρησιμοποιούν ή να αποτελούν μέρος ενός ad hoc δικτύου, θα επηρεάσει άμεσα την υιοθέτηση της τεχνολογίας αυτής».

Τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων έδειξαν ότι: ενώ τα mobile ad hoc δίκτυα παρέχουν έναν διαφορετικό τρόπο δωρεάν επικοινωνίας, η ανάγκη επιβεβαίωσης για την ποιότητα αυτού του εναλλακτικού συστήματος, είναι πολύ έντονη. Οι χρήστες θέλουν να ξέρουν κατ' ελάχιστο ότι τα mobileMAN είναι τόσο αξιόπιστα όσο είναι και η κινητή τηλεφωνία. Από την έρευνα φάνηκε δηλαδή ότι οι περισσότεροι χρήστες δίνουν ιδιαίτερη βαρύτητα στα μειονεκτήματα αυτών των δικτύων (δηλαδή στο θέμα της ασφάλειας, στην ποιότητα της υπηρεσίας...) παρά στα πλεονεκτήματά τους (δηλαδή, στην δωρεάν χρήση υπηρεσιών, στην έλλειψη υποδομής, στην δημοκρατικότητα τους κλπ). Επίσης, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι λίγοι χρήστες μπόρεσαν να βρουν καινοτόμες μεθόδους χρήσης των MANET. Αυτό δείχνει πόσο άγνωστα είναι τα δίκτυα αυτά στο ευρύ κοινό.

Επίσης μετά από συνεντεύξεις που έγιναν με ηλικιωμένους φάνηκε ότι τα συγκεκριμένα άτομα συναντούν δυσκολία στη χρήση της αγγλικής γλώσσας η οποία επικρατεί στα περισσότερα website και στη χρήση των συσκευών νέας τεχνολογίας (παρόλα αυτά έχουν παραχθεί συσκευές οι οποίες απευθύνονται αποκλειστικά σε ηλικιωμένους και λαμβάνουν υπόψη τις ανάγκες τους). Επιπλέον, λόγω των χαμηλών εισοδημάτων τους δεν μπορούν να αποκτήσουν τις νέες αυτές συσκευές. Παρά ταύτα, φάνηκε ότι ηλικιωμένοι οι οποίοι θα μπορούσαν να θεωρηθούν δυνητικοί χρήστες, είναι αυτοί που μένουν μόνοι, μακριά από συγγενείς και φίλους.



Όσον αφορά τους φοιτητές αυτοί θεωρούν ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός της έλλειψης υποδομής στα MANET και η συντριπτική πλειοψηφεία θα δέχονταν χαμηλή ποιότητα υπηρεσίας με δεδομένη την δωρεάν χρήση υπηρεσιών. Πολλοί φοιτητές μάλιστα θεώρησαν ότι τα δίκτυα αυτά είναι ιδανικά για multiplayer παιχνίδια ή για την διαβίβαση πληροφοριών για την κυκλοφοριακή κίνηση στους αυτοκινητόδρομους μεταξύ των οδηγών.

Οικονομικές επιπτώσεις

Από οικονομικής άποψης, τα κύρια ερωτήματα που έπρεπε να αντιμετωπιστούν στο πλαίσιο του μοντέλου των MANET, είναι ο εντοπισμός των επιχειρηματικών σεναρίων τα οποία θα οδηγούσαν στην επιτυχία των MANET πέρα από τα ακαδημαϊκά και ερευνητικά εργαστήρια. Πέρα λοιπόν από εξειδικευμένες περιοχές που εφαρμόζονται τα MANET (πχ. Πεδία μάχης, αποκατάσταση καταστροφών κλπ), οι κύριες επιχειρηματικές ευκαιρίες φαίνεται να βρίσκονται σε εργαλεία, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα σε PDA και laptops να δημιουργήσουν δίκτυα “αυτοεξηπυρετούμενα”.



