



Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα

Δίκτυα Υπολογιστών

Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

University of Macedonia

Master Information Systems

Computer Networks

Professor: A.A. Economides

Quality of Service (QoS) Metrics in MANETs

(Μετρικές ποιότητας υπηρεσιών στα MANETs)

ΔΡΟΣΟΠΟΥΛΟΥ ΧΑΡΟΥΛΑ

Δεκέμβριος 2010

Abstract

In this study we are trying to approach the metrics that they are used to define, evaluate and insure the quality of provided services of the Mobile Ad-hoc Networks (MANETs). At first MANETs are presented along with their characteristics and its limitations, due to their physiology. There is a reference to the term Quality of Service (QoS) and its importance. Afterwards we split the metrics of QoS in two categories, one for the use of metrics that they are used for the quality of the provided services of mobile telephony supported by MANETs, and the other for the metrics of the quality of the MANETs services. The importance of considering the security of MANETs as a quality of service metric, was highlighted. And in the end, we reported the use of quality of service metrics in the design and management of MANETs.

Περίληψη

Σε αυτή τη μελέτη γίνεται προσέγγιση των μετρικών που χρησιμοποιούνται για να ορίσουν, να αξιολογήσουν και να εξασφαλίσουν την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών των Mobile Ad-hoc Networks(MANETs). Αρχικά γίνεται αναφορά στο τι είναι τα MANETs και ποια είναι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους καθώς και οι περιορισμοί εξαιτίας της φυσιολογίας τους. Γίνεται ανάλυση του όρου Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service) ή αλλιώς QoS και επισημαίνεται η σημασία του. Έπειτα γίνεται διαχωρισμός των μετρικών-δεικτών QoS των MANETs σε μετρικές σχετικά με την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας μέσω MANETs δικτύων και σε μετρικές σχετικά με την αυτό καθ' αυτό ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών των MANETs δικτύων. Επισημαίνεται η εισαγωγή της ασφάλειας ως μετρική ποιότητας των MANETs. Τέλος αναφέρεται η χρήση των μετρικών ποιότητας στην σχεδίαση και διαχείριση των MANETs.

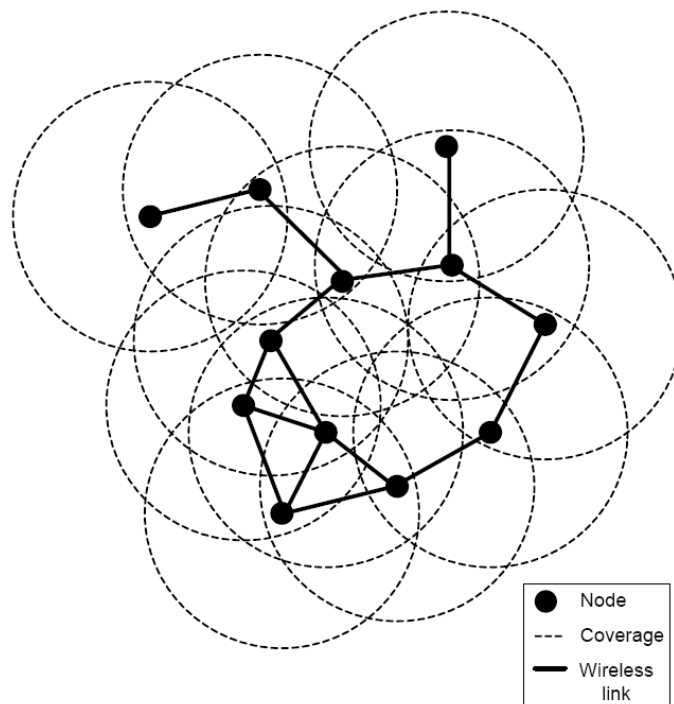
Περιεχόμενα

1. Τα Δίκτυα MANET και τα Χαρακτηριστικά τους	4
2. Quality of Service	6
3. Δείκτες QoS σε επίπεδο παρεχόμενων υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας.....	7
4. Δείκτες QoS σε επίπεδο δικτύου.....	11
4.1 Εύρος Ζώνης (Bandwidth) και η ροή των δεδομένων	13
4.2 Η καθυστέρηση των πακέτων (delay).....	13
4.3 Η διακύμανση της καθυστέρησης (Jitter ή delay variance)	14
4.4 Το φορτίο του δικτύου και ο ρυθμός απώλειας των πακέτων	15
4.5 Η χωρητικότητα του δικτύου (System Buffer)	15
5. Security ως QoS Μετρική.....	16
6. Χρήση των Μετρικών και των Δεικτών ποιότητας στα MANETs	17
7. Συμπεράσματα.....	20
Βιβλιογραφία.....	21

1. Τα Δίκτυα MANET και τα Χαρακτηριστικά τους

Τα MANETs (Mobile Ad Hoc Networks) είναι αυτόνομα κινητά(mobile) συστήματα δρομολογητών και συσχετιζόμενων hosts που συνδέονται με ασύρματες συνδέσεις. Οι δρομολογητές μπορούν να κινούνται τυχαία και να οργανώνονται μόνοι τους αυθαίρετα. Έτσι, η τοπολογία του ασύρματου δικτύου μπορεί να αλλάξει γρήγορα και απρόβλεπτα. Ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα, ή μπορεί να είναι συνδεδεμένο με ένα μεγαλύτερο δίκτυο ή στο διαδίκτυο. Στην Εικόνα 1 φαίνεται η γραφική αναπαράσταση ενός δικτύου MANET (Zhang, Yang, & Ma, 2009). Σύμφωνα με το Internet Engineering Task Force (IETF) (Ramani, 2007) η γενική συμπεριφορά των MANETs μπορεί να συνοψιστεί στα εξής (Ola, Rosilah, Ahmed, & Rozilawati, 2010), (Zhang, Yang, & Ma, 2009), (Wahab, Ould-Khaoua, & Papanastasiou), (Khan & Khattak, 2010):

1. Διαθέτουν δυναμική τοπολογία.
2. Πρόκειται για αυτό διοργανώμενα Δίκτυα.
3. Είναι ασύρματα δίκτυα χωρίς κορμό (Backboneless wireless network).

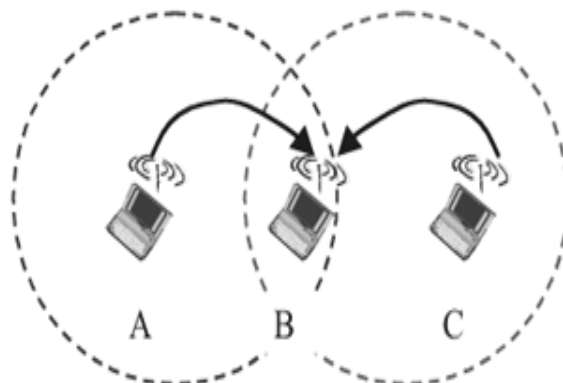


Εικόνα 1:MANET

Λόγω του ότι πρόκειται για κινητά ασύρματα δίκτυα πολλαπλών τμημάτων η δομή των MANETs είναι διαφορετική από την δομή των παραδοσιακών ενσύρματων δικτύων. Η δομή τους αυτή καθιστά δύσκολη και την υποστήριξη τους. Οι διαφορές αυτές είναι οι εξής (Ola, Rosilah, Ahmed, & Rozilawati, 2010), (Karavetsios & Tsitouras, 2003), (Zhang, Yang, & Ma, 2009), (Mohapatra, Li, & Gui, 2003), (Khan & Khattak, 2010):

- **Δυναμική Τοπολογία:** Οι κόμβοι είναι ελεύθεροι να μετακινούνται χωρίς έλεγχο.

- **Περιορισμένοι Πόροι:** Οι κόμβοι έχουν περιορισμένους πόρους όπως μπαταρία, CPU, μνήμη.
- **Μη Προβλεψιμότητα:** Δεν είναι δυνατό να προβλεφθεί πότε και πως θα αλλάξει η τοπολογία του δικτύου και αν προστεθεί ή όχι κάποιος καινούργιος κόμβος στο δίκτυο ή αν κάποιος δηλωμένος κόμβος αποχωρήσει από το δίκτυο. Επίσης είναι δύσκολο να προβλεφθεί πότε μπορεί ένας δηλωμένος κόμβος ξαφνικά να ξεμείνει από πόρους, όπως μπαταρία ή μνήμη. Πέρα από τα παραπάνω, στα ασύρματα δίκτυα μπορεί να υπάρχει εσωτερική σύγκρουση των πακέτων και πιθανότητα η μετάδοση του σήματος να αντιμετωπίσει δυσκολίες (π.χ. εξασθένιση σήματος, παρεμβολές, ακύρωση πολλαπλών διαδρομών κ.α.), κάνοντας έτσι απροσδιόριστη την καθυστέρηση της ασύρματης σύνδεσης καθώς και το εύρος ζώνης.
- **Η έλλειψη συγκεντρωτικού κόμβου:** Δεν υπάρχει κεντρικός κόμβος με τον ρόλο του ρυθμιστή, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η ρύθμιση και ο συγχρονισμός των κόμβων μέσα στο δίκτυο.
- **Το Πρόβλημα του Κρυφού Τερματικού:** Η αναμετάδοση των πακέτων με την τεχνική πολλαπλών τμημάτων μπορεί να παρουσιάσει το πρόβλημα του κρυφού τερματικού. Το πρόβλημα αυτό παρατηρείται όταν τα σήματα δύο ξεχωριστών κόμβων, που βρίσκονται μεταξύ τους εκτός της εμβέλειας μετάδοσης, συγκρούονται με έναν κοινό αποδέκτη που ανήκει στην εμβέλεια μετάδοσης και των δύο (Εικόνα 2).
- **Εκτεθειμένα σε επιθέσεις (Προβλήματα ασφάλειας):** αυτό το χαρακτηριστικό κληρονομείται από τα μέσα μετάδοσης που χρησιμοποιούνται στα MANETS, δηλαδή τα ασύρματα κανάλια.
- **Η διατήρηση της διαδρομής:** Η δυναμική τοπολογία των δικτύων αυτών σε συνδυασμό με τη μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του μέσου επικοινωνίας που χρησιμοποιείται, κάνουν πολύ δύσκολη την ακριβή διατήρηση της πληροφορίας για την κατάσταση του δικτύου. Αυτό αυξάνει την ανάγκη ύπαρξης αλγορίθμων δρομολόγησης που να λειτουργούν με ακριβή πληροφόρηση. Επίσης στα ad-hoc δικτυακά περιβάλλοντα οι κόμβοι μπορούν να συμμετέχουν ή να εγκαταλείπουν οποτεδήποτε με αποτέλεσμα τα μονοπάτια δρομολόγησης να κόβονται ακόμα και κατά τη διάρκεια της μεταφοράς δεδομένων, αυξάνοντας την ανάγκη για διατήρηση και ανακατασκευή των μονοπατιών δρομολόγησης με στόχο την ελάχιστη καθυστέρηση. Μία αποτελεσματική δρομολόγηση θα απαιτούσε τη διατήρηση των πόρων στους ενδιάμεσους κόμβους. Παρόλα αυτά, με τις αλλαγές στην τοπολογία οι ενδιάμεσοι κόμβοι επίσης αλλάζουν και νέα μονοπάτια δημιουργούνται. Έτσι η εξασφάλιση της διατήρησης με τις αλλαγές στα μονοπάτια δρομολόγησης γίνεται πολύ δύσκολη.



2. Quality of Service

Ο όρος Quality of Service (Ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών) η αλλιώς QoS, είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται ευρέως για να εκτιμηθεί η χρησιμότητα οποιουδήποτε συστήματος από την πλευρά των χρηστών (Zeinalipour, 2001), (Khan & Khattak, 2010). Στα δίκτυα υπολογιστών το QoS περιλαμβάνει την προσθήκη μηχανισμών για τον έλεγχο της δραστηριότητας του δικτύου, όπως η μετάδοση και τα ποσοστά σφάλματος, για να εξασφαλιστεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο των παραμέτρων των υπηρεσιών (Seah)(Ramani, 2007). Η συμβουλευτική επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Consultative Committee) με τη σύσταση E.800 της διεθνούς τηλεφωνίας και τηλεγραφίας (International Telephony and Telegraphy (CCITT)) έχει ορίσει το QoS ως: Το συλλογικό αποτέλεσμα της λειτουργίας και απόδοσης των υπηρεσιών που καθορίζει το βαθμό ικανοποίησης των χρηστών της υπηρεσίας. (KIN, 2005) (Ramani, 2007) (Zeinalipour-Yazti, 2001). Πρόκειται για έναν ευρέως αποδεκτό ορισμό, δεδομένου ότι δεν κάνει καμία αναφορά σε εύρος ζώνης ή καθυστέρηση, ή μηχανισμούς, όπως το Admission Control, το SLA, το Πρωτόκολλο Σηματοδοσίας (Signaling Protocol).

Η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες. Κρίνεται όμως απαραίτητο ο έλεγχος της ποιότητας να γίνεται πάντα από την θέση του χρήστη. Τα μέτρα τα οποία χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστεί η ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχονται στο χρήστη είναι (Κουλτούκης, 2009):

- Η κάλυψη (**Coverage**). Χρησιμοποιούνται ειδικοί εξοπλισμοί ώστε να μετρηθεί η ισχύς του σήματος που λαμβάνει η τερματική συσκευή του χρήστη.
- Η προσβασιμότητα (**Accessibility**). Η ικανότητα του δικτύου να διαχειρίζεται και να δίνει πρόσβαση στις διάφορες υπηρεσίες που προσφέρει, όπως οι βιντεοκλήσεις, η απλή κλήση, τα εικονομηνύματα κ.τ.λ.
- Η ποιότητα ομιλίας και βίντεο (**Audio Quality and Video Quality**). Γίνεται έλεγχος για την ύπαρξη μιας επιτυχημένης κλήσης για μια χρονική περίοδο ώστε να αξιολογηθεί η καθαρότητα και η ποιότητα του καναλιού επικοινωνίας.

Η ποιότητα των υπηρεσιών στη βιομηχανία μετριέται από ειδικούς μηχανικούς. Επίσης κάθε σχεδιαστής ενός δικτύου, μέσω ειδικών εργαλείων και μεθόδων σχεδιασμένα για μετρήσεις (π.χ. αναλυτές πρωτοκόλλων, έλεγχοι σε εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους και μετρήσεις για τη λειτουργία και τη διατήρηση του δικτύου), πρέπει να αξιολογεί την ποιότητα των υπηρεσιών που έχει στοχεύσει να προσφέρει. Συνήθως οι μετρήσεις στα MANETs γίνονται από (Κουλτούκης, 2009):

- **Αναλυτές πρωτοκόλλων**: που συνδέονται με διάφορα τμήματα του δικτύου, όπως οι σταθμοί βάσης, οι ελεγκτές των σταθμών βάσεων, τα κέντρα μεταγωγής των δεδομένων, για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο ώστε να καταγράψουν και να αναλύσουν τυχόν προβλήματα του δικτύου που μπορεί να βρεθούν.

- **Ομάδες ατόμων:** που με την χρήση εργαλείων, πραγματοποιούν μετρήσεις στα MANETs, σε εξωτερικούς χώρους ή σε εσωτερικούς χώρους.
- **Οι διαχειριστές του δικτύου:** μετρούν διάφορες παραμέτρους οι οποίες δίνουν πληροφορίες για την κατάσταση και την ποιότητα του δικτύου όπως Jitter, Delay, Bandwidth, Packet loss ratio και άλλα.
- **Οι πελάτες:** που με την γνώμη τους και τα παράπονα τους αξιολογούν την ποιότητα των δικτύων και των παρεχόμενων υπηρεσιών.

3. Δείκτες QoS σε επίπεδο παρεχόμενων υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας

Οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας παρέχουν ορισμένες υπηρεσίες και η αξιολόγηση αυτών των υπηρεσιών γίνεται με βάση μία λίστα από ορισμένους δείκτες που εκφράζουν την ποιότητα της υπηρεσίας. Η λίστα των δεικτών χρησιμοποιείται για τον ποσοτικό χαρακτηρισμό της ποιότητας των υπηρεσιών έτσι όπως διαμορφώνεται από την πλευρά του πελάτη. Η ύπαρξη μιας λίστας δεικτών έχει ως στόχο την ύπαρξη κοινά αποδεκτών δεικτών οι οποίοι θα εκφράζουν την ποιότητα των υπηρεσιών και με τη χρήση τους θα γίνεται πιο εύκολα η αξιολόγηση της παροχής των υπηρεσιών. Πιο συγκεκριμένα οι δείκτες θα πρέπει (Κουλτούκης, 2009):

- Να έχουν ως στόχο την ικανοποίηση των πελατών.
- Να καθορίζουν τις παραμέτρους που επηρεάζουν την ποιότητα των υπηρεσιών, καθώς και την απόδοση του δικτύου και της τερματικής συσκευής.
- Να μπορούν να μετρηθούν με την χρήση εργαλείων.
- Να μπορούν να αξιολογηθούν για κάθε δίκτυο, εθνικό και διεθνές.

Με βάση τα παραπάνω, για την κατανόηση της ποιότητας υπηρεσιών και της απόδοσης του δικτύου έχουν διατυπωθεί από την διεθνή ένωση τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union ITU-T) οι παρακάτω ορισμοί (GSM Association PRD IR.41, 2002) :

- I. **Ορισμός της ποιότητας υπηρεσιών – QoS:** Η απόδοση των υπηρεσιών στο σύνολο τους καθορίζει τον βαθμό ικανοποίησης του χρήστη.
- II. **Ορισμός της απόδοσης του δικτύου – Network Performance:** Ένα δίκτυο οφείλει να παρέχει τις απαραίτητες λειτουργίες για την επικοινωνία μεταξύ των χρηστών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορεί να αναλυθεί η ποιότητα των υπηρεσιών ανάλογα με την (Κουλτούκης, 2009):

- Πρόσβαση στο δίκτυο (**Network Access**): Ο πελάτης έχει σήμα (πρόσβαση στο δίκτυο) και μπορεί να χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες που προσφέρει ο πάροχος του δικτύου στο οποίο είναι συνδρομητής.

- Πρόσβαση υπηρεσίας (**Service Access**): Ο πάροχος του δικτύου πρέπει να παρέχει πρόσβαση στον χρήστη στην υπηρεσία που θέλει όταν αυτός την αιτείται.
- Αριότητα υπηρεσίας (**Service Integrity**): Αφορά την ποιότητα κατά την διάρκεια της χρήσης της υπηρεσίας.
- Διατηρησιμότητα υπηρεσίας (**Service Retainability**): Αφορά τον τερματισμό των υπηρεσιών που παρέχονται στον χρήστη(εκούσια ή μη).

Σε κάθε πτυχή της ποιότητας υπηρεσιών αντιστοιχούν ένας ή περισσότεροι ειδικοί δείκτες. Η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων(ΕΕΤΤ), καθόρισε τους δείκτες ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών που διευκολύνουν τους καταναλωτές στη σύγκριση της ποιότητας των υπηρεσιών που παρέχονται από τους διάφορους παρόχους καθώς επίσης και στην πιστοποίηση της ποιότητας υπηρεσίας που ήδη λαμβάνουν. Σύμφωνα με την ΕΕΤΤ οι Δείκτες Ποιότητας Υπηρεσιών Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας που παρέχεται στους χρήστες (τηλεφωνία, εικονοτηλεφωνία, internet). Διακρίνουμε τους εξής δείκτες (Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων, 2008):

1. Δείκτες ανεξάρτητοι της υπηρεσίας.
2. Δείκτες υπηρεσίας τηλεφωνίας.
3. Δείκτες υπηρεσίας εικονοτηλεφωνίας.
4. Δείκτες ποιότητας web browsing.

Καθένας από τους παραπάνω δείκτες περιλαμβάνει ένα σύνολο δεικτών από το οποίο αποτελείται. Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 1-4) συνοψίζονται όλοι οι δείκτες και οι τύποι τους σύμφωνα με την ΕΕΤΤ και την ITU-T (Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων, 2008, (International Telecommunication Union ITU-T), (GSM Association PRD IR.41 , 2002), (Κουλτούκης, 2009):

Δείκτες ποιότητας ανεξάρτητοι της υπηρεσίας:	
<p>Διαθεσιμότητα του δικτύου-ραδιοκάλυψη(M01): αφορά την πρόσβαση στο δίκτυο (Network Access), και δηλώνει τη γεωγραφική κάλυψη (Network Coverage) για την παροχή οποιασδήποτε υπηρεσίας μέσω ενός δικτύου κινητών υπηρεσιών.</p>	$M01[\%] = \frac{\text{πλήθος σημείων μέτρησης με ραδιοκάλυψη}}{\text{συνολικός αριθμός σημείων μέτρησης}} \times 100\%$

Πίνακας 1

Δείκτες ποιότητας υπηρεσίας τηλεφωνίας:

<p>Service Accessibility Telephony / SA-T: είναι η πιθανότητα πρόσβασης στο δίκτυο και αφορά την ύπαρξη σήματος του δικτύου (πρόσβαση στο δίκτυο).</p>	$SA-T[\%] = \frac{\text{Number of successful call attempts}}{\text{Number of call attempts}} \times 100\%$ <p>Μια κλήση θεωρείται επιτυχημένη αν ο πελάτης να ακούει ότι ο αριθμός με τον οποίον επέλεξε να επικοινωνήσει «καλεί» ή αν ο καλούμενος αριθμός είναι απασχολημένος, δηλαδή «μιλάει».</p>
<p>Πιθανότητα εμπλοκής κλήσης φωνής(M02) χαρακτηρίζει την προσβασιμότητα στην υπηρεσία φωνής του δικτύου.</p>	$M02[\%] = \frac{\text{Πλήθος κλήσεων φωνής με εμπλοκή}}{\text{Συνολικό πλήθος κλήσεων φωνής με ύπαρξη διαθεσιμότητας δικτύου}} \times 100\%$
<p>Χρόνος αποκατάστασης κλήσης φωνής(M05) ή (Setup Time Telephony / ST-T) ορίζεται ως ο χρόνος από τη συμπλήρωση από τον καλούντα του αριθμού τηλεφώνου του καλούμενου, μέχρι τη λήψη ειδοποίησης εγκατάστασης κλήσης φωνής.</p>	<p>ST-T=M05 ,</p> $ST-T[\text{sec}] = t_2 - t_1 ,$ <p>όπου t_2 το χρονικό σημείο στο οποίο έχει γίνει η σύνδεση (δηλαδή ακούμε ότι «καλεί» ή ότι ο καλούμενος αριθμός είναι απασχολημένος), και t_1 το χρονικό σημείο όπου ο χρήστης που καλεί θα πατήσει το πλήκτρο ενεργοποίησης της κλήσης στο κινητό του τηλέφωνο.</p>
<p>Δείκτης ποιότητας φωνής(M04) αντιπροσωπεύει την ποσοτικοποίηση της ποιότητας της μετάδοσης της ομιλίας από την μια άκρη στην άλλη, της υπηρεσίας κινητής τηλεφωνίας.</p>	<p>Αποτιμάται σε :</p> <ul style="list-style-type: none"> • πολύ καλή ποιότητα • καλή ποιότητα • μέση ποιότητα • χαμηλή ποιότητα και • πολύ χαμηλή ποιότητα
<p>Πιθανότητα διακοπής κλήσης φωνής (M03) εξετάζεται για την αξιολόγηση της ποιότητας των φωνητικών κλήσεων και αφορά τη διατηρησιμότητα της υπηρεσίας (Service Retainability).</p>	$M03[\%] = \frac{\text{πλήθος επιτυχημένων κλήσεων φωνής που τερματίστηκαν}}{\text{συνολικό πλήθος κλήσεων με διαθεσιμότητα δικτύου}} \times 100\%$ <p>Αφορά το πλήθος των επιτυχημένων κλήσεων φωνής που τερματίστηκαν για οποιοδήποτε λόγο εκτός από σκόπιμο τερματισμό του καλούντος ή του καλούμενου (Call Completion Rate / CCR)</p>

Πίνακας 2

Δείκτες ποιότητας υπηρεσίας εικονοτηλεφωνίας	
<p>Πιθανότητα εμπλοκής κλήσεων εικονοτηλεφωνίας(M06) χαρακτηρίζει την προσβασιμότητα στην υπηρεσία video-κλήσης του δικτύου.</p>	$M06[\%] = \frac{\text{πλήθος video-κλήσεων με εμπλοκή}}{\text{συνολικό πλήθος video-κλήσεων με διαθεσιμότητα δικτύου}} \times 100\%$ <p>Πιθανότητα πρόσβασης= 1 - M06[%]</p>
<p>Πιθανότητα διακοπής video-κλήσης(M07) αναφέρεται στις video-κλήσεις που τερματίστηκαν για οποιοδήποτε λόγο εκτός των κλήσεων που είτε ο καλούμενος είτε αυτός που κάλεσε σκόπιμα τερμάτισαν (έκλεισαν) την video-κλήση.</p>	$M07[\%] = \frac{\text{πλήθος επιτυχημένων video-κλήσεων που τερματίστηκαν}}{\text{συνολικό πλήθος video-κλήσεων με διαθεσιμότητα του δικτύου}} \times 100\%$ <p>Πιθανότητα διατήρησης video-κλήσεων= 1 - M07[%]</p>
<p>Ποιότητα μετάδοσης της υπηρεσίας video-κλήσης εξαρτάται από την:</p> <p style="margin-left: 20px;">a. Ποιότητα βίντεο(M09) b. Ποιότητα φωνής(M08)</p>	<p>Αποτιμούνται σε:</p> <ul style="list-style-type: none"> • πολύ καλή ποιότητα • καλή ποιότητα • μέση ποιότητα • χαμηλή ποιότητα και • πολύ χαμηλή ποιότητα.
<p>Χρόνος εγκατάστασης video-κλήσης(M10): το χρονικό διάστημα μεταξύ της αποστολής της πληροφορίας μιας πλήρους διεύθυνσης (καλούμενος αριθμός) και της λήψης μιας ειδοποίησης από το δίκτυο ότι η video-κλήση έχει ρυθμιστεί.</p>	$M10[\text{sec}] = t_2 - t_1,$ <p>όπου t_2 το χρονικό σημείο στο οποίο έχει γίνει η σύνδεση (δηλαδή ακούμε ότι «καλεί» ή ότι ο καλούμενος αριθμός είναι απασχολημένος), και t_1 το χρονικό σημείο όπου ο χρήστης που καλεί θα πατήσει το πλήκτρο ενεργοποίησης της video-κλήσης στο κινητό του τηλέφωνο.</p>

Πίνακας 3

Δείκτες ποιότητας web browsing	
Πιθανότητα αποτυχίας μεταφοράς δεδομένων http(M11)	$M11[\%] = \frac{\text{πλήθος μη ολοκληρωμένων προσπαθειών μεταφοράς δεδομένων}}{\text{συνολικό αριθμό επιτυχόντων προσπαθειών μεταφοράς δεδομένων}} \times 100\%$
Μέσος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων http(M12)	$M12[kbps] = \frac{\text{μέγεθος-όγκος δεδομένων που μεταφέρθηκαν}}{\text{χρόνος που διήρκησε η μεταφορά}}$

Πίνακας 4

4. Δείκτες QoS σε επίπεδο δικτύου

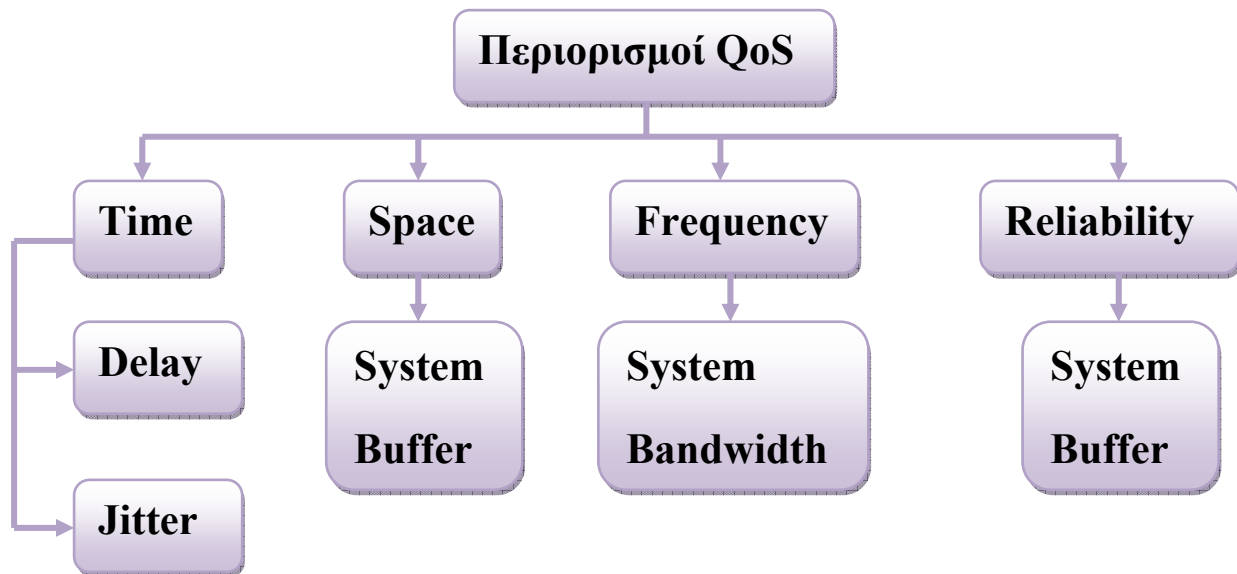
Πέρα από τους δείκτες ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών των δικτύων κινητής τηλεφωνίας υπάρχουν και κάποιοι δείκτες μέτρησης που προκύπτουν κυρίως από την φυσιολογία των MANETs. Για να μετρηθεί τελικά η υπάρχουσα QoS στο δίκτυο, δημιουργήθηκαν διάφορα εργαλεία μέτρησης όπως το MQM (Multicast Quality Monitor) (Dressler, 2002) καθώς και το OPNET (OPNET Technologies, Inc.), το οποίο έχει και simulation έκδοση για εκπαιδευτικούς σκοπούς, το NS(network simulator) (Wikipedia), και άλλα (Wikipedia:Networking software companies).

Ξεκινώντας με την προσβασιμότητα (reachability), η οποία σημαίνει ότι μια end-to-end διαδρομή πρέπει να είναι διαθέσιμη, δύο κόμβοι να είναι συνδεδεμένοι και να μπορούν να στείλουν δεδομένα ο ένας στον άλλο σε μια δοσμένη χρονική στιγμή (Κοντογιάννης, 2003), αυτά που ουσιαστικά μετρώνται με τα διάφορα εργαλεία μέτρησης του δικτύου είναι (Κουτσογιαννάκη, 2007), (Memon, Hashmani, & Memon, 2009), (Mohapatra, Li, & Gui, 2003), (Cansever, Michelson, & Levesque, 1999), (Ola, Rosilah, Ahmed, & Rozilawati, 2010), (Khan & Khattak, 2010):

- Το **εύρος ζώνης(Bandwidth)**, δηλαδή η πληροφορία που μπορεί να μεταδοθεί μέσω ενός δικτυακού κλάδου κατά την διάρκεια ενός δευτερολέπτου.
- Η **καθυστέρηση(delay) των πακέτων**, που είναι πολύ σημαντική κυρίως για real-time εφαρμογές και μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση την υπηρεσιών του δικτύου.
- Η **διακύμανση της καθυστέρησης ή Jitter (delay variance)**, που οφείλεται είτε στην καθυστέρηση των πακέτων στις ουρές είτε στην καθυστέρηση λόγω λογισμικού του αποστολέα.
- Το **φορτίο του δικτύου**, που οδηγεί στην αύξηση της καθυστέρησης μετάδοσης πακέτων, ακόμη και στην απόρριψη των μεταδιδόμενων πακέτων αυξάνοντας έτσι τον **ρυθμό απώλειας πακέτων(packet loss ratio ή error rate)** (Almes, Kalidindi, & Zekauskas, 1999)και καταλήγοντας στην επαναμετάδοση των πακέτων με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συμφόρηση του δικτύου.
- Η **ροή των δεδομένων**, τα πακέτα δεν έρχονται με σταθερό ρυθμό αλλά εμφανίζουν εξάρσεις στο ρυθμό μετάδοσης.

- Η **χωρητικότητα του δικτύου(System Buffer)**, που όταν αυξάνεται συνεπάγεται την αύξηση της ροής των δεδομένων, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε υπερχείλιση των ουρών προσωρινής αποθήκευσης των δεδομένων.

Τα παραπάνω συνοψίζονται στο Διάγραμμα 1, στο οποίο φαίνονται όλες οι μετρικές καταναμημένες ανάλογα με τους περιορισμούς του δικτύου σε χρόνο(Time), χωρητικότητα(Space), συχνότητα(Frequency) και αξιοπιστία(Reliability) (Ola, Rosilah, Ahmed, & Rozilawati, 2010). Επίσης στην Εικόνα 3 παρουσιάζονται διάφορες εφαρμογές και υπηρεσίες καθώς και η ευαισθησία τους στις διάφορες μετρικές QoS σε επίπεδο δικτύου (Maghd, 2007). Στις επόμενες υποενότητες θα γίνει εκτενέστερη ανάλυση των παρακάτω.



Διάγραμμα 1: QoS constraints and metrics

Application		Sensitivity				
		Loss	Delay	Jitter	Bandwidth	Security
Data traffic	E-mail	High	Low	Low	Low	Low
	Confidential email	High	Low	Low	Low	High
	File transfer	High	Low	Low	Low, Medium, High	Low
	Money transactions	High	Low	Low	Low	High
Real time traffic	Audio on demand (AOD)	Low	Low	High	Medium	Low
	Video on demand (VOD)	Low	Low	High	High	Low
	Telephony	Low	High	High	Low	Low
	Videoconferencing	Low	High	High	High	Low
	Confidential Videoconferencing	Low	High	High	High	High

Εικόνα 3: Διάφορες υπηρεσίες και η ευαισθησία τους στις μετρικές

4.1 Εύρος Ζώνης (Bandwidth) και η ροή των δεδομένων

Το εύρος ζώνης(Bandwidth) είναι το μέγιστο εύρος της συχνότητας που χρησιμοποιείται για την μετάδοση και μετριέται σε bits/sec (Αρσένης, 2005). Συχνά στη βιβλιογραφία το εύρος ζώνης συναντάται μαζί με τον ρυθμό μετάδοσης (throughput), ο οποίος είναι η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί σε ένα συγκεκριμένο μέσο με ορισμένο θόρυβο και συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων (Αρσένης, 2005). Τα πακέτα δεν μεταδίδονται με έναν συνεχόμενο σταθερό ρυθμό μετάδοσης, δηλαδή η ροή των δεδομένων δεν είναι ίδια. Αντιθέτως παρατηρούνται εξάρσεις κατά την πάροδο του χρόνου. Επίσης στα MANETs λόγω του ότι έχουμε διάφορους κόμβους, αυτό συνεπάγεται πως θα έχουμε διαφορετικές ροές για τα δεδομένα του κάθε κόμβου.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το throughput ορίζεται ως : $S = \frac{b_{tx}}{t * N}$, όπου b_{tx} είναι ο αριθμός των bits που μεταδόθηκαν επιτυχώς, t είναι η περίοδος που έγινε η μέτρηση και N είναι ο αριθμός των κόμβων στο MANET. Τέλος γίνεται αντιληπτό ότι και ο ρυθμός μετάδοσης μετριέται σε bits/sec μόνο που εδώ είναι και ανά κόμβο, δηλαδή $\frac{bits}{sec/node}$ (Ballah, 2002).

Επειδή σε κάθε μονοπάτι ενός MANET δικτύου, σε κάθε κλάδο έχουμε διαφορετικό ρυθμό μετάδοσης αλλά και διαφορετικό εύρος ζώνης, ο ρυθμός μετάδοσης και το εύρος ζώνης του μονοπατιού θα καθορίζονται από τον κλάδο με το ελάχιστο εύρος μιας και αυτός μπορεί να αποτελέσει αιτία συμφόρησης του μονοπατιού (Magld, 2007). Ορίζεται ως:

$$bandwidth(p) = \min(bandwidth(link_j)) ,$$

Όπου το $bandwidth(p)$ είναι το εύρος ζώνης του μονοπατιού p , $link_j$ είναι ένας κόμβος του μονοπατιού p .

Οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, λόγω του ότι εξελίσσονται και μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο, απαιτούν υψηλό εύρος ζώνης. Αν το δίκτυο δεν μπορεί να εξασφαλίσει το απαιτούμενο εύρος ζώνης τότε θα ήταν καλύτερα τα πακέτα δεδομένων να μην εκπεμφθούν διότι αν εκπεμφθούν το αποτέλεσμα θα είναι ή να χαθούν στην διαδρομή ή φτάσουν στον προορισμό τους λανθασμένα ή καθυστερημένα επιβαρύνοντας το δίκτυο, καθώς σπαταλούν άδικα την ενέργεια και εύρος ζώνης δικτύου, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από άλλες εφαρμογές (Κουτσογιαννάκη, 2007).

4.2 Καθυστέρηση των πακέτων (delay)

Η καθυστέρηση(delay) των πακέτων εξαρτάται από τη συνολική καθυστέρηση από τον αποστολέα στον παραλήπτη (end-to-end delay) και προκύπτει ως το άθροισμα των επιμέρους καθυστερήσεων μετάδοσης και επεξεργασίας. Ορίζεται ως (Magld, 2007) :

$$delay(p) = \sum_{i=1}^{Links} delay(link_j),$$

Όπου το $delay(p)$ είναι η συνολική καθυστέρηση του μονοπατιού p , $link_j$ είναι ένας κόμβος του μονοπατιού p και $Links$ είναι ο αριθμός των κόμβων στο μονοπάτι p .

Πιο συγκεκριμένα η καθυστέρηση προκύπτει από (Αρσένης, 2005) (Asif, Sheltami, & Shakshuki, 2008) (Zaki, Ngadi, & Razak, 2009):

- Την σταθερή καθυστέρηση για την εκτέλεση εργασιών που είναι απαραίτητες για την μετάδοση ενός πακέτου όπως η κωδικοποίηση, η δημιουργία του πακέτου, η δρομολόγηση του, η εξάλειψη του τρέμουλου κ.α.
- Την μεταβλητή καθυστέρηση που εξαρτάται από την κίνηση στο δίκτυο και την αναμονή στις ουρές εξυπηρέτησης.

Οι παρεχόμενες υπηρεσίες στα MANETs διακρίνονται από μια ευαισθησία όσον αφορά την καθυστέρηση στη μετάδοση των πακέτων. Παραδείγματος χάρη για την υπηρεσία μετάδοσης ήχου, καθυστερήσεις από τον αποστολέα στον παραλήπτη μικρότερες από 150ms δεν γίνονται αντιληπτές από τον ακροατή, ενώ καθυστερήσεις μεταξύ 150ms και 400ms μπορεί να είναι αποδεκτές αλλά δεν αποτελούν την ιδανική κατάσταση. Τέλος καθυστερήσεις μεγαλύτερες των 400ms δημιουργούν πρόβλημα γιατί η υπηρεσία δεν θα μπορεί να λειτουργήσει σε πραγματικό χρόνο. Αντίστοιχοι χρόνοι μέγιστης καθυστέρησης υπάρχουν και για τις άλλες υπηρεσίες, π.χ. για την βιντεοκλήση οι καθυστερήσεις άνω των 200ms μειώνουν σημαντικά την ποιότητα της υπηρεσίας (Κουτσογιαννάκη, 2007) (Αρσένης, 2005).

4.3 Διακύμανση της καθυστέρησης (Jitter ή delay variance)

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η διακύμανση της καθυστέρησης ή Jitter (delay variance), μπορεί να οφείλεται είτε στην καθυστέρηση των πακέτων στις ουρές είτε στην καθυστέρηση λόγω λογισμικού του αποστολέα και μπορεί να μετρηθεί με δύο τρόπους, είτε μετρώντας την απόκλιση των καθυστερήσεων των πακέτων είτε μετρώντας την απόκλιση των διαστημάτων αφίξεων (Κοντογιάννης, 2003).

Με τον πρώτο τρόπο αρκεί να βρούμε την απόκλιση των καθυστερήσεων, δηλαδή μετράμε σε κάποια χρονική περίοδο τις καθυστερήσεις, έπειτα βρίσκουμε τη μέση τιμή των καθυστερήσεων και στη συνέχεια βρίσκουμε την απόκλιση που ισούται με το jitter. Ενώ με τον δεύτερο τρόπο αναλύουμε το μεσοδιάστημα ανάμεσα στα πακέτα. Στέλνουμε μια σταθερή ροή πακέτων, γνωρίζοντας το χρόνο ανάμεσα σε δύο πακέτα, μπορούμε να βρούμε το jitter υπολογίζοντας τη μέγιστη απόκλιση από τη μέση απόκλιση. Αν η τιμή του jitter είναι μεγάλη τότε η ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας πέφτει σημαντικά. Αν παραδείγματος χάριν είχαμε την υπηρεσία της βιντεοκλήσης και η τιμή του jitter ήταν μεγάλη, μερικά πακέτα θα έφταναν πιο γρήγορα από άλλα, με αποτέλεσμα η εικόνα να παραμορφωθεί και ο ήχος να αλλοιωθεί καθιστώντας έτσι αδύνατη την αναπαραγωγή του.

4.4 Το φορτίο του δικτύου και ο ρυθμός απώλειας των πακέτων

Το φορτίο του δικτύου και ο ρυθμός απώλειας πακέτων(packet loss ratio ή error rate) μαζί με τις βλάβες λογισμικού και τις βλάβες των μηχανημάτων αποτελούν τους δείκτες αξιοπιστίας του δικτύου και σχετίζονται με τη δυνατότητα μιας συσκευής ή μιας υπηρεσίας να εκτελέσει την λειτουργία της χωρίς λάθη (Αρσένης, 2005). Σε διάφορες βιβλιογραφικές και πρακτικές μελέτες((Κουτσογιαννάκη, 2007), (Memon, Hashmani, & Memon, 2009), (Mohapatra, Li, & Gui, 2003), (Cansever, Michelson, & Levesque, 1999), (Ola, Rosilah, Ahmed, & Rozilawati, 2010), (Khan & Khattak, 2010), (Ballah, 2002), (Lu, Zhong, & Bhargava, 2003) κ.α.) αναφέρεται ότι τα σφάλματα στην μετάδοση των δεδομένων ή ακόμη και απώλεια των δεδομένων οφείλονται στον σχεδιασμό των πρωτοκόλλων, σε λάθη λογισμικού αλλά και σε κακή ποιότητα των συνδέσεων.

Η πιθανότητα απώλειας πακέτων μπορεί να οριστεί ως (Magld, 2007):

$$Loss(p) = \prod_{i=1}^{Links} Loss(link_j)$$

Όπου το $Loss(p)$ είναι η συνολική πιθανότητα απώλειας ενός πακέτου του μονοπατιού p , $link_j$ είναι ένας κόμβος του μονοπατιού p και $Links$ είναι ο αριθμός των κόμβων στο μονοπάτι p .

Στις real-time εφαρμογές, όταν λέμε ότι έχουμε «απώλεια πακέτου» δε σημαίνει μόνο ότι το πακέτο δεν έφτασε ποτέ στον προορισμό του, αλλά και ότι έφτασε μετά από τον προγραμματιζόμενο χρόνο αναπαραγωγής του. Συνήθως δεν γίνεται αντιληπτό από τον τελικό χρήστη εκτός από τις υπηρεσίες μετάδοσης φωνής ή την υπηρεσία της βίντεο κλήσης όπου και παρατηρούνται είτε παράσιτα με την μορφή θορύβου ή «κολλάει» η εικόνα ή υπάρχει απότομη μεταπήδηση ανάμεσα στα καρτέ.

Τέλος η διόρθωση των σφαλμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με μηχανισμούς διόρθωσης είτε με την επανεκπομπή και επανάληψη της αποστολής των δεδομένων με αύξηση του συνολικού χρόνου μετάδοσης άρα και επιπλέον καθυστέρηση.

4.5 Η χωρητικότητα του δικτύου (System Buffer)

Η χωρητικότητα του δικτύου (System Buffer) αναφέρεται στις δυνατότητες εξυπηρέτησης των χρηστών από το δίκτυο. Κάθε πρωτόκολλο έχει διαφορετικές δυνατότητες εξυπηρέτησης των χρηστών και επηρεάζει την εξέλιξη του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα αν το δίκτυο έχει μικρή χωρητικότητα θα είναι αδύνατη η συνύπαρξη πολλών κόμβων μαζί ή η προσάρτηση νέων κόμβων στο δίκτυο, μιας και θα δημιουργούνται συγκρούσεις και οι κόμβοι θα ανταγωνίζονται μεταξύ τους για την χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου. Από την άλλη μεριά η αύξηση της χωρητικότητας μπορεί να δημιουργούσε προβλήματα στις προσωρινές ουρές αποθήκευσης δεδομένων του δικτύου, οι οποίες μπορεί να υπερχειλίζουν.

Ένα καλό πρωτόκολλο διαχείρισης της χωρητικότητας θα έκανε χρήση αλγόριθμων διαχείρισης του ελεύθερου χώρου. Για μια cache-διασυνδέσεων, για ένα δίκτυο N κόμβων ο αριθμός των διασυνδέσεων θα έπρεπε να περιορίζεται σε ένα μέγιστο N^2 . Σε αντίθεση, για μία cache-διαδρομών ο χώρος μνήμης που απαιτείται για την αποθήκευση της διαδρομής είναι πολύ μεγαλύτερος. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε διαδρομή πρέπει να αποθηκεύεται ξεχωριστά και δεν γίνεται καταμερισμός της πληροφορίας εντός των δομών ακόμη και αν διαφορετικές διαδρομές χρησιμοποιούν κοινές συνδέσεις (Πόγκας, 2005).

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης σε κάθε κόμβο θα πρέπει να είναι υπεύθυνο για την διαχείριση των καταχωρήσεων στην cache του δικτύου. Θα πρέπει δηλαδή να επιλέγει πως θα γίνει η καταχώρηση και ειδικά σε περιπτώσεις όπου η cache θα είναι γεμάτη, θα πρέπει να επιλέγει ποιές καταχωρήσεις θα παραμείνουν. Οι πολιτικές που ακολουθούνται είναι ίδιες με αυτές που ακολουθούνται για την cache ενός υπολογιστή, δηλαδή και εδώ υπάρχει η LRU (least recently used) όπου οι καταχωρήσεις που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για αρκετά μεγάλο διάστημα διαγράφονται κατά την εισαγωγή νέων καταχωρήσεων όταν το μέγεθος της cache του δικτύου δεν είναι επαρκές.

Ένας άλλος αλγόριθμος για την επίλυση του προβλήματος της χωρητικότητας είναι η διαγραφή των διαδρομών με βάση την προτίμηση. Διαδρομές που χρησιμοποιήθηκαν για την δρομολόγηση πακέτων ανώτερων επιπέδων χαρακτηρίζονται ως υψηλής προτίμησης και για αυτό δεν διαγράφονται από την cache του δικτύου όταν αυτή γεμίσει.

Τέλος μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνά είναι να διαχωρίζεται η cache σε δύο τμήματα, ένα για τις διαδρομές που χρησιμοποιούν οι κόμβοι και ένα δεύτερο για τις διαδρομές που χρησιμοποιούν οι κόμβοι για την αποστολή πακέτων ανώτερων επιπέδων. Όταν μία διαδρομή που ανήκει στο δεύτερο τμήμα της cache χρησιμοποιηθεί από έναν κόμβο, τότε αυτόματα μεταπηδά στο πρώτο τμήμα. Όταν η cache γεμίσει τότε διαγράφονται με την μέθοδο FIFO (First In First Out) μόνο οι διαδρομές του δεύτερου τμήματος, ενώ οι διαδρομές του πρώτου διαγράφονται με δυναμικό τρόπο κατά την διάρκεια συντήρησης της διαδρομής. Μια τέτοιου τύπου cache ονομάζεται generational cache, επειδή η λειτουργία της μοιάζει με αυτή ενός generational garbage collector των συστημάτων διαχείρισης δυναμικής μνήμης (Πόγκας, 2005).

5. Security ως Qos Μετρική

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει στροφή στη μελέτη της **ευπάθειας (Vulnerability)** και της **ασφάλειας (Security)** (Khan & Khattak, 2010) ως μετρικές του QoS στα MANETs. Η ευπάθεια ενός μονοπατιού μπορεί να οριστεί ως :

$$vulnerability(p) = \max(vulnerability(link_j)),$$

Όπου το $vulnerability(p)$ είναι η συνολική ευπάθεια του μονοπατιού p , $link_j$ είναι ένας κόμβος του μονοπατιού p .

Πλέον το Διάγραμμα 1 εμπλουτίζεται με ακόμη έναν περιορισμό αυτό της ασφάλειας και της ευπάθειας καθώς και με διάφορες μετρικές που προκύπτουν από τον περιορισμό αυτό. Τα MANETs οφείλουν να είναι αξιόπιστα και με μεγάλη ανοχή σε λάθη και επιθέσεις (Liu, Tipper, Medhi, & Srikitja, 2000).

Η ασφάλεια στα MANETs είναι πολύ σημαντική κυρίως γιατί οι επιθέσεις ασφάλειας μπορούν να επηρεάσουν τους περιορισμένους πόρους των κόμβων και να τους καταναλώσουν, ή να κάνουν τους κόμβους να χάσουν την επικοινωνία με το δίκτυο ή να σπαταλήσουν άδικα χρόνο. Μια ευρεία ποικιλία των επιθέσεων ασφαλείας μπορεί να βρεθεί σε MANETs. Η ασφάλεια αποτελεί βασικό όρο της ποιότητας των συστημάτων, καθώς οι διεργασίες και λειτουργίες εργάζονται από κοινού για να φθάσουν ένα ορισμένο επίπεδο ασφάλειας με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και μετρικές όπως η **Ταυτοποίηση - Πιστοποίηση (Authentication)**, η **Ακεραιότητα (Integrity)**, η **Εμπιστευτικότητα (Confidentiality)**, η **Διαθεσιμότητα (Availability)**, ο **Έλεγχος Πρόσβασης (Access Control)** και η **Μη Αποποίηση (Non-repudiation)** (Papadopoulos, Zahariadis, & Leligou, 2008) (Carvalho, 2008) (Ola, Rosilah, Ahmed, & Rozilawati, 2010).

Πολλές από τις επιθέσεις ακεραιότητας και εμπιστευτικότητας μπορούν να παρουσιαστούν στα MANETs μιας και η χρησιμοποιούμενη μετάδοση είναι στην ουσία μία εκπομπή, όπου κάθε κόμβος στην περιοχή μετάδοσης μπορεί να συλλέξει αρκετές πληροφορίες για τους κόμβους και τη δρομολόγηση, με αποτέλεσμα ανεπιθύμητοι χρήστες να διαβάζουν, να διαγράφουν, να αλλάζουν ή να αναμεταδίδουν τα μηνύματα. Ο έλεγχος πρόσβασης είναι επίσης απαραίτητος για να διασφαλιστεί ότι οι υπηρεσίες του δικτύου και οι πόροι δεν έχουν χρησιμοποιηθεί από χρήστες χωρίς εξουσιοδότηση.

Η μη αποποίηση αποσκοπεί στο να αποφευχθεί, από οποιονδήποτε κόμβο, η αποποίηση(άρνηση) αποστολής ενός μηνύματος που έχει στείλει. Αποτρέπει τους κόμβους από κακή συμπεριφορά, για παράδειγμα από το να στέλνουν πακέτα παρεμβολών και να αρνούνται αυτή τους την πράξη για να αποφύγουν τον χαρακτηρισμό τους ως «κακός κόμβος».

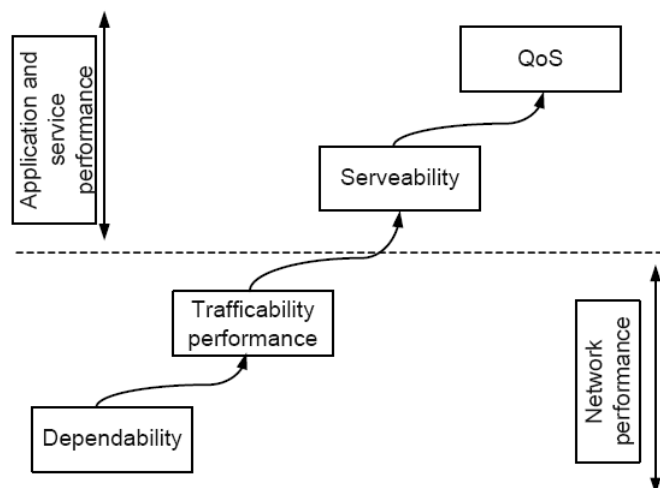
Η διαθεσιμότητα είναι επίσης ένα σημαντικό θέμα στα MANETs όπου οι κόμβοι λειτουργούν ως δρομολογητές και οι πάροχοι των πόρων ταυτόχρονα. Η κινητικότητα των κόμβων προκαλεί συνεχείς αλλαγές της τοπολογίας και αυτό καθιστά δύσκολο το να εξασφαλιστεί η διαθεσιμότητα των πόρων για τους κόμβους μέσα στο δίκτυο. Πρόβλημα διαθεσιμότητας των πόρων μπορεί να προκύψει, επίσης, λόγω άρνησης συνεργασίας από εγωιστικούς κόμβους που δεν θέλουν να μοιραστούν τους πόρους με άλλους κόμβους. Η μη εξουσιοδοτημένη παρακράτηση και εκμετάλλευση των πόρων, οδηγούν σε επιθέσεις τύπου Άρνηση της Υπηρεσίας (Denial of Service (DoS)) (Xiao, Shen, & Du, 2007).

6. Χρήση των Μετρικών και των Δεικτών ποιότητας στα MANETs

Οι δείκτες και οι μετρικές ποιότητας, πέρα από το να αξιολογούν την ποιότητα των δικτύων, υπάρχουν και για να διασφαλίζουν την ποιότητα των MANETs. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2 τα MANETs θα πρέπει να λειτουργούν έτσι ώστε να παρέχουν και να διασφαλίζουν τουλάχιστον ένα βασικό επίπεδο QoS (Zhang, Yang, & Ma, 2009). Αυτό επιτυγχάνεται με την εύρεση αλγορίθμων που αφορούν την συνδεσμολογία και δρομολόγηση (routing), το μοντέλο (QoS Model) και την αρχιτεκτονική (architecture), τη διαχείριση (management), τη MAC (Medium Access Control), τη διαχείριση των πόρων

(resource reservation signaling), που εξασφαλίζουν την ποιότητα του δικτύου (Nityananda & Sukumar, 2006), (Memon, Hashmani, & Memon, 2009), (Stüdi, 2003).

Πιο συγκεκριμένα από τις μετρικές και τους δείκτες ποιότητας, μέσω έρευνας, έχουν προταθεί διάφοροι αλγόριθμοι και πρωτόκολλα όσον αφορά την συνδεσμολογία και δρομολόγηση των MANETs (AQOR-Adhoc QoS On demand Routing, CEDAR-Core-Extraction Distributed Adhoc Routing, Multi-path QoS Routing, TBR- ticket-based probing, DCLCR- delay-constrained least-cost routing, PANDA-positional attribute-based next-hop determination approach, AODV with QoS Extensions (QAODV), QOLSR- Quality Optimized Link State Routing, WARP -Wireless Ad-hoc Routing Protocol, AQM- Ad Hoc QoS Multicast, Predictive Routing κ.α.) (Zhang, Yang, & Ma, 2009), (Seah). Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι υπεύθυνα για να βρεθεί το καλύτερο μονοπάτι ανάμεσα στον κόμβο πηγή και στον κόμβο προορισμού. Μετά την εύρεση του μονοπατιού αρχίζει η μεταφορά των πακέτων. Επειδή, όπως είχαμε προαναφέρει, η τοπολογία των MANETs είναι δυναμική και μπορεί να αλλάζει, έτσι και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης πρέπει να είναι δυναμικά και να είναι σε θέση να βρίσκουν κάθε φορά την καλύτερη διαδρομή, όταν η τοπολογία αλλάζει (Memon, Hashmani, & Memon, 2009) (Novatnack, Greenwald, & Arora, 2005).



Εικόνα 4: Τα κύρια συστατικά του QoS σύμφωνα με την International Telecommunication Union (ITU)

Τα μοντέλα QoS είναι υπεύθυνα για την αρχιτεκτονική (architecture) του δικτύου (Stüdi, 2003), (Bernhardt, Cain, Windham, & Corporation-Harris, 2007). Δηλαδή για τον καθορισμό ενός συνόλου QoS διεπαφών, οι οποίες διασφαλίζουν την ύπαρξη της QoS τόσο στο τελικό σύστημα όσο και στο δίκτυο, παρέχοντας έτσι και ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο ένταξης για τον έλεγχο της QoS(έλεγχος καθυστέρησης, έλεγχος εισόδου, έλεγχος της πολιτικής, ταξινόμηση, διαμόρφωση, έλεγχος ανάδρασης, προγραμματισμός, έλεγχος της κυκλοφορίας, εκτέλεση των συμβάσεων) και μηχανισμούς για την διαχείριση του δικτύου (Zhang, Yang, & Ma, 2009), (Memon, Hashmani, & Memon, 2009).

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα QoS, μερικά από αυτά είναι (Ola, Rosilah, Ahmed, & Rozilawati, 2010), (Zhang, Yang, & Ma, 2009), (Zeinalipour-Yazti, 2001), (Cansever, Michelson, & Levesque, 1999), (Seah), (Stüdi, 2003), (Marwaha, Indulska, & Portmann, 2008):

- IntServ (Integrated Services),
- DiffServ (Differentiated Services),
- G/MPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching)
- TE (Traffic Engineering and Constraint-Based Routing)
- FQMM (Flexible QoS Model for mobile networks)
- WMPLS (Wireless Multi-Protocol Label Switching)
- Cross-Layer Mode INSIGNIA
- CEQMM (Complete and Efficient QoS Model)
- SWAN (Stateless Wireless Ad hoc networks)

Απόρροια της ύπαρξης των μοντέλων QoS είναι η διαχείριση του δικτύου. Τα μοντέλα QoS πρέπει να καθορίζουν τον τρόπο διαχείρισης των MANETs. Η διαχείριση αυτή θα πρέπει να ακολουθεί κάποια πολιτική, η οποία να αντιμετωπίζει τα διάφορα θέματα των MANETs όπως είναι οι QoS μετρήσεις ή η ασφάλεια. Επίσης το σύστημα διαχείρισης είναι υπεύθυνο για την διατήρηση πληροφοριών του δικτύου για την τοπολογία, για τις εφαρμογές των χρηστών, για τη χρήση του δικτύου, κ.α.. Τέλος, το σύστημα διαχείρισης, πρέπει να ανακαλύπτει τα προβλήματα του δικτύου όπως η αποτυχία των στοιχείων του δικτύου, και να ρυθμίζει τα στοιχεία του δικτύου καθώς και να καθορίζει την μεταξύ τους σχέση (Memon, Hashmani, & Memon, 2009).

Η σχεδίαση ενός MAC (Medium Access Control) πρωτοκόλλου εξαρτάται από την πρόσβαση του καναλιού, την έναρξη της μετάδοσης, την τοπολογία δικτύου και την κατανάλωση ενέργειας. Καθένα από τα παραπάνω έχει άμεση ή έμμεση σχέση με τις μετρικές ποιότητας του δικτύου. Για παράδειγμα η πρόσβαση στο κανάλι εξαρτάται από το εύρος ζώνης που έχει, ενώ η έναρξη της μετάδοσης εξαρτάται σχεδόν από όλες τις μετρικές ποιότητας του δικτύου (Agbinya, 2005),(Zhang, Yang, & Ma, 2009).

Το QoS Signaling (σηματοδότηση) χρησιμοποιείται για τη διαχείριση των πόρων του δικτύου, δηλαδή την δέσμευση και την αποδέσμευση τους (resource reservation), και εξαρτάται άμεσα από την χωρητικότητα του δικτύου, την μνήμη, το εύρος ζώνης και άλλα. Επίσης είναι υπεύθυνο για την δημιουργία ροών στο δίκτυο, την καταστροφή τους καθώς και την διαπραγμάτευση τους (Nityananda & Sukumar, 2006), (Memon, Hashmani, & Memon, 2009).

Τέλος, συνοψίζοντας τα παραπάνω και έχοντας πάντα κατά νου τα επίπεδα ενός δικτύου MANET, μπορούμε να πούμε πως οι QoS μετρικές λαμβάνονται υπόψη και στα πέντε επίπεδα (Physical Layer, Link Layer, Network Layer, Transport Layer, Application Layer), αφού προσπαθούν μέσω αλγορίθμων και μηχανισμών να διασφαλίσουν και να παρέχουν την απαιτούμενη ποιότητα των υπηρεσιών.

7. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω οι μετρικές είναι απαραίτητες για την διασφάλιση τόσο της ποιότητας του δικτύου όσο και της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών. Όσο περνάνε τα χρόνια και όσο θα προκύπτουν νέες ανάγκες καθώς και νέες υπηρεσίες τις οποίες θα πρέπει να υποστηρίζουν τα MANETs, θα πρέπει να εφευρίσκονται νέες τεχνικές διασφάλισης της ποιότητας καθώς και να επανεξετάζονται οι ήδη υπάρχουσες. Επίσης θα πρέπει να είναι δυνατόν να προστεθούν νέες μετρικές και να ευρεθούν νέοι αλγόριθμοι οι οποίοι θα βοηθούν στην αξιολόγηση και την αναβάθμιση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών καθώς αυτές θα εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη της τεχνολογίας.

Οφείλεται να γίνει εκτενέστερη έρευνα και επανεξέταση των μοντέλων δρομολόγησης και των πρωτοκόλλων διαχείρισης QoS των MANETs που μέχρι πρότινος ήταν σχεδιασμένα για να βελτιστοποιούν τις ήδη γνωστές απαιτήσεις QoS που σχετίζονταν με την απόδοση του δικτύου, όπως το ελάχιστο απαιτούμενο εύρος ζώνης, τη λανθάνουσα κατάσταση, το ποσοστό απωλειών κατά τη μεταφορά κ.α., και πολλές φορές ερχόταν σε σύγκρουση με έναν από τους βασικούς στόχους, όπως του να πληρούν τις απαιτήσεις ασφαλείας των σχετικών απαιτήσεων των υπηρεσιών (National Science Foundation (NSF) with McAfee Research & Security Research Division of SPARTA).

Βιβλιογραφία

- [1] Agbinya, J. I. (2005). QoS Functions and Theorems for Moving Wireless Networks. *Proceedings of the Third International Conference on Information Technology and Applications (ICITA'05)*. IEEE.
- [2] Almes, G., Kalidindi, S., & Zekauskas, M. (1999). *A One-way Packet Loss Metric for IPPM*. IETF.
- [3] Asif, H. M., Sheltami, T. R., & Shakshuki, E. E. (2008). Power Consumption Optimization and Delay Minimization. *MoMM2008*, (σσ. 67-73). Austria.
- [4] Ballah, J. T. (2002, March). *Information Technology Laboratory, Advanced Network Technologies Division*. Ανάκτηση December 2010, από Integrated MANET Mutual Authentication System THESIS: <http://w3.antd.nist.gov/>
- [5] Bernhardt, R. C., Cain, J. B., Windham, W. A., & Corporation-Harris. (2007). QOS ARCHITECTURE FOR A MOBILE AD HOC NETWORK. *IEEE Wireless Communications* .
- [6] Cansever, D. H., Michelson, A. M., & Levesque, A. H. (1999). Quality of Service Support in Mobile ad-hoc IP Networks. *IEEE Wireless Communications* , σσ. 30-34.
- [7] Carvalho, M. (2008, March/April). Security in Mobile Ad Hoc Networks. *IEEE Security & Privacy* , vol. 6 no. 2 σσ. 72-75.
- [8] Dressler, F. (2002). MQM – Multicast Quality Monitor. *10th International Conference on Telecommunication Systems, Modeling and Analysis*, (vol2, σσ. 671 – 678). Monterey, CA, USA.
- [9] GSM Association PRD IR.41 . (2002). Identification of Quality of Service aspects of popular services (GSM and 3G), V 3.1.0.
- [10] International Telecommunication Union ITU-T. (n.d.). *International Telecommunication Union*. Ανάκτηση December 2010, από <http://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>
- [11] Karavetsios, P., & Tsitouras, N. (2003). *Adaptive Distributed Routing & QoS in Mobile Networks*. Ανάκτηση November 2010, από Computer Networks & Telematics Applications: <http://conta.uom.gr/>
- [12] Khan, A., & Khattak, K. A. (2010, June 7). *AC and QAR for Provisioning of QoS in MANETs*. Ανάκτηση November 2010, από School of Engineering, Department of Telecommunication, Blekinge Institute of Technology: <http://www.bth.se/com>

- [13] KIN, B. G. (2005). *The Quality of Service in The Internet*. IEEE, ISBN: 0-7803-7093-7/0.
- [14] Liu, Y., Tipper, D., Medhi, D., & Srikitja, A. (2000). *Self-configuring Survivable Techniques for Quality of Service Enabled Internet*. Ανάκτηση November 2010, από <http://www.cert.org/>
- [15] Lu, Y., Zhong, Y., & Bhargava, B. (2003). *Purdue University Department of Computer Science*. Ανάκτηση December 2010, από Packet Loss in Mobile Ad Hoc Networks: <http://www.cs.purdue.edu/>
- [16] Magld, K. W. (2007). *Dr. Khalid Magld, King Abdulaziz University - Faculty of Computing and Information Technology*. Ανάκτηση December 2010, από Quality of Service Constrained Unicast Routing in Mobile Ad-Hoc Networks: <http://magld.com/>
- [17] Marwaha, S., Indulska, J., & Portmann, M. (2008). Challenges and Recent Advances in QoS Provisioning, Signaling, Routing and MAC protocols for MANETs. *Telecommunication Networks and Applications Conference, 2008(ATNAC 2008)* (σσ. 97-102). IEEE.
- [18] Memon, S. M., Hashmani, M., & Memon, N. A. (2009, April). A Framework for QoS Management and Contract Enforced Services in MANETs for Prioritized Traffic Environment. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security VOL.9 No.4* .
- [19] Mohapatra, P., Li, J., & Gui, C. (2003, June). QOS IN MOBILE AD HOC NETWORKS. *IEEE Wireless Communications* , σσ. 44-52.
- [20] National Science Foundation (NSF) with McAfee Research & Security Research Division of SPARTA.(n.d.). Ανάκτηση November 2010, από http://www.isso.sparta.com/research_areas/index.html
- [21] Nityananda, S., & Sukumar, N. (2006). Networks, QoS Support in Mobile Ad Hoc. *IEEE Wireless Communications* .
- [22] Novatnack, J., Greenwald, L., & Arora, H. (2005). Evaluating Ad hoc Routing Protocols With Respect to Quality of Service. *IEEE Wireless Communications* , σσ. 205-212.
- [23] Ola, M., Rosilah, H., Ahmed, P., & Rozilawati, R. (2010, October). A Review of Security Parameters in Mobile Ad-Hoc Networks. Ανάκτηση November 2010, από Univercity of Kebangsaan Malaysia: <http://www.ftsm.ukm.my/network/>
- [24] OPNET Technologies, Inc. (n.d.). *Application Performance Management* . Ανάκτηση November 2010, από OPNET: <http://www.opnet.com>
- [25] Papadopoulos, K., Zahariadis, T., & Leligou, N. (2008). *Sensor Networks Security Issues In Augmented Home Environment*. IEEE. ISBN: 978-1-4244-2422-1.

- [26] Ramani, S. A. (2007). Exploring the Requirements for QoS in Mobile Ad hoc Networks. *Journal of Information & Communication Technology* , Vol. 1 No. 2, 01-09.
- [27] Seah, W. (n.d.). *Quality of Service in Mobile Ad Hoc Networks– Myth or Reality?* Ανάκτηση November 2010, από Institute for Infocomm Research (I2R): <http://www.i2r.a-star.edu.sg/>
- [28] Stüdi, P. (2003, March). *Quality of Service for Mobile Ad Hoc Networks*. Ανάκτηση November 2010, από Information and Communication Systems Research Group: <http://www.iks.inf.ethz.ch/>
- [29] Wahab, S. H., Ould-Khaoua, M., & Papanastasiou, S. (n.d.). *Citeseerx*. Ανάκτηση November 2010, από Performance Analysis of the LWQ QoS Model in: <http://citeseerx.ist.psu.edu>
- [30] *Wikipedia*. (n.d.). Ανάκτηση December 2010, από <http://en.wikipedia.org/wiki/NS2>
- [31] *Wikipedia:Networking software companies*. (n.d.). Ανάκτηση από http://en.wikipedia.org/wiki/Category:Networking_software_companies
- [32] Xiao, Y., Shen, X., & Du, D.-Z. (2007). *Wireless Network Security*. Springer, ISBN: 0387280405.
- [33] Zaki, S. M., Ngadi, M. A., & Razak, S. A. (2009, June). A Review of Delay Aware Routing Protocols in MANET. *Computer Science Letters Voll(1)* .
- [34] Zeinalipour, D. (2001). *QoS in Mobile Ad Hoc Networks (MANets)*. Ανάκτηση November 2010, από Alumni Association – IE Business School: <http://www.cs.ucr.edu/~csyiazti/cs260.html>
- [35] Zeinalipour-Yazti, D. (2001). A Glance at Quality of Services in Mobile Ad-Hoc Networks. *Final Research Report for CS260 - Seminar in Mobile Ad Hoc Networks*.
- [36] Zhang, Y., Yang, L. T., & Ma, J. (2009). *Unlicensed Mobile Access Technology, Protocols, Architecture, Security, Standards and Applications*. Auerbach Publications.
- [37] Αρσένης, Σ. Δ. (2005). *Σχεδιασμός και Υλοποίηση δικτύων, Από μικρά δίκτυα γραφείου μέχρι μεγάλα δίκτυα επιχειρήσεων*. Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- [38] Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων. (2008). *Δείκτες Ποιότητας Υπηρεσιών Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών*. Ανάκτηση November 2010, από Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων: <http://www.eett.gr>
- [39] Κοντογιάννης, Α. (2003). *QoS (Quality of Service) Metrics and Measurements for IP Networks*. Θεσσαλονίκη: Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Πληροφοριακά Συστήματα.
- [40] Κουλτούκης, Σ. (2009). *Μετρήσεις Ποιότητας Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας σε Σημεία Εμπορικού Ενδιαφέροντος στη Θεσσαλονίκη*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο

Θεσσαλονίκης, Μεταπτυχιακό Τμήμα Ηλεκτρονικής Φυσικής (Ραδιοηλεκτρολογίας), Ηλεκτρονική Τεχνολογία Τηλεπικοινωνιών .

- [41] Κουτσογιαννάκη, Μ. Χ. (2007). *Ανάπτυξη εφαρμογής για την βελτιστοποίηση αλγορίθμων δρομολόγησης σε κινητά ad-hoc δίκτυα με QoS*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής.
- [42] Πόγκας, Ν. Β. (2005, Απρίλιος). *Νημερτής*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 2010, από Ανάλυση Σχεδίαση και Ανάπτυξη Ειδικών Ασύρματων Δικτύων Βασισμένων σε Ενσωματωμένα Συστήματα: <http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/>