

Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών στα
Πληροφοριακά Συστήματα

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

Τίτλος: «Τεχνολογίες και Πρωτόκολλα δρομολόγησης
των Κινητών Ασύρματων **Ad-hoc** Δικτύων»

Αντικείμενο Διπλωματικής

- Να προβεί σε μία το δυνατόν λεπτομερή καταγραφή των τεχνολογιών των δικτύων MANET και ανάλυση αυτών όπου κρίνεται αναγκαίο.
- Να εστιάσει στα χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που προτείνονται για χρήση στα δίκτυα MANET και να εμβαθύνει στη λειτουργία του πρωτοκόλλου δρομολόγησης AODV.
- Να πειραματιστεί σε περιβάλλον προσομοιωτή με τα πρωτόκολλα δρομολόγησης AODV, DSR μέσα από μία σειρά σεναρίων και να προβεί σε συγκριτικές παρατηρήσεις και συμπεράσματα.

Περιεχόμενα

- Δίκτυα Ad-hoc
- MANET
- Πρωτόκολλα Δρομολόγησης
 - Μετρικές Πρωτοκόλλων δρομολόγησης
 - DSR
 - AODV
- Προσομοίωση
 - Κριτική του AODV και DSR
 - Τα μοντέλα προσομοίωσης
 - Αποτελέσματα
 - Παρατηρήσεις
 - Συμπεράσματα
- Παρουσίαση Προσομοιώτων
 - OPNET
 - NS-2

Δίκτυα AD-Hoc

Δίκτυα AD-Hoc

- **Σήμερα** : Οι προσδοκίες των ασύρματων δικτύων εστιάζουν στη δημιουργία αξιόπιστων και αποδοτικών ασύρματων δικτύων με κινητούς χρήστες (κόμβους), ενσωματώνοντας τη λειτουργία της δρομολόγησης επάνω στους κινητούς κόμβους.
- οι τεχνολογίες που αναπτύσσονται για την υποστήριξη της δρομολόγησης ανάμεσα σε κινητούς κόμβους σχηματοποιούνται κάτω από την ομπρέλα του λεγόμενου **Mobile IP**

-
- **Η άλλη πλευρά - Δίκτυα AD-Hoc** : Δίκτυα που δημιουργούνται για ένα σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα, εγκαθίστανται πολύ γρήγορα, και λειτουργούν χωρίς την ανάγκη ύπαρξης κάποιας στατικής υποδομής
 - Είναι κατά κανόνα είναι ασύρματα
 - Οι χρήστες στα δίκτυα αυτού του τύπου ονομάζονται κόμβοι και θεωρούνται ότι είναι κάποιες κινητές (και / ή) φορητές συσκευές με κάποιο πομποδέκτη
 - επεκτείνουν την κινητικότητα μέσα σε αυτόνομους, ασύρματους δικτυακούς τομείς (domains), με κινητούς χρήστες όπου μια από σειρά κόμβους – πιθανότατα συνδυασμός από δρομολογητές και εξυπηρετητές - σχηματίζουν από μόνοι τους τη δικτυακή υποδομή δρομολόγησης με ένα τρόπο ad-hoc

Δίκτυα AD-Hoc

● Κατηγορίες

– Δίκτυα ad-hoc μικρής εμβέλειας

- δημιουργούνται για να εξυπηρετήσουν εξειδικευμένες ανάγκες και για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα. Μία συνεδρίαση ανθρώπων με τους φορητούς τους υπολογιστές θα μπορούσε να είναι ένα παράδειγμα
- Χαρακτηρίζονται από μικρή κινητικότητα των κόμβων, τόσο σε ταχύτητα όσο και σε κλίμακα

– MANET (Mobile ad-hoc networks)

- κινητά ad-hoc δίκτυα, που όπως και τα μικρής εμβέλειας, δικτυώνουν κινητές συσκευές με H/Y δυνατότητα.
- καλύπτουν μεγαλύτερης κλίμακας περιοχές και έτσι η μετάδοση των πακέτων από τον αποστολέα στον παραλήπτη γίνεται μέσα από πολλαπλά βήματα καθιστώντας τη δρομολόγηση απαραίτητη για τη λειτουργία του δικτύου
- **Εφαρμογές** : στρατιωτικές επιχειρήσεις, επιχειρήσεις διάσωσης σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης (σεισμοί, πυρκαγιές), έκτακτα συνέδρια, αποτελεσματική κάλυψη δημοσίων χώρων έναντι τρομοκρατικών επιθέσεων με έξυπνες συσκευές ή αισθητήρες (π.χ. Ολυμπιακών αγώνων) κ.λ.π.

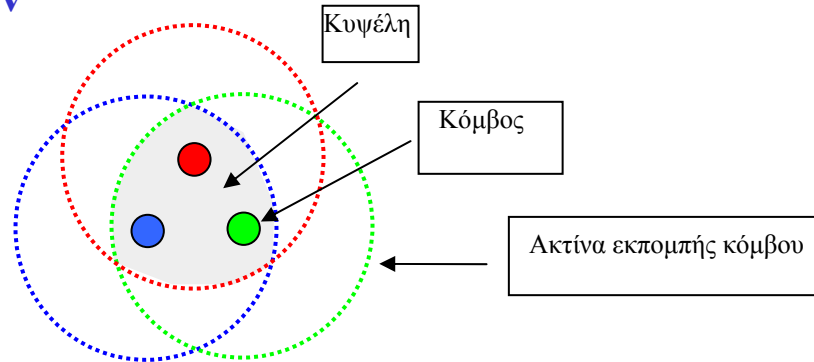
– PAN (Personal area Networks)

- *ατομικά δίκτυα* που καλύπτουν πολύ μικρή έκταση μέγιστης ακτίνας 10m
- κινούνται μαζί με το άτομο στο οποίο είναι προσαρτημένα. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων μπορούν να κυμαίνονται ανάλογα με την εφαρμογή

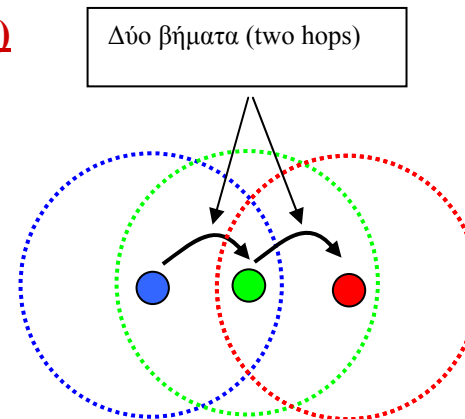
Δίκτυα AD-Hoc

● Τοπολογίες Ad-hoc δικτύων

– Στατική μονού-βήματος



– Στατική πολλαπλών βημάτων (multihop)



– Δυναμική πολλαπλών βημάτων (dynamic multihop)

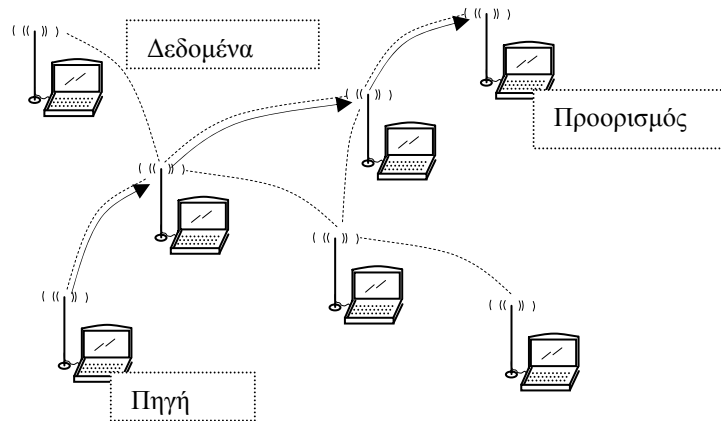
- επιτρέπει τη δυναμική κίνηση των κόμβων μέσα στο δίκτυο.
- παρατηρείται η ύπαρξη κρυφών κόμβων και εκτιθέμενων κόμβων

Δίκτυα MANET

Δίκτυα MANET (mobile ad-hoc network)

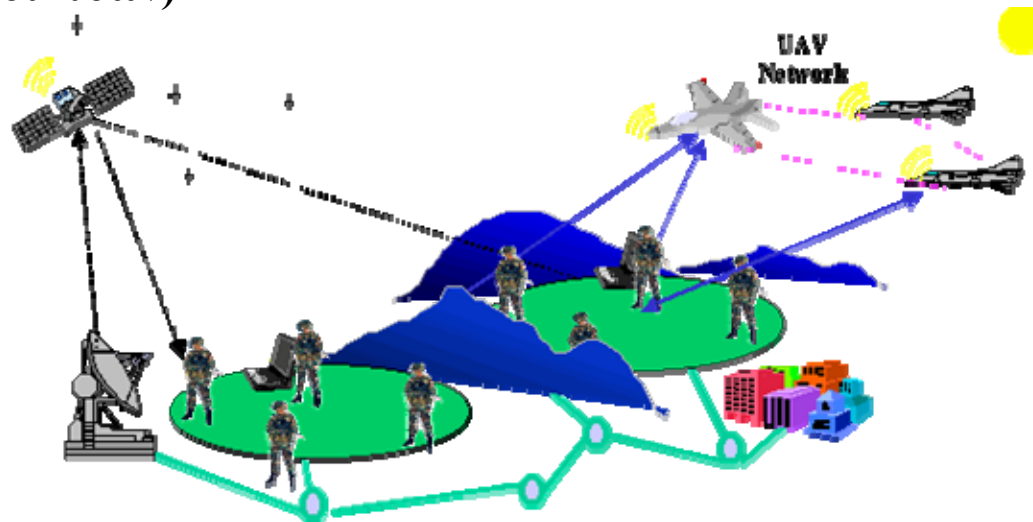
● Αποτελεί έναν τύπο Ad-hoc δικτύου

- αυτόνομο σύστημα από κινητούς κόμβους που συνδέονται μεταξύ τους μέσω ασύρματων ζεύξεων, χωρίς την μεσολάβηση κάποιου κεντρικά τοποθετημένου σημείου πρόσβασης ή εξυπηρετητή (access point ή server) και χωρίς την προϋπόθεση κάποιας άλλης υπάρχουσας στατικής υποδομής.
- οι συμμετέχοντες κόμβοι μπορούν να αλλάζουν τόπο και να κινούνται δυναμικά και επομένως η τοπολογία μεταβάλλεται δυναμικά
- Δεν υπάρχει κεντρικός έλεγχος της δρομολόγησης των πακέτων και της διαχείρισης των κόμβων του δικτύου, και έτσι κάθε κόμβος σε ένα ασύρματο ad-hoc δίκτυο λειτουργεί διπλά, ως εξυπηρετητής και ως δρομολογητής



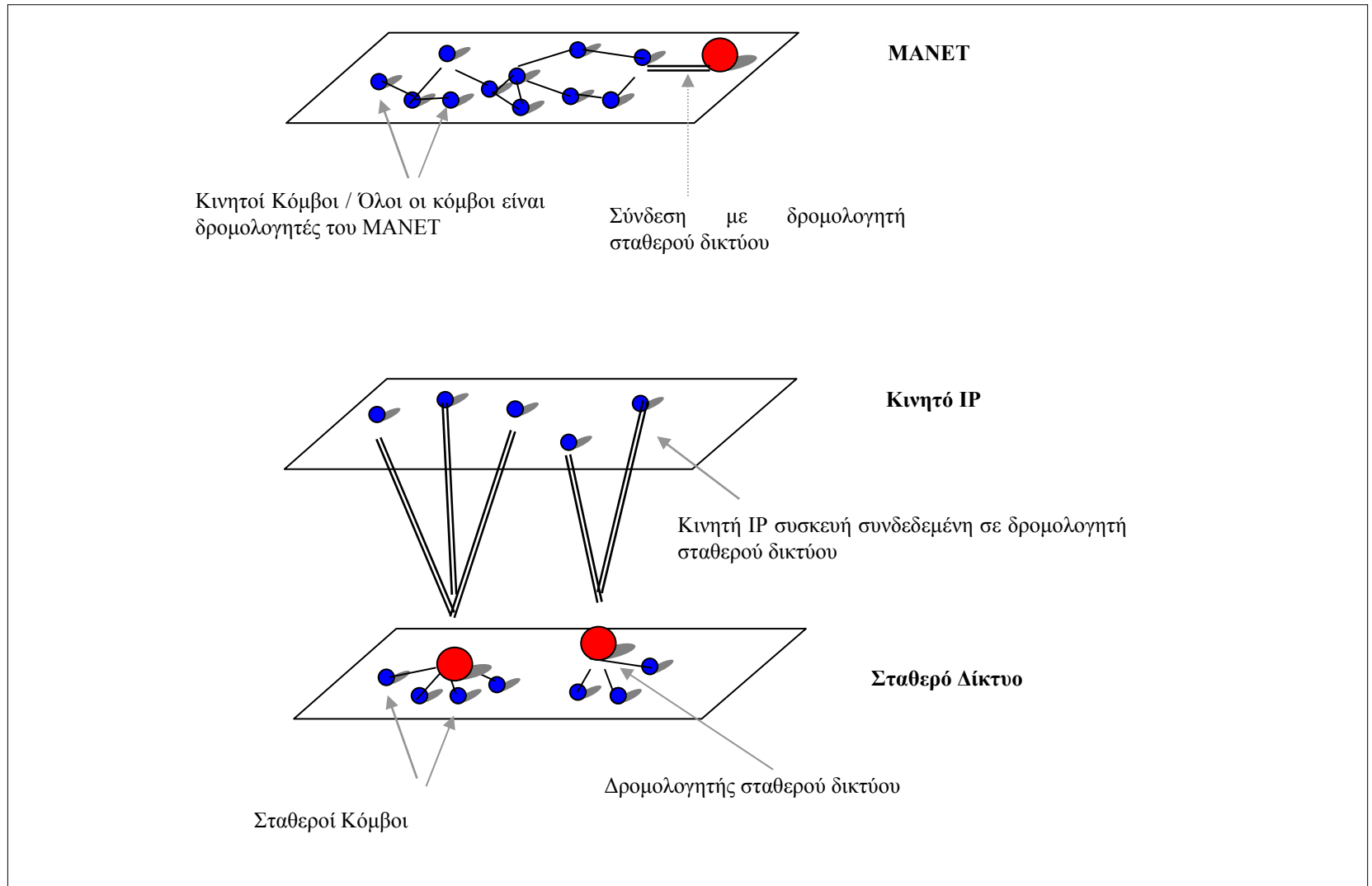
Δίκτυα MANET - Εφαρμογές

- Ο όρος που διαμορφώθηκε κατά τις πρώτες στρατιωτικές έρευνες στη δεκαετία του 70 και το 80): **Mesh** «κινήτων μη κανονιστικών δικτύων» (ο όρος αυτός που εμφανίστηκε σε ένα άρθρο του Economist σχετικά με τη δομή μελλοντικών στρατιωτικών δικτύων)



- Εφαρμογές σε βιομηχανική και εμπορική δραστηριότητα
- Εφόσον συνδυαστεί αποτελεσματικά με την μεταφορά δεδομένων μέσω δορυφορικής ζεύξης, η τεχνολογία MANET αποκτά την προοπτική να παρέχει εξαιρετικά ευέλικτους τρόπους δικτύωσης.

Σύγκριση MANET με παραδοσιακά δίκτυα



Ομάδα εργασίας IETF

- Στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του IETF (Internet Task Force), δημιουργήθηκε μία νέα ομάδα εργασίας που ονομάστηκε MANET (Mobile Ad-hoc Networking) και έχει σα σκοπό την ανεύρεση και εξέλιξη πρωτοκόλλων δρομολόγησης ειδικά προσαρμοσμένων στις ανάγκες των ad-hoc δικτύων αυτού του τύπου.
- Ο βραχυπρόθεσμος στόχος της ομάδας εργασίας είναι η προτυποποίηση ενός (ή περισσοτέρων) υπερ-δικτυακού πρωτοκόλλου δρομολόγησης και σχετιζόμενης τεχνολογίας στο επίπεδο δικτύου κατά OSI (network layer) το οποίο :
 - Θα εξασφαλίζει την απρόσκοπτη και αποτελεσματική λειτουργία σε μια ευρεία κλίμακα κινητών δικτυακών δομών (εδώ δομή εννοούμε ουσιαστικά μία ομάδα από χαρακτηριστικά που περιγράφουν το κινητό δίκτυο και το περιβάλλον του)
 - Υποστηρίζει παραδοσιακές, χωρίς-σύνδεση IP υπηρεσίες.
 - Ανταποκρίνεται με ανάλογη ταχύτητα σε αλλαγές της τοπολογίας του δικτύου και διακυμάνσεις της κίνησης, ενώ παράλληλα συντηρεί επαρκώς την δρομολόγηση της δικτυακής δομής.
- Σε μακροπρόθεσμη βάση, η ομάδα εργασίας ενδεχομένως να εντρυφήσει σε θέματα που αφορούν την παροχή εξειδικευμένων υπηρεσιών κινητικότητας. Σε αυτά τα πλαίσια θα διερευνηθεί η δυνατότητα multicasting λειτουργίας. {Ref[7],

Γιατί χρειάζεται εξειδικευμένη δρομολόγηση ;

- Στα παραδοσιακά ενσύρματα δίκτυα μεταγωγής πακέτων χρησιμοποιούν δύο βασικούς αλγόριθμους δρομολόγησης: τον αλγόριθμο **link-state** και τον **distance vector**. Και οι δύο βασίζονται στην αρχή εύρεσης του συντομότερου δρόμου (shortest path).
- **παραδείγματα:** link-state - η υλοποίηση του πρωτοκόλλου OSPF, distance-vector - η υλοποίηση του πρωτοκόλλου RIP.
- Ένα τέτοιο πρωτόκολλο θα μπορούσε να λειτουργήσει επαρκώς στα δίκτυα ad-hoc ωστόσο έχει εμφανιστεί ένας αριθμός από εξειδικευμένα πρωτόκολλα.
- **Σύγκλιση:** Ο βασικότερος λόγος για αυτή την εξειδίκευση είναι ότι τα πρωτόκολλα που λειτουργούν με την αρχή του shortest-path – είτε είναι link state είτε είναι distance-vector - χρειάζονται πολύ χρόνο για να συγκλίνουν
- **Σηματοδοσία:** παρουσιάζουν ιδιαίτερη πολυπλοκότητα στη σηματοδοσία τους. Εξαιτίας του περιορισμένου εύρους μετάδοσης των ασύρματων ζεύξεων, η πολυπλοκότητα της σηματοδοσίας (που ουσιαστικά αποτελεί *λειτουργικό κόστος*) πρέπει να διατηρηθεί όσο το δυνατό πιο απλή.
- Επίσης οι δυναμικές αλλαγές της τοπολογίας κάνουν αναγκαία την **γρήγορη ανεύρεση δρόμου** ακόμη και εάν ο δρόμος δεν είναι ο βέλτιστος.

Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Γενική Αναφορά

Αναφορά στην παραδοσιακή δρομολόγηση Πρωτόκολλα **Link State**

- Κάθε κόμβος διατηρεί μια συνολική εικόνα της τοπολογίας του δικτύου συμπεριλαμβάνοντας το κόστος για όλες τις εξερχόμενες συνδέσεις.
- Για να διατηρήσει την εικόνα αυτή ενημερωμένη χρησιμοποιεί την μέθοδο flooding
- Καθώς ένας κόμβος λαμβάνει αυτή την πληροφορία, ενημερώνει την τοπολογία που έχει αποθηκευμένη και εφαρμόζει έναν αλγόριθμο εύρεσης του συντομότερου δρόμου προκειμένου να επιλέξει το επόμενο βήμα προς κάποιο κόμβο
- Είναι δυνατόν αυτή η ασύγχρονη ενημέρωση των τοπολογιών να οδηγήσει σε κάποια πρόσκαιρα loops, που όμως εξαλείφονται καθώς η πληροφορία εξαπλώνεται σε όλο το δίκτυο.

Δρομολόγηση στα δίκτυα Ad-hoc

- table driven ή **proactive** (σε ελεύθερη μετάφραση: προ-δραστικά).
- *source-initiated* ή *on-demand-driven* (μετά από απαίτηση) ή **reactive** (σε ελεύθερη μετάφραση ανα-δραστικά ή αυτορυθμιζόμενα)
- υπάρχει και μία τρίτη προσέγγιση, κατά κάποιο τρόπο «υβριδική» αφού χρησιμοποιεί τεχνικές είτε από τη μία είτε από την άλλη στρατηγική.

Δρομολόγηση Ad-hoc - Proactive

- κάθε κόμβος διαθέτει καταγεγραμμένο το κόστος για κάθε σύνδεση προς κάποιον άλλο κόμβο (outgoing links).
- Ανά σταθερά χρονικά διαστήματα οι ανανεωμένες τιμές ελαχίστης απόστασης προς κάθε κόμβο στο δίκτυο(κόστος σύνδεσης), εκπέμπονται σε όλους τους γειτονικούς κόμβους (flooding), οι οποίοι με τη σειρά τους ενημερώνουν τους πίνακες δρομολόγησης που διαθέτουν

-
-
- εάν ένας κόμβος δεν έχει κάποιο ήδη κάποιο διαθέσιμο δρόμο στον πίνακα δρομολόγησης τη στιγμή που φτάνει ένα πακέτο σε αυτόν, δεν επιχειρεί να βρει δρόμο αλλά περιμένει την επόμενη ανανέωση του πίνακά του όταν ενδεχομένως να έχει βρεθεί άλλος έγκυρος δρόμος
 - Το πλεονέκτημα είναι ότι ένα πακέτο μπορεί να προωθηθεί άμεσα εάν υπάρχει έγκυρη καταχώρηση στον πίνακα δρομολόγησης για τον προορισμό του πακέτου
 - Ωστόσο, υπάρχει μια λεπτή ισορροπία που καθορίζεται από το κατά πόσο η περίοδος ανάμεσα σε επιτυχή μηνύματα ενημέρωσης των πινάκων δρομολόγησης είναι αρκετά μεγάλη συγκρινόμενη με το πόσο συχνά συμβαίνουν αλλαγές στην τοπολογία. Σε μία τέτοια περίπτωση το πρωτόκολλο δεν συγκλίνει εύκολα.
 - δεν υπάρχει ο μηχανισμός όπου ένας κόμβος θα ζητήσει άμεσα από το δίκτυο ένα συγκεκριμένο δρόμο

Δρομολόγηση Ad-hoc - Reactive

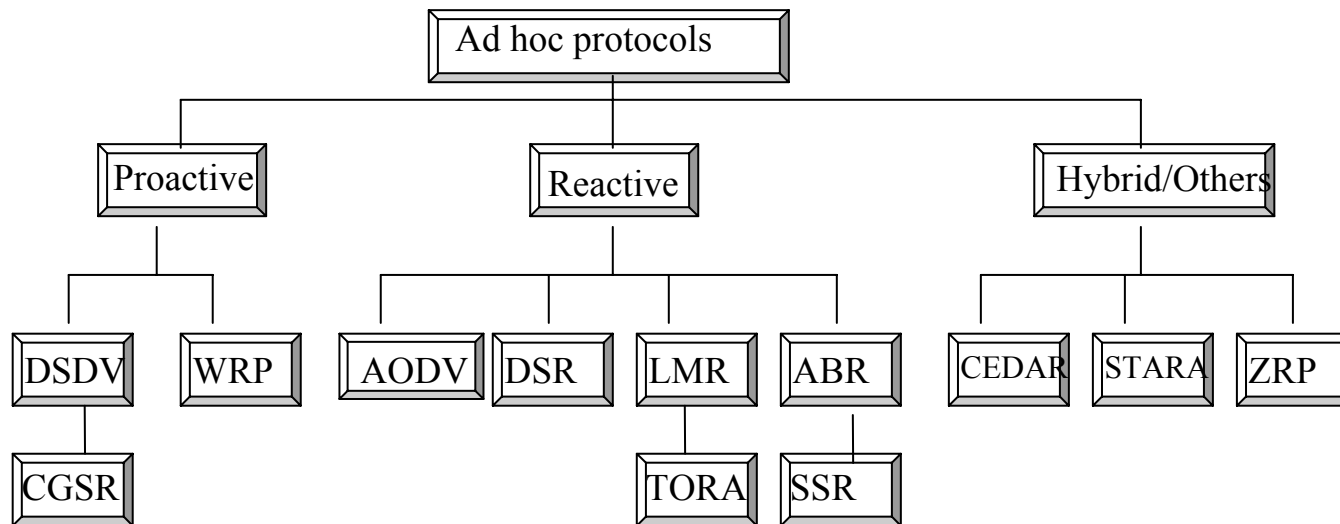
- Ζήτηση για την ανεύρεση ενός δρόμου πραγματοποιείται όταν αυτό χρειάζεται, και είναι ο αποστολέας που ξεκινά την ζήτηση δρόμου (route request - έτσι εξηγείται και ο όρος source-initiated on-demand.)
- Η πηγή εκπέμπει ένα μήνυμα «ζήτησης δρόμου» στους γειτονικούς κόμβους ζητώντας δρόμο προς ένα συγκεκριμένο προορισμό

-
- διακρίνεται από υψηλή συνδετικότητα σε ένα δυναμικό περιβάλλον
 - Καθώς η κινητικότητα των κόμβων αυξάνεται, τόσο θα αυξάνονται οι αλλαγές στις συνδέσεις, καθώς και το ποσοστό του λειτουργικού κόστους δρομολόγησης (overhead).

Δρομολόγηση Ad-hoc – Υβριδικά Πρωτόκολλα

- Υπάρχουν κάποια πρωτόκολλα που συνδυάζουν τις δύο προηγούμενες στρατηγικές. Αυτά τα πρωτόκολλα χωρίζουν το δίκτυο σε ζώνες (clusters) και εφαρμόζουν προδραστική τακτική μέσα στην κάθε ζώνη, ενώ χρησιμοποιούν την αναδραστική μέθοδο για τη δρομολόγηση ανάμεσα σε ζώνες
- Η υβριδική μέθοδος ενδείκνυται για μεγάλα δίκτυα όπου η ομαδοποίηση και η κατάτμηση του δικτύου συμβαίνουν ούτως η άλλως.

Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Ad-hoc



Κατηγοριοποίηση των πρωτοκόλλων Ad hoc σε proactive, reactive και hybrid

Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Μετρικές

Επιθυμητές Ιδιότητες Πρωτοκόλλων δρομολόγησης

Ο γενικός στόχος κατά τη σχεδίαση και δημιουργία ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης συνοψίζεται στα παρακάτω σημεία:

- Να μπορεί να κλιμακωθεί η απόδοση ανάλογα με την αύξηση του μεγέθους ενός δικτύου
- Να ανταποκρίνεται γρήγορα στις αλλαγές της τοπολογίας
- Να παρέχει loop-free δρόμους
- Να ελαχιστοποιεί την καθυστέρηση
- Να παρέχει πολλαπλούς δρόμους για την αποφυγή συμφόρησης

Ιδιότητες Πρωτοκόλλων δρομολόγησης Adhoc

- **Απόδοση:** Το κλειδί στην μεταγωγή πακέτων σε ένα δίκτυο ad-hoc είναι η λέξη απόδοση.
 - Η δυναμική με την οποία μεταβάλλεται η τοπολογία του δικτύου απαιτεί ώστε οι πίνακες δρομολόγησης να ενημερώνονται συχνά
 - το μικρό εύρος μετάδοσης μέσω των ασύρματων συνδέσεων επιβάλλει την ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους
 - Η περίοδος σύγκλισης του πρωτοκόλλου είναι απαραίτητο να είναι ελαχιστοποιημένη ακόμη και αν αυτό σημαίνει ότι η δρομολόγηση θα πραγματοποιείται από μη βέλτιστους δρόμους.
 - Η κατανάλωση ενέργειας λόγω τροφοδοσίας ενός κόμβου (που συνήθως είναι συσσωρευτής) είναι ένα επιπλέον θέμα που πρέπει να λαμβάνει υπόψη του ένα πρωτόκολλο

Ιδιότητες Πρωτοκόλλων δρομολόγησης Adhoc

● Ποιοτικά χαρακτηριστικά :

- Η λειτουργία του πρωτοκόλλου θα πρέπει να είναι κατανεμημένη (δηλαδή όλοι να αναλαμβάνουν να κάνουν δρομολόγηση) και όχι συγκεντρωμένη, κι αυτό γιατί ένα συγκεντρωτικό πρωτόκολλο είναι ευάλωτο στο συνωστισμό.
- Το πρωτόκολλο πρέπει να εξασφαλίζει δρόμους που δεν οδηγούν σε επαναλαμβανόμενους βρόχους.
- Προσαρμοστικότητα: Είναι σημαντικό να μπορεί να προσαρμόζεται στην τοπολογία και την τυπολογία της κίνησης του δικτύου, και φυσικά αυτή η προσαρμοστικότητα θα πρέπει να γίνεται με όσο το δυνατό μικρότερο λειτουργικό κόστος (overhead).
- όταν σχεδιάζουμε έναν αλγόριθμο δρομολόγησης δεν πρέπει να υποθέτουμε ότι όλες οι συνδέσεις μέσα στο δίκτυο είναι αμφίδρομες.

Ιδιότητες Πρωτοκόλλων δρομολόγησης Adhoc

● Ποσοτικά χαρακτηριστικά :

- Το πραγματικό εύρος μετάδοσης
- η καθυστέρηση από άκρο –σε -άκρο
- Για ορισμένα πρωτόκολλα που υποστηρίζουν τον εντοπισμό δρόμου μετά από απαίτηση (acquire route on demand), ο χρόνος που απαιτείται για τον εντοπισμό του δρόμου ή όπως διαφορετικά λέγεται η καθυστέρηση εξεύρεσης δρόμου
- ο λόγος των πακέτων δρομολόγησης προς τα πακέτα δεδομένων που παραδίδονται στον προορισμό τους

Μετρικές Πρωτοκόλλων δρομολόγησης Adhoc

- **Λόγος μετάδοσης πακέτων** : είναι ο λόγος των πακέτων που πραγματικά έχουν παραληφθεί από τον παραλήπτη προς τα πακέτα που έχουν αποσταλεί από το επίπεδο της εφαρμογής. Είναι επιθυμητό ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης να διατηρεί αυτό το λόγο κοντά στη μονάδα
- Ένας επιπλέον λόγος που καθιστά τη μετρική αυτή σημαντική είναι το γεγονός ότι αναδεικνύεται ο ρυθμός απώλειας πακέτων που «βλέπει» το επίπεδο μεταφοράς και επίσης χαρακτηρίζει την πληρότητα του πρωτοκόλλου δρομολόγησης.

Μετρικές Πρωτοκόλλων δρομολόγησης Adhoc

- **Λειτουργικό κόστος κατά τη δρομολόγηση (Routing Overhead)** : δείχνει απλά πόσο από το χρησιμοποιούμενο εύρος μετάδοσης καταναλώνεται για την αποστολή και λήψη μηνυμάτων δρομολόγησης (CTRL)
- Το λειτουργικό κόστος είναι μεγαλύτερο στα προ-δραστικά πρωτόκολλα αφού ανά τακτά χρονικά διαστήματα το δίκτυο γεμίζει με μηνύματα ενημέρωσης.
- Όσο η κινητικότητα στο δίκτυο αυξάνεται, το λειτουργικό κόστος θα μεγαλώνει και για τα ανα-δραστικά πρωτόκολλα αφού θα πρέπει να στέλνουν μηνύματα δρομολόγησης αρκετά συχνά.
- Θα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί και καχύποπτοι γιατί σε μερικές περιπτώσεις η μετρική αυτή είναι δυνατόν να δημιουργήσει λανθασμένες εντυπώσεις (π.χ. Πρωτοκολλο DSR)

Μετρικές Πρωτοκόλλων δρομολόγησης Adhoc

- **Καθυστέρηση από άκρη-σε-άκρη (End-to-end delay):** είναι η συνολική καθυστέρηση που παρατηρείται κατά τη μετάδοση ενός πακέτου μέσα στο δίκτυο.
- περιλαμβάνει την αναμονή στις ουρές πακέτων, αναμονή κατά τη διαδικασία της προώθησης, την καθυστέρηση λόγω της διάδοσης μέσα από το φυσικό μέσο (ο χρόνος που χρειάζεται ένα πακέτο για να ταξιδέψει μέσα στο φυσικό μέσο), το χρόνο που χρειάζεται για να γίνει επανάληψη της μετάδοσης εάν ένα πακέτο χαθεί κ.λ.π.
- Μια παράμετρος που είναι ιδιαίτερα κρίσιμη είναι ο χρόνος που ένα πακέτο διατηρείται μέσα στον buffer πριν αποφασισθεί η απόρριψή του λόγω μη εξεύρεσης δρόμου για να προωθηθεί: αν λήγει σε υψηλή τιμή (μετά από αρκετό χρόνο) έμμεσα θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντικές καθυστερήσεις.

Μετρικές Πρωτοκόλλων δρομολόγησης Adhoc

- **Πραγματική απόδοση από άκρη-σε-άκρη (End-to-end throughput)** είναι η πραγματική απόδοση ενός πρωτοκόλλου υπό την έννοια της ταχύτητας μεταφοράς των «καθαρών» δεδομένων χωρίς overhead.
- **Βέλτιστο διαδρομής:** Παραδοσιακά αυτή η μέτρηση συγκρίνει το μήκος του βέλτιστου δρόμου ανάμεσα σε δύο κόμβους –που γενικά ορίζεται ως η συντομότερη διαδρομή ανάμεσα στους δύο κόμβους για μία δεδομένη χρονική στιγμή– με το μήκος της διαδρομής που πραγματικά ακολούθησε ένα πακέτο κατά την αποστολή του από τον ένα κόμβο στον άλλο. Η απλή σύγκριση με τη συντομότερη διαδρομή δε διευθετεί ουσιαστικά προβλήματα όπως ο συνωστισμός στο δίκτυο, οι ουρές αναμονής, ή τις συνδέσεις με μεγάλη καθυστέρηση.

Δοκιμή ενός πρωτοκόλλου

● Μοντέλα κίνησης

- **Τυχαία κίνηση στο χώρο.** Η τυχειότητα αφορά την ταχύτητα και την κατεύθυνση με την οποία κινούνται οι κόμβοι μέσα σε ένα δισδιάστατο χώρο
- **Το μοντέλο της Συνεδρίασης (Conference):** Το μοντέλο αυτό ομοιάζει με την κίνηση ενός ομιλητή στην αίθουσα κάποιας συνεδρίασης
- **Το εκθεσιακό μοντέλο (event coverage):** παρατηρείται σχηματισμός δύο ή περισσότερων ομάδων κόμβων που ενώ η επικοινωνία μέσα στην κάθε ομάδα είναι εφικτή, η ομάδες μεταξύ τους δεν επικοινωνούν.
- **Το μοντέλο εκτάκτου ανάγκης (Disaster area):** μοντελοποιεί τις καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης που είναι δυνατόν να εμφανιστούν σε καταστροφικούς σεισμούς, πλημμύρες τρομοκρατικές ενέργειες, πολέμους κ.λ.π.

Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Ad-hoc

DSR

Το (Reactive) Πρωτόκολλο DSR

- Το πρωτόκολλο βασίζεται στην δρομολόγηση με βάσει τους υπάρχοντες πίνακες στην πηγή (source routing) κάτι που επιτρέπει στους ενδιαμέσους κόμβους να προωθούν ένα πακέτο χωρίς απαραίτητα να διαθέτουν κάποια πρόσφατη καταχώρηση για το ζητούμενο δρόμο στη μνήμη τους
- Ωστόσο, επειδή κάθε πακέτο εμπεριέχει ολόκληρο το δρόμο τον οποίο ακολουθεί, αυτό προσθέτει επιπλέον λειτουργικό κόστος
- Έαν κάποια σύνδεση έχει διακοπεί τότε ο A θα λάβει ένα μήνυμα λάθους. Σε αυτή την περίπτωση ο A ψάχνει τη μνήμη του για εναλλακτικούς δρόμους. Αν δε βρεθεί εναλλακτικός δρόμος, τότε εκπέμπει στους γείτονές του μήνυμα αναζήτησης δρόμου προς το B. Κάθε γείτονας κόμβος καταχωρεί τη διεύθυνσή του μέσα στο μήνυμα αναζήτησης και το προωθεί με ένα ελεγχόμενο τρόπο στον γείτονά του. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το μήνυμα να φτάσει στον κόμβο B. Τότε ο B αποστέλλει απάντηση στον A μέσω του ανάστροφου δρόμου που εντωμεταξύ έχει σταδιακά σχηματιστεί μέσα στο αρχικό μήνυμα αναζήτησης. Είναι επίσης πιθανό να σχηματιστούν ασύμμετροι δρόμοι εάν ο B εκπέμψει με τη σειρά του μήνυμα αναζήτησης δρόμου προς τον A, ενσωματώνοντας τον ήδη καταγεγραμμένο δρόμο μέσα στο νέο μήνυμα αναζήτησης (Η τεχνική αυτή λέγεται και piggy-backing).

Πρωτόκολλο DSR

- Ο αλγόριθμος μπορεί να λειτουργήσει περισσότερο αποδοτικά εάν κάθε ενδιάμεσος κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα αναζήτησης δρόμου (από τον A), ψάχνει στη μνήμη του για δρόμο προς το B, και αν βρει καταχώρηση τότε να την προσθέσει μαζί με το δρόμο που ήδη έχει καταγραφεί στο μήνυμα (όπως περιγράφηκε παραπάνω) και να αποστείλει απάντηση στον A. Έτσι η ανεύρεση δρόμου γίνεται γρηγορότερα και το λειτουργικό κόστος μειώνεται σημαντικά.
- Ο αλγόριθμος DSR παρέχει περιορισμένη υποστήριξη στη λειτουργία του multi-casting. Με το να κάνει piggy-backing για κάθε αναζήτηση δρόμου που αφορά multicast διεύθυνση (και όχι έναν μόνο κόμβο), διαδίδει στο δίκτυο και σε όλους τους ενδιαφερόμενους κόμβους του multicast group μεγάλη ποσότητα δεδομένων. Αυτό το σχήμα δεν φαίνεται να λειτουργεί καλά όσο κλιμακώνεται ένα δίκτυο και δεν διασφαλίζει την ποιότητα υπηρεσιών που υποχρεούται να καλύψει ένα τυπικό πρωτόκολλο δρομολόγησης multicasting.

Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Ad-Hoc

AODV

Πρωτόκολλο δρομολόγησης AODV - Γενικά

- Ο αλγόριθμος AODV επιτρέπει τη δυναμική, αυτόματης εκκίνησης, πολλαπλών βημάτων δρομολόγηση ανάμεσα σε ασύρματους κινητούς κόμβους που επιθυμούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους στα πλαίσια ενός Ad-hoc δικτύου.
- Συγκλίνει αρκετά γρήγορα
- Όταν μια σύνδεση διακοπεί η ομάδα των κόμβων που επηρεάζεται ενημερώνεται άμεσα προκειμένου να διαγράψουν τους δρόμους που χρησιμοποιούν αυτή τη σύνδεση.
- **loop-free** Χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι η χρήση σειριακής αρίθμησης όλων των καταχωρημένων δρόμων προς έναν προορισμό. Ο εκάστοτε κόμβος επιλέγει πάντα τον δρόμο με τον μεγαλύτερο αριθμό ταξινόμησης (**sequence number**).

Πρωτόκολλο δρομολόγησης AODV

- **Μοντέλα επικοινωνίας:** συνηθισμένες μεταβλητές εισόδου που μπορούν να μεταβάλουν το μοντέλο επικοινωνίας είναι :
 - ο ρυθμός μετάδοσης,
 - το μέγεθος του πακέτου,
 - ο τύπος της κίνησης (CBR,FTP κ.λ.π)
 - το πλήθος των κόμβων.

Πρωτόκολλο δρομολόγησης AODV - Μηνύματα

Τα μηνύματα που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος AODV είναι τα εξής :

- **RREQ** (Route Requests) , εκδήλωση ενδιαφέροντος για την ανεύρεση κάποιου δρόμου
- **RREP** (Route Replies), απάντηση στο RREQ
- **RERR** (Route Error), μήνυμα που αφορά κάποιο σφάλμα.

Τα μηνύματα αυτά στέλνονται στο port 654, τα χειρίζεται το UDP και εφαρμόζεται η συνηθισμένη επεξεργασία του IP-header

Για μηνύματα που εκπέμπονται ευρέως-broadcasting, χρησιμοποιείται η τυποποιημένη διεύθυνση 255.255.255.255

AODV – Επίβλεψη συνδέσεων

- Για κάθε δρόμο που έχουν καταχωρημένο στους πίνακες δρομολόγησης, οι κόμβοι, επιβλέπουν τη κατάσταση των συνδέσεων που είναι δηλωμένες ως τα επόμενα hops.
- Αυτή η παρακολούθηση μπορεί να γίνει αξιοποιώντας κάποιους μηχανισμούς του επιπέδου 2 (link layer) ή του επιπέδου 3 (network).
 - Κάθε κατάλληλη σηματοδότηση από το επίπεδο του link IEEE 802.11, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποφασιστεί η κατάσταση των συνδέσεων. Για παράδειγμα η απουσία ACK ή αποτυχημένη λήψη του CTS μετά από αίτηση RTS είναι δείγμα ότι η σύνδεση προς κάποιο κόμβο δεν είναι εφικτή.
 - Μία ακόμη τεχνική είναι να «ακούσει» παθητικά την προσπάθεια του επόμενου κόμβου να προωθήσει ένα πακέτο.

AODV – Καταγραφή Δρόμων και λίστας προδρόμων

- Για κάθε ισχύοντα δρόμο που συντηρεί ένας κόμβος ως εγγραφή (με πεπερασμένη τιμή για την απόσταση – hop count) ο κόμβος διατηρεί επιπλέον μια λίστα από πρόδρομους κόμβους, οι οποίοι ενδεχομένως προωθούν πακέτα σε αυτό τον δρόμο.
- Στην περίπτωση που ανιχνευθεί απώλεια σύνδεσης προς κάποιον κόμβο επόμενου βήματος(next hop), και με βάση αυτή την εναλλακτική λίστα, οι πρόδρομοι κόμβοι θα λάβουν ειδοποίηση από τον κόμβο.

AODV – Επιδιόρθωση και Επανεκκίνηση

- Εάν μία σύνδεση ενός ενεργού δρόμου πέσει, ο κόμβος ίσως θελήσει να περιμένει τη διόρθωση της διακοπής. Το πρωτόκολλο AODV δίνει αυτή τη δυνατότητα εφόσον η σύνδεση δεν είναι μεγαλύτερη από μία προκαθορισμένη απόσταση ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου. Η παράμετρος που καθορίζει αυτή την απόσταση είναι η MAX_REPAIR_TTL.
- Είναι επίσης πιθανό κάποιος κόμβος να κάνει επανεκκίνηση (reset). Εάν κάποιος κόμβος του ζητήσει σε αυτό το διάστημα να δραστηριοποιηθεί απαντά με RERR ώστε να γίνει σαφές σε όλους ότι έχει κάνει επανεκκίνηση. Μετά το πέρας της περιόδου ακολουθεί μια διαδικασία επανένταξης του κόμβου στο δίκτυο.

.

AODV – Μηνύματα HELLO

- Κάθε κόμβος μπορεί να στείλει τοπικά μηνύματα ελέγχου για να επιβεβαιώσει τις συνδέσεις με τους γύρω κόμβους
- Κάθε HELLO_INTERVAL χιλιοστά του δευτερολέπτου ελέγχει εάν κατά το διάστημα αυτό έχει πραγματοποιήσει κάποιου είδους εκπομπή (π.χ. RREQ ή κάποιο μήνυμα στο data link layer). Εάν δεν έχει σταλεί, μπορεί εφόσον το επιθυμεί να στείλει ένα μήνυμα RREP με TTL=1 στους γύρω κόμβους. Το μήνυμα αυτό λέγεται HELLO και έχει συγκεκριμένες τιμές στα πεδία προκειμένου να καταλάβουν οι παραλήπτες ότι αποτελεί μήνυμα HELLO.

Προσομοίωση

Το μοντέλο

- Το μοντέλο προσομοίωσης βασίστηκε στον προσομοιωτή GLOMOsim του πανεπιστημίου UCLA.
- Ο προσομοιωτής διαθέτει modules που υλοποιούν το πρωτόκολλο του AODV και DSR στα οποία εφαρμόστηκαν μία σειρά σεναρίων και έγινε σύγκριση της απόδοσής τους.
- Το μοντέλο συμπληρώνεται με την επιλογή του IEEE 802.11 ως φυσικού μέσου το οποίο χρησιμοποιεί μηνύματα RTS και CTS προκειμένου να αντιμετωπίσει το πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου
- Η βασική ιδέα είναι να δοκιμαστούν τα πρωτόκολλα σε μια σταδιακή κλιμάκωση τού πλήθους των κόμβων που δραστηριοποιούνται σε μία περιοχή. Όπως αναφέρεται και σε άλλες εργασίες {ref[4]}, δεν είναι ξεκαθαρισμένο ποιο είναι το μέγεθος που προσομοιώνει μια πραγματική κατάσταση αλλά μία κλιμάκωση μέχρι μερικές δεκάδες κόμβους θα συμπληρώσει τις μέχρι τώρα συγκριτικές δοκιμές.

Το μοντέλο

- Το εύρος μετάδοσης έχει ονομαστική τιμή 2 Mbits/sec και η εμβέλεια εκπομπής λήψης ορίζεται στα 250 μέτρα.
- Η περιοχή έχει διαστάσεις 1200x1200 μέτρα.
- Η παράμετρος που μεταβάλλεται είναι το πλήθος των κόμβων που απαρτίζουν το δίκτυο.
- Η διάρκεια της προσομοίωσης είναι 3600 δευτερόλεπτα. Να σημειωθεί ότι αρχικά οι προσομοιώσεις είχαν γίνει με 1200 sec που όπως αποδείχτηκε δεν ήταν αρκετός χρόνος για να σταθεροποιηθούν οι μετρήσεις.

Το μοντέλο

- Το μοντέλο κίνησης περιλαμβάνει πηγές δεδομένων τύπου CBR (continuous bit-rate).
- Τα πακέτα είναι μεγέθους 512 bytes και αποστέλλονται σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- Το ποσοστό των κόμβων που παράγουν κίνηση μέσα το δίκτυο είναι περίπου 40%-50%.
- Το μοντέλλο κινητικότητας παρουσιάζει τυχειότητα στην κατεύθυνση κίνησης των κόμβων.
- Η ταχύτητα με την οποία κινούνται οι κόμβοι κυμαίνεται ανάμεσα σε 0 – 20 m/sec.
- Η αναμονή κάθε κόμβου σε κάποια σταθερή θέση είναι 100 sec. Υπάρχει ωστόσο ένα σενάριο με μεταβαλλόμενο χρόνο αναμονής και σταθερό αριθμό κόμβων.

Σενάρια

- Η πρώτη τοπολογία αφορά στο σχηματισμό –αρχικά– ενός δακτυλίου. Πρόκειται για μία τοπολογία **στατική πολλαπλού βήματος** που εξελίσσεται στο χώρο και το χρόνο σε τυχαία τοπολογία. Ο αριθμός των κόμβων μεταβάλλεται από 10 – 100 κόμβους, οπότε και τα σενάρια είναι 10 στο σύνολο.
- Η δεύτερη κατανομή είναι μία τυχαία κατανομή στο χώρο, και ο αριθμός των κόμβων μεταβάλλεται από 20- 100 με ένα βήμα 20 κόμβων, οπότε τα σενάρια είναι 5 στο σύνολο.
- Τέλος γίνονται δύο επιπλέον προσομοιώσεις με σταθερό αριθμό κόμβων 20 και 100 αντίστοιχα, όπου μεταβάλλεται ο χρόνος αναμονής σε σταθερή θέση από 100 sec έως 500 sec με βήμα 100.

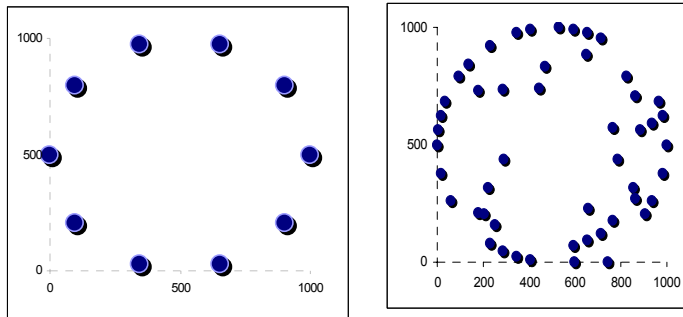
Μετρικές αξιολόγησης

Οι μετρικές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκριτική αξιολόγηση των πρωτοκόλλων AODV, DSR βασίζονται στις υποδείξεις της ομάδας εργασίας MANET :

- **Λόγος Μετάδοσης πακέτων δεδομένων (received / transmitted)**
- **Πραγματικό εύρος μεταφοράς δεδομένων (throughput)**
- **Μέση Καθυστέρηση από άκρο σε άκρο**

Σενάριο 1: Συγκριτική δοκιμή AODV – DSR σε αρχική τοπολογία δακτυλίου με τυχαία κινητικότητα

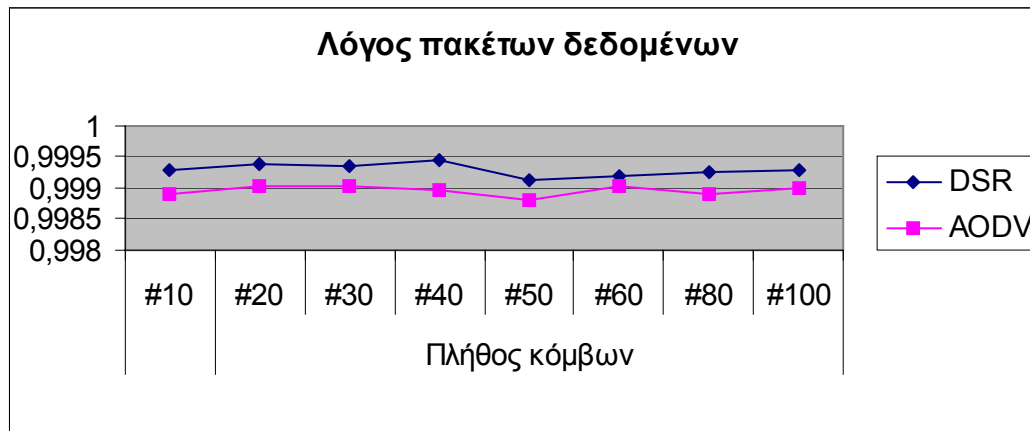
- Δοκιμή σε ένα ρεαλιστικό -κατά το δυνατόν- σενάριο όπου οι κόμβοι του δικτύου σχηματίζουν αρχικά τοπολογία δακτυλίου.



- Η προσομοίωση με αρχική τοπολογία δακτυλίου πραγματοποιήθηκε κλιμακούμενα για 10 – 100 κόμβους, σε γεωγραφική περιοχή σταθερού μεγέθους 1200X1200 μέτρα

Σενάριο 1 - Μετρήσεις

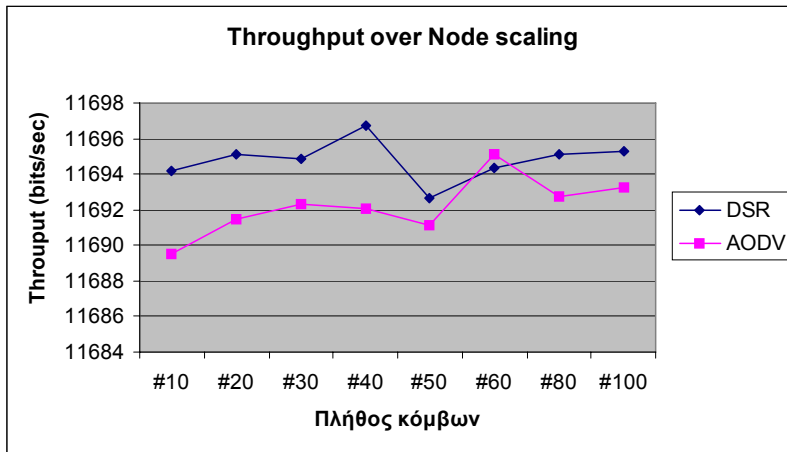
Λόγος Μετάδοσης πακέτων δεδομένων (received / transmitted)



Είναι φανερό πως και τα δύο πακέτα συμπεριφέρονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και δεν παρουσιάζουν πρόβλημα σύγκλισης όσο το πλήθος των κόμβων αυξάνεται.

Σενάριο 1 - Μετρήσεις

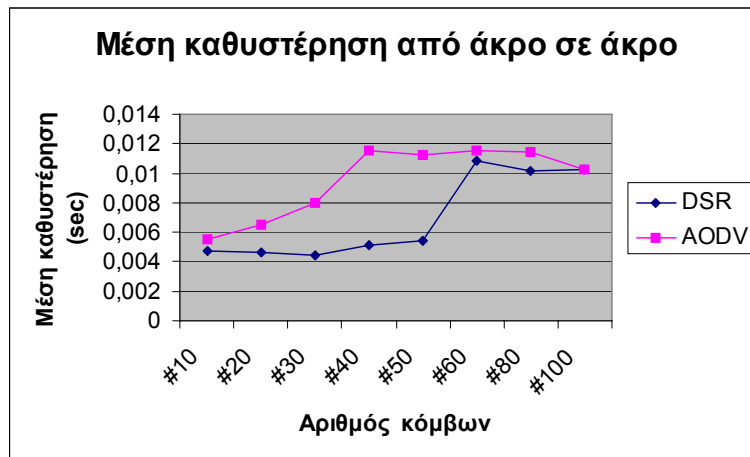
Πραγματικό εύρος μεταφοράς δεδομένων (throughput)



Το AODV γίνεται πιο αποδοτικό όσο αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων αλλά χωρίς να ξεπερνά σημαντικά την απόδοση του DSR

Σενάριο 1 - Μετρήσεις

Καθυστέρηση από άκρο σε άκρο



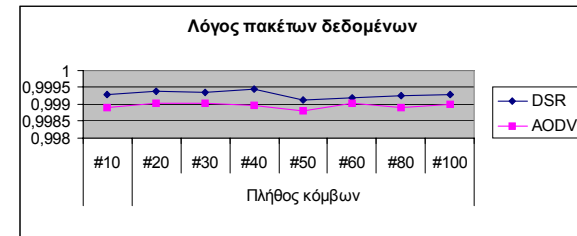
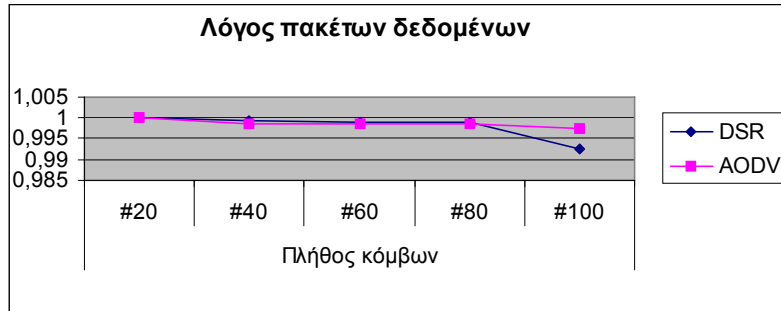
- η μετρική αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλό επίπεδο QoS κατά τη μεταφορά των δεδομένων
- η καθυστέρηση του DSR είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή του AODV. Σε ορισμένες περιπτώσεις το AODV παρουσιάζει διπλάσια καθυστέρηση.
- Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι το DSR υπερέχει σε μία συγκριτική δοκιμή έναντι του AODV και αποτελεί καλύτερη επιλογή όταν επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε το δίκτυό μας για εφαρμογές CBR με υψηλές απαιτήσεις QoS.

Σενάριο 2: Συγκριτική δοκιμή AODV, DSR με τυχαία τοπολογία

- Στην προσομοίωση που ακολουθεί το ενδιαφέρον εστιάζεται στη λήψη μετρήσεων για σταδιακά κλιμακούμενο αριθμό κόμβων σε μία σταθερή γεωγραφική περιοχή με δεδομένα τύπου CBR .
- Η προσομοίωση έγινε με τυχαία αρχική τοπολογία και πραγματοποιήθηκε κλιμακούμενα για 20,40,60,80,100 σε γεωγραφική περιοχή σταθερού μεγέθους 1200X1200 μέτρα

Σενάριο 2 - Μετρήσεις

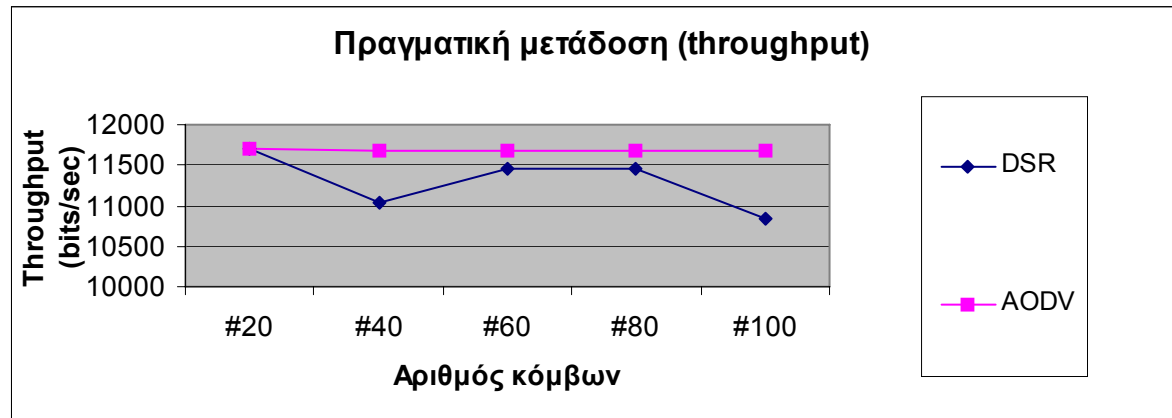
Λόγος Μετάδοσης πακέτων δεδομένων (received / transmitted)



Είναι φανερό πως και τα δύο πακέτα συμπεριφέρονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο . Οι διαφορές ανάμεσα στις τιμές των δύο πρωτοκόλλων κυμαίνονται από 0,04%-0,5%.

Σενάριο 2 - Μετρήσεις

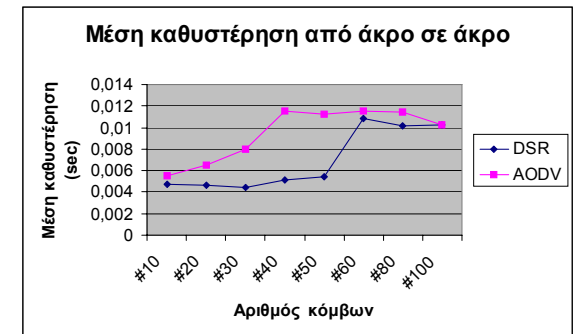
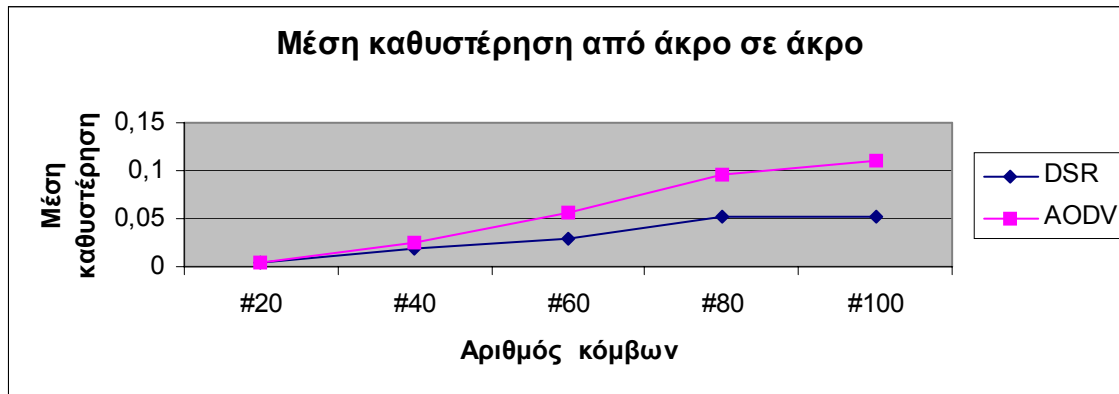
Πραγματικό εύρος μεταφοράς δεδομένων (throughput)



- Το πραγματικό εύρος των δύο πρωτοκόλλων φαίνεται να είναι παρόμοιο με διαφορές που κυμαίνονται από 0% έως 7%.
- Για τις περιπτώσεις που το DSR παρουσιάζει μια μικρή βύθιση στην καμπύλη, είναι ένα φαινόμενο που έχει παρατηρηθεί και σε άλλες προσομοιώσεις και οφείλεται στο DSR γεγονός ότι το DSR χρησιμοποιεί τη μέθοδο του piggy-backing.

Σενάριο 2 - Μετρήσεις

Καθυστέρηση από άκρο σε άκρο



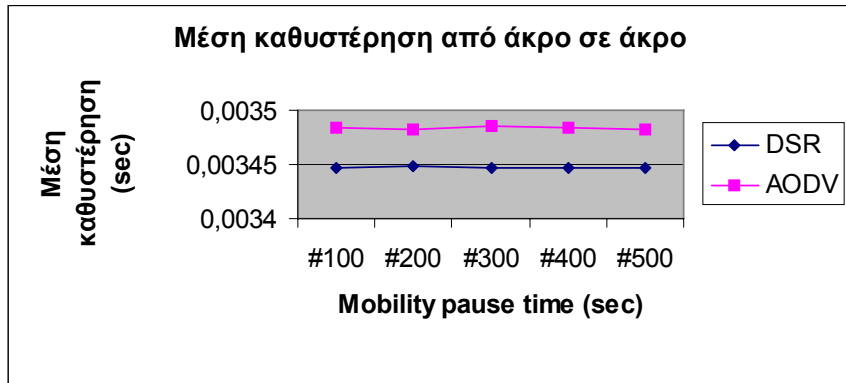
- η καθυστέρηση του DSR είναι πάλι μικρότερη από αυτή του AODV. Σε ορισμένες περιπτώσεις το AODV παρουσιάζει 50% μεγαλύτερη καθυστέρηση.
- Συσχετίζοντας τις τιμές της καθυστέρησης με το πραγματικό εύρος μετάδοσης θα μπορούσαμε να πούμε ότι το πρωτόκολλο DSR έχοντας μικρότερη καθυστέρηση από άκρο σε άκρο είναι προτιμότερο για τη μεταφορά δεδομένων CBR.

Σενάριο 3: Συγκριτική δοκιμή με μεταβαλλόμενη κινητικότητα

- Είναι γνωστό ότι η επίδραση της κινητικότητας των κόμβων στην απόδοση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.
- Στην προσομοίωση που ακολουθεί το ενδιαφέρον εστιάζεται στη μέτρηση της καθυστέρησης για σταθερό αριθμό κόμβων, τυχαία κατανεμημένων σε μία σταθερή γεωγραφική περιοχή, με κίνηση τύπου CBR, όπου όμως η κινητικότητα μειώνεται (αύξηση του χρόνου αναμονής σε μία σταθερή θέση από 100 sec μέχρι 500 sec)
- Η τοποθέτηση των κόμβων στη γεωγραφική αυτή έκταση έγινε με τυχαίο τρόπο και ο αριθμός των κόμβων που χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες προσομοιώσεις είναι 20 και 100 , επομένως υπάρχουν 2 διαφορετικά σενάρια.

Σενάριο 3 - Μετρήσεις

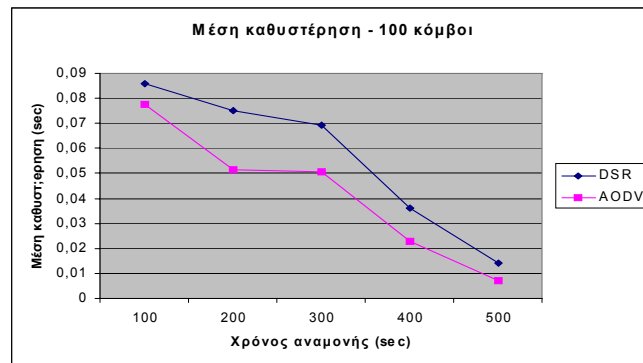
Καθυστέρηση από άκρο σε άκρο για 20 κόμβους



● Έχοντας μεταβάλλει την παράμετρο της κινητικότητας που αφορά στο χρόνο αναμονής κάθε κόμβου, οδηγούμαστε στο γράφημα της εικόνας. Όπως είναι φανερό και δύο πρωτόκολλα διατηρούν σταθερή την τιμή της καθυστέρησης και επίσης οι διαφορές μεταξύ τους είναι της τάξεως του 1% που θεωρείται αρκετά μικρή. Η σταθερότητα είναι αναμενόμενη γιατί το δίκτυο είναι αρκετά μικρό και δεν έχει υψηλή κίνηση. .

Σενάριο 3 - Μετρήσεις

Καθυστέρηση από άκρο σε άκρο για 100 κόμβους



diff 10% 32% 27% 36% 50%

● όσο περισσότερο περιμένουν οι κόμβοι σε μία σταθερή θέση, τόσο περισσότερο μειώνεται η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο. Ο βασικότερος λόγος είναι ότι το δίκτυο αποκτά μια σχετικά σταθερή τοπολογία και οι αλλαγές στους πίνακες δρομολόγησης είναι αισθητά λιγότερες, οπότε το πρωτόκολλο δεν ταλαιπωρείται με αλλεπάλληλες ενημερώσεις, και οι κόμβοι βρίσκουν ταχύτερα δρόμους προς τον προορισμό

Συμπεράσματα Προσομοίωσης – Λόγος μετάδοσης

- Και τα δύο πρωτόκολλα είναι αξιόπιστα σε ότι αφορά το **λόγο μετάδοσης πακέτων** δεδομένων, και συγκρίνοντας τις τιμές με άλλα προ-δραστικά πρωτόκολλα όπως το DSDV (από άλλες εργασίες ref[4]), φαίνεται ότι απορρίπτουν περισσότερα πακέτα. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο ρυθμό απόρριψης κατά τη διάρκεια της ανεύρεσης δρόμου, καθώς ο χρόνος για την προσθήκη ενός νέου δρόμου μεγαλώνει ανάλογα με την απόσταση προς έναν προορισμό.
- Ωστόσο το AODV έχει παρουσιάσει μία σημαντική βελτίωση στον τομέα αυτό καθώς η έκδοση που δοκιμάσαμε διαθέτει το μηχανισμό με τη λίστα προδρόμων που λειτουργεί σαν δεξαμενή με εναλλακτικούς δρόμους αντισταθμίζοντας σημαντικά το μειονέκτημα σε αυτό τον τομέα.

Συμπεράσματα Προσομοίωσης – Λόγος μετάδοσης

- Η χρήση buffering κατά τη διάρκεια ανεύρεσης ενός νέου δρόμου πιστεύεται ότι θα βελτίωνε τα πρωτόκολλα ακόμη περισσότερο. Ωστόσο αυτό δεν αξιολογήθηκε στην παρούσα εργασία.
- Η μεταξύ τους σύγκριση αναφορικά με το λόγο μετάδοσης των πακέτων δίνει ένα μικρό προβάδισμα στο DSR. Ο AODV έχει μεγαλύτερο ρυθμό απόρριψης πακέτων γιατί οι δρόμοι έχουν μια συγκεκριμένη διάρκεια ισχύος και έτσι όταν ένα δρόμος κριθεί εκπρόθεσμος, επιχειρείται η ανεύρεση ενός νέου. Ωστόσο αυτό σημαίνει προσδίδει καλύτερη ποιότητα δρόμων γενικότερα.

Συμπεράσματα Προσομοίωσης – Λόγος μετάδοσης

- Αντίστοιχα η χρήση του DSR να χρησιμοποιεί **caching** το βοηθά περισσότερο σε καταστάσεις χαμηλής κινητικότητας, αφού ο χρόνος ζωής κάθε δρόμου είναι αρκετά μεγαλύτερος από το χρόνο στον οποίο το AODV τους θεωρεί ως λήξαντες.
- Η γενική εντύπωση είναι ότι για την συγκεκριμένου τύπου κίνηση (CBR) και το δεδομένο φόρτο δικτύου (40%-50% κόμβων παράγουν κίνηση), το πρωτόκολλο DSR είναι ελαφρώς πιο αξιόπιστο από το AODV.
- Κανένα από τα δύο πρωτόκολλα δεν παρουσίασε προβλήματα σύγκλισης.

Συμπεράσματα Προσομοίωσης – Μέση Καθυστέρηση

- Για τα σενάρια όπου η κλιμακούμενη παράμετρος είναι το πλήθος των κόμβων, όπως ήταν αναμενόμενο η καθυστέρηση παρουσιάζει μια σταδιακή αύξηση που οφείλεται στην αύξηση της απόστασης των δρόμων.
- Η υπεροχή του DSR είναι και ουσιαστική στα συγκεκριμένα σενάρια καθώς το βασικό συμπέρασμα είναι ότι μπορεί να ανταπεξέλθει καλύτερα σε συγκεκριμένου τύπου κίνηση (CBR 40%-50%) και κινητικότητας όπου οι απαιτήσεις για QoS είναι αυξημένες.
- Μια γενική παρατήρηση είναι ότι συγκριτικά με εργασίες που αφορούν άλλα πρωτόκολλα όπως το DSDV, η καθυστέρηση του DSR και AODV στην προσομοίωσή μας υστερεί καθώς τα ανα-δραστικά πρωτόκολλα πρακτικά δεν χρησιμοποιούν το συντομότερο δρόμο καθώς με την κίνηση των κόμβων οι δρόμοι παύουν κάποια στιγμή να είναι οι συντομότεροι.
- Ωστόσο πιστεύεται ότι αν το AODV χρησιμοποιήσει κάποια συνάρτηση της κινητικότητας των κόμβων για τον υπολογισμό του χρόνου λήξης ενός δρόμου τα πράγματα μπορούν να βελτιωθούν σημαντικά.

Συμπεράσματα Προσομοίωσης – Μέση Καθυστέρηση

● Στο σενάριο όπου είχαμε **σταθερό αριθμό κόμβων** και μεταβλητό το χρόνο αναμονής σε σταθερή θέση (στην κίνηση των κόμβων), επιβεβαιώσαμε το γεγονός ότι η καθυστέρηση επηρεάζεται άμεσα. Αυτό δεν φάνηκε τόσο στο δίκτυο των 20 κόμβων όπου οι αποστάσεις ήταν σχετικά μικρές, όσο στο δίκτυο των 100 κόμβων όπου πλέον η απόσταση σε σχέση με την κινητικότητα επηρέασε σημαντικά τις τιμές της καθυστέρησης.

Συμπεράσματα Προσομοίωσης - Throughput

- Σε ότι αφορά το λειτουργικό κόστος τα πρωτόκολλα έδειξαν παρόμοια σταθερότητα με το DSR να συμπεριφέρεται καλύτερα όταν το δίκτυο είναι σχετικά μικρό.
- Είναι γεγονός όμως πως το AODV επιβεβαίωσε αυτό που περιμέναμε: ότι δηλαδή έχει πιο ελαφριά πακέτα ελέγχου και άρα μικρότερο λειτουργικό κόστος ιδιαίτερα όταν το δίκτυο γίνεται πυκνό.

Παρατηρήσεις

- Ο χώρος των Ad-hoc δικτύων είναι πολλά υποσχόμενος και ενδεχομένως να βρει έδαφος σε ευρύτερες εμπορικές εφαρμογές.
- Υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη συνεργασία των πρωτοκόλλων δρομολόγησης με τα κατώτερα επίπεδα, όπως είναι το IEEE802.11 προκειμένου να πληροφορηθούν έγκαιρα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για την κατάσταση των συνδέσεων.
- Το θέμα της παροχής QoS προς τα ανώτερα επίπεδα (εφαρμογών) προσφέρεται για πειραματισμούς καθώς η μεταφορά video και φωνής θεωρούνται δεδομένα σε ένα δίκτυο.
- Η χρησιμοποίηση μεθόδων πρόβλεψης της κίνησης των κόμβων, είναι επίσης ένας χώρος που προσφέρεται για έρευνα κι αυτό γιατί η κίνηση τελικά δεν είναι και τόσο τυχαία αν σκεφτούμε ότι πολλοί κόμβοι είναι εποχούμενοι και κινούνται επάνω σε κάποιο οδικό δίκτυο. Η υλοποίηση κάποιων μοντέλλων κίνησης αλλά και η ανάλογη σχεδίαση των ίδιων των πρωτοκόλλων είναι ένα θέμα προς διερεύνηση.

Παρατηρήσεις

- Θα θέλαμε να έχουμε στη διάθεσή μας έναν πιο εύχρηστο και φιλικό προσομοιωτή για να δοθεί η δυνατότητα για περισσότερα σενάρια με περισσότερα πρωτόκολλα.
- Πιστεύεται ότι μεγαλύτερης κλίμακας προσομοίωση θα έδειχνε πιο ώριμα αποτελέσματα. Αυτό ωστόσο απαιτεί ισχυρότερα υπολογιστικά συστήματα και κατανεμημένη προσομοίωση. Ένας προτεινόμενος προσομοιωτής είναι ο NS-2
- Από τις μέχρι τώρα εργασίες έχουμε διαπιστώσει μια πληθώρα παρόμοιων συγκρίσεων που συχνά αντικρούουν η μία την άλλη. Ο χώρος του emulation είναι ένα βήμα που φέρνει τα πρωτόκολλα πιο κοντά στην πραγματικότητα και μπορεί να δώσει ασφαλή συμπεράσματα για την απόδοσή τους.

Άλλοι προσομοιωτές

● Network Simulator 2 (NS-2)

- Διανέμεται δωρεάν και είναι ίσως ο πιο διαδεδομένος ακαδημαϊκός προσομοιωτής. Καλύπτει κυρίως την έρευνα που αφορά στα TCP, routing και multicast πρωτόκολλα πάνω από ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα (τοπικά και δορυφορικά) δίκτυα.
- συνοδεύεται από μία σειρά **test suites**
- <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>

● OPNET:

- Εμπορικό πακέτο προσομοίωσης δικτύων και συνακόλουθα είναι προσαρμοσμένο στις ανάγκες της αγοράς. Απευθύνεται σε providers, κατασκευαστές και κυβερνητικά δίκτυα και ο αντικειμενικός σκοπός είναι να βοηθήσει στη σχεδίαση, πιστοποίηση και troubleshooting των δικτύων. Είναι ένα λογισμικό που «βγαίνει» στην αγορά με την υπόσχεση να μειώσει στο μισό το χρόνο εύρεσης κάποιου σφάλματος στη σχεδίαση ενός δικτύου.
- <http://www.opnet.com/>

Ευχαριστώ για την υπομονή σας