Σύμφωνα λοιπόν με τους Chlamtac et al. (2003), εκτός από την ανάπτυξη εφαρμογών και συστημάτων προσαρμοσμένων στο ad hoc πλαίσιο, τα MANET μπορούν να προσφέρουν επιχειρηματικές ευκαιρίες για τους φορείς παροχής υπηρεσιών δικτύου και είναι πιθανό να ανοίξει την πόρτα σε νέες επιχειρηματικές δραστηριότητες. Η έλλειψη υποδομής για τα MANET είναι ελκυστική για νέα εμπορικά συστήματα, δεδομένου ότι παρακάμπτεται η ανάγκη για μια μεγάλη επένδυση για να αποκτήσει κανείς και να λειτουργήσει το δίκτυο, αλλά και τα κόστη ανάπτυξης μπορούν να ισοσταθμιστούν με την επιτυχία που θα αποφέρει μελλοντικά το δίκτυο. Ωστόσο οι δυνατότητες των MANET δεν μπορούν να γίνουν πραγματικότητα χωρίς την ύπαρξη ενός οικονομικού μοντέλου το οποίο να προσδιορίζει τα πιθανά έσοδα που κρύβονται πίσω από τις υπηρεσίες δικτύου των MANET. Για παράδειγμα, υπηρεσίες δικτύου βασισμένες στα MANET θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να επεκταθεί αποτελεσματικά η κάλυψη των Wi-Fi hotspots. Ήδη οι αιτήσεις για εύρος ζώνης στα hotspots έχουν αρχίσει να αυξάνονται ραγδαία, με αποτέλεσμα να απαιτούνται τεχνολογίες υψηλής ταχύτητας πρόσβασης. Στην τεχνολογία 802.11, υψηλότερες ταχύτητες σημαίνει μείωση της περιοχής κάλυψης των σημείων πρόσβασης (Access Points – AP). Το να βάλει κανείς παντού σημεία πρόσβασης για να διασφαλιστεί η κάλυψη δεν είναι μία ελκυστική λύση τόσο από οικονομική (κόστος υποδομών) όσο και από τεχνική άποψη. Η λύση των ad hoc δικτύων όμως μπορεί να είναι αποτελεσματική σε αυτό το πρόβλημα: αν τα σημεία πρόσβασης αναβαθμιστούν με υψηλής ταχύτητας multi-rate τεχνολογίες (π.χ. 802.11a) μπορεί να επιτευχθεί η απαιτούμενη κάλυψη αξιοποιώντας ένα multi-hop ασύρματο δίκτυο.

Το μέλλον των mobileMAN

Απ' ότι διαφαίνεται, τα επόμενα έτη, η κινητή δικτύωση θα συνεχίσει να βρίσκεται σε άνοδο και θα είναι αναπόφευκτη μία ενδεχόμενη ολοκλήρωση των MANET με άλλα ασύρματα δίκτυα αλλά και με την σταθερή υποδομή του διαδικτύου. Η ad hoc δικτύωση βρίσκεται στο κέντρο της εξέλιξης της ασύρματης τεχνολογίας 4^{ης} γενιάς. Η ευελιξία, η ευκολία συντήρησης, η έλλειψη απαιτούμενης υποδομής, η αυτόματη διαμόρφωση, η δυνατότητα αυτό-οργάνωσης και τα σημαντικά πλεονεκτήματα κόστους, κάνουν αυτού του τύπου τη δικτύωση, το βασικό συστατικό για ανάπτυξη τεχνολογίας διαπροσωπικής επικοινωνίας. Η σημασία των ad hoc δικτύων αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο τόσο από την ερευνητική, όσο και από την βιομηχανική κοινότητα. Αυτό αποδεικνύεται από τις χιλιάδες ερευνητικές δραστηριότητες αλλά και από την εκθετική αύξηση των ασύρματων τοπικών δικτύων (LAN) και της τεχνολογίας Bluetooth.

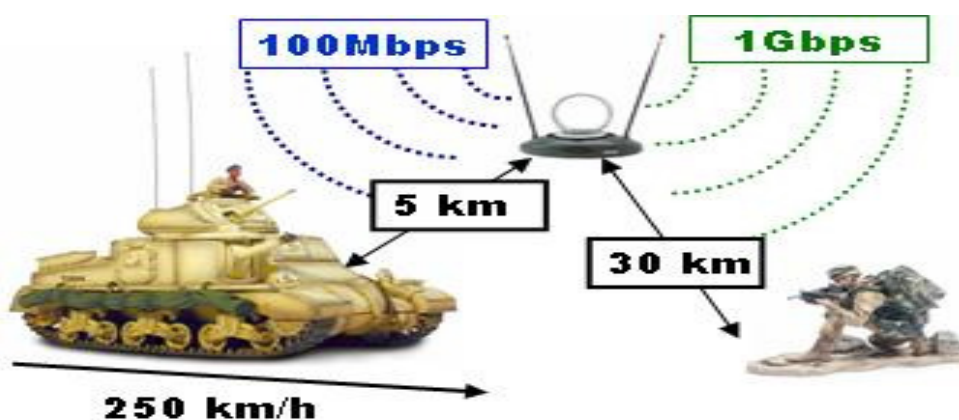
Οι βελτιστοποιήσεις που έγιναν μέχρι σήμερα στη διαστρωμάτωση (cross-layering) μπορούν να μειώσουν δραστικά τα γενικά έξοδα του δικτύου και επιπλέον να βελτιώσουν την επεκτασιμότητα των MANET σε σχέση με τις παραδοσιακές strict-layered προσεγγίσεις. Ωστόσο, όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι Gunningberg et al. (2005), αυτό δεν μπορεί να είναι ρεαλιστικό για μεγάλα, επίπεδα δίκτυα αυτού του τύπου. Οι υπάρχουσες ασύρματες τεχνολογίες δεν είναι ικανές να υποστηρίξουν multi-hop δίκτυα. Επιπλέον, η σύνδεση των κόμβων ενός MANET με το Internet δεν είναι και τόσο εύκολη υπόθεση. Κάποιοι από τους κόμβους των MANET θα πρέπει να συνδέονται με το ενσύρματο Internet, μέσω άλλων κόμβων οι οποίοι θα λειτουργούν σαν γέφυρες ανάμεσα στα MANET και το Internet. Η προσέγγιση αυτή απαιτεί δαπανηρές υποδομές διαδικτύου που να σχετίζονται με τα MANET, και αυτό αποτελεί αρκετά περιοριστικό παράγοντα.

Από την άλλη πλευρά, κάποιοι από τους κόμβους των MANET θα έπρεπε να είναι συνδεδεμένοι με 2.5G/3G κυψελοειδή δίκτυα, τα οποία θα λειτουργούν σαν γέφυρα ανάμεσα στα MANET και στο διαδίκτυο. Αν και η λύση αυτή απαιτεί λιγότερες σταθερές υποδομές, είναι πολύ δαπανηρή και δεν είναι σε θέση να παρέχει ένα αποδεκτό εύρος ζώνης. Έτσι μια καλή κατεύθυνση για την αντιμετώπιση τόσο της επεκτασιμότητας των MANET όσο και των θεμάτων διασύνδεσης με έναν οικονομικό και αποδοτικό τρόπο, είναι σύμφωνα με τους Bruno et al.(2005), τα Mesh Networks. Τα Mesh Networks είναι multi-tier δίκτυα τα οποία αποτελούνται από 3 βαθμίδες. Η πρώτη βαθμίδα αποτελείται από τα MANET. Κάποιος κόμβος σε κάθε MANET είναι συνδεδεμένος (ασύρματα) με δρομολογητές, οι οποίοι αποτελούν τη δεύτερη βαθμίδα. Οι δρομολογητές αυτοί είναι στατικοί κόμβοι (συνήθως με περισσότερες δυνατότητες από ότι οι υπόλοιποι κόμβοι) οι οποίοι αποτελούν ένα πλέγμα για την δημιουργία ασύρματων συνδέσεων μεταξύ τους. Τέλος, κάποιοι δρομολογητές συνδέονται με σημεία πρόσβασης (Access Points), και έτσι παρέχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο σε ολόκληρο το Mesh Network. Ακόμα λοιπόν και αν αυτή η λύση περιλαμβάνει ορισμένη υποδομή (δηλ. τους δρομολογητές), είναι εντελώς ασύρματη και μπορεί να οικοδομηθεί πάνω σε ανοικτά πρότυπα, όπως το 802.11 ή το 802.16. Επιπλέον, τα Mesh δίκτυα μπορούν να παρέχουν ένα εύλογο εύρος ζώνης στους τελικούς χρήστες και είναι μια πιο φθηνή και αποτελεσματική λύση από αυτές που αναφέρθηκαν νωρίτερα και από ότι

φαίνεται θα είναι μια ελπιδοφόρα εξέλιξη για τα MANET. Σήμερα τα Mesh Networks χρησιμοποιούνται στα ευφυή μέσα μαζικής μεταφοράς, στη δημόσια ασφάλεια και στο σύστημα που παρέχει πρόσβαση στο Internet στις αγροτικές και αραιοκατοικημένες περιοχές.

Από την άλλη πλευρά, σύμφωνα με τους Biswas και Morris (2005), στο μέλλον θα εμφανιστούν και τα Ευκαιριακά Δίκτυα (Opportunistic Networks) σαν εξέλιξη των MANET. Στην περίπτωση αυτή, κάθε συσκευή θα προωθεί τα δεδομένα με ένα τρόπο ευκαιριακό, δηλ. με την αξιοποίηση τυχόν επαφής με άλλες συσκευές. Για παράδειγμα, μια ευκαιρία επαφής αντιπροσωπεύεται από δύο άτομα τα οποία περπατούν στον ίδιο διάδρομο. Τα Bluetooth / wifi κινητά τους τηλέφωνα, έρχονται σε επαφή και προωθούν τα δεδομένα από τη μία συσκευή στην άλλη, με την ελπίδα ότι η άλλη συσκευή θα μεταφέρει την πληροφορία πιο κοντά στον τελικό προορισμό. Σαφώς το σενάριο αυτό ανοίγει νέες κατευθύνσεις στην έρευνα και ανοίγει το δρόμο για ολοκαίνουργες εφαρμογές, βιώσιμες από οικονομικής άποψης. Για παράδειγμα, λόγω της ολοένα και πιο ευρείας διάδοσης των κινητών συσκευών, το κόστος υποδομής των εφαρμογών που βασίζονται στη ευκαιριακή δικτύωση θα μπορούσε να είναι αμελητέο, αν όχι να εξαλειφθεί πλήρως.

Στο στρατιωτικό περιβάλλον ειδικότερα, νέες τεχνολογίες επικοινωνίας αναμένεται να επηρεάσουν σημαντικά τον σχεδιασμό και την εφαρμογή των MANET. Δεδομένου ότι η μελλοντική τεχνολογία που συνδυάζει τα ασύρματα τοπικά δίκτυα και τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, αναφέρεται όλο και περισσότερο σαν συστήματα επικοινωνίας της τέταρτης γενιάς (4G), είναι κρίσιμο να κατανοηθεί η έννοια των 4G τεχνολογιών και η δύναμη τους στο να επηρεάζουν τα ασύρματα δίκτυα και ιδίως τα MANET. Σύμφωνα με τους Szczodrak et al.(2005), από την στιγμή που έχουμε χαμηλά επίπεδα υποδομής για τα κινητά ad hoc δίκτυα, σε ένα εχθρικό στρατιωτικό περιβάλλον, η 4G τεχνολογία θα μπορούσε να είναι η λύση για την επίτευξη υψηλής ποιότητας μετάδοσης και συνδεσιμότητας στα MANET. Ωστόσο η εφαρμογή των 4G τεχνολογιών σε ένα στρατιωτικό περιβάλλον, μπορεί να είναι σημαντικά πιο περίπλοκη απ' ό τι σε ένα αστικό, λόγω των μοναδικών προδιαγραφών και απαιτήσεων του πρώτου. Για αυτό έχει προταθεί ο όρος 4GM@4GW, ο οποίος περιγράφει πιθανά θέματα της τέταρτης γενιάς κινητών δικτύων για την “τέταρτη γενιά πολέμων”.



Εικόνα 8: 4G σε στρατιωτικό περιβάλλον

References

- 1) Tanenbaum, A. (2006), Δίκτυα Υπολογιστών, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, σελ.439 - 440.
- 2) Θεολόγου, Μ. (2007), Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών, Εκδόσεις Τζιόλα, σελ.742 – 747.
- 3) Chlamtac, I., Conti, M., Liu, J. (2003), “Mobile Ad Hoc Networking: Imperatives and Challenges”, p. 28-41. Available at:
<http://perso.ens-lyon.fr/isabelle.guerin-lassous/enseignement/survey-ad-hoc.pdf> (Accessed 10th December 2009).
- 4) Brazzola, C., Duyne, J., Andronico, P. (2003), “Social Dimensions of MobileMAN: Opportunities and Constraints in adopting Participatory Approaches in ICT projects”. Available at:
<http://mobileMAN.projects.supsi.ch/MobileMAN-paper.pdf> (Accessed 10th December 2009).
- 5) Gunningberg, P., Lundgren, H., Nordstrom, E., Tschudin, C., (March 2005), “Lessons from experimental manet research,” Ad Hoc Networks Journal, Vol.3, N.2. Available at:
<http://www.sciencedirect.com> (Accessed 10th December 2009).
- 6) Bruno, R., Conti, M., Gregori, E. (March 2005), “Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks,” IEEE Communications Magazine, Vol. 43, No. 3, pp. 123-131. Available at:
<http://www.alumnos.inf.utfsm.cl/~maray/ramos/files/Networking/Bruno05.pdf> (Accessed 10th December 2009).
- 6) Biswas, S., and Morris, R.(Aug. 2005), “Opportunistic routing in multi-hop wireless networks,” in Proc. of ACM SIGCOMM 2005, Philadelphia, PA. Available at:
http://pdos.csail.mit.edu/papers/roofnet:exor-sigcomm05/roof_exor-sigcomm05.pdf (Accessed 10th December 2009).
- 7) Szczodrak, M., Jinwoo, K., John, J.,(2005), “4G and MANET, Wireless Network of Future Battlefield”, New York. Available at:
http://web.cs.gc.cuny.edu/~mszczodrak/publications/WORLDCOMO7/manet_4G_vegas2.pdf (Accessed 10th December 2009).
- 8) Project Presentation, (2002), p.3,7. Available at:
http://cnd.iit.cnr.it/mobileMAN/deliverables/MobileMAN_DO.pdf (Accessed 10th December 2009).
- 9) Deliverable 2: Project Plans, (2002), p.7-8. Available at:
http://cnd.iit.cnr.it/mobileMAN/deliverables/Deliverable_D2.pdf (Accessed 10th December 2009).
- 10) Deliverable 5: MobileMAN: Architecture, Protocols and Services, first report, (2003), p.23-24. Available at:
http://cnd.iit.cnr.it/mobileMAN/deliverables/MobileMAN_Deliverable_D5.pdf (Accessed 10th December 2009).
- 11) Deliverable 13: Mobile MAN: Domain Modeling, (2005), p.13-22, 67-93, 167-181. Available at:

<http://cnd.iit.cnr.it/mobileMAN/deliverables/mobileMAN-D13.pdf> (Accessed 10th December 2009).

12) Deliverable 14: MobileMAN: Functionalities – Final Set, (2005), p. 4, 12-20. Available at:

<http://cnd.iit.cnr.it/mobileMAN/deliverables/mobileMAN-D14.pdf> (Accessed 10th December 2009).

13) Deliverable 17: Socio-economic evaluation, (2005), p. 16-85. Available at:

<http://cnd.iit.cnr.it/mobileMAN/deliverables/mobileMAN-D17.pdf> (Accessed 10th December 2009).

14) Ad hoc Networks – Bridging the gaps between wired and wireless. Available at:

<http://cordis.europa.eu/ictresults/index.cfm/section/news/tpl/article/BrowsingType/Features/ID/88918/highlights/wifi> (Accessed 10th December 2009).

15) Ad Hoc Sensor Networks. Available at:

<http://www.brunel.ac.uk/about/acad/sed/sedres/telecom/wncr/research/mobileip> (Accessed 10th December 2009).

16) MobileMAN: the user becomes the node. Available at:

http://www.ticinoricerca.ch/sr_presentazione/publicazioni/progetto/2/inglese.pdf (Accessed 10th December 2009).

17) UDDI. Available at:

<http://en.wikipedia.org/wiki/UDDI> (Accessed 10th December 2009).