

# Δημιουργία Αντιγράφων σε Δ AD-HOC

Ιωάννα Ζέλιου

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΕΙΔΙΚ

— ◆ —

Ιωάννινα, Ιούλιος 2006



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE  
UNIVERSITY OF IOANNINA



ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΝΤΙΓΡΑΦΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ AD-HOC.

Η  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Υποβάλλεται στην

ορισθείσα από την Γενική Συνέλευση Ειδικής Σύθεσης  
του Τμήματος Πληροφορικής  
Εξεταστική Επιτροπή

από την

Ιωάννα Ζέλιου

ως μέρος των Υποχρεώσεων

για τη λήψη

του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ  
ΜΕ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ιούλιος 2006





Αρ. ετε.:.....1831.....200..7π

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟ



## ΑΦΙΕΡΩΣΗ

---

Στους Γονείς μου.

Στον Γιώργο.



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Θα ήθελα, πρώτα, να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου, κ. Βασίλειο Δημακόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, για την πολύτιμη καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον κ. Βαγγέλη Γεώργιο για τις πολύτιμες συμβουλές του και την αμέριστη συμπαράστασή του. Ευχαριστίες απευθύνω, στον κ. Κωνσταντίνο Στεφανίδη, στον κ. Ιωάννη Ντοβώνη και στον κ. Δημήτρη Κράββαρη για τις σημαντικές και επικοδομητικές παρατηρήσεις. Τέλος, ευχαριστώ θερμά τον κ. Γεώργιο Τσατσαρώνη για τις φιλολογικές επισημάνσεις επί της συγγραφής του κειμένου.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

	Σελ
ΑΦΙΕΡΩΣΗ	ii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iv
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	vi
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	vii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ix
EXTENDED ABSTRACT IN ENGLISH	x
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Γενικά	1
1.2. MANETs και Replication.	2
1.3. Στόχοι.	4
1.4. Δομή της Διατριβής.	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ MOBILE -AD-HOC ΔΙΚΤΥΩΝ	6
2.1. Μια Σύντομη Επισκόπηση των Ασύρματων Δικτύων.	6
2.2. Mobile Ad-Hoc Networks.	9
2.2.1. Ορισμός .	9
2.2.2. Χαρακτηριστικά.	10
2.2.3. Τοπολογία του Δικτύου.	12
2.2.4. Εφαρμογές Mobile Ad-Hoc Networks.	13
2.2.5. Μοντέλα Κίνησης Κόμβων σε ένα Mobile Ad-Hoc Network.	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΙΓΡΑΦΩΝ	19
3.1. Το Πρόβλημα.	19
3.2. Δημιουργία και Διασπορά Αντιγράφων (Replication).	20
3.3. Replication στα Mobile Ad-Hoc Networks.	21
3.4. Ανασκόπηση Μεθόδων.	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ	26
4.1. Η Μέθοδος Skip Copy.	26
4.1.1. Παραδοχές της μεθόδου.	27
4.1.2. Διασπορά Αντιγράφων.	28
4.1.3. Αναζήτηση δεδομένων.	29
4.1.4. Απάντηση σε Ερωτήσεις.	30
4.1.5. Relocation Αντιγράφων.	31
4.2. Η Μέθοδος Redman.	32
4.2.1. Διασπορά Αντιγράφων (Replica Distribution - RD).	33
4.2.2. Redman SID (Straight IRP Dissemination).	34
4.2.3. SID Reconstruction.	35
4.3. Η Μέθοδος DAFN.	36



4.3.1. Περιγραφή Μεθόδου DAFN.	37
4.3.2. Αναζήτηση Δεδομένων και Απάντηση σε Ερωτήσεις για Δεδομένα.	39
4.4. Η Μέθοδος Expanding Ring.	40
4.4.1. Πρόσβαση στα Δεδομένα.	41
4.4.2. Ο Μηχανισμός Replication Expanding Ring.	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ	43
5.1. Περιβάλλον Πειραμάτων.	43
5.2. Τι Μετρήθηκε.	46
5.3. Πειραματική Μελέτη της Skip Copy.	48
5.3.1. Επίδραση της Cache.	48
5.3.2. Επίδραση του Replication Range.	51
5.4. Πειραματική Μελέτη της Redman.	52
5.4.1. Επίδραση της Cache.	53
5.4.2. Επίδραση του Βαθμού Αντιγράφων.	55
5.4.3. Επίδραση του Μέγιστου Μήκους Αναζήτησης.	56
5.4.4. Επίδραση του Reconstruction.	57
5.5. Πειραματική μελέτη της DAFN.	61
5.5.1. Επίδραση του Μεγέθους της Cache.	62
5.5.2. Επίδραση του Relocation Period.	63
5.6. Πειραματική Μελέτη της Expanding Ring.	64
5.6.1. Επίδραση του Μεγέθους της Cache.	66
5.6.2. Επίδραση του Μέγιστου Βάθους Δημιουργίας Αντιγράφων.	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ	68
6.1. Περιβάλλον Πειραμάτων.	68
6.2. Σύγκριση σε Αραιό Δίκτυο.	73
6.2.1. Μικρή Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	73
6.2.2. Μικρή Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	74
6.2.3. Μεσαία Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	75
6.2.4. Μεσαία Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	77
6.2.5. Μεγάλη Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	78
6.2.6. Μεγάλη Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	79
6.3. Σύγκριση σε Πυκνό Δίκτυο.	80
6.3.1. Μικρή Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	80
6.3.2. Μικρή Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	81
6.3.3. Μεσαία Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	83
6.3.4. Μεσαία Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	84
6.3.5. Μεγάλη Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	84
6.3.6. Μεγάλη Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	85
6.4. Γενικές Διαπιστώσεις και Συμπεράσματα για την Πειραματική Σύγκριση.	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	88
7.1. Συμπεράσματα.	88
7.2. Μελλοντική Εργασία.	90
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	92
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	95
ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ	107



## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

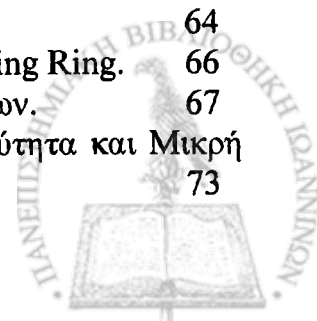
Πίνακας	Σελ
Πίνακας 5.1 Παράμετροι του Περιβάλλοντος Προσομοίωσης.	45
Πίνακας 5.2 Τιμές Παραμέτρων για τη Μέθοδο Skip Copy.	49
Πίνακας 5.3 Τιμές Παραμέτρων για τη Μέθοδο Redman.	53
Πίνακας 5.4 Τιμές των Παραμέτρων για Αραιό και Πυκνό Δίκτυο στη Μέθοδο Redman.	58
Πίνακας 5.5 Τιμές των Παραμέτρων για τη Μέθοδο DAFN.	62
Πίνακας 5.6 Τιμές Παραμέτρων για τη Μέθοδο Expanding Ring.	65
Πίνακας 6.1 Σταθερές Παράμετροι του Περιβάλλοντος Προσομοίωσης.	69
Πίνακας 6.2 Οι Πυκνότητες του Δικτύου.	70
Πίνακας 6.3 Ταχύτητες Κίνησης των Κόμβων.	70
Πίνακας 6.4 Συχνότητα Ερωτήσεων για Δεδομένα.	71
Πίνακας 6.5 Οι 12 Παραλλαγές του Περιβάλλοντος Προσομοίωσης, με Όλες τις Παραμέτρους.	71
Πίνακας Π.1 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	95
Πίνακας Π.2 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	96
Πίνακας Π.3 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεσαία ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	97
Πίνακας Π.4 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεσαία Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	98
Πίνακας Π.5 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	99
Πίνακας Π.6 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	100
Πίνακας Π.7 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μικρή ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	101
Πίνακας Π.8 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	102
Πίνακας Π.9 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεσαία ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	103
Πίνακας Π.10 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεσαία Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	104
Πίνακας Π.11 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	105
Πίνακας Π.12 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	106





## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα	Σελ
Σχήμα 2.1 (α) Ασύρματη Κάρτα Δικτύου, (β) Access Point.	7
Σχήμα 2.2 Παράδειγμα Κυψελωτού Δικτύου.	8
Σχήμα 2.3 Παράδειγμα Ασύρματου Τοπικού Δικτύου (WLAN).	9
Σχήμα 2.4 Παράδειγμα Mobile Ad-Hoc Network	10
Σχήμα 2.5 Επίπεδη Αρχιτεκτονική.	12
Σχήμα 2.6 Ιεραρχική Αρχιτεκτονική.	13
Σχήμα 2.7 Random Way Point Moving Model.	16
Σχήμα 2.8 Random Direction Moving Model.	17
Σχήμα 2.9 Random Walkers Moving Model.	18
Σχήμα 3.1 Διαχωρισμός Δικτύου και Πρόσβαση στα Δεδομένα.	19
Σχήμα 3.2 Replication και Πρόσβαση στα Δεδομένα.	22
Σχήμα 4.1 Replication και Πρόσβαση στα Δεδομένα.	29
Σχήμα 4.2 Προώθηση Μηνύματος Ερώτησης.	30
Σχήμα 4.3 Η Φάση του Relocation.	31
Σχήμα 4.4 Δημιουργία και Διασπορά Αντιγράφων με τη Μέθοδο Redman.	34
Σχήμα 4.5 Redman SID.	35
Σχήμα 4.6 Παράδειγμα της Μεθόδου SAF.	38
Σχήμα 4.7 Παράδειγμα της Μεθόδου DAFN.	39
Σχήμα 4.8 Η Μέθοδος Expanding Ring.	42
Σχήμα 5.1 Επίδραση του Μεγέθους της Cache στη Μέθοδο Skip Copy.	49
Σχήμα 5.2 Επίδραση του Replication Range.	51
Σχήμα 5.3 Επίδραση του Μεγέθους της Cache στη Μέθοδο Redman.	54
Σχήμα 5.4 Επίδραση του Βαθμού Αντιγράφων.	55
Σχήμα 5.5 Επίδραση του Μέγιστου Μήκους Αναζήτησης.	56
Σχήμα 5.6 Επίδραση του Reconstruction σε Αραιό Δίκτυο Συναρτήσεως του Βαθμού Αντιγράφων.	58
Σχήμα 5.7 Επίδραση του Reconstruction σε Αραιό Δίκτυο Συναρτήσεως του Μέγιστου Μήκους Αναζήτησης.	59
Σχήμα 5.8 Επίδραση του Reconstruction σε Πυκνό Δίκτυο Συναρτήσεως του Βαθμού Αντιγράφων.	60
Σχήμα 5.9 Επίδραση του Reconstruction σε Πυκνό Δίκτυο Συναρτήσεως του Μέγιστου Μήκους Αναζήτησης.	60
Σχήμα 5.10 Επίδραση της Cache στη Μέθοδο DAFN.	62
Σχήμα 5.11 Επίδραση του Relocation Period στη Μέθοδο DAFN.	64
Σχήμα 5.12 Επίδραση του Μεγέθους της Cache στη Μέθοδο Expanding Ring.	66
Σχήμα 5.13 Επίδραση του Μέγιστου Βάθους Δημιουργίας Αντιγράφων.	67
Σχήμα 6.1 Σύγκριση των Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα και Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	73



Σχήμα 6.2 Σύγκριση των Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα και Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	75
Σχήμα 6.3 Σύγκριση των Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεσαία Ταχύτητα και Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	76
Σχήμα 6.4 Σύγκριση των Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεσαία Ταχύτητα και Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	78
Σχήμα 6.5 Σύγκριση των Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα και Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	78
Σχήμα 6.6 Σύγκριση των Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα και Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	79
Σχήμα 6.7 Σύγκριση των Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα και Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	80
Σχήμα 6.8 Σύγκριση των Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα και Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	82
Σχήμα 6.9 Σύγκριση των Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεσαία Ταχύτητα και Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	83
Σχήμα 6.10 Σύγκριση των Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεσαία Ταχύτητα και Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	84
Σχήμα 6.11 Σύγκριση των Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα και Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.	85
Σχήμα 6.12 Σύγκριση Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο Μεγάλη Ταχύτητα και Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.	86



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Ιωάννα Ζέλιου του Νικολάου και της Κονδύλως. MSc, Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιούλιος, 2006. Δημιουργία Αντιγράφων σε Δίκτυα Ad-Hoc. Επιβλέπων: Βασίλειος Δημακόπουλος.

Στην εργασία αυτή ασχολούμαστε με τη δημιουργία αντιγράφων σε κινητά δίκτυα Ad-Hoc (Mobile Ad-Hoc Networks). Η δημιουργία και διασπορά αντιγράφων σε τέτοια δίκτυα έχει ως στόχο τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου, που εξαιτίας διαφόρων παραγόντων μπορεί να είναι χαμηλή. Αρχικά, κάνουμε μια πλήρη ανασκόπηση όλων των μεθόδων που έχουν προταθεί, για δημιουργία αντιγράφων σε τέτοια δίκτυα, στη βιβλιογραφία. Στη συνέχεια, για όλες τις μεθόδους κάνουμε αναλυτική πειραματική μελέτη σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο μελετάμε κάθε μέθοδο ξεχωριστά, ενώ στο δεύτερο συγκρίνουμε πειραματικά τις μεθόδους.

Στόχος του πρώτου σταδίου είναι η μελέτη και αξιολόγηση κάθε μεθόδου, ξεχωριστά, με σκοπό να εντοπιστούν οι παράμετροι εκείνες που επηρεάζουν την συνολική απόδοσή της. Στο δεύτερο στάδιο συγκρίνουμε όλες τις μεθόδους μεταξύ τους προκειμένου να διαπιστώσουμε τις σχετικές τους επιδόσεις. Η σύγκριση γίνεται τοποθετώντας όλες τις μεθόδους σε πανομοιότυπο περιβάλλον προσομοίωσης. Συνολικά χρησιμοποιούμε δώδεκα διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα πρακτικών περιπτώσεων.

Από τη μελέτη προκύπτει ότι η ερευνητική εργασία που έχει γίνει σχετικά με τη δημιουργία αντιγράφων σε κινητά δίκτυα Ad-Hoc είναι περιορισμένη. Οι μέθοδοι που έχουν προταθεί δεν επιλύουν δραστικά το πρόβλημα και φαίνεται καθαρά ότι η έρευνα βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο. Τέλος, από τις συγκεκριμένες μεθόδους που μελετάμε καθεμία από αυτές έχει καλή συμπεριφορά μόνο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, ενώ καμία από αυτές δεν είναι εξίσου καλή σε όλα τα περιβάλλοντα που χρησιμοποιήθηκαν για την πειραματική σύγκριση.



## **EXTENDED ABSTRACT IN ENGLISH**

Ioanna Zeliou. MSc , Computer Science Department, University of Ioannina, Greece. July, 2006. Replication in Mobile Ad-Hoc Networks. Thesis Supervisor: Vasilios Dimakopoulos.

In this thesis we study the problem of information replication in Mobile Ad-Hoc Networks. Replication in these networks improves data accessibility (which is hindered by frequent network disconnections) as well as network performance (since multiple copies lead to faster location and retrieval of data).

Our work includes an exhaustive survey of all the methods that have been proposed for the problem up to now as well as an experimental evaluation of those methods. Our experiments are based on a simulator we have developed, which is capable of simulating all proposed replication methods on a configurable MANET, under different node motion models.

Initially we experiment with each method separately. Our goal is to detect and tune the parameters, which affect the performance of each method. Then , we compare the methods to each other in order to determine their relative performance. This is done by operating the replication algorithms in identical simulation conditions. We use twelve different simulation environments, which cover a wide range of possible MANET configurations.

The conclusion of this study is that replication in mobile Ad-Hoc is an open and interesting research problem. The number of available strategies is limited and it is clear that research is still in early stage. Each of the proposed methods exhibits satisfactory performance under certain conditions, but none of them has a consistent behavior different experimental environments.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

1.1 Γενικά

1.2 MANETs και Replication

1.3 Στόχοι της Διατριβής

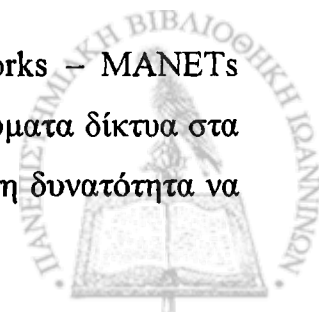
1.4 Δομή της Διατριβής

---

## 1.1. Γενικά.

Τα τελευταία χρόνια, όλο και περισσότερο, γίνεται λόγος για την ασύρματη επικοινωνία (wireless communication). Ο χώρος της ασύρματης επικοινωνίας και των προτύπων, τα οποία την καθορίζουν, βρίσκεται στο επίκεντρο του ερευνητικού ενδιαφέροντος πολλών επιστημονικών ομάδων ανά τον κόσμο. Μεγάλες εταιρείες, αλλά και πανεπιστημιακές ομάδες αναπτύσσουν ανταγωνιστικές τεχνολογίες ασύρματων δικτύων με σκοπό την κυριαρχία σε μια αγορά που αναμένεται στα επόμενα δύο χρόνια να εκτοξευτεί σε μερικά δισεκατομμύρια δολάρια. Ασύρματα δίκτυα υπάρχουν εδώ και αρκετά χρόνια από διάφορους κατασκευαστές, αλλά η ταχύτητα που προσέφεραν ήταν μικρή και δεν υπήρχε συμβατότητα μεταξύ τους. Πλέον, έχουν τυποποιηθεί νέα πρότυπα, τα οποία παρέχουν μεγαλύτερη ευκολία, όπως για παράδειγμα το Bluetooth. Τα ασύρματα δίκτυα υπόσχονται να καταργήσουν τα καλώδια, αφού επιτρέπουν σε ηλεκτρονικές συσκευές (υπολογιστές, palmtops κ.ά.) να επικοινωνούν μεταξύ τους και να ανταλλάσσουν δεδομένα χωρίς την ύπαρξη καλωδίων ή κάποιας υποδομής.

Μία κατηγορία ασύρματων δικτύων είναι και τα Mobile Ad-Hoc Networks – MANETs (Κινητά Δίκτυα Κατά Περίπτωση). Τα Mobile Ad-Hoc Networks είναι ασύρματα δίκτυα στα οποία δεν υπάρχει καμία σταθερή υποδομή. Οι κόμβοι του δικτύου έχουν τη δυνατότητα να



μετακινούνται και να αλλάζουν θέση, ενώ η επικοινωνία δύο κόμβων μπορεί να γίνεται είτε απευθείας σε ένα βήμα (one hop) ή μέσω κάποιων άλλων κόμβων του δικτύου (multi-hop). Τα τελευταία χρόνια υπάρχει ιδιαίτερη κινητικότητα και έρευνα γύρω από αυτά τα δίκτυα, καθώς γίνεται αντιληπτό ότι η επόμενη γενιά συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας θα βασίζεται σε ανεξάρτητους, ασύρματους χρήστες χωρίς καμία κεντροποιημένη υποδομή.

Για παράδειγμα, ας σκεφτούμε έναν οδηγό ταξί ο οποίος κινείται μέσα στην πόλη και επιθυμεί να μάθει σε ποιο δρόμο επικρατεί λιγότερη κυκλοφοριακή συμφόρηση, ώστε να κινηθεί μέσω αυτού και να φτάσει πιο γρήγορα στον προορισμό του. Ο οδηγός αυτός μπορεί να «στείλει» μια ερώτηση σε οδηγούς-συναδέλφους του, που βρίσκονται γύρω του και να ζητήσει ενημέρωση. Όσοι λάβουν την ερώτησή του και έχουν σχετική πληροφορία, του απαντούν. Ο οδηγός λαμβάνει τις απαντήσεις και αξιολογώντας τις μπορεί να επιλέξει μέσω ποιου δρόμου θα κινηθεί ώστε να αποφύγει την κίνηση. Οι «ερωτήσεις» και «απαντήσεις» μεταφέρονται από τον έναν οδηγό στον άλλο, είτε απευθείας, αν ο ένας βρίσκεται μέσα στην εμβέλεια του άλλου, είτε μέσω άλλων οδηγών που απλά προωθούν τις ερωταποκρίσεις.

Στο παραπάνω παράδειγμα καθένας από τους οδηγούς ταξί αποτελεί έναν ανεξάρτητο, ασύρματο χρήστη ο οποίος κινείται μέσα σε μια περιοχή. Σε κανέναν δεν υπάρχει υποδομή σταθερού δικτύου και επιπλέον δεν υπάρχει κάποιος σταθμός βάσης στον οποίο να απευθύνονται οι οδηγοί προκειμένου να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Κάθε ένας από τους ασύρματους χρήστες έχει πολλές αρμοδιότητες: ζητάει δεδομένα, δίνει δεδομένα, προωθεί δεδομένα προκειμένου να εξυπηρετήσει άλλους ασύρματους χρήστες.

## 1.2. MANETs και Replication.

Στα MANETs εξαιτίας της κίνησης των κόμβων είναι πιθανό κάποιοι να μη συνδέονται με άλλους για κάποιες χρονικές περιόδους, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η πρόσβαση σε οποιοδήποτε δεδομένο ανά πάσα στιγμή. Μπορεί να υπάρχουν, δηλαδή, κόμβοι οι οποίοι αναζητούν κάποιο δεδομένο, όμως δε μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτό επειδή ανήκουν σε συνιστώσες του δικτύου που είναι αποκομμένες. Οι κόμβοι αυτοί είναι αναγκασμένοι να περιμένουν να αλλάξει η δομή του δικτύου προκειμένου να αποκτήσουν τα δεδομένα που χρειάζονται, κάτι που μπορεί να αργήσει αρκετά να γίνει.



Εκτός από την αδιάλειπτη πρόσβαση, ένα θέμα, που δημιουργείται σε τέτοια δίκτυα, είναι και το πόσο γρήγορα μπορούν οι κόμβοι να προσπελαύνουν δεδομένα που δεν έχουν τοπικά, αλλά πρέπει να τα πάρουν από κάποιο άλλο κόμβο του δικτύου. Στην περίπτωση που ο κόμβος αυτός είναι σχετικά κοντά ο χρόνος που απαιτείται για να προσπελαστεί το ζητούμενο δεδομένο είναι μικρός. Αν, όμως, ο κόμβος απέχει αρκετά η ταχύτητα πρόσβασης θα είναι μικρή και ο απαιτούμενος χρόνος μεγάλος. Επίσης, αν για ένα συγκεκριμένο δεδομένο υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον (το ζητάνε πολλοί κόμβοι), ο κόμβος που το διαθέτει κατακλύζεται από ερωτήσεις τις οποίες εξυπηρετεί με σειρά. Αυτό μειώνει την ταχύτητα πρόσβασης ακόμη περισσότερο.

Σε κάθε κόμβο του MANET (όπως και σε άλλα δίκτυα) ελλοχεύει ο κίνδυνος να συμβεί κάποιου είδους αποτυχία. Αν συμβεί κάτι τέτοιο τα δεδομένα του δε θα είναι διαθέσιμα σε κανέναν άλλο κόμβο. Στην περίπτωση μάλιστα που ο κόμβος δεν επανέλθει τα δεδομένα χάνονται τελείως. Μια τέτοια περίπτωση πρέπει, γενικά, να αποκλείεται και να εξασφαλίζονται εναλλακτικές λύσεις.

Όλα τα παραπάνω είναι πιθανά προβλήματα που μειώνουν την απόδοση από τη χρήση ενός MANET. Βασικό μέλημα, λοιπόν, είναι η ανάπτυξη ενός μηχανισμού που επιτρέπει συνεχή, γρήγορη και μεγάλη πρόσβαση στα δεδομένα. Κατά καιρούς, τόσο στα MANETs όσο και σε άλλα δίκτυα (π.χ. P2P) έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι με τους οποίους εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή προσπέλαση δεδομένων. Ένας ενδιαφέρων και αποδοτικός τρόπος είναι η δημιουργία και η διασπορά αντιγράφων των δεδομένων σε διάφορα μέρη του δικτύου, μια διαδικασία γνωστή με τον όρο replication.

Με το replication, τα δεδομένα δημιουργούνται στους κόμβους, ως συνήθως, και ταυτόχρονα με κάποιο μηχανισμό δημιουργούνται και αντίγραφα των δεδομένων. Τα αντίγραφα τοποθετούνται σε διάφορα μέρη του δικτύου, πάλι βάσει κάποιου συγκεκριμένου μηχανισμού, και λειτουργούν ως ασπίδα απέναντι σε προβλήματα που προκύπτουν, λόγω αποτυχιών στους κόμβους ή στη συνδετικότητα του δικτύου. Επίσης, τα αντίγραφα μπορούν να μας προφυλάξουν από τη μεγάλη κατανάλωση εύρους ζώνης από συχνές ερωτήσεις.

Η μέθοδος που θα ακολουθηθεί προκειμένου να δημιουργηθούν και να διασπαρθούν τα αντίγραφα δεν είναι μοναδική. Επίσης, από τη στιγμή που θα εφαρμοστεί μια τέτοια μέθοδος



προκύπτει πληθώρα νέων ζητημάτων όπως το ποιο είναι το πλήθος των αντιγράφων, πού θα τοποθετηθούν, τι γίνεται στην περίπτωση που ένα δεδομένο τροποποιηθεί ενώ ήδη υπάρχουν αντίγραφα του, κ.ά..

### 1.3. Στόχοι.

Στο χώρο των MANETs η χρήση του Replication ως μέθοδο για τη βελτίωση του βαθμού προσπέλασης στα δεδομένα είναι ένα νέο αντικείμενο έρευνας. Λίγες μόνο ομάδες έχουν ασχοληθεί με αυτό το θέμα και έχουν προτείνει μεθόδους. Στην παρούσα εργασία ερευνώνται οι μέθοδοι Replication σε MANETs που έχουν προταθεί μέχρι τώρα. Αναλύεται και αξιολογείται η συμπεριφορά καθεμιάς από αυτές με αρχικό στόχο τον εντοπισμό των παραμέτρων από τις οποίες εξαρτώνται. Κάθε μία από αυτές τις μεθόδους έχει παραμέτρους που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη συνολική απόδοσή της. Ο ρόλος αυτός μετράται μέσα από μια σειρά πειραμάτων.

Ο επόμενος στόχος είναι η συγκριτική μελέτη των μεθόδων και η συνολική αξιολόγησή τους. Να δούμε, δηλαδή, ποιες μέθοδοι έχουν καλύτερη απόδοση και υπό ποιες συνθήκες. Από τη στιγμή που κάθε μία από τις μεθόδους έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, ενδεχομένως να είναι καλύτερη από τις άλλες μεθόδους, υπό κάποιες συνθήκες. Αντίστροφα, μπορεί η ίδια μέθοδος να συμπεριφέρεται τελείως διαφορετικά και να είναι χειρότερη από τις άλλες, κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Τέτοιου είδους ιδιαιτερότητες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και οδηγούν σε μια πλήρη εικόνα όσον αφορά την τελική κατάταξη των μεθόδων.

Πιο συγκεκριμένα, μελετώνται οι μέθοδοι Skip Copy, Redman, DAFN και Expanding Ring. Πρόκειται για τέσσερις μεθόδους Replication που έχουν προταθεί από διαφορετικές ερευνητικές ομάδες τα τελευταία χρόνια και αποτελούν και τις μόνες που έχουν γίνει μέχρι τώρα, και που είναι γνωστές από τη βιβλιογραφία. Βασικό στοιχείο κάθε μεθόδου είναι ο τρόπος με τον οποίο δημιουργούν τα αντίγραφα, αλλά και ο τρόπος με τον οποίο διαχειρίζονται το θέμα των ερωτήσεων/απαντήσεων για δεδομένα.





#### 1.4. Δομή της Διατριβής.

Η διατριβή περιέχει 7 κεφάλαια:

- Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μία σύντομη επισκόπηση των Ασύρματων Δικτύων και δίνεται περισσότερη έμφαση στην περιγραφή των δικτύων Mobile Ad-Hoc.
- Το Κεφάλαιο 3 ασχολείται με την περιγραφή του προβλήματος που πραγματεύεται η παρούσα εργασία.
- Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι που έχουν προταθεί για την επίλυση του προβλήματος.
- Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η πειραματική μελέτη που έγινε για τις τέσσερις μεθόδους ξεχωριστά, ώστε να κατανοηθεί καλύτερα η συμπεριφορά τους και η εξάρτησή τους από τις διάφορες παραμέτρους.
- Στο Κεφάλαιο 6 ακολουθεί η πειραματική συγκριτική μελέτη για όλες τις μεθόδους.
- Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 κλείνουμε με συμπεράσματα και πιθανές επεκτάσεις.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ MOBILE AD-HOC ΔΙΚΤΥΩΝ

---

2.1 Μια Σύντομη Επισκόπηση των Ασύρματων Δικτύων.

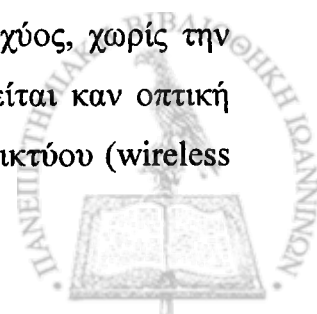
2.2 Mobile Ad-Hoc Networks.

---

### **2.1. Μια Σύντομη Επισκόπηση των Ασύρματων Δικτύων.**

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο ακούμε όρους όπως «ασύρματο δίκτυο», «wireless LANs», «cellular networks» κ.α., απόδειξη ότι η ασύρματη επικοινωνία έχει μόλις αρχίσει να αναπτύσσεται. Μεγάλες εταιρείες επενδύουν τεράστια ποσά στην ανάπτυξη τεχνολογιών και προτύπων με σκοπό την κυριαρχία σε μια αγορά που όπως φαίνεται θα αποφέρει στο άμεσο μέλλον τεράστια κέρδη. Τα νέα πρότυπα που τυποποιήθηκαν (Bluetooth, IEEE802.11 και πολλά άλλα) προσφέρουν μεγάλες ευκολίες, αλλά και αυτά που δεν έχουν ακόμη τυποποιηθεί είναι εξίσου δυνατοί αντίπαλοι στη μάχη της επικράτησης λόγω των υψηλών τους δυνατοτήτων. Αλλά και από την πλευρά των καταναλωτών τα ασύρματα δίκτυα κερδίζουν καθημερινά έδαφος στις προτιμήσεις των τεχνικών και των ιδιωτών. Αυτό οφείλεται στα πολλά πλεονεκτήματα και τα ελάχιστα μειονεκτήματα έναντι των ενσύρματων λύσεων. Με άλλα λόγια ο δρόμος προς την επικράτηση των ασύρματων δικτύων μόλις άνοιξε.

Τα ασύρματα δίκτυα είναι δίκτυα στα οποία η επικοινωνία, μεταξύ των ηλεκτρονικών συσκευών που συνδέονται σε αυτό, γίνεται μέσω ραδιοκυμάτων μικρής ισχύος, χωρίς την ύπαρξη καλωδίων. Σε όλα τα νέα πρότυπα ασύρματων δικτύων δεν απαιτείται καν οπτική επαφή. Σε κάθε ασύρματο δίκτυο υπάρχουν δύο μέρη: η ασύρματη κάρτα δικτύου (wireless



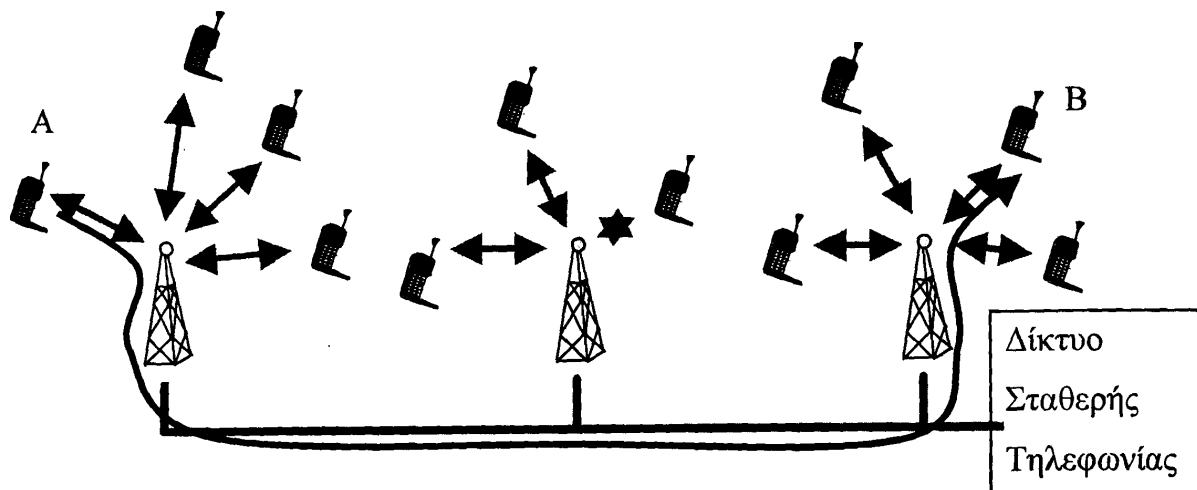
LAN adapter) (Σχήμα 2.1 (α)), η οποία επικοινωνεί είτε με άλλες συσκευές που έχουν ασύρματη κάρτα δικτύου, είτε με τον πομποδέκτη-κόμβο (Access Point) (Σχήμα 2.2 (β)), που λειτουργεί και ως γέφυρα με το ενσύρματο δίκτυο. Η κάρτα δικτύου μοιάζει με μια τυπική κάρτα δικτύου (είτε σε ISA ή PCI για σταθερούς υπολογιστές, είτε σε PC Card για φορητούς) με μια μικρή κεραία, ενώ ο πομποδέκτης έχει τις διαστάσεις ενός βιβλίου και, εκτός από την κεραία, έχει και τις κατάλληλες υποδοχές για σύνδεση με σταθερό δίκτυο.



Σχήμα 2.1 (α) Ασύρματη Κάρτα Δικτύου, (β) Access Point.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες ασύρματων δικτύων: Κυψελωτά Δίκτυα (cellular networks), Δορυφορικά Δίκτυα, Ασύρματα τοπικά Δίκτυα, Ad-Hoc Δίκτυα. Στα Κυψελωτά Δίκτυα οι περιοχές χωρίζονται σε κυψέλες και κάθε κυψέλη εξυπηρετείται από τον δικό της σταθμό βάσης, που αποτελείται από κεραία, πομπό, δέκτη. Τα κινητά τερματικά ανταλλάσσουν δεδομένα αποκλειστικά με τους σταθμούς βάσης, χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους και οι αρμοδιότητες που έχουν είναι περιορισμένες. Στο Σχήμα 2.2 φαίνεται ένα παράδειγμα ενός τέτοιου ασύρματου δικτύου, που στην ουσία, ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Όπως βλέπουμε, προκειμένου να επικοινωνήσουν δύο χρήστες Α και Β, πρέπει να επικοινωνήσουν με τους σταθμούς βάσης μέσω των οποίων θα έρθουν σε επαφή.





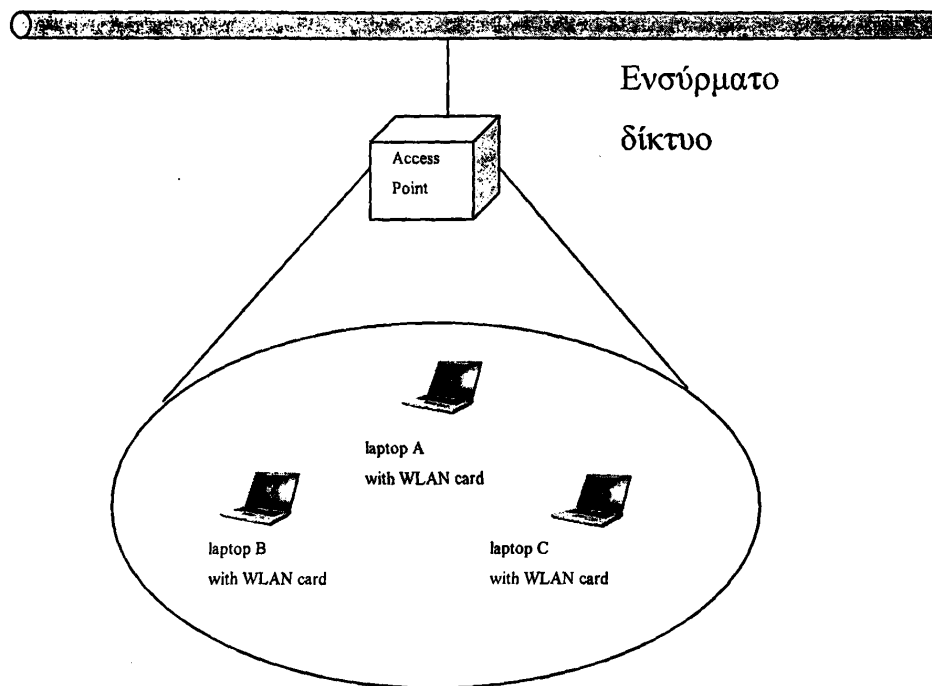
Σχήμα 2.2 Παράδειγμα Κυβελωτού Δικτύου.

Τα δορυφορικά δίκτυα είναι ένα άλλο είδος ασύρματων δικτύων τα οποία παρέχουν υπηρεσίες ευρείας ζώνης, αδιάλειπτα στο χώρο και το χρόνο, ακόμα και σε κινητούς χρήστες. Τα δίκτυα αυτά παρέχουν κάλυψη σε δυσπρόσιτες περιοχές, μπορούν να υποστηρίξουν μεγάλο αριθμό χρηστών και προσαρμόζονται εύκολα σε επίγεια δίκτυα. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά αποτελούν βασικά πλεονεκτήματα για τη χρήση τους. Ωστόσο χαρακτηριστικά όπως η υψηλή καθυστέρηση διάδοσης, η σύνθετη και μεταβλητή δικτυακή δομή που χαρακτηρίζουν τα δίκτυα αυτού του είδους, επιβάλλουν τη χρήση εξελιγμένων πρωτοκόλλων δικτύωσης ώστε να γίνει δυνατή η παροχή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας.

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wireless Local Area Network-WLAN) είναι ένα επικοινωνιακό σύστημα που χρησιμοποιείται ως επέκταση ή εναλλακτική λύση ενός κοινού ενσύρματου δικτύου (Ethernet) και επιτρέπει στον κινητό χρήστη την ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση χρηστών μέσα σε ένα κτίριο ή σε ομάδα γειτονικών κτιρίων χωρίς τη χρήση καλωδίων. Η χρήση τους περιορίζεται σε τοπικό επίπεδο και αυτό τα διαχωρίζει από ασύρματες λύσεις ευρείας κάλυψης που επεκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιώντας κυβελοειδή ή δορυφορική τεχνολογία. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα λειτουργούν με κανόνες ανάλογους με αυτούς που ισχύουν για τα ασύρματα τηλέφωνα που χρησιμοποιούμε στο σπίτι. Η μετάδοση



δεδομένων γίνεται ελεύθερα, όπως ακριβώς και η μετάδοση φωνής από την τερματική συσκευή ενός ασύρματου τηλεφώνου στο σταθμό βάσης (Σχήμα 2.3).



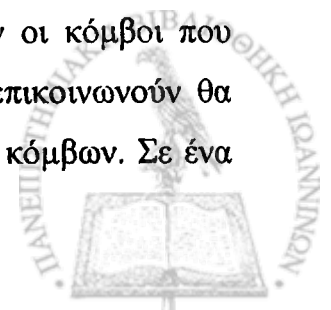
Σχήμα 2.3 Παράδειγμα Ασύρματου Τοπικού Δικτύου (WLAN).

## 2.2. Mobile Ad-Hoc Networks.

Η τελευταία κατηγορία ασύρματων δικτύων είναι τα Ad-Hoc δίκτυα, που συσχετίζονται άμεσα με την παρούσα μελέτη. Για το λόγο αυτό ακολουθεί μια αναλυτικότερη περιγραφή στις επόμενες παραγράφους.

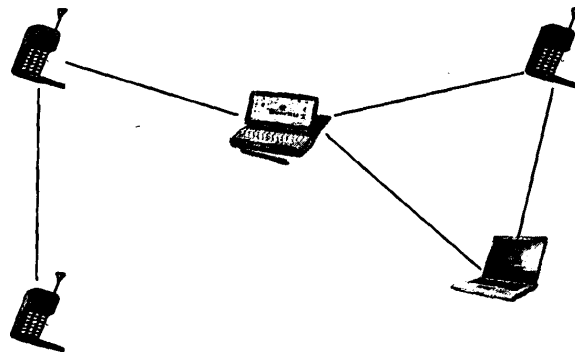
### 2.2.1. Ορισμός.

Ένα Mobile Ad-Hoc Δίκτυο ([14], [20]), είναι ένα ασύρματο δίκτυο στο οποίο δεν υπάρχει καμία σταθερή υποδομή. Οι κόμβοι του δικτύου συνδέονται ασύρματα μεταξύ τους και έχουν τη δυνατότητα να κινούνται. Η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων και η προώθηση-δρομολόγηση των μηνυμάτων (routing-forwarding) μπορεί να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα άλματα (one-hop ή multi-hop) ανάλογα με το πόσο απέχουν οι κόμβοι που επιθυμούν να επικοινωνήσουν. Στο εξής, όταν λέγοντας ότι δύο κόμβοι επικοινωνούν θα εννοούμε ότι είτε συνδέονται απευθείας, είτε συνδέονται μέσω ενδιάμεσων κόμβων. Σε ένα



Δίκτυο Mobile Ad-Hoc δεν υπάρχει κάποια υποδομή ή προκαθορισμένη συνδετικότητα μεταξύ των κόμβων που συμμετέχουν σε αυτό. Στο Σχήμα 2.4 φαίνεται ένα Δίκτυο Mobile Ad-Hoc το οποίο αποτελείται από laptops, palmtops και κινητά τηλέφωνα. Κάθε μία από αυτές τις ηλεκτρονικές συσκευές είναι ένας κόμβος του Δικτύου Ad-Hoc και όλες μαζί σχηματίζουν το συνολικό δίκτυο. Δύο συσκευές επικοινωνούν αρκεί η μία να βρίσκεται μέσα στην εμβέλεια της άλλης. Δεν χρησιμοποιούνται καθόλου καλώδια, ενώ από τη φύση των συσκευών είναι προφανές ότι αυτές μπορούν να μετακινηθούν και να αλλάξει έτσι η τοπολογία του δικτύου.

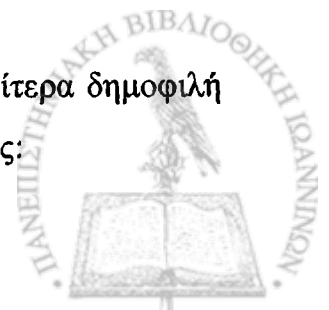
Ένα αποδεκτό και κατανοητό μοντέλο για τη θεωρητική μελέτη τέτοιων δικτύων είναι το unit graph model. Σε αυτό το μοντέλο το δίκτυο παρουσιάζεται σαν ένα γράφημα όπου οι κόμβοι του γραφήματος αντιστοιχούν στους κόμβους του δικτύου. Δύο κόμβοι A και B συνδέονται με ακμή όταν οι αντίστοιχοι κόμβοι του δικτύου βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη της ακτίνας μετάδοσης. Σε αυτό το μοντέλο γίνονται αρκετές υποθέσεις αφού θεωρεί ότι όλοι οι κόμβοι έχουν την ίδια εμβέλεια, ότι δεν υπάρχουν εμπόδια, ωστόσο είναι το μοναδικό μοντέλο που συναντάται στη βιβλιογραφία.



Σχήμα 2.4 Παράδειγμα Mobile Ad-Hoc Network.

### 2.2.2. Χαρακτηριστικά.

Τα Mobile Ad-Hoc Networks έχουν χαρακτηριστικά που τα κάνουν και ιδιαίτερα δημοφιλή και ενδιαφέρον αντικείμενο μελέτης. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα εξής:



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

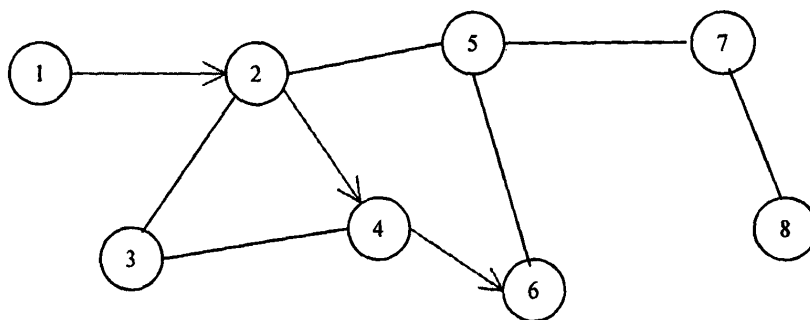


- Περιορισμένη ισχύς. Οι κόμβοι ενός τέτοιου δικτύου είναι κινητοί και άρα λειτουργούν με μπαταρίες. Αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι κινούνται και δεν είναι εύκολο να βρισκονται συνεχώς κοντά σε μία σταθερή βάση απ' όπου θα προμηθεύονταν ενέργεια, οδηγεί αναπόφευκτα σε μικρή διάρκεια λειτουργίας των κόμβων. Αυτό σημαίνει ότι ένας κόμβος μπορεί να λειτουργεί για ένα διάστημα, έπειτα για να εξοικονομήσει ενέργεια να σταματάει τη λειτουργία του, μετά να λειτουργεί ξανά, κ.ο.κ.

### 2.2.3. Τοπολογία του Δικτύου.

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

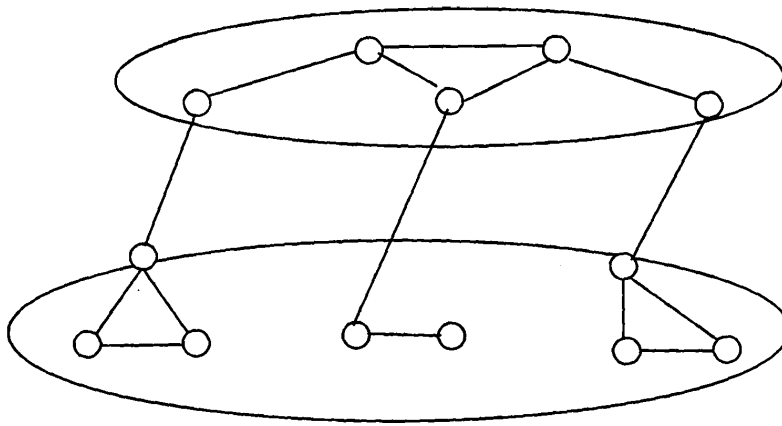
- Επίπεδη Αρχιτεκτονική. Όλοι οι κόμβοι του δικτύου βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και δεν υπάρχει καθόλου ιεραρχία. Στην προώθηση των μηνυμάτων του δικτύου συμμετέχουν όλοι οι κόμβοι. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 2.4 όλοι οι κόμβοι βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και έστω ότι ο κόμβος 1 επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον κόμβο 6 και στέλνει ένα μήνυμα. Το μήνυμα αυτό προωθούν οι ενδιάμεσοι κόμβοι 2 και 4.
- Ιεραρχική Αρχιτεκτονική (Σχήμα 2.5). Το δίκτυο αποτελείται από τουλάχιστον δύο επίπεδα και οι κόμβοι σχηματίζουν clusters (συστάδες). Κάθε cluster έχει έναν επικεφαλή (head) κόμβο. Η προώθηση των μηνυμάτων γίνεται μέσω των cluster heads, οι οποίοι επιπλέον κρατούν πληροφορίες σχετικές με τη θέση του cluster.



Σχήμα 2.5 Επίπεδη Αρχιτεκτονική.







Σχήμα 2.6 Ιεραρχική Αρχιτεκτονική.

#### 2.2.4. Εφαρμογές Mobile Ad-Hoc Networks.

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

- Στρατιωτικές Εφαρμογές. Σε περιοχές καταστροφών ή πολεμικών συγκρούσεων δεν είναι δυνατό να υπάρξει σταθερή υποδομή ή, η ήδη υπάρχουσα σταθερή υποδομή μπορεί να έχει καταστραφεί οπότε τα MANETs αποτελούν μια αξιόπιστη λύση.
- Εκπαιδευτικές Εφαρμογές. Φανταστείτε ένα συνέδριο που διεξάγετε σε δύο γειτονικές αίθουσες ενός ξενοδοχείου. Σε ένα τέτοιο σενάριο η επικοινωνία είναι μικρής εμβέλειας και δεν υπάρχει λόγος, ή πολλές φορές δε συμφέρει, να δημιουργηθεί κάποια σταθερή υποδομή. Η δημιουργία ενός MANET μπορεί να προσφέρει την επικοινωνία μικρής εμβέλειας που απαιτείται.
- Εμπορικές Εφαρμογές. Σε ένα μεγάλο εμπορικό κέντρο, όπου υπάρχουν καταστήματα της ίδιας εταιρείας σε διαφορετικά σημεία, υπάρχει ανάγκη της μεταξύ τους

επικοινωνίας για ανταλλαγή πληροφοριών σχετικών με τις πωλήσεις, τα αποθέματα κ.ά. Η σταθερή υποδομή είναι μια λύση, επειδή όμως η γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκονται τα καταστήματα είναι περιορισμένη, ένα MANET θα συμπεριφέρονταν εξίσου καλά και αποδοτικά.

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

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

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

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

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

Επειδή, λοιπόν, δεν υπάρχει ένας συγκεκριμένος τρόπος κίνησης των κόμβων, που απαρτίζουν ένα MANET, έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα κίνησης. Κάθε ένα από αυτά



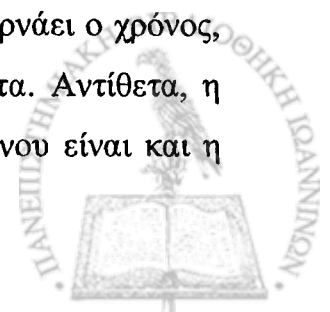
μοντελοποιεί κίνηση με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες. Στο [4] δίνεται μια καλή ανασκόπηση των μοντέλων κίνησης. Παρουσιάζονται δώδεκα διαφορετικά μοντέλα κίνησης κόμβων σε MANETs. Τα επτά από αυτά προσομοιώνουν σενάρια στα οποία η κίνηση του κάθε κόμβου είναι ανεξάρτητη από την κίνηση των υπόλοιπων κόμβων. Τα υπόλοιπα πέντε προσομοιώνουν περιπτώσεις όπου οι αποφάσεις, που λαμβάνονται σχετικά με την κίνηση των κόμβων, εξαρτώνται και από τους κόμβους που βρίσκονται γύρω τους. Στη μελέτη που έγινε, από τα δώδεκα αυτά μοντέλα τρία είναι εκείνα στα οποία γίνεται μεγαλύτερη αναφορά. Τα μοντέλα αυτά περιγράφονται στη συνέχεια.

#### 2.2.5.1. Random Way Point Model ([4], [7]).

Στο μοντέλο αυτό (Σχήμα 2.7) οι κόμβοι είναι τοποθετημένοι σε μία περιοχή (συνήθως τετράγωνη) κάποιων διαστάσεων και κινούνται μέσα σε αυτή με σταθερή ταχύτητα  $v$  που επιλέγεται τυχαία στο διάστημα  $[v_{\min}, v_{\max}]$ , όπου  $v_{\max}$  είναι η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορούν να κινούνται οι κόμβοι. Κάθε κόμβος επιλέγει το σημείο στο οποίο επιθυμεί να φτάσει και κινείται προς το σημείο αυτό με την επιλεγμένη ταχύτητα. Όταν φτάσει στο σημείο σταματάει για κάποιο τυχαίο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια επιλέγει το νέο σημείο προς το οποίο θα κινηθεί και τη νέα ταχύτητα κίνησης, ανεξάρτητα από την προηγούμενη ταχύτητα, την προηγούμενη θέση και το χρόνο αναμονής.

Στο [13] μελετάται η πυκνότητα των κόμβων ενός MANET, οι οποίοι κινούνται βάσει του Random Way Point Model. Αποδεικνύεται ότι η κατανομή της θέσης ενός κόμβου είναι πιο πυκνή στο κέντρο της περιοχής όπου κινείται ο κόμβος. Αυτό σημαίνει ότι οι κόμβοι κατά την κίνησή τους συγκεντρώνονται κυρίως, στο κέντρο της περιοχής στην οποία βρίσκονται. Η πυκνότητα των κόμβων ελαττώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από το κέντρο της περιοχής και κατευθυνόμαστε προς τα άκρα.

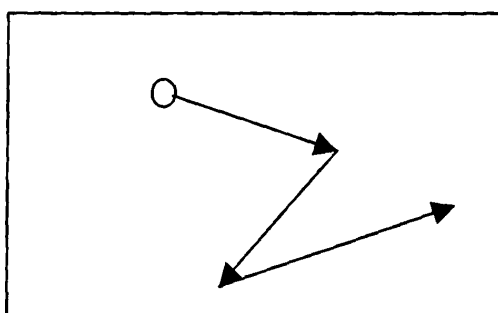
Το Random Way Point μοντέλο κίνησης προσομοιώνει αρκετά ρεαλιστικά την κίνηση κόμβων σε MANETs, ωστόσο μελέτες που έγιναν, σχετικά με το μοντέλο, εντόπισαν κάποια προβλήματα. Στο [21], εξετάστηκε το μοντέλο και παρατηρήθηκε ότι όσο περνάει ο χρόνος, το μοντέλο δε φτάνει σε μία σταθερή κατάσταση όσον αφορά την ταχύτητα. Αντίθετα, η ταχύτητα συνεχώς μειώνεται. Μία διαισθητική εξήγηση αυτού του φαινομένου είναι και η



ακόλουθη: Στο Random Way Point οι κόμβοι επιλέγουν μια κατεύθυνση και μια ταχύτητα και κινούνται με αυτή τη συγκεκριμένη ταχύτητα έως ότου φτάσουν στον προορισμό τους. Αν η ταχύτητα που επιλεγεί είναι μικρή και ο προορισμός μακριά, το ταξίδι θα διαρκέσει πολύ ώρα, ή και ακόμη, μπορεί ο κόμβος να μη προλάβει να φτάσει καν στον προορισμό του μέσα στο χρόνο της προσομοίωσης. Για παράδειγμα, σε μια περιοχή διαστάσεων 1500m x 500m και με ταχύτητα στο διάστημα  $(0, 20]$  m/s, αν ο προορισμός απέχει 1000m μακριά και η ταχύτητα επιλεγεί να είναι 0,1m/s, ο χρόνος του ταξιδιού θα είναι 10.000 δευτερόλεπτα. Αν ο κόμβος τελικά φτάσει στον προορισμό του πιθανότατα να επιλέξει μια νέα μεγαλύτερη ταχύτητα, αλλά μοιάζει να έχει παγιδευτεί σε αυτά τα αργά ταξίδια για αρκετό χρονικό διάστημα. Αυτό, συνολικά, μειώνει τη μέση ταχύτητα με την οποία κινούνται οι κόμβοι.

Το παραπάνω πρόβλημα, που ενδεχομένως να έχει παραπάνω από μία λύσεις, λύθηκε στο [21] προτείνοντας η ελάχιστη ταχύτητα με την οποία κινούνται οι κόμβοι να μην είναι μηδενική. Από πειράματα που έγιναν αποδεικνύεται ότι, κάνοντας αυτό, η ταχύτητα συγκλίνει σε μια σταθερή τιμή. Συνεπώς, αν η ταχύτητα  $v_{min}$  που επιλέγεται είναι αυστηρά θετική, η μέση ταχύτητα δεν τείνει στο μηδέν και το πρόβλημα επιλύεται.

Το Random Waypoint μοντέλο προτάθηκε για πρώτη φορά από τους D. B. Johnson και D. A. Maltz στο [15] και στη συνέχεια με περισσότερες λεπτομέρειες στο [3] από την ίδια ερευνητική ομάδα. Η νεώτερη έκδοση έγινε στη συνέχεια στάνταρτ στη mobile computing έρευνα. Για παράδειγμα στο ACM MobiHoc 2002 δέκα εργασίες ασχολούνταν με την κίνηση των κόμβων και οι εννέα από αυτές χρησιμοποιούσαν το Random Way Point Model, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι το πλέον σύνηθες μοντέλο για προσομοίωση της κίνησης σε MANETs.



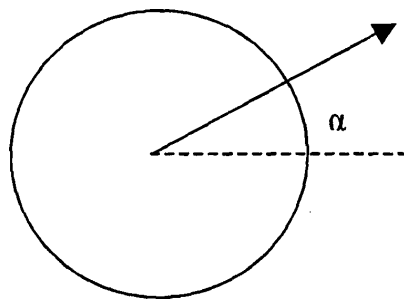
Σχήμα 2.7 Random Way Point Moving Model.



### 2.2.5.2. Random Direction Moving Model ([7], [4]).

Στο μοντέλο αυτό (Σχήμα 2.8) κάθε κόμβος έχει μια αρχική διεύθυνση  $\theta$ , μια αρχική ταχύτητα  $v \in [v_{\min}, v_{\max}]$  και ένα πεπερασμένο χρόνο κίνησης  $\tau$ . Ο κόμβος κινείται κατά τη διεύθυνση  $\theta$  για χρόνο  $\tau$  και με σταθερή ταχύτητα  $v$ . Όταν ο χρόνος κίνησης λήξει, επιλέγεται νέα διεύθυνση, νέα ταχύτητα και νέος χρόνος κίνησης, ανεξάρτητα από τις προηγούμενες διευθύνσεις, ταχύτητες και χρόνους κίνησης. Όταν ένας κόμβος φτάσει στα όρια της περιοχής, είτε ανταναικλάται, είτε εμφανίζεται στην απέναντι πλευρά (σαν να τυλίγεται η περιοχή).

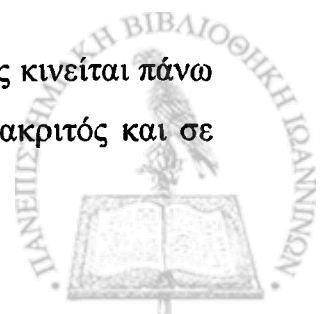
Στο Random Direction Model έχει αποδειχτεί ([4]) ότι η πυκνότητα των κόμβων είναι ομοιόμορφη για κάθε σημείο της περιοχής στην οποία βρίσκονται και για οποιαδήποτε κατανομή διεύθυνσης, ταχύτητας και χρόνου κίνησης. Επίσης, στο μοντέλο αυτό ο διαχωρισμός του δικτύου σε συνιστώσες είναι πιο πιθανός απ' ό τι στα υπόλοιπα μοντέλα κίνησης. Η πυκνότητα των κόμβων στο Random Direction Model έρχεται σε αντίθεση με το Random Way Point Model, όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα συγκέντρωσης των κόμβων στο κέντρο της περιοχής. Μια επιπλέον διαφορά είναι ότι στο Random Direction Model η ταχύτητα  $v_{\min}$  δεν είναι αυστηρά θετική. Μπορεί να είναι ακόμη και ίση με το μηδέν μιας και ο κόμβος κινείται με αυτή την ταχύτητα μόνο για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.



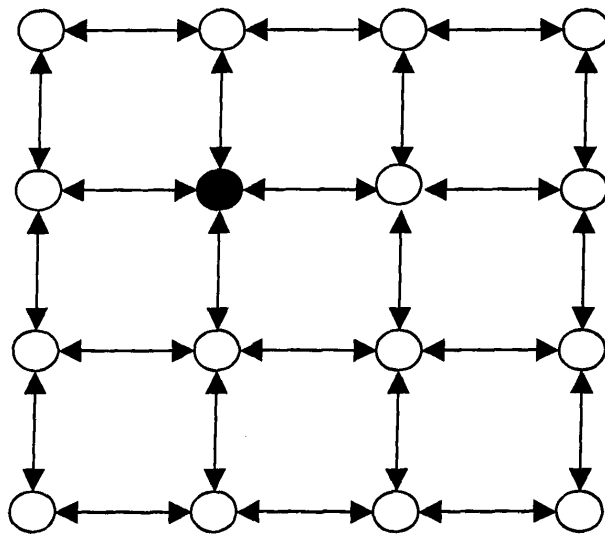
Σχήμα 2.8 Random Direction Moving Model.

### 2.2.5.3. Random Walkers Moving Model ([7], [4]).

Στο Random Walker Model κίνησης δύο διαστάσεων (Σχήμα 2.9) κάθε κόμβος κινείται πάνω σε ένα πλέγμα δύο διαστάσεων σαν ένας random walker. Ο χρόνος είναι διακριτός και σε



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



Σχήμα 2.9 Random Walkers Moving Model.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΙΓΡΑΦΩΝ

3.1 Το Πρόβλημα.

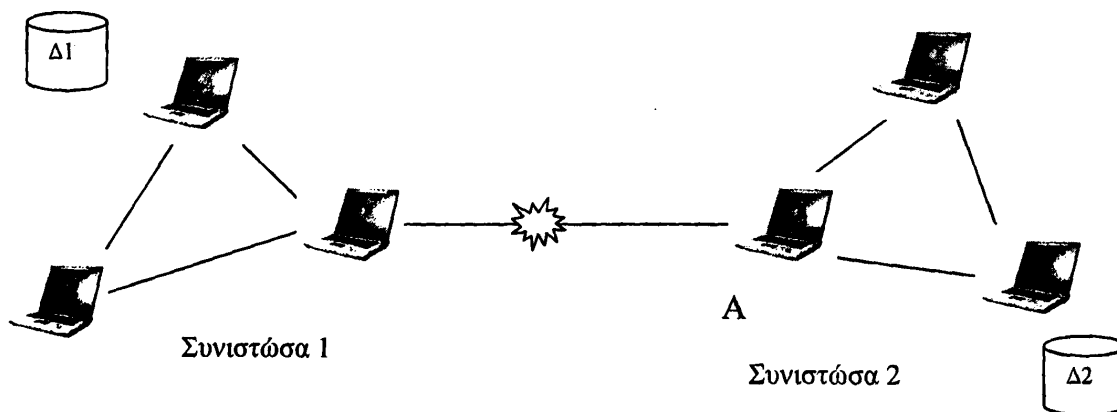
3.2 Δημιουργία και Διασπορά Αντιγράφων (Replication).

3.3 Replication στα Mobile Ad Hoc Networks.

3.5 Ανασκόπηση Μεθόδων.

### 3.1. Το Πρόβλημα.

Στα MANETs εξαιτίας της κίνησης των κόμβων είναι πιθανό κάποιοι να μη συνδέονται με άλλους για κάποιες χρονικές περιόδους. Υπάρχουν δηλαδή κόμβοι ή και κομμάτια του δικτύου που μπορεί να αποκοπούν από το υπόλοιπο δίκτυο, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η πρόσβαση σε οποιοδήποτε δεδομένο ανά πάσα στιγμή. Για παράδειγμα στο Σχήμα 3.1 μετά την κίνηση του κόμβου A το δίκτυο χωρίζεται σε δύο συνιστώσες με αποτέλεσμα το δεδομένο Δ1 να μην είναι διαθέσιμο στους κόμβους της συνιστώσας 2 και αντίστοιχα το δεδομένο Δ2 δεν είναι διαθέσιμο σε αυτούς της συνιστώσας 1.



Σχήμα 3.1 Διαχωρισμός Δικτύου και Πρόσβαση στα Δεδομένα.



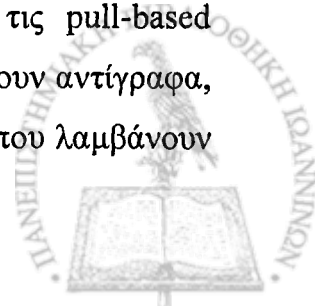
Με μια πρώτη ματιά το πρόβλημα δε φαίνεται σημαντικό, αφού μπορεί κάποιος να ισχυριστεί ότι με λίγη αναμονή μπορεί μετά από λίγο, πάλι λόγω της κίνησης των κόμβων, να υπάρξει πρόσβαση στα δεδομένα και το πρόβλημα να λυθεί. Φανταστείτε όμως ένα σενάριο όπου το MANET σχηματίζεται από μια ομάδα διάσωσης σε μια καταστροφή από σεισμό. Η επικοινωνία των μελών της ομάδας που μπορεί να ερευνούν διαφορετικά σημεία στην ίδια περιοχή είναι απαραίτητη και καθοριστική για την πορεία των ερευνών. Κάθε δευτερόλεπτο που περνάει είναι κρίσιμο, αφού σχετίζεται με ανθρώπινες ζωές.

Άρα ένας τέτοιος ισχυρισμός, όπως παραπάνω, δεν ευσταθεί και φαίνεται καθαρά ότι βασικό μέλημα είναι η ανάπτυξη ενός μηχανισμού που επιτρέπει συνεχή, ή μεγάλη πρόσβαση στα δεδομένα όταν, εξαιτίας της κίνησης των κόμβων, η συνδετικότητα του δικτύου μεταβάλλεται. Επίσης, εκτός από τη δυνατότητα πρόσβασης ο μηχανισμός αυτός θα πρέπει να παρέχει και ικανοποιητική ταχύτητα πρόσβασης στα δεδομένα. Στο παράδειγμα της προηγούμενης παραγράφου σημασία έχει όχι μόνο να καταφέρνουν να επικοινωνούν οι ομάδες διάσωσης, αλλά να επικοινωνούν και γρήγορα.

### 3.2. Δημιουργία και Διασπορά Αντιγράφων (Replication).

Κατά καιρούς, στις μελέτες που έχουν γίνει για διάφορα είδη συστημάτων και δικτύων (π.χ. P2P) έχουν προταθεί ποικίλοι τρόποι με τους οποίους αντιμετωπίζονται τα διάφορα προβλήματα (π.χ. προβλήματα λόγω κινητικότητας, λόγω φυσικών καταστροφών) που δεν επιτρέπουν τη μεγαλύτερη δυνατή προσπέλαση στα δεδομένα. Ιδιαίτερα δημοφιλής σε μελέτη και έρευνα είναι η δημιουργία και η διασπορά αντιγράφων των δεδομένων σε μέρη του δικτύου (Replication). Τα δεδομένα αντιγράφονται και τα αντίγραφα τοποθετούνται σε διάφορα μέρη του δικτύου, με σκοπό να αντικαταστήσουν τα αυθεντικά δεδομένα όταν εκείνα για κάποιο λόγο δεν είναι διαθέσιμα.

Η μέθοδος που θα ακολουθηθεί προκειμένου να δημιουργηθούν τα αντίγραφα και να διασκορπιστούν σε κόμβους του δικτύου δεν είναι μοναδική. Οι μέθοδοι που υπάρχουν για Replication χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις push-based και τις pull-based μεθόδους. Στις *push-based* μεθόδους οι κόμβοι που επιθυμούν να δημιουργήσουν αντίγραφα, αντιγράφουν τα πρωτότυπα δεδομένα και τα στέλνουν στο δίκτυο. Οι κόμβοι που λαμβάνουν





αντίγραφα των δεδομένων, ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται, κρατούν ή όχι τα αντίγραφα τοπικά. Στις *pull-based* μεθόδους οι κόμβοι που επιθυμούν να διαθέσουν τοπικά χώρο για δεδομένα στέλνουν μηνύματα στο δίκτυο και ζητούν αντίγραφα αυτών των δεδομένων. Οι κόμβοι που λαμβάνουν αυτά τα μηνύματα και έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν τέτοια αντίγραφα τα στέλνουν στους κόμβους που τα ζήτησαν.

Η μέθοδος που θα ακολουθηθεί προκειμένου να δημιουργηθούν και να διασπαρθούν τα αντίγραφα δεν είναι μοναδική. Επίσης, από τη στιγμή που θα εφαρμοστεί μια τέτοια μέθοδος προκύπτει πληθώρα νέων ζητημάτων όπως το ποιο είναι το πλήθος των αντιγράφων, πού θα τοποθετηθούν, τι γίνεται στην περίπτωση που ένα δεδομένο τροποποιηθεί ενώ ήδη υπάρχουν αντίγραφα του κ.ά.

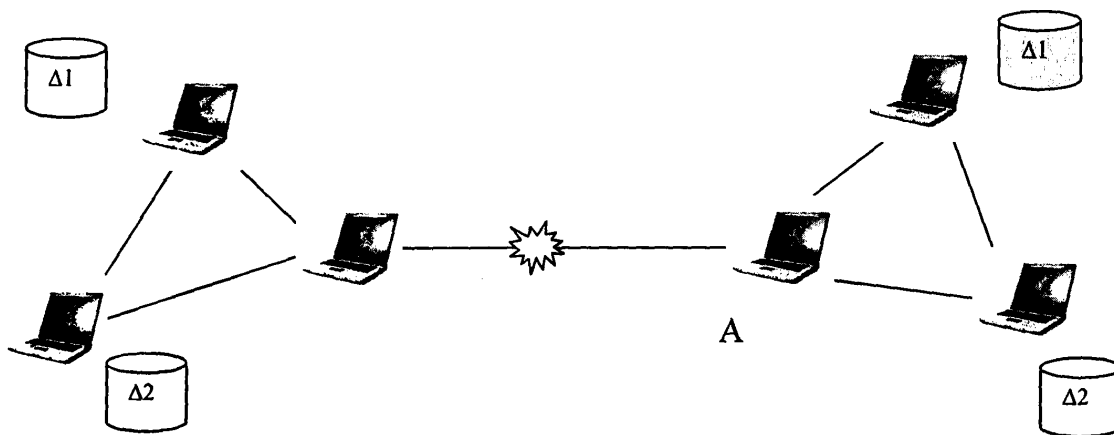
### 3.3. Replication στα Mobile Ad-Hoc Networks.

Σε ένα MANET κάθε κόμβος δημιουργεί ένα σύνολο από δεδομένα και τα αποθηκεύει τοπικά (θα λέμε στο εξής ότι ο κόμβος αυτός είναι κάτοχος των δεδομένων αυτών και ότι τα δεδομένα αυτά είναι *αυθεντικά*). Τα αυθεντικά δεδομένα ανήκουν στον κάτοχο, αλλά αυτό δε σημαίνει ότι δε μπορούν να τα εκμεταλλευτούν και οι υπόλοιποι κόμβοι του δικτύου. Έτσι, είναι πιθανό ένας κόμβος A του δικτύου να ζητάει ένα δεδομένο που ανήκει σε έναν άλλο κόμβο B. Αν οι κόμβοι συνδέονται, τότε ο κόμβος A παίρνει το δεδομένο και η αναζήτηση είναι επιτυχής. Αν οι δύο κόμβοι δε συνδέονται, ή ο πρώτος έχει μεγάλο φόρτο, (επειδή όλοι ζητάνε δεδομένα από αυτόν) ή για κάποιον λόγο αδυνατεί να προσφέρει τις υπηρεσίες του, η αναζήτηση αυτή θα αποτύχει.

Η δημιουργία και διασπορά αντιγράφων έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετά συστήματα (π.χ. P2P) για να εξασφαλίζει μεγαλύτερη και ταχύτερη προσπέλαση στα δεδομένα. Τα MANETs έχουν αρκετές ομοιότητες με αυτά τα συστήματα και μια τέτοια μέθοδος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σε αυτά προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα που οφείλονται στην κινητικότητα των κόμβων. Αυτή την ιδέα συνέλαβαν κάποιες ερευνητικές ομάδες και εφάρμοσαν το Replication και στα MANETs.



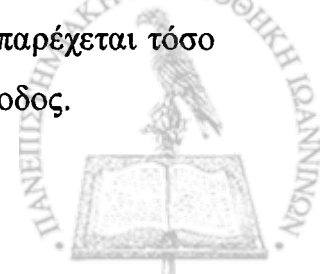
Κάθε κόμβος σε ένα MANET, λοιπόν, μπορεί να δημιουργήσει αντίγραφα των αυθεντικών δεδομένων του και να τα διασκορπίσει σε άλλους κόμβους του δικτύου, οι οποίοι αναλαμβάνουν τη «φιλοξενία» των αντιγράφων. Οπότε, όταν ένας κόμβος ζητήσει ένα δεδομένο από κάποιον άλλο κόμβο μπορεί είτε να το πάρει από τον ίδιο, είτε να το πάρει από κάποιον άλλο που διαθέτει αντίγραφο του αυθεντικού. Σε κάθε περίπτωση πάντως υπάρχει επιτυχία. Η επιτυχία αυτή έχει πολλές διαστάσεις αν σκεφτεί κανείς ότι ναι μεν εξυπηρετείται ο αναζητών, αλλά ταυτόχρονα περιορίζεται και η δουλειά του κατόχου. Στο Σχήμα 3.2 φαίνεται πως επιλύεται το πρόβλημα που προέκυψε στο Σχήμα 3.1 από την μετακίνηση του κόμβου A.



Σχήμα 3.2 Replication και Πρόσβαση στα Δεδομένα.

Το Replication φαίνεται να είναι μια καλή λύση αντιμετώπισης του προβλήματος. Ωστόσο η μέθοδος Replication που θα χρησιμοποιηθεί δεν είναι μοναδική. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι δημιουργίας και διασποράς αντιγράφων και πρέπει η τελική αξιολόγηση να γίνει λαμβάνοντας υπόψη και άλλους παράγοντες, εκτός από το αν επιτυγχάνεται ή όχι μεγάλη πρόσβαση στα δεδομένα. Αυτοί οι παράγοντες έχουν να κάνουν με το ποσοστό επιτυχίας, που επιτυγχάνεται, το κόστος της μεθόδου, και την ταχύτητά της.

Το ποσοστό επιτυχίας μιας τέτοιας μεθόδου καθορίζεται από το πόσο μεγάλη πρόσβαση παρέχει στα δεδομένα, το κατά πόσο δηλαδή μπορεί ανά πάσα στιγμή ένας κόμβος να αποκτήσει τα δεδομένα που ζητάει. Όσο μεγαλύτερη είναι η πρόσβαση που παρέχεται τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό επιτυχίας και άρα τόσο καλύτερη είναι και η μέθοδος.



Στα MANETs μιλώντας για κόστος εννοούμε αρχικά το κόστος επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων, το οποίο μετράται σε μηνύματα. Αν σε ένα MANET εφαρμοστεί μια μέθοδος Replication είναι απαραίτητη η επικοινωνία των κόμβων προκειμένου να δημιουργηθούν τα αντίγραφα και να μεταφερθούν στα σημεία που πρέπει. Όσο αποδοτική και να είναι η μέθοδος, αν το κόστος σε μηνύματα είναι μεγάλο, αυτόματα η μέθοδος γίνεται μη συμφέρουσα.

Επίσης, το κόστος σε ένα MANET έχει να κάνει και με την αυτονομία και τον αποθηκευτικό χώρο των κόμβων. Σε ένα MANET οι κόμβοι είναι ασύρματοι οπότε υπόκεινται σε περιορισμούς αυτονομίας και αποθηκευτικού χώρου που επιβάλλονται από την ίδια τη φύση τους. Για παράδειγμα ένα laptop έχει συγκεκριμένη αυτονομία που εξαρτάται από τη χρήση, όπως επίσης έχει και προκαθορισμένο αποθηκευτικό χώρο. Ο μηχανισμός Replication, λοιπόν, που θα επιλεγεί να εφαρμοστεί προκειμένου να λύσει τα προβλήματα που διαπραγματεύεται η Παράγραφος 3.1, εξαρτάται άμεσα από τους παραπάνω περιορισμούς. Δεν μπορεί ένας κόμβος να αποθηκεύσει μεγάλο αριθμό αντιγράφων, γιατί θα καταλάβει όλο τον αποθηκευτικό του χώρο, ούτε μπορεί να προωθεί συνεχώς μηνύματα που είναι απαραίτητα για το Replication, γιατί δεν του το επιτρέπει η αυτονομία του.

Πέρα από το κόστος και το ποσοστό επιτυχίας, ένας ακόμη παράγοντας που καθορίζει σημαντικά την τελική αξιολόγηση μιας μεθόδου είναι η ταχύτητά της. Μπορεί δύο μέθοδοι Replication να επιτυγχάνουν την ίδια μεγάλη πρόσβαση στα δεδομένα, με το ίδιο κόστος όμως η μία από τις δύο να το κάνει πολύ πιο γρήγορα από την άλλη. Η μέθοδος αυτή θεωρείται και καλύτερη. Για παράδειγμα, φανταστείτε, πάλι, την περίπτωση μιας φυσικής καταστροφής όπου ένα MANET έχει σχηματιστεί για την επικοινωνία των ομάδων διάσωσης. Η επικοινωνία δεν αρκεί να είναι απλώς εφικτή, αλλά πρέπει να είναι και γρήγορη γιατί ίσως κινδυνεύουν ανθρώπινες ζωές.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, το Replication πρέπει να γίνεται με βάση κάποια στρατηγική που να μην εξασφαλίζει όσο το δυνατό μεγαλύτερη και ταχεία πρόσβαση στα δεδομένα ταυτόχρονα, όμως, δεν επιβαρύνει τους κόμβους του δικτύου με πολλές αρμοδιότητες ξένες ως προς το αντικείμενό τους. Με άλλα λόγια, να μην πρέπει να

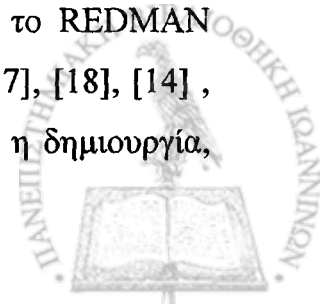


επιτυγχάνονται όσο το δυνατό καλύτερα αποτελέσματα, πρέπει όμως και το κόστος να είναι όσο το δυνατό μικρότερο.

### 3.4. Ανασκόπηση Μεθόδων.

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιάσουμε περιληπτικά τις εργασίες που έχουν γίνει γύρω από το θέμα της δημιουργίας και διασποράς αντιγράφων στα MANETs. Το πώς αντιλαμβάνεται κάθε ερευνητική ομάδα το Replication και το κόστος του, διαφέρει από εργασία σε εργασία

Εξαιτίας της έλλειψης οποιασδήποτε στατικής υποδομής, το αποτελεσματικό Replication δεδομένων σε ένα δυναμικό περιβάλλον όπως τα MANETs ήταν μία μεγάλη πρόκληση, που απαιτούσε επαναπροσδιορισμό και σημαντικές τροποποιήσεις στις παραδοσιακές μεθόδους Replication. Έως τώρα, η έρευνα έχει επικεντρωθεί κυρίως σε τεχνικές όπου είναι απαραίτητη η γνώση της φυσικής θέσης των κόμβων, επιβάλλοντας έτσι την ύπαρξη υλικού GPS (Global Positioning System) σε κάθε συμμετέχοντα [6]. Εδώ προβλέπεται ο διαχωρισμός του δικτύου σε ομάδες βάσει της τρέχουσας θέσης κάθε κόμβου και κάποιων θεωριών κίνησης και στη συνέχεια τοποθετούνται αντίγραφα σε αυτές της ομάδες. Στο [16] ασχολούνται με το συγχρονισμό και τη συνέπεια των αντιγράφων θέτοντας αυστηρούς περιορισμούς που επιβάλλουν μεγάλο κόστος (network traffic, χρόνος που απαιτείται προκειμένου να διασφαλιστεί η συνέπεια όλων των αντιγράφων). Στο [5] ο Cao προτείνει έναν αλγόριθμο για δεδομένα που διατηρούνται σε σταθερούς servers του MANET. Ο αλγόριθμος αποτελείται από δύο σχήματα: CacheData και CachePath. Στο πρώτο σχήμα οι κόμβοι που βρίσκονται στο μονοπάτι ανάμεσα στον σταθερό server και σε κάποιον κόμβο που ρωτάει για κάποιο δεδομένο, κάνουν cache το δεδομένο αυτό. Στο δεύτερο σχήμα οι κόμβοι που βρίσκονται στο μονοπάτι ανάμεσα στον σταθερό server και σε κάποιον κόμβο που ρωτάει για κάποιο δεδομένο κρατούν ένα μονοπάτι προς κόμβους που έχουν το δεδομένο που ζητήθηκε. Στο [8] ο Hara προτείνει τρεις pushed-based τεχνικές για Replication, ενώ στα [9], [10], [11], [12] προτείνονται τεχνικές για περιοδική και μη περιοδική ανανέωση των αντιγράφων. Στο [1] παρουσιάζεται ένα application-level middleware, το REDMAN, για διασπορά και διαχείριση αντιγράφων σε dense (πυκνά) MANETs. Στο [1] το REDMAN ανανεώνεται με νέες μεθόδους διασποράς και ανάκτησης αντιγράφων. Στα [17], [18], [14], [20], βάση του Replication είναι η γεωγραφική θέση κάθε κόμβου και τόσο η δημιουργία,



όσο και η διασπορά αντιγράφων γίνεται με βάση αυτή. Στο [19], Κάθε κόμβος που ζητά ένα δεδομένο, αρχικά το ζητά από τους γείτονές του. Αν δεν το βρει απευθύνει την ερώτηση σε ένα server, ο οποίος κρατά στατιστικά για τις ερωτήσεις που γίνονται για τα δεδομένα. Όταν ο αριθμός των ερωτήσεων για ένα δεδομένο ξεπεράσει ένα threshold, τότε γίνεται replication. Τα αντίγραφα τοποθετούνται σε δακτυλίους γύρω από τον κόμβο που τα δημιούργησε.

Οι μέθοδοι Replication που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία αναλύονται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 4. Εκεί γίνεται μία λεπτομερής περιγραφή τους με σκοπό την πλήρη κατανόησή τους από τον αναγνώστη. Ακολουθεί, δε, πειραματική μελέτη και σύγκρισή τους στα Κεφάλαια 5 και 6.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ

- 
- 4.1. Η Μέθοδος Skip Copy
  - 4.2. Η Μέθοδος REDMAN
  - 4.3. Η Μέθοδος DAFN
  - 4.4. Η Μέθοδος Expanding Ring
- 

Οι μέθοδοι Replication που θα περιγραφούν στη συνέχεια παρ' ότι πραγματεύονται το ίδιο θέμα, το αντιμετωπίζουν από διαφορετική σκοπιά. Ο βασικός στόχος τους είναι η δημιουργία αντιγράφων σε ένα δίκτυο Mobile Ad-Hoc. Κάθε μία από τις μεθόδους κάνει τις δικές της παραδοχές σχετικά με το θέμα και κάποιες από αυτές θεωρούν δεδομένα ορισμένα πράγματα για το δίκτυο (π.χ. συχνότητα ερωτήσεων για δεδομένα, γνώση της γεωγραφικής θέσης των κόμβων).

### 4.1. Η Μέθοδος Skip Copy.

Η μέθοδος Skip Copy προτάθηκε από τους Ishihara, Okino, Watanabe και Mizuno ([17], [20]) και έχει ως βασικό στόχο να βελτιώσει τα ποσοστά της επιτυχούς προσπέλασης σε δεδομένα που σχετίζονται με μια γεωγραφική θέση και τα οποία ζητώνται με Geocast<sup>1</sup> από κόμβους που βρίσκονται κοντά σε αυτή τη θέση. Η Skip Copy χρησιμοποιεί την τοποθεσία (location) των υπολογιστών υπηρεσίας (hosts) και την τοποθεσία των αντίστοιχων δεδομένων για να ελέγξει την ακτίνα της αντιγραφής, καθώς και τον πλεονασμό των αντιγράφων. Χρησιμοποιώντας αυτό τον τρόπο δημιουργίας αντιγράφων μαζί με μία δυναμική

---

<sup>1</sup> Geocasting: αποστολή μηνύματος σε όλους τους κόμβους που βρίσκονται μέσα σε μια γεωγραφική περιοχή.



ανατοποθέτησή τους, η μέθοδος επιτυγχάνει μεγάλα ποσοστά επιτυχούς προσπέλασης σε δεδομένα, αποφεύγοντας ταυτόχρονα τα πλεονάζοντα αντίγραφα.

Τα κύρια σημεία της στρατηγικής αυτής είναι τα εξής:

- Δημιουργία και κατανομή αντιγράφων των δεδομένων όταν αυτά δημιουργούνται.
- Δημιουργία αντιγράφων βασισμένη στη γεωγραφική θέση (location).
- Δυναμική ανατοποθέτηση των αντιγράφων.

Χρησιμοποιώντας αυτή τη στρατηγική, αντίγραφα των δεδομένων διασπείρονται σε κόμβους γύρω από τη θέση που δημιουργήθηκε το δεδομένο και παραμένουν εκεί ακόμη και αν ο κόμβος που δημιούργησε το δεδομένο μετακινηθεί. Αυτό βοηθάει τους κόμβους να απαντούν σε ερωτήσεις που γίνονται Geocasted σε μια περιοχή από άλλους κόμβους.

#### 4.1.1. Παραδοχές της μεθόδου.

Η μέθοδος εισάγει κάποιες παραδοχές:

- οι κόμβοι δημιουργούν δεδομένα που σχετίζονται με την τοποθεσία του host, για παράδειγμα, ένας σένσορας θερμοκρασίας συλλέγει δεδομένα από την περιοχή στην οποία βρίσκεται,
- κάθε κόμβος γνωρίζει την τρέχουσα τοποθεσία του (μέσω GPS),
- κάθε κόμβος έχει περιορισμένο αποθηκευτικό χώρο (cache),
- κάθε κόμβος χρησιμοποιεί δεδομένα από άλλους κόμβους όταν δεν έχει στη διάθεσή του το κατάλληλο δεδομένο, χωρίς όμως να γνωρίζει ποιος κόμβος έχει το δεδομένο. Δεν υπάρχει δηλαδή κάποιος συγκεκριμένος data server που να δίνει πληροφορία για τα δεδομένα.
- η εμβέλεια κάθε κόμβου είναι περιορισμένη και για το λόγο αυτό η επικοινωνία είναι multihop.



#### 4.1.2. Διασπορά Αντιγράφων.

Όταν δημιουργηθεί ένα νέο δεδομένο ο κόμβος που το δημιούργησε το εκπέμπει έτσι ώστε να αποκτήσουν αντίγραφο αυτού του δεδομένου πολλαπλοί κόμβοι γύρω από αυτόν. Η μέθοδος κατανομής ονομάζεται Skip Copy (SC) και λειτουργεί συνοπτικά ως εξής:

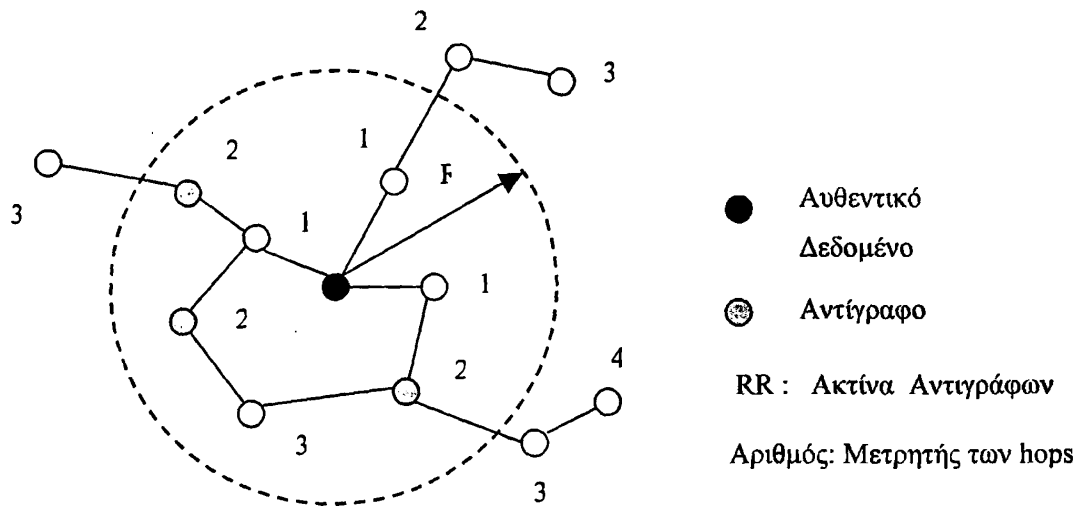
- Όταν ένας κόμβος δημιουργήσει ένα νέο δεδομένο ξεκινάει τη διαδικασία δημιουργίας αντιγράφων του.
- Τα αντίγραφα διασπείρονται, μέσω διαδοχικών εκπομπών από τους κόμβους, γύρω από τον κόμβο που δημιούργησε το δεδομένο.
- Στην ουσία, τα αντίγραφα τοποθετούνται ανά  $S$  hops πάνω σε μονοπάτια που ξεκινούν από τον κόμβο και εκτείνονται σε απόσταση  $RR$  γύρω από αυτόν.

Πιο συγκεκριμένα η διαδικασία έχει ως εξής: όταν ένας κόμβος δημιουργήσει ένα νέο δεδομένο το εκπέμπει στους γείτονές του. Το μήνυμα περιέχει μία μεταβλητή  $c = 0$ , μια μεταβλητή  $P$  που σχετίζεται με τη γεωγραφική θέση του δεδομένου, το μοναδικό ID του αρχικού κόμβου, καθώς και τη χρονική στιγμή δημιουργίας του δεδομένου. Όταν ένας host λάβει ένα δεδομένο από κάποιον γείτονά του το αποθηκεύει τοπικά αν η μεταβλητή  $c$  ικανοποιεί την εξής συνθήκη  $c \bmod S = 0$ . Το  $S$  είναι παράμετρος του συστήματος και χρησιμοποιείται για έλεγχο του αριθμού των δεδομένων.

Αν ο αποθηκευτικός χώρος ενός κόμβου που ικανοποιεί τη συνθήκη δεν επαρκεί, τότε απομακρύνεται από την cache το δεδομένο που χρησιμοποιήθηκε λιγότερο πρόσφατα (ή το δεδομένο του οποίου η σχετιζόμενη γεωγραφική θέση είναι πιο μακριά από την τρέχουσα γεωγραφική θέση του κόμβου) και στη θέση του μπαίνει το νέο. Το  $c$  αυξάνεται κατά 1 όταν κάποιος κόμβος λάβει το δεδομένο. Ο κόμβος με τη σειρά του εκπέμπει το δεδομένο αν η απόστασή του από τη θέση  $P$  είναι μικρότερη από  $RR$  (Replication Range). Στην περίπτωση που ένας κόμβος λάβει αντίγραφο ενός δεδομένου που έχει ήδη λάβει, το αγνοεί. Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται ένα παράδειγμα της μεθόδου με  $S=2$  και replication range  $R$ .







Σχήμα 4.1 Replication και Πρόσβαση στα Δεδομένα.

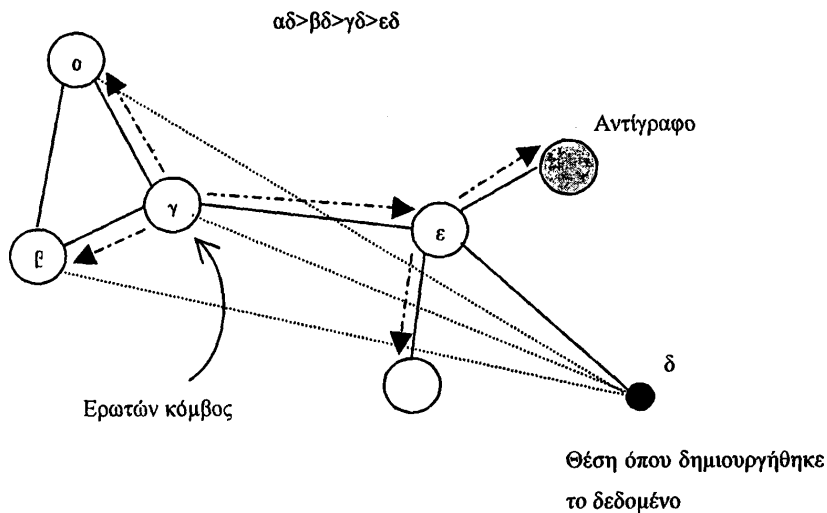
#### 4.1.3. Αναζήτηση δεδομένων.

Όταν ένας κόμβος ζητήσει ένα δεδομένο εκπέμπει την ερώτησή του στους γείτονές του, εκτός κι αν διαθέτει αντίγραφο στην cache του. Το κλειδί της ερώτησης είναι η αντίστοιχη γεωγραφική θέση του δεδομένου. Όταν κάποιος κόμβος λάβει ένα μήνυμα ερώτησης, αν έχει το δεδομένο απαντά στον κόμβο που ρώτησε, διαφορετικά το προωθεί στους δικούς του γείτονες. Προκειμένου να αποφευχθεί μια πλημμύρα (flood) μηνυμάτων, ένας κόμβος που λαμβάνει ένα μήνυμα ερώτησης δεν το προωθεί αν έχει ήδη λάβει το ίδιο μήνυμα. Επιπλέον, αν η απόσταση ανάμεσα στον κόμβο που έλαβε το μήνυμα ερώτησης και τη σχετιζόμενη με το δεδομένο γεωγραφική θέση, είναι μεγαλύτερη από την απόσταση ανάμεσα στον κόμβο που έκανε την ερώτηση και τη σχετιζόμενη με το δεδομένο γεωγραφική θέση, ο κόμβος δεν προωθεί το μήνυμα. (Σχήμα 4.2).

Ο παραπάνω περιορισμός απόστασης είναι πιθανό να δημιουργήσει προβλήματα και να μην έχει καλή συμπεριφορά όταν κόμβοι που έχουν αντίγραφα ενός δεδομένου μετακινηθούν μακριά από τη σχετιζόμενη με το δεδομένο γεωγραφική θέση, ή όταν το μήνυμα ερώτησης πρέπει να ακολουθήσει τεθλασμένη πορεία (εξαιτίας της τοπολογίας του δικτύου ή εξαιτίας εμποδίων) για να φτάσει στο δεδομένο-στόχο. Μια λύση στο πρόβλημα που περιγράφηκε είναι να γίνεται η ερώτηση σε δύο βήματα. Στο πρώτο βήμα προωθείται το μήνυμα με πλημμύρα (flooding) ακολουθώντας τον περιορισμό της απόστασης. Αν καμία απάντηση δε



φτάσει στον ερωτώντα σε ένα δεδομένο χρονικό ή χωρικό διάστημα, η ερώτηση γίνεται ξανά χωρίς να εφαρμόζεται ο περιορισμός.



Σχήμα 4.2 Προώθηση Μηνύματος Ερώτησης.

#### 4.1.4. Απάντηση σε Ερωτήσεις.

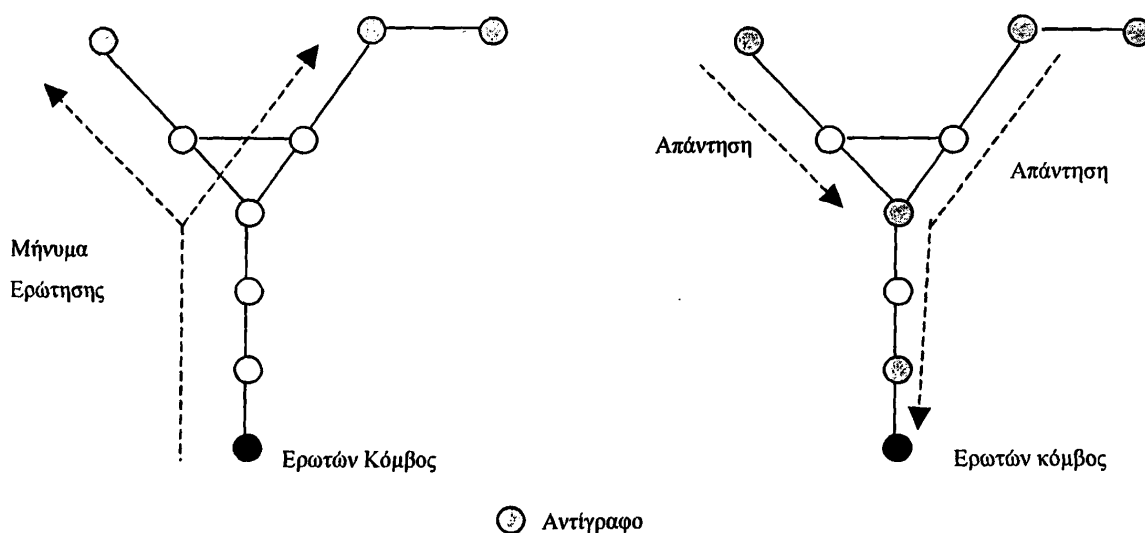
Όταν ένας κόμβος λάβει ένα μήνυμα ερώτησης και κρατάει το δεδομένο ή ένα αντίγραφο αυτού, στέλνει ένα μήνυμα απάντησης στον κόμβο που ξεκίνησε την ερώτηση. Το μήνυμα απάντησης προωθείται με τον ίδιο τρόπο που προωθούνται και οι ερωτήσεις: ο κόμβος που έχει το δεδομένο κάνει flooding ένα μήνυμα με το ζητούμενο δεδομένο. Ένας κόμβος που λαμβάνει ένα μήνυμα απάντησης δεν το προωθεί αν έχει ήδη λάβει το ίδιο μήνυμα. Επιπλέον, αν η απόσταση ανάμεσα στον κόμβο που έλαβε το μήνυμα απάντησης και τον κόμβο που έκανε την ερώτηση, είναι μεγαλύτερη από την απόσταση ανάμεσα στον κόμβο που απάντησε για το δεδομένο και τον κόμβο που έκανε την ερώτηση. Κλειδί για την προώθηση είναι πλέον η γεωγραφική θέση του κόμβου που έκανε την ερώτηση. Επιλέγοντας αυτόν τον τρόπο απάντησης, όλοι οι ενδιαμέσοι κόμβοι που προωθούν το μήνυμα μπορούν να λάβουν το δεδομένο που περιέχεται στο μήνυμα απάντησης και να το χρησιμοποιήσουν στο Relocation που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.



#### 4.1.5. Relocation Αντιγράφων.

Το δυναμικό Relocation των αντιγράφων εκτελείται όταν προωθείται ένα μήνυμα απάντησης. Σκοπός είναι να δημιουργηθούν αντίγραφα των δεδομένων για τα οποία γίνονται ερωτήσεις, έτσι ώστε να παραμείνει υψηλό το ποσοστό προσπέλασης στα δεδομένα ακόμη κι αν γίνουν τοπολογικές αλλαγές στο δίκτυο. Τα νέα αντίγραφα των δεδομένων πρέπει και πάλι να τοποθετηθούν σε κόμβους που απέχουν το πολύ απόσταση  $R$  από τις σχετιζόμενες με τα δεδομένα γεωγραφικές θέσεις, και πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον  $S$  hops μεταξύ δύο κόμβων που έχουν αντίγραφο του ίδιου δεδομένου.

Το Relocation, λοιπόν, εκτελείται όταν προωθείται ένα μήνυμα απάντησης και δεν χρειάζεται κάποιος ειδικός μηχανισμός αναγνώρισης των τοπολογικών αλλαγών. Όταν ένας κόμβος λάβει ένα μήνυμα ερώτησης και έχει στη διάθεσή του το δεδομένο, το στέλνει πίσω στον κόμβο που ρώτησε μαζί με μία μεταβλητή  $c'$ . Εδώ η μεταβλητή  $c'$  χρησιμοποιείται για να καθορίσει αν οι κόμβοι ανάμεσα στον ερωτών και τον απαντών θα κρατήσουν αντίγραφο του δεδομένου. Κάθε φορά που ένας κόμβος λαμβάνει το μήνυμα μειώνει τη  $c'$  κατά 1. Αν  $c' \bmod S = 0$  και η απόσταση μεταξύ του ενδιάμεσου κόμβου και της σχετιζόμενης με το δεδομένο γεωγραφικής θέσης είναι μικρότερη από  $R$ , το δεδομένο αντιγράφεται και από τον ενδιάμεσο κόμβο. (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3 Η Φάση του Relocation.



#### 4.2. Η Μέθοδος Redman.

Η μέθοδος REDMAN ([2], [1]) ονομάστηκε έτσι από τα αρχικά των λέξεων REplication In Dense MANETs. Το REDMAN είναι ένα middleware που υποστηρίζει έναν lightweight τρόπο διαχείρισης, διασποράς και ανάκτησης αντιγράφων δεδομένων σε πυκνά (dense) MANETs, έτσι ώστε κάθε κόμβος να μπορεί να έχει πρόσβαση σε τουλάχιστον ένα αντίγραφο στη γειτονιά του. Ουσιαστικά, λειτουργεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρεί, με έναν φτηνό-απλό και συνάμα ελλιπή σε συνέπεια τρόπο, τον επιθυμητό βαθμό Replication σε ένα dense MANET ανεξάρτητα από τις πιθανές εισόδους-εξόδους κόμβων από το δίκτυο. Εξαιτίας της έλλειψης υποδομής στα MANETs είναι γενικά πολύ δύσκολο να γίνει διαχείριση σε δίκτυα γενικού σκοπού και για το λόγο αυτό η μελέτη εστιάζει κυρίως σε πυκνά MANETs.

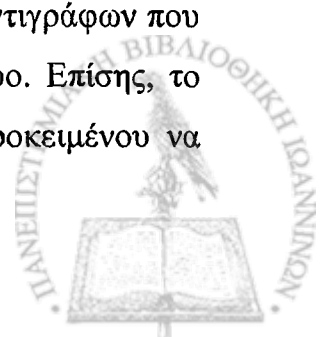
Ένα πυκνό MANET έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό ασύρματων συσκευών ταυτόχρονα τοποθετημένων σε μία σχετικά μικρή περιοχή.
- Η πυκνότητα των κόμβων (ο μέσος αριθμός των ασύρματων κόμβων που βρίσκονται σε απόσταση ενός hop από οποιονδήποτε συμμετέχων κόμβο στο MANET) είναι σχεδόν σταθερή στη διάρκεια μεγάλων χρονικών διαστημάτων.

Πιο φορμαλιστικά, ένα dense MANET ορίζεται ως το σύνολο των MANET κόμβων  $DM(n) = \{d_0, \dots, d_{N-1}\}$ , όπου:

- Για κάθε  $j \in [0, N-1]$  ο κόμβος  $d_j$  έχει τουλάχιστον  $n$  γείτονες σε απόσταση ενός hop.
- Η σχετική πυκνότητα των κόμβων στην περιοχή που βρίσκονται  $DM(n)$  κόμβοι είναι σχεδόν σταθερή ως προς το χρόνο.

Η μέθοδος REDMAN δεδομένου ενός βαθμού αντιγράφων  $deg$  ενός δεδομένου, είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία και διασπορά  $deg$  αντιγράφων του δεδομένου, καθώς και για τη διατήρηση αυτού του βαθμού αντιγράφων παρά τις αλλαγές στη σύνθεση του συνόλου  $DM(n)$ . Το REDMAN δεν εγγυάται τη συνέπεια των αντιγράφων οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Αντίθετα, παρέχει κάποιες στρατηγικές αντίδρασης στη μείωση των αντιγράφων που υπάρχουν στο δίκτυο όταν κάποιοι κόμβοι αποτύχουν ή βγουν από το δίκτυο. Επίσης, το REDMAN διαχειρίζεται δεδομένα τα οποία είναι μόνο προς ανάγνωση, προκειμένου να αποφύγει την ανανέωση των αντιγράφων που είναι μία ακριβή διαδικασία.



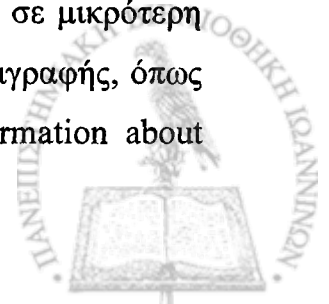
Στο REDMAN κάθε κόμβος μπορεί να έχει δύο διαφορετικούς ρόλους: μπορεί να είναι delegate (αντιπρόσωπος) και να είναι υπεύθυνος για τη διασπορά και ανάκτηση των αντιγράφων, ή να είναι manager που εκλέγεται δυναμικά (υπάρχει συγκεκριμένος αλγόριθμος στο [1]) και είναι υπεύθυνος για τη διατήρηση του βαθμού των αντιγράφων των δεδομένων.

#### 4.2.1. Διασπορά Αντιγράφων (Replica Distribution - RD).

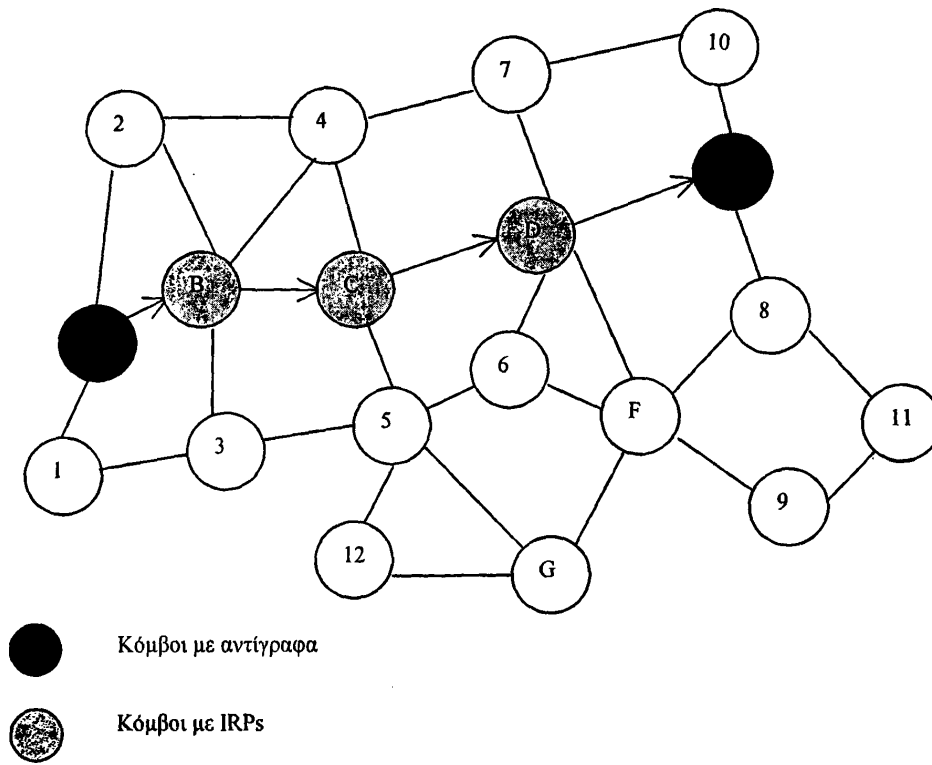
Το RD πρωτόκολλο έχει ως κύριο στόχο τη διασπορά των αντιγράφων των δεδομένων σε κόμβους με  $r$ -hops απόσταση κατά μήκος μιας περίπου σταθερής απόστασης. Όταν ένας κόμβος επιθυμεί να φτιάξει αντίγραφο ενημερώνει πρώτα τον replica manager, ο οποίος αφού αποφασίσει το βαθμό των αντιγράφων (deg) και κρατήσει σε έναν πίνακα στοιχεία για το βαθμό των αντιγράφων και κάποια μικρή πληροφορία για την τοποθέτησή τους, δίνει εντολή στον κόμβο να προχωρήσει στην υλοποίηση του replication.

Όταν ο κόμβος πάρει εντολή να φτιάξει αντίγραφο για κάποιο από τα δεδομένα του, στέλνει ένα πακέτο στο οποίο προσδιορίζει το πλήθος των αντιγράφων που επιθυμεί να δημιουργήσει και την επιθυμητή απόσταση των  $r$ -hops μεταξύ των αντιγράφων. Το πακέτο προωθείται σε κόμβους που βρίσκονται πάνω σε μία ευθεία γραμμή και με συγκεκριμένη κατεύθυνση, με βάση κάποιες εκτιμήσεις, ειδικές για dense MANETs. Στην ουσία, η βασική αρχή που ακολουθείται είναι ότι ένας κόμβος προσδιορίζει το ποιος θα είναι ο διάδοχός του, επιλέγοντας από τους γείτονές του εκείνον τον οποίο μοιράζεται τους λιγότερους γείτονες με τον πρόγονό του. Για το σκοπό αυτό, κάθε κόμβος για να επιλέξει τον διάδοχό του στέλνει στους γείτονές του τη λίστα με τους γείτονες του προκατόχου του και εκείνοι με τη σειρά τους του απαντούν. Ο μηχανισμός αυτός εξασφαλίζει μια σχεδόν σταθερή κατεύθυνση αν η πυκνότητα του δικτύου είναι περίπου ομοιόμορφη σε όλο το πυκνό MANET.

Όταν ένα πακέτο αντιγραφής φτάσει σε έναν κόμβο που βρίσκεται σε απόσταση  $r$ -hop από τον προηγούμενο αντίγραφο, δημιουργείται νέο αντίγραφο και ενημερώνεται ο manager. Το πλήθος των επιθυμητών αντιγράφων μειώνεται κατά ένα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Στους ενδιάμεσους κόμβους που δε δημιουργούν αντίγραφα (γιατί βρίσκονται σε μικρότερη απόσταση από τον προηγούμενο κόμβο), αλλά απλά προωθούν το πακέτο αντιγραφής, όπως θα δούμε και στην παράγραφο που ακολουθεί, δημιουργούνται IRPs (Information about



Replica Placement) τα οποία περιέχουν πληροφορία σχετική με το που είναι τοποθετημένα τα αντίγραφα. Στο Σχήμα 4.4 φαίνεται ένα παράδειγμα διασποράς αντιγράφων.



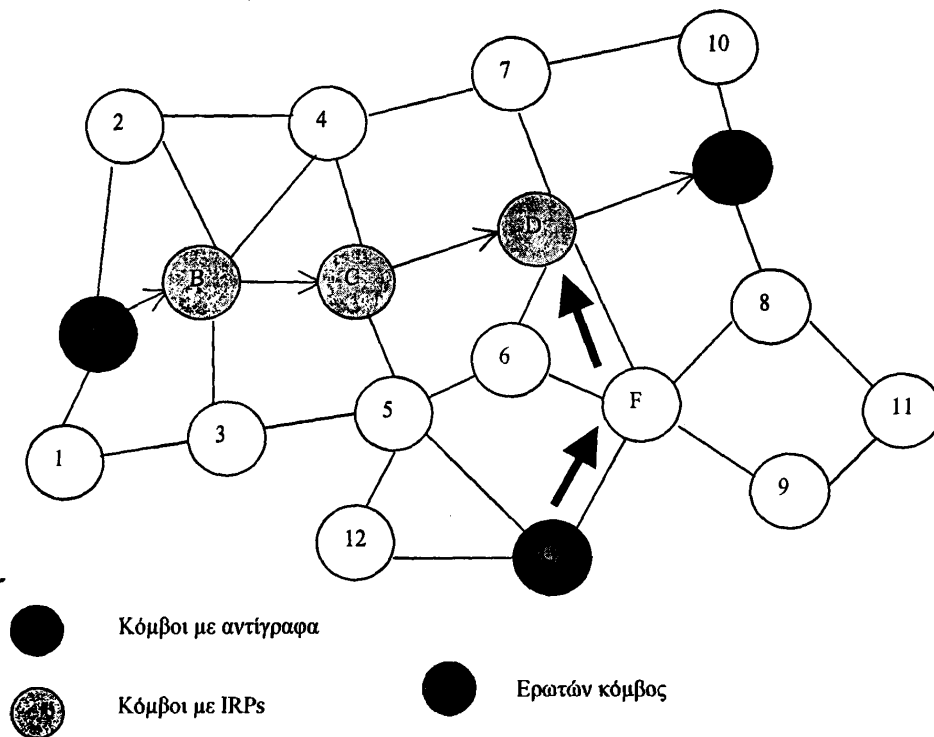
Σχήμα 4.4 Δημιουργία και Διασπορά Αντιγράφων με τη Μέθοδο Redman.

#### 4.2.2. Redman SID (Straight IRP Dissemination).

Γενικά, οι ερευνητές του REDMAN μελέτησαν διάφορους τρόπους για ανάκτηση αντιγράφων (Replica Retrieval) οι οποίες όμως δεν είχαν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Σχεδίασαν, έτσι, από την αρχή μία νέα τεχνική η οποία βασίζεται στη διασπορά πληροφορίας σχετικής με τη θέση όπου είναι τοποθετημένα τα αντίγραφα (IRPs) και την οποία ονόμασαν REDMAN SID. Η SID διασπείρει πληροφορία σχετική με τη θέση των αντιγράφων στο δίκτυο, έτσι ώστε να διευκολύνει κάποιον κόμβο να βρει το δεδομένο που ψάχνει. Η SID είναι πλήρως ενοποιημένη με την τεχνική που εφαρμόζεται για τη διασπορά των αντιγράφων (RR). Πιο συγκεκριμένα, η SID διασπείρει IRPs σε όλους τους κόμβους που βρίσκονται πάνω στη σχεδόν σταθερή κατεύθυνση στην οποία δημιουργούνται τα αντίγραφα των δεδομένων κατά τη διάρκεια του RR.



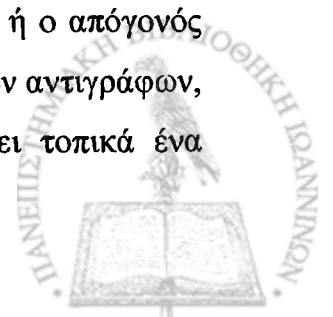
Όταν ένας κόμβος ζητήσει κάποιο δεδομένο το μήνυμα της ερώτησης προωθείται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που γίνεται και η διασπορά των αντιγράφων: το μήνυμα ακολουθεί μια σταθερή κατεύθυνση. Η πιθανότητα να επιτευχθεί μια τομή ανάμεσα στη γραμμή που σχηματίζει το μήνυμα της ερώτησης και σε αυτή που σχηματίστηκε από τη διασπορά αντιγράφων και IRPs είναι μεγάλη. Έτσι, επιτυγχάνεται και μια επιτυχής αναζήτηση.



Σχήμα 4.5 Redman SID.

#### 4.2.3. SID Reconstruction.

Η κινητικότητα των κόμβων είναι πιθανό να επηρεάσει την απόδοση της μεθόδου που προτάθηκε, αφού η κίνηση των κόμβων μπορεί εύκολα να καταστρέψει τις «νοητές» ευθείες που σχηματίζει η διασπορά αντιγράφων και IRPs. Για το λόγο αυτό η μέθοδος SID επεκτάθηκε με έναν επιπλέον μηχανισμό, πλήρως τοπικό και μη-κεντροποιημένο. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται SID Reconstruction και έχει ως στόχο του να εντοπίσει την μετακίνηση κόμβων που κατέχουν κάποιο IRP και να επανα-διασπείρει τα IRPs σε κατάλληλους γείτονες. Όταν κάποιος κόμβος διαπιστώσει ότι ο προγονός του ή ο απόγονός του κατά μήκος της ευθείας γραμμής, που δημιουργήθηκε κατά τη διασπορά των αντιγράφων, έχει μετακινηθεί (η υπηρεσία αυτή παρέχεται από το middleware), στέλνει τοπικά ένα



μήνυμα αναδόμησης. Όλοι οι κόμβοι που λαμβάνουν ένα μήνυμα που αφορά το ίδιο δεδομένο και από έναν πρόγονό τους και από έναν απόγονό τους μπορούν να αντικαταστήσουν τον κόμβο που μετακινήθηκε. Στην περίπτωση που δε βρεθεί κανένας τέτοιος κόμβος, ο κόμβος που εντόπισε τη μετακίνηση του προγόνου/απογόνου του ξεκινάει μια νέα IRP διασπορά.

### 4.3. Η Μέθοδος DAFN.

Η μέθοδος DAFN ([8]), είναι μία από τις τρεις μεθόδους (SAF, DAFN, DCG) διασποράς αντιγράφων δεδομένων σε ένα MANET, που προτάθηκαν από τον Hara. Βασικός στόχος της μεθόδου είναι η δημιουργία και η διασπορά αντιγράφων με βάση τη συχνότητα προσπέλασης στα δεδομένα από τους κόμβους του δικτύου. Με άλλα λόγια, δεδομένων των συχνοτήτων προσπέλασης στα δεδομένα από τους κόμβους του δικτύου, αντίγραφα των δεδομένων τοποθετούνται σε κόμβους με σκοπό να αυξηθεί όσο το δυνατό περισσότερο το ποσοστό επιτυχούς πρόσβασης στα δεδομένα.

Οι τρεις μέθοδοι (SAF, DAFN, DCG) που προτάθηκαν από το Hara είναι στην ουσία παραλλαγές της ίδιας μεθόδου και διαφέρουν στην έμφαση που δίνεται στη συχνότητα προσπέλασης στα δεδομένα και στην τοπολογία του δικτύου. Η SAF (Static Access Frequency) λαμβάνει υπόψη μόνο τη συχνότητα προσπέλασης στα δεδομένα προκειμένου να δημιουργήσει αντίγραφα. Στη DAFN (Dynamic Access frequency and Neighborhood) λαμβάνονται υπόψη η συχνότητα προσπέλασης, αλλά και τη γειτονιά κάθε κόμβου. Τέλος, στη DCG (Dynamic Connectivity based Grouping) η τοποθέτηση των αντιγράφων γίνεται βάσει της συχνότητας προσπέλασης στα δεδομένα, αλλά και της συνολικής τοπολογίας του δικτύου.

Η μέθοδος DAFN δημιουργήθηκε για ένα MANET με τα εξής χαρακτηριστικά και παραδοχές:

- Υπάρχουν  $m$  κόμβοι στο δίκτυο και κάθε ένας από αυτούς έχει ένα αναγνωριστικό (identifier)  $M_i$ .
- Υπάρχουν  $n$  συνολικά δεδομένα και κάθε ένα από αυτά έχει ένα αναγνωριστικό (identifier)  $D_j$ .





- Κάθε κόμβος μπορεί να αποθηκεύσει τοπικά C δεδομένα.
- Τα δεδομένα δεν ανανεώνονται.
- Για κάθε δεδομένο είναι γνωστή η συχνότητα προσπέλασης από κάθε έναν από τους κόμβους. Η συχνότητα αυτή δεν αλλάζει.
- Τα δεδομένα διασπείρονται στο δίκτυο με συγκεκριμένη περίοδο (relocation period).
- Σε κάθε Relocation Period, η διασπορά των αντιγράφων καθορίζεται από τις συχνότητες πρόσβασης στα δεδομένα των κόμβων και από την τοπολογία του δικτύου εκείνη τη χρονική στιγμή.

#### 4.3.1. Περιγραφή Μεθόδου DAFN.

Για να κατανοηθεί πλήρως η μέθοδος DAFN είναι απαραίτητο να περιγραφεί πρώτα η μέθοδος SAF την οποία χρησιμοποιεί άμεσα η DAFN. Στη μέθοδο SAF, κάθε κόμβος επιλέγει τα C δεδομένα που έχουν τη μεγαλύτερη συχνότητα προσπέλασης και τα τοποθετεί στη μνήμη του. Τη στιγμή που γίνεται η επιλογή των δεδομένων είναι πιθανό ο κόμβος να μη συνδέεται με τον κόμβο που έχει το αυθεντικό δεδομένο ή ένα αντίγραφο του δεδομένου που επέλεξε. Στην περίπτωση αυτή η θέση μνήμης παραμένει κενή και το αντίγραφο δημιουργείται όταν ο κόμβος καταφέρει να επικοινωνήσει με κάποιο κόμβο που έχει το αυθεντικό δεδομένο ή αντίγραφο αυτού (Σχήμα 4.6).

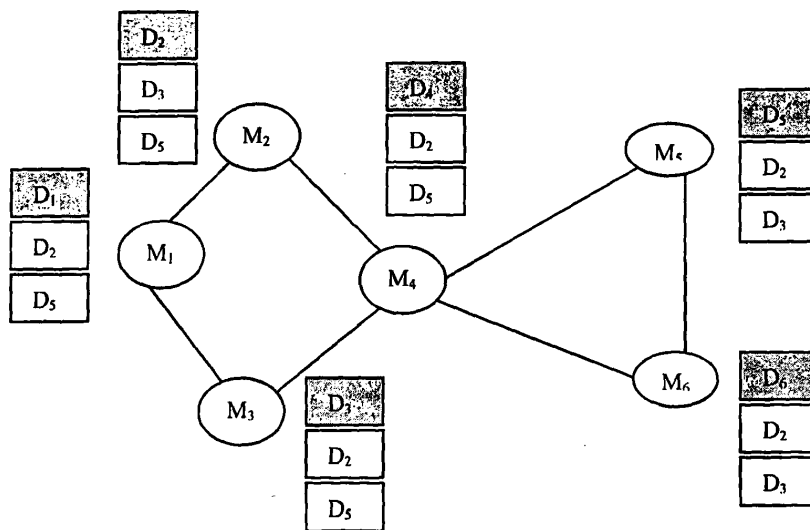
Είναι προφανές ότι στη μέθοδο που μόλις περιγράφηκε κόμβοι που έχουν τα ίδια περίπου χαρακτηριστικά πρόσβασης στα δεδομένα βάζουν στη μνήμη τους αντίγραφα, σχεδόν, των ίδιων δεδομένων. Αυτό είναι ένα μειονέκτημα αν σκεφτεί κανείς ότι οι κόμβοι μπορούν να πάρουν δεδομένα και από άλλους κόμβους. Θα ήταν καλύτερο, δηλαδή, να διασπείρονται περισσότερα διαφορετικά δεδομένα.

Η μέθοδος DAFN σχεδιάστηκε για να επιλύσει το παραπάνω πρόβλημα, έχοντας ως βασικό στόχο να μειώσει τα διπλά αντίγραφα που υπάρχουν σε γειτονικούς κόμβους. Αρχικά, στη μέθοδο αυτή η διασπορά των αντιγράφων καθορίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως στη μέθοδο SAF. Στη συνέχεια, αν ανάμεσα σε δύο γειτονικούς κόμβους υπάρχουν αντίγραφα ίδιων δεδομένων, ο κόμβος που έχει τη μικρότερη συχνότητα προσπέλασης στο δεδομένο αυτό, το



αντικαθιστά με κάποιο άλλο. Επειδή μάλιστα οι κόμβοι μετακινούνται και η λίστα με τους γείτονες αλλάζει, η μέθοδος DAFN εκτελείται σε κάθε Relocation Period.

Data	Mobile Host					
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>
D <sub>1</sub>	0.65	0.25	0.17	0.22	0.31	0.24
D <sub>2</sub>	0.44	0.62	0.41	0.40	0.42	0.46
D <sub>3</sub>	0.35	0.44	0.50	0.25	0.15	0.37
D <sub>4</sub>	0.31	0.15	0.10	0.60	0.09	0.10
D <sub>5</sub>	0.51	0.41	0.43	0.38	0.71	0.20
D <sub>6</sub>	0.08	0.07	0.05	0.15	0.20	0.62
D <sub>7</sub>	0.38	0.32	0.37	0.33	0.40	0.32
D <sub>8</sub>	0.22	0.33	0.21	0.23	0.24	0.17
D <sub>9</sub>	0.18	0.16	0.19	0.17	0.24	0.21
D <sub>10</sub>	0.09	0.08	0.06	0.11	0.12	0.09



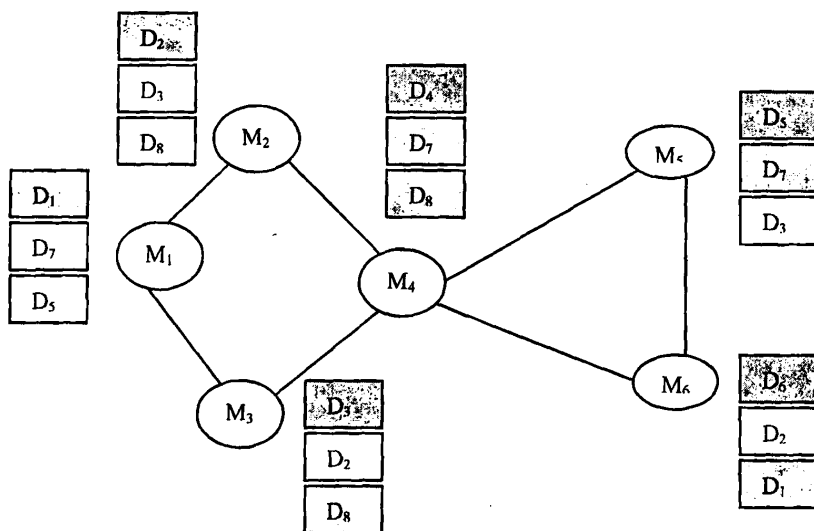
Σχήμα 4.6 Παράδειγμα της Μεθόδου SAF.

Ο αλγόριθμος DAFN έχει ως εξής:

- Σε κάθε Relocation Period, κάθε κόμβος στέλνει στους γείτονές του ένα μήνυμα που περιέχει το αναγνωριστικό του και πληροφορία σχετική με τη συχνότητα προσπέλασης στα δεδομένα. Όταν όλοι οι κόμβοι ολοκληρώσουν αυτό το βήμα, κάθε ένας από αυτούς θα γνωρίζει τους γείτονές του.
- Στη συνέχεια κάθε κόμβος δημιουργεί αντίγραφα όπως στη μέθοδο SAF.
- Για κάθε ζεύγος κόμβων που είναι γείτονες, ο κόμβος με το μικρότερο αναγνωριστικό ξεκινάει την εξής διαδικασία: αν στους δύο γείτονες υπάρχει κοινό δεδομένο

(αυθεντικό ή αντίγραφο), τότε ο κόμβος που έχει το αυθεντικό το κρατάει και ο κόμβος που έχει το αντίγραφο το αλλάζει με κάποιο άλλο αντίγραφο. Αν και οι δύο έχουν αντίγραφο του δεδομένου, ο κόμβος που έχει τη μικρότερη συχνότητα πρόσβασης σε αυτό το αλλάζει σε κάποιο άλλο. Όταν ένας από τους δύο πρέπει να αλλάξει το αντίγραφο ενός δεδομένου με κάποιο άλλο, που δεν υπάρχει σε κανέναν από τους δύο, επιλέγει ένα για το οποίο έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα πρόσβασης ανάμεσα σε όλα τα πιθανά.

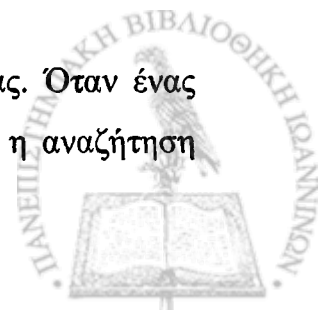
Είναι πιθανό κατά το Relocation, ο κόμβος να μη συνδέεται με τον κόμβο που έχει το αυθεντικό δεδομένο ή ένα αντίγραφο του δεδομένου που επέλεξε. Στην περίπτωση αυτή η μνήμη γεμίζει προσωρινