



Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
ΔΠΜΣ Πληροφορικά Συστήματα
Δίκτυα Υπολογιστών
Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

University of Macedonia
Master Information Systems
Computer Networks
Professor: A.A. Economides

Σχεδίαση χωρητικότητας στα δίκτυα MANET

Capacity planning of MANETs

Κατσιούλας Δημήτριος

ΑΜ: 27/10

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2011

Περίληψη

Ένα Mobile Ad hoc Network (MANET) είναι ένα αυτοοργανώσιμο αυτοσχηματιζόμενο ασύρματο δίκτυο με διαδρομές πολλαπλών τμημάτων (multi-hop), όπου η δομή του δικτύου αλλάζει δυναμικά λόγω της κινητικότητας των κόμβων ή λόγω αλλαγών στην τοπολογία. Η δρομολόγηση, η διαχείριση και άλλες επικοινωνιακές λειτουργίες ενός τέτοιου δικτύου αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις λόγω της κινητικότητας και της δυναμικής συμπεριφοράς των κόμβων, ενδεχομένως του μεγάλου τους αριθμού στο δίκτυο, και των περιορισμένων πόρων του δικτύου όπως το εύρος ζώνης. Η παρούσα λοιπόν εργασία ασχολείται με αυτό τον παράγοντα, όπου μέσω απλών μετρήσεων, σε διάφορες τοπολογίες δικτύου προσπαθεί να εξηγήσει πώς επηρεάζεται.

A Mobile Ad hoc Network (MANET) is a self-organized, auto-configured wireless network with multi-hop routing paths where its structure is modified dynamically due to node mobility and topological changes. Routing, management and other network operations face extreme challenges due to node mobility, the dynamic nature of network topology, potentially the large number of nodes, and the limited resources of the network, such as network capacity. This study deals with this factor, where with plain measurements, trying under different network topologies to explain how it could be affected.

Παρουσίαση προβλήματος

Οι ασύρματες διασυνδέσεις έχουν σημαντικά χαμηλότερη χωρητικότητα σε σύγκριση με τις αντίστοιχες ενσύρματες. [11] Επιπρόσθετα το throughput που μπορεί να επιτευχθεί σε ασύρματες επικοινωνίες, είναι συνήθως αρκετά μικρότερη από το εύρος ζώνης του ασύρματου μέσου μετάδοσης λόγω της επίδρασης φαινομένων όπως η πολλαπλή πρόσβαση στο μέσο, θόρυβος, περιπτώσεις παρεμβολής κλπ. [18] Ως συνέπεια της χαμηλής ως μέτριας χωρητικότητας του μέσου ή συμφόρηση στο δίκτυο θεωρείται ως φυσιολογική κατάσταση αντί για εξαίρεση, π.χ. το άθροισμα των απαιτήσεων των εφαρμογών πιθανότατα θα πλησιάζει ή θα υπερβαίνει τη χωρητικότητα του δικτύου. Καθώς συχνά το ασύρματο δίκτυο είναι μία επέκταση ενός σταθερού ενσύρματου δικτύου, οι χρήστες του θα απαιτούν παρόμοιες υπηρεσίες με αυτές που παρέχονται στο ενσύρματο. Οι απαιτήσεις αυτές θα συνεχίσουν να αυξάνονται με την ανάπτυξη των πολυμέσων και των δικτυακών εφαρμογών. [19]

Μία βασική σχεδιαστική παράμετρος, εφόσον το εύρος ζώνης στα δίκτυα MANET θεωρείται περιορισμένο, είναι η μείωση της επιβάρυνσης του δικτύου που προέρχεται από πακέτα ελέγχου. Σε διαφορετική περίπτωση, εμφανίζεται συμφόρηση στο δίκτυο λόγω της άσκοπης κατανάλωσης του εύρους ζώνης. [18]

Αυτά τα προβλήματα θα προσπαθήσουμε να λύσουμε στη συνέχεια παραθέτοντας διαφορές σε διαφορετικές τοπολογίες έχοντας ως βάση το πρωτόκολλο 802.11 MAC.

Δίκτυο Κινούμενων Κόμβων (Mobile Ad hoc Network, MANET)

Το MANET είναι ένα αυτοοργανώσιμο, αυτοσχηματιζόμενο ασύρματο δίκτυο με διαδρομές πολλαπλών τμημάτων (multi-hop), όπου η δομή του δικτύου αλλάζει δυναμικά λόγω της κινητικότητας των κόμβων ή λόγω αλλαγών στην τοπολογία. [1] Οι ιδιότητες αυτών των

δικτύων είναι εξαιρετικά ελκυστικές σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως: σε μια συνεδριακή αίθουσα κατά τη διάρκεια συναντήσεων, όταν οι συμμετέχοντες θέλουν να ανταλλάξουν πληροφορίες, σε μια επείγουσα επιχείρηση διάσωσης, σε μάχες κατά τη διάρκεια πολέμου, για τον συντονισμό των στρατιωτών στην άμυνα και την επίθεση, κλπ. [18] Οι κόμβοι ενός τέτοιου δικτύου μοιράζονται ένα κοινό ασύρματο μέσο και συνεργάζονται για την δρομολόγηση των πακέτων και τις υπόλοιπες δικτυακές λειτουργίες. Κάθε κόμβος εκτελεί και λειτουργίες δρομολογητή καθώς διατηρεί διαδρομές προς άλλους κόμβους του δικτύου και όταν χρειάζεται προωθεί πακέτα που προορίζονται σε σταθμούς οι οποίοι δεν είναι στην εμβέλεια μετάδοσης του. Η δρομολόγηση, η διαχείριση και άλλες επικοινωνιακές λειτουργίες ενός τέτοιου δικτύου αντιμετωπίζουν ακραίες προκλήσεις λόγω της κινητικότητας και δυναμικής συμπεριφοράς των κόμβων, ενδεχομένως του μεγάλου αριθμού των κόμβων στο δίκτυο, και των περιορισμένων πόρων του δικτύου όπως το εύρος ζώνης και η κατανάλωση ενέργειας. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης, διαχείρισης δικτύου και μεταφοράς δεδομένων θα πρέπει να ανταποκρίνονται γρήγορα σε συχνές και απρόβλεπτες αλλαγές της τοπολογίας και η λειτουργία τους δεν θα πρέπει να επιβαρύνει τους περιορισμένους πόρους του δικτύου. [19]

Χωρητικότητα

Ο προσδιορισμός της χωρητικότητας (capacity) ενός MANET δεν μπορεί παρά να είναι ουσιώδης. Εξαιτίας του περιορισμένου εύρους των κυμάτων, η χωρική επαναχρησιμοποίηση είναι πιθανή. Ωστόσο, η ποσότητα επαναχρησιμοποίησης εξαρτάται από την τρέχουσα τοποθεσία του κινητού κόμβου. Η χωρητικότητα του δικτύου είναι μία λειτουργία της τρέχουσας διαδρομής που χρησιμοποιείται για την αναμετάδοση πακέτων δεδομένων καθώς και της φυσικής θέσης όλως των κόμβων της διαδρομής. Είναι πολύ πιθανό δύο διαδρομές να

προσφέρουν μικρότερη χωρητικότητα απ' ό τι δύο άλλες με τα ίδια άκρα, όταν οι κόμβοι βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση. Αυτό το γεγονός ίσως κάνει τη χωρητικότητα να είναι χρονικά εξαρτώμενη καθώς οι διαδρομή που θα πρέπει να ακολουθήσει το πακέτο μεταβάλλεται καθώς μετακινούνται οι κόμβοι στο χώρο. [4]

Σχεδιασμός χωρητικότητας

Η σχεδίαση χωρητικότητας (capacity planning) έχει να κάνει με τη συνολική διαστασιολόγηση του δικτύου. Κάποιες από τις βασικές εργασίες της είναι:

- Ο καθορισμός του συνόλου των απαιτούμενων κόμβων
- Το μέγεθος του καναλιού
- Το απαιτούμενο εύρος ζώνης
- Την τοπολογία που θα χρησιμοποιηθεί

Η σχεδίαση χωρητικότητας είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι για τον διαχειριστή ενός δικτύου ώστε να μπορέσει να χειριστεί τα όποια προβλήματα μπορεί να έχει ένα δίκτυο πριν εμφανιστούνε. Για το λόγο αυτό υπάρχουν λογισμικά, όπως το OPNET Modeler® Wireless Suite, που προσφέρουν δυνατότητες προσομοίωσης ενός δικτύου MANET σε διαφορετικές χωρικές συνθήκες, συνθήκες κινητικότητας, συνθήκες περιβάλλοντος κλπ. [20]

Χωρητικότητα ad hoc δικτύων

Ας ξεκινήσουμε δίνοντας μία γενική εικόνα για τη χωρητικότητα των ad hoc δικτύων.

Οι Gupta και Kumar [8] υπολόγισαν την ανά κόμβο χωρητικότητα ενός ad hoc δικτύου. Κόμβοι οι οποίοι βρίσκονται αρκετά μακριά ο ένας από τον άλλο μπορούν να μεταδίδουνε ταυτόχρονα. Η συνολική ποσότητα δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούνε ταυτόχρονα για

ένα άλμα αυξάνεται γραμμικά ως προς τη συνολική έκταση που καταλαμβάνει το ad hoc δίκτυο. Αν η πυκνότητα των κόμβων είναι σταθερή, αυτό σημαίνει ότι η συνολική χωρητικότητα για ένα άλμα είναι $O(n)$, όπου n ο συνολικός αριθμός των κόμβων. Ωστόσο, καθώς το δίκτυο μεγαλώνει, μπορούν ταυτόχρονα να αυξηθούν και τα άλματα μεταξύ των κόμβων ανάλογα με το πρότυπο επικοινωνίας που ακολουθείται. Θα ήταν αναμενόμενο το μέσο μήκος της διαδρομής να αυξάνεται ανάλογα με τη χωρική διάμετρο του δικτύου ή ισοδύναμα με την τετραγωνική ρίζα της περιοχής, δηλαδή $O(\sqrt{n})$. Σύμφωνα με αυτή την υπόθεση, η συνολική άκρο προς άκρο (end-to-end) χωρητικότητα είναι κατά προσέγγιση $O(\frac{n}{\sqrt{n}})$, και η διαθέσιμη άκρο προς άκρο διεκπεραιωτική ικανότητα (end-to-end throughput) για κάθε κόμβο είναι $O(\frac{1}{\sqrt{n}})$.

Ωστόσο, δεν είναι καθόλου ενθαρρυντικό το γεγονός ότι το διαθέσιμο throughput για κάθε κόμβο τείνει προς το μηδέν καθώς ο αριθμός των συνολικών κόμβων αυξάνεται. Με λίγα λόγια, τα μεγάλα ad hoc δίκτυα δεν είναι εύρωστα. Επιπλέον, αυτή η ανάλυση παραλείπει τους σταθερούς παράγοντες οι οποίοι ορίζουν πότε ένα συγκεκριμένο δίκτυο έχει ένα ωφέλιμο throughput ανά κόμβο.

Χωρητικότητα ασυρμάτων ad hoc δικτύων

Στην έρευνα [5] παρουσιάζεται η επιρροή των διαφόρων μοντέλων κίνησης (traffic patterns) στη διαβάθμιση της ανά κόμβο χωρητικότητας. Οι συγγραφείς επίσης προσδιορίζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ της ad hoc μετάδοσης και του 802.11 MAC με σκοπό να υπολογιστεί το throughput ανά κόμβο έτσι όπως ορίστηκε στην [8]. Επίσης, προσδιορίζει τις συνθήκες κατά τις οποίες η ανά κόμβο χωρητικότητα πιθανώς να μπορέσει να είναι κλιμακούμενη της αύξησης

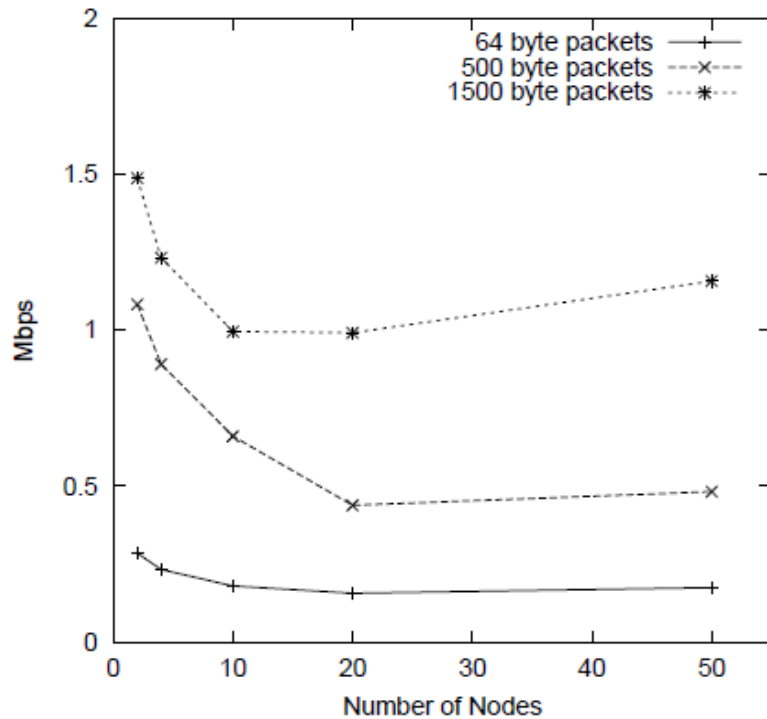
του μεγέθους του ad hoc δικτύου. Ας δούμε λίγο πιο αναλυτικά παρακάτω τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας. Σημειώνεται ότι στα περισσότερα σενάρια κινητικότητας, οι κόμβοι δε διανύουν αξιόλογες αποστάσεις κατά το χρόνο μετάδοσης πακέτων (packet transit time). Έτσι, για λόγους ανάλυσης της χωρητικότητας, μπορούμε να βλέπουμε τα κινητά δίκτυα ως δυναμικά σταθερά.

Δίκτυο μονής κυψέλης

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1 η συνολική χωρητικότητα σε ένα δίκτυο μονής κυψέλης (single cell network) μεγέθους $200m * 200m$ αυξάνεται καθώς αυξάνεται και ο αριθμός των κόμβων. Κάθε κόμβος είναι μία πηγή πακέτων, ο οποίος στέλνει κάθε πακέτο σε έναν τυχαία επιλεγμένο κόμβο με την ταχύτητα που του επιτρέπει το 802.11. Στο σενάριο με δύο κόμβους εμφανίζεται η υψηλότερη χωρητικότητα, καθώς έχει τη μικρότερη ανταγωνιστικότητα. Επίσης παρατηρούμε ότι η ανταλλαγή RTS/CTS/ACK πακέτων προκαλεί αξιοσημείωτη επιβάρυνση. Το πακέτο RTS έχει μέγεθος 40 bytes, τα πακέτα CTS και ACK 39 bytes και η κεφαλίδα MAC ενός πακέτου δεδομένων 47 bytes. Έτσι το throughput για πακέτα 1500 bytes είναι το πολύ

$$\frac{1500}{1500 + 40 + 39 + 47} * 2 \approx 1.8Mbps .$$
 Εάν υπολογιστεί και ο ενδοπλαισιακός χρόνος (inter-frame

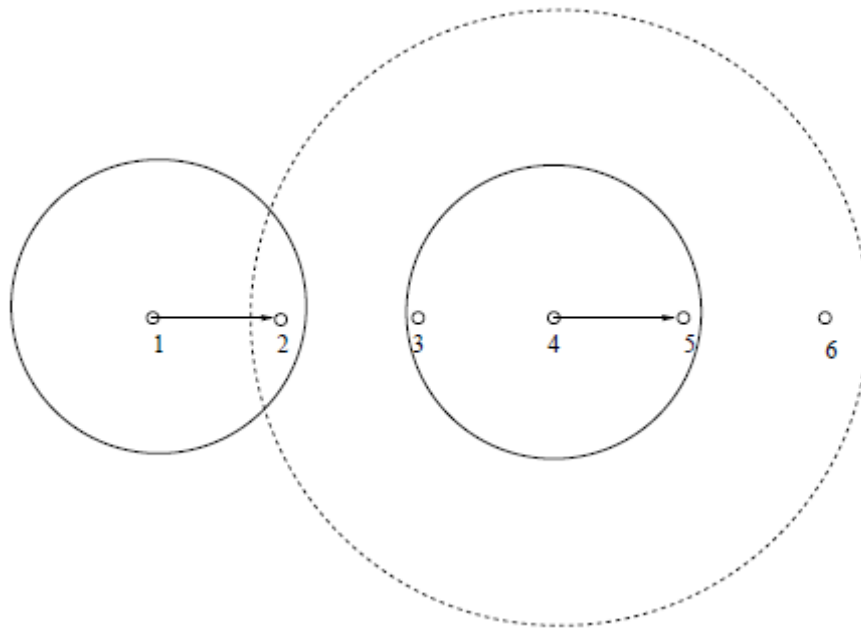
timing) το όριο μειώνεται στα 1.7 Mbps.



Σχήμα 1: Συνολική χωρητικότητα δικτύου μονής κυψέλης

Αλυσίδα κόμβων

Το δίκτυο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2 είναι ένα μία αλυσίδα κόμβων (chain of nodes). Ο κόμβος 1 είναι η πηγή και ο κόμβος 6 ο παραλήπτης. Ας υποθέσουμε ότι προς στιγμή δεν υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των μη γειτονικών κόμβων. Οι κόμβοι 1 και 2 δεν μπορούν να μεταδίδουν ταυτόχρονα καθώς ο κόμβος 2 δεν μπορεί να λαμβάνει και να μεταδίδει ταυτόχρονα. Οι κόμβοι 1 και 3 δεν μπορούν να μεταδίδουν ταυτόχρονα διότι ο κόμβος 2 δεν μπορεί να ακούσει τον 1 αν ο 3 αποστέλλει πακέτα. Οι κόμβοι 1 και 4 μπορούν, σύμφωνα με τις παραπάνω υποθέσεις να μεταδίδουν ταυτόχρονα. Αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιείται το $\frac{1}{3}$ του καναλιού.

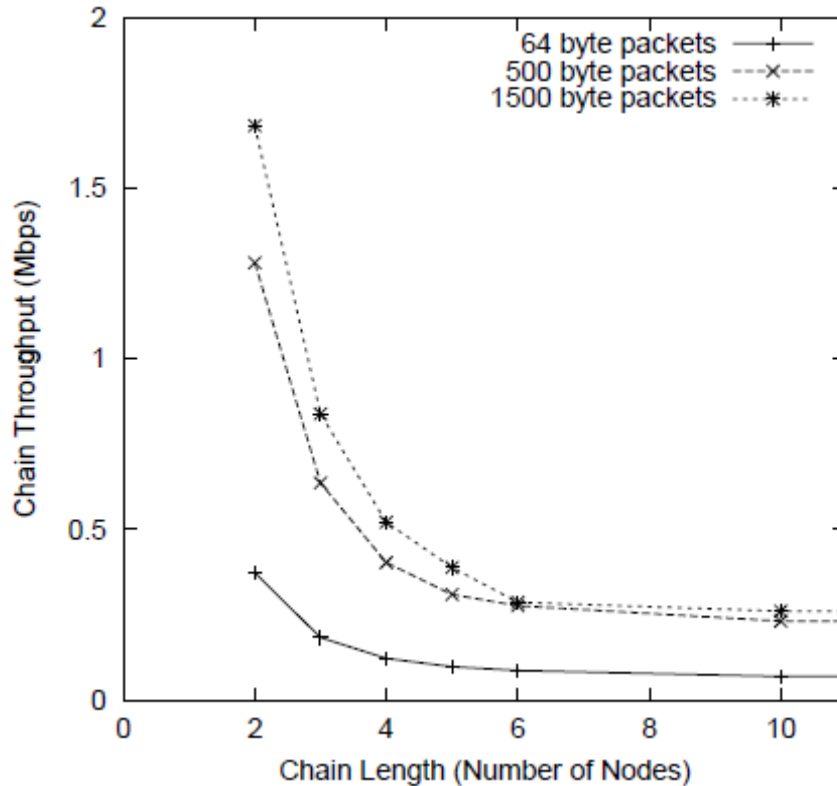


Σχήμα 2: Αλυσίδα 6 κόμβων

Ωστόσο, αν δε χρησιμοποιήσουμε την παραπάνω υπόθεση, οδηγούμαστε σε μία μέγιστη αξιοποίηση $\frac{1}{4}$. Αυτό διότι, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2, τα πακέτα του κόμβου 4 θα αλληλεπιδράσουν με τα RTS πακέτα που στέλνονται από τον κόμβο 1 στον 2. Αυτό συμβαίνει λόγω του 802.11 που επιτρέπει μετάδοση σε απόσταση 550m από τον κόμβο και λήψη από απόσταση 250m. Έτσι ο κόμβος 2 δεν μπορεί να λάβει σωστά το πακέτο RTS από τον 1 ή δεν μπορεί να αποστείλει σωστά το πακέτο CTS.

Προσομοιώνοντας λοιπόν ένα δίκτυο όπου οι κόμβοι σχηματίζουν μία αλυσίδα παίρνουμε τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στο Σχήμα 3. Η υπόθεση εδώ είναι ότι ο κάθε κόμβος απέχει 200m από τον άμεσο γείτονά του. Ο κόμβος 1 είναι η πηγή και μεταδίδει δεδομένα όσο γρήγορα του επιτρέπει το MAC. Αλυσίδα δύο κόμβων επιτυγχάνει throughput 1.7 Mbps για πακέτα 1500 bytes λόγω των κεφαλίδων και των πακέτων RTS, CTS και ACK. Καθώς η αλυσίδα μεγαλώνει,

το throughput πέφτει στα 0.25 Mbps ή $\frac{1}{7}$ των 1.7 Mbps, σημαντικά μικρότερο από την προβλεπόμενη εκτίμηση του $\frac{1}{4}$. Το throughput παραμένει στο ίδιο με αυτό των 10 κόμβων για δίκτυα 20 και 50 κόμβων.



Σχήμα 3: Συνολική χωρητικότητα δικτύου αλυσίδας κόμβων

Το πρόβλημα στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ότι ο πρώτος κόμβος της αλυσίδας λόγω του 802.11 στέλνει περισσότερα πακέτα από αυτά που μπορούν να προωθήσουν οι επόμενοι κόμβοι και έτσι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να χαθούν κάποια πακέτα.

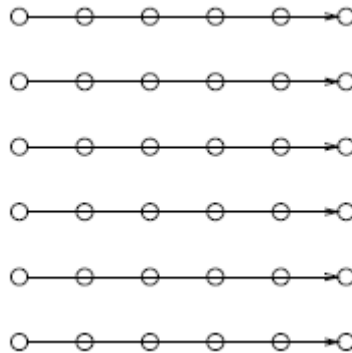
Δίκτυα πλέγματος

Υποθέτουμε ένα δίκτυο πλέγματος (lattice network) όπου η ροή των πακέτων γίνεται από αριστερά προς τα δεξιά όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Ο κάθε κόμβος απέχει 200m από τον κόμβο

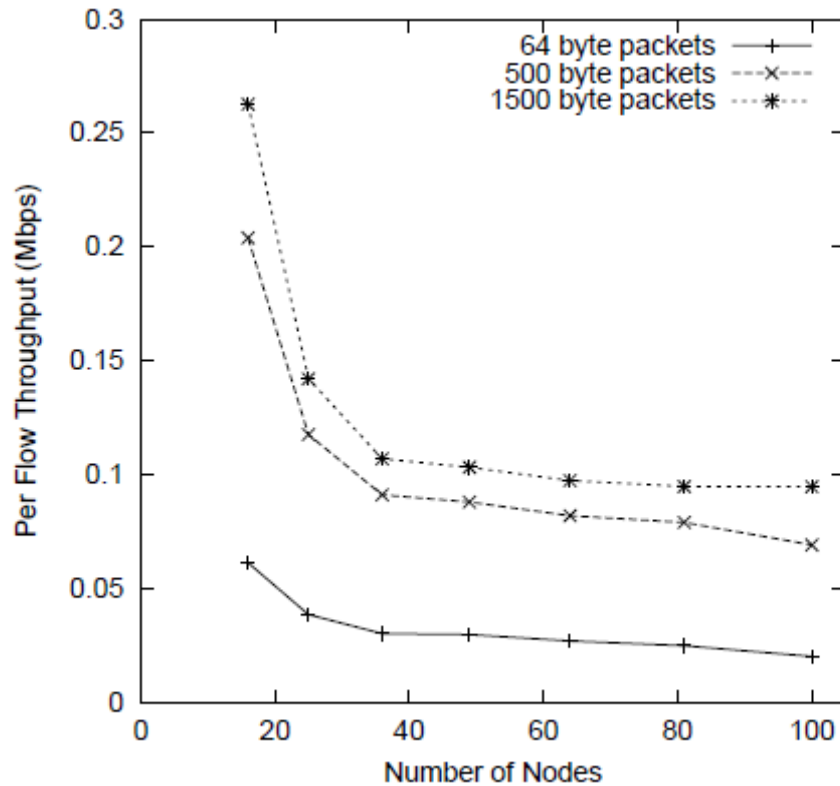
που βρίσκεται αριστερά, δεξιά, πάνω ή κάτω του. Κάθε στιγμή μπορεί να είναι ενεργή μόνο κάθε τρίτη αλυσίδα διότι μόνο αυτές έχουν απόσταση μεγαλύτερη των 550m ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές. Έτσι, κάθε τρίτη αλυσίδα χρησιμοποιεί το $\frac{1}{4}$ του throughput.

Αναμένεται λοιπόν η αναμένεται κάθε ροή του δικτύου να επιτυγχάνει throughput ίσο με το $\frac{1}{12}$ της χωρητικότητας του καναλιού. Αυτό σημαίνει ότι για πακέτα μεγέθους 1500 bytes ισούται με

$$\frac{1}{12} * 1.7Mbps \approx 0.14Mbps .$$

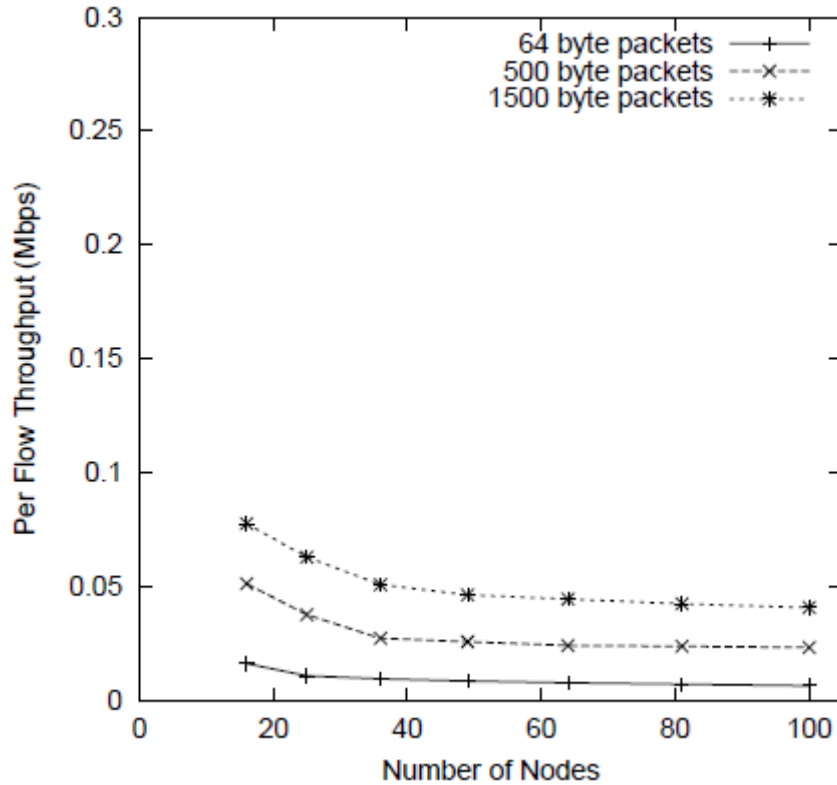


Σχήμα 4: Δίκτυο πλέγματος με οριζόντια ροή πακέτων



Σχήμα 5: Μέσο ανά ροή throughput σε δίκτυο πλέγματος με οριζόντια ροή πακέτων

Ας υποθέσουμε τώρα ότι έχουμε, εκτός από οριζόντια, και κάθετη ροή. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται χρονοπρογραμματισμός ώστε τη μία χρονική στιγμή να γίνεται μετάδοση δεδομένων στην οριζόντια αλυσίδα και την επόμενη στην κάθετη. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για αυτό το δίκτυο φαίνονται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6: Μέσο ανά ροή throughput σε δίκτυο πλέγματος με οριζόντια και κάθετη ροή πακέτων

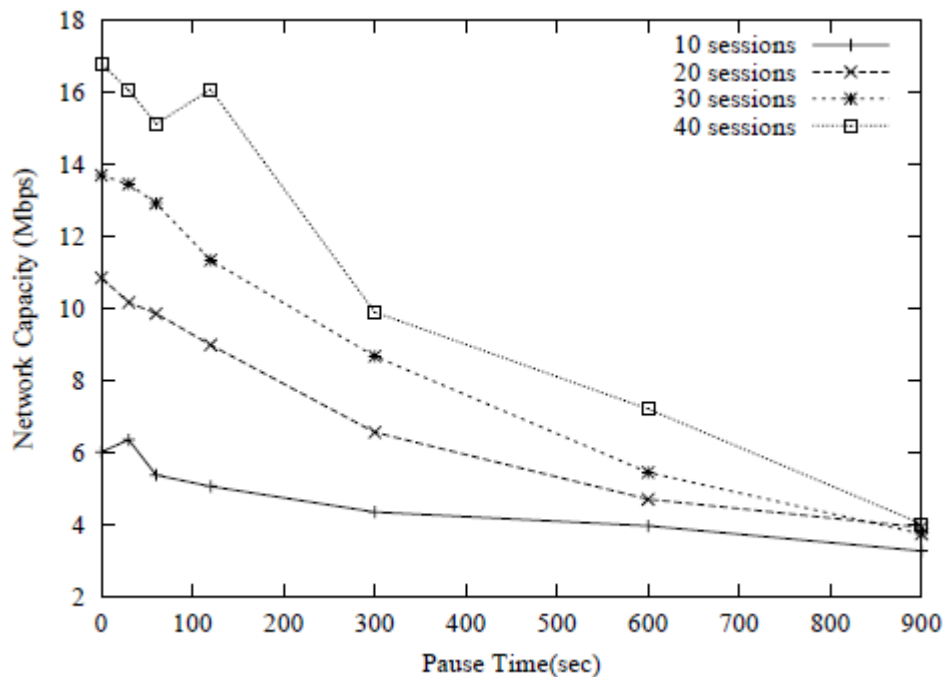
Χωρητικότητα σε ad hoc δίκτυα κινητών κόμβων

Οι Grossglauser και Tse [6] εξέτασαν τα δίκτυα κινητών κόμβων και ανακάλυψαν ότι η παρουσία κινητικότητας αυξάνει τη χωρητικότητα στο δίκτυο. Αυτό διότι με μεγαλύτερη κινητικότητα υπάρχει η δυνατότητα να κατανεμηθεί περισσότερο τυχαιοποιημένα η κίνηση στους κόμβους αναμετάδοσης (relay nodes) ώστε να παραδίδονται τελικά στους προορισμούς τους. Η βασική υπόθεση εδώ είναι ότι η κινητικότητα μπερδεύει τις τροχιές των κινούμενων κόμβων με τέτοιο τρόπο ώστε ο κάθε κόμβος να πηγαίνει στη «γειτονιά» κάθε άλλου κόμβου έτσι ώστε τα δεδομένα να μπορούν να παραδοθούν τελικά χωρίς να καταναλώνεται άσκοπα χωρητικότητα σε ένα δρόμο πολλαπλών αλμάτων. Οι συγγραφείς το εξηγούν ως μία μορφή

διαφορετικότητας πολλών χρηστών (multiuser diversity). Ο περιοριστικός όρος εδώ είναι ότι η καθυστέρηση μπορεί να είναι πολύ μεγάλη με σκοπό να αυξηθεί η χωρητικότητα με αυτό τον τρόπο, και έτσι η ανάλυση είναι εφαρμόσιμη σε εφαρμογές με προβλήματα καθυστέρησης.

Η χωρητικότητα του δικτύου αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των συνόδων στο δίκτυο, καθώς κατά μέσο όρο είναι ενεργοί περισσότεροι κόμβοι. Θεωρούμε τον ονομαστικό ρυθμό μετάδοσης του καναλιού ίσο με 2Mbps.

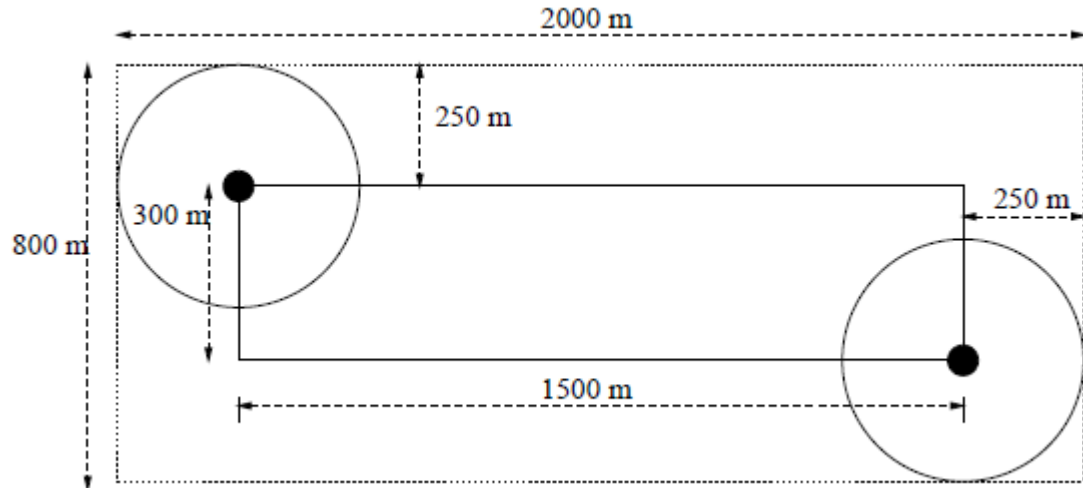
Παρά το γεγονός ότι υπάρχει μία αύξηση στη χωρητικότητα με την αύξηση των συνεδριών, η αύξηση δεν είναι αναλογική. [5] Συγκεκριμένα, αν αυξήσουμε τον αριθμό των συνεδριών κατά τέσσερις φορές, η αύξηση στη χωρητικότητα είναι μικρότερη από τέσσερις φορές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πολλές συνεδρίες δε μεταφράζονται ως αύξηση της χωρητικότητας στο ήδη ενεργό κομμάτι του δικτύου. Ωστόσο, πολλές σύνοδοι συμβάλλουν στην αύξηση της χωρητικότητας σε άλλα αδρανή τμήματα του δικτύου.



Σχήμα 7: Αλλαγή χωρητικότητας δικτύου λόγω κινητικότητας και αριθμού συνεδριών

Κάτι που προκαλεί ενδιαφέρον, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7, είναι ότι η χωρητικότητα αυξάνεται με την αύξηση της κινητικότητας. Καθώς η κινητικότητα αυξάνεται, η χωρική κατανομή των κόμβων στην περιοχή γίνεται όλο και περισσότερο ομοιόμορφη κατά μέσο όρο και έτσι αυξάνεται η μέση διασπορά στο διάγραμμα συνδετικότητας (connectivity graph).

Παρατηρήσαμε επίσης ότι για μεγάλο αριθμό συνεδριών και μέγιστη κινητικότητα η χωρητικότητα φθάνει στη μέγιστη δυνατή τιμή της το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση οποιουδήποτε MAC πρωτοκόλλου που να δουλεύει σε single channel και οποιουδήποτε αριθμού κόμβων και συνεδριών. Για να προσδιορίσουμε αυτή τη μέγιστη δυνατή χωρητικότητα, υποθέτουμε ότι ένας μεγάλος αριθμός κόμβων είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι σε μία $1500m * 300m$ περιοχή, και μόνο ένας κόμβος που κινείται σε περιοχή (κελί) εμβαδού πR^2 (R =εύρος σήματος) μπορεί να μεταδίδει ανά πάσα στιγμή. Αφού οι κόμβοι μπορούν να βρίσκονται σε οποιοδήποτε σημείο της περιοχής, οι μεταδόσεις τους μπορούν να καταλαμβάνουν εύρος ζώνης (bandwidth) σε μία μεγαλύτερη $2000m * 800m$ περιοχή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8. Αυτή η μεγαλύτερη περιοχή μπορεί να υποστηρίξει το πολύ $\frac{2000m * 800m}{\pi R^2}$ κελιά. Υποθέτοντας ότι το ονομαστικό εύρος ζώνης R ισούται με $250m$, αυτός ο αριθμός ισούται κατά προσέγγιση με $8,2$, δίνοντας μέγιστη χωρητικότητα δικτύου ίση με $8.2 * 2 = 16.4Mbps$. Να σημειώσουμε εδώ ότι αυτός ο αριθμός είναι πολύ κοντά στη χωρητικότητα που υπολογίσαμε χρησιμοποιώντας 40 συνόδους με μηδενικό χρόνο παύσης. Αυτό σημαίνει ότι με 40 συνόδους και σταθερή κινητικότητα υπάρχουν πάντα ενεργοί κόμβοι που καλύπτουν κάθε περιοχή της $1500m * 300m$ περιοχής. Δεν μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερη χωρητικότητα χρησιμοποιώντας είτε περισσότερες συνεδρίες είτε μεγαλύτερη κινητικότητα (πχ μεγαλύτερη ταχύτητα).



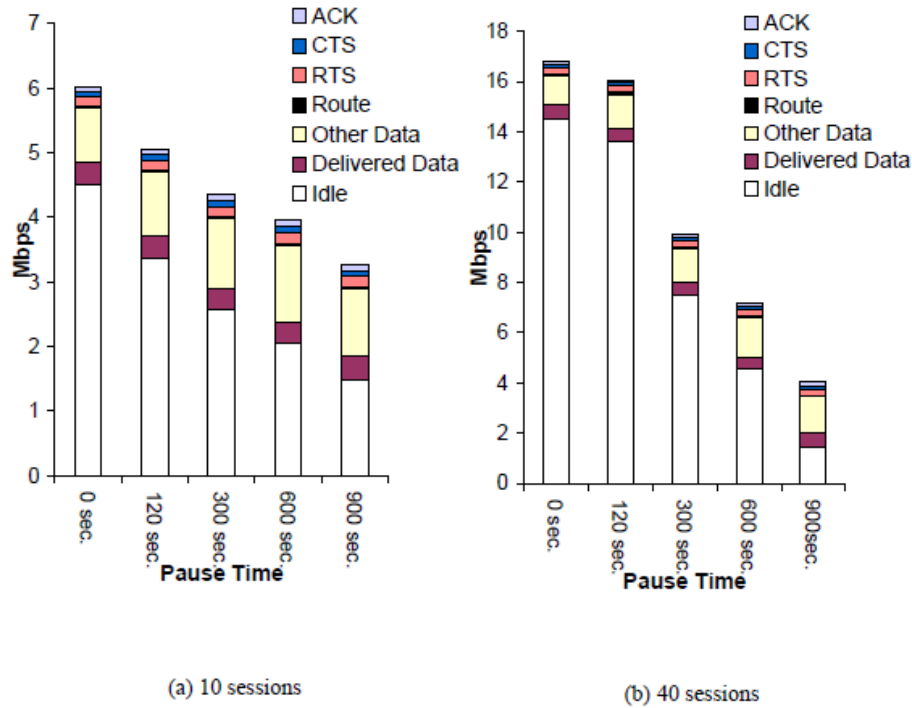
Σχήμα 8: Οι κόμβοι θα έπρεπε να είναι στις γωνίες για να υπολογίσουμε την μέγιστη πιθανή χωρητικότητα

Σε αυτό το τμήμα, αναλύεται πόση χωρητικότητα χρησιμοποιείται από τα πρωτόκολλα υπό διαφορετικά σενάρια κίνησης και κινητικότητας. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε στατιστικά προσομοίωσης. Οι κόμβοι καταναλώνουν το εύρος ζώνης του δικτύου μεταδίδοντας διαφόρων τύπων πακέτα (δεδομένων, δρομολόγησης και ελέγχου όπως RTS, CTS και ACK). Σημειώνεται επίσης ότι μία διαδρομή k αλμάτων μίας r bps συνεδρίας καταναλώνει kr bps εύρους ζώνης, καθώς το εύρος ζώνης καταναλώνεται σε κάθε άλμα. Για να απεικονισθεί καλύτερα το ποσό της κατανάλωσης του εύρους ζώνης σε δίκτυα με πολλά άλματα, χρησιμοποιούμε δύο συνιστώσες:

Μετάδοση του πακέτου δεδομένων στο τελευταίο του άλμα (Delivered Data)

Όλες οι άλλες μεταδόσεις πακέτων δεδομένων που περιλαμβάνουν μεταδόσεις σε προηγούμενα βήματα (Other Data).





Σχήμα 9: Κατανομή της χωρητικότητας δικτύου με μεταβαλλόμενη κινητικότητα

Η τελευταία περιλαμβάνει και όλες τις μεταδόσεις των οποίων τα πακέτα δεν έφτασαν ποτέ στον αποδέκτη. Το εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται στην κατηγορία Delivered Data προσδιορίζει αποτελεσματικά το throughput των εφαρμογών.

Το τμήμα της χωρητικότητας που δε χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων ονομάζεται αδρανής (idle) ή αχρησιμοποίητη (unused) χωρητικότητα. Η αδρανής χωρητικότητα αιτιολογεί τις αδρανείς περιόδους στο δίκτυο λόγω της έλλειψης πακέτων ή λόγω των περιόδων οπισθοχώρησης (backoff periods) του MAC.

Η συνολική αξιοποίηση του δικτύου (η ποσότητα του εύρους ζώνης που χρησιμοποιείται από διάφορους τύπους μετάδοσης) δεν επηρεάζεται με την αλλαγή της κινητικότητας. Ωστόσο, η χωρητικότητα του δικτύου αυξάνεται με κινητικότητα μεγαλύτερου βαθμού αυξάνοντας έτσι και την αδρανή χωρητικότητα, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 40% και 85% εξαρτώμενη από τις

συνθήκες κίνησης και κινητικότητας. Η πιο σημαντική παρατήρηση εδώ είναι ότι το σύστημα αδυνατεί να ανταποκριθεί στην αύξηση της χωρητικότητας.

Παρατηρήθηκε επίσης ότι το ποσοστό των πακέτων που δημιουργούνται από εφαρμογές CBR (constant bit rate) που παραδίδονται στον προορισμό τους δεν είναι υψηλό (60%-70% για 10 συνεδρίες και 20%-30% για 40 συνεδρίες). Αυτό δείχνει ότι η αδρανής χωρητικότητα δεν εμφανίζεται λόγω του χαμηλού ρυθμού φόρτωσης των πακέτων από τις εφαρμογές CBR. Στην πραγματικότητα, ο ρυθμός φόρτωσης που προσφέρεται είναι πολύ υψηλός ώστε να μπορέσει το δίκτυο να στείλει ένα σημαντικό αριθμό πακέτων ιδιαίτερα για τον μέγιστο αριθμό συνεδριών. Αυτή η αύξηση της αδρανής χωρητικότητας οφείλεται κυρίως στην αυξημένη λανθάνουσα κατάσταση εύρεσης διαδρομής (route discovery latency) και των συχνών αστοχιών διαδρομής (route failures). Παρά το γεγονός ότι είναι διαθέσιμη περισσότερη χωρητικότητα, το πρωτόκολλο δρομολόγησης δεν είναι ικανό να συμβαδίσει με υψηλότερη κινητικότητα και μειώνει τα πακέτα που κινούνται όταν χάνονται διαδρομές. Ωστόσο, με συχνή κινητικότητα είναι περισσότερο απίθανο να λάβουμε μήνυμα απάντησης σε μία αίτηση διαδρομής (route reply, RREP) από κάποιον ενδιάμεσο κόμβο. Αυτό αυξάνει τη λανθάνουσα κατάσταση εύρεσης διαδρομής και έτσι τα πακέτα δεδομένων χρειάζονται να αποθηκευτούν προσωρινά για μεγάλα διαστήματα στην πηγή. Αυτό αυξάνει και την αδρανή περίοδο και την πιθανότητα να χάσουμε πακέτα λόγω της υπερχείλισης των buffer.

Συμπεράσματα – Προτάσεις

Όπως φαίνεται από την παραπάνω ανάλυση η χωρητικότητα ενός δικτύου MANET αυξάνεται με την αύξηση της κινητικότητας των κόμβων [6] είτε με την αύξηση των συνεδριών [5].

Μία λύση στο πρόβλημα της χωρητικότητας θα ήταν η δημιουργία ενός πιο δυναμικού πρωτοκόλλου δρομολόγησης το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιεί αποτελεσματικά την πρόσθετη χωρητικότητα. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου πρωτοκόλλου θα μπορούσε να ήταν ένα πρωτόκολλο το οποίο έχοντας κάποια στρατηγική να «χάνει» πακέτα όταν το πρωτόκολλο βλέπει ότι υπάρχει αχρησιμοποίητο ποσό χωρητικότητας αλλά δεν μπορεί να βρει άμεσα κάποιον ελεύθερο δρόμο. [5]

Βιβλιογραφία

- [1] S. Corson and J. Macker. (1999). *Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations*. RFC 2501.
- [2] Ritu Chadha, Latha Kant. (2007). Policy-Driven Mobile Ad hoc Network Management. *Introduction* (pp. 1-24). United States: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Ritu Chadha, Latha Kant. (2007). Policy-Driven Mobile Ad hoc Network Management. *Automated end-to-end service quality assurance in manets* (pp. 284-315). United States: John Wiley & Sons, Inc.
- [4] N. Gupta and S. R. Das. (2001) *A capacity and utilization study of mobile ad hoc networks*. Proc. 26th Annual Conference on Local Computer Networks. (pp. 576–583).
- [5] Jinyang Li, Charles Blake, Douglas S. J. DeCouto, Hu Imm Lee, and Robert Morris. (2001). *Capacity of ad hoc wireless networks*. Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom). ACM Press.
- [6] M. Grossglauser and D. Tse. (2002). *Mobility increases the capacity of ad-hoc wireless networks*. IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 10, no. 4.
- [7] Christian Maihöfer, Tim Leinmüller and Reinhold Eberhardt. (2005). *Improving the Usable Capacity of Ad Hoc Networks*. Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS). (pp. 154-165). Springer Berlin Heidelberg.
- [8] P. Gupta and P. R. Kumar. (2000). *The Capacity of Wireless Networks*. IEEE Transactions on Information Theory, 46(2):388–404.
- [9] Azzedine Boukerche. (2009). Algorithms and protocols for wireless and mobile ad hoc networks. *Algorithms for mobile ad hoc networks*. (pp.1-20). United States: John Wiley & Sons, Inc.

- [10] Azzedine Boukerche. (2009). Algorithms and protocols for wireless and mobile ad hoc networks. *Transport layer protocols for mobile ad hoc networks*. (pp.251-275). United States: John Wiley & Sons, Inc.
- [11] Marco Conti. (2003). The handbook of ad hoc wireless networks. *Body, Personal, and Local Ad Hoc Wireless Networks*. (pp. 3-24). United States: CRC Press.
- [12] Boon-Chong Seet, Bu-Sung Lee, Chiew-Tong Lau. (2003). The handbook of ad hoc wireless networks. *Route discovery optimization techniques in ad hoc networks*. (pp. 301-311). United States: CRC Press.
- [13] Xiao Hannan, Chua Kee Chaing, Seah Khoon Guan Winston. (2003). The handbook of ad hoc wireless networks. *Quality of service models for ad hoc wireless networks*. (pp. 467-482). United States: CRC Press.
- [14] Toumpis, S., Toumpakaris, D. (2006). *Wireless ad hoc networks and related topologies: applications and research challenges*. (pp. 232-241) *Elektrotechnik und Informationstechnik*. doi:10.1007/s00502-006-0348-9.
- [15] Hekmat, Ramin. (2006). Ad-hoc Networks: Fundamental Properties and Network Topologies. *Capacity of Ad-hoc Networks*. (pp. 107-123). Springer.
- [16] G. S.Mamatha1 and Dr. S. C. Sharma. (2010) *ANALYZING THE MANET VARIATIONS, CHALLENGES, CAPACITY AND PROTOCOL ISSUES*. *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES)* Vol.1, No.1.
- [17] S. Corson, J. Macker. (1999). Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations. Retrieved from:
<http://www.ietf.org/rfc/rfc2501.txt>

- [18] Αρσλάνογλου Γεώργιος. (2007). ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΤΥΠΟΥ MANET (Mobile Ad-Hoc Networks) - ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών.
- [19] ΝΙΚΟΛΑΟΣ Β. ΠΟΓΚΑΣ. (2005). ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΙΔΙΚΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΒΑΣΙΣΜΕΝΩΝ ΣΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
- [20] Modeler Wireless Suite Wireless Network Simulation. Retrieved from http://www.opnet.com/solutions/network_rd/modeler_wireless.html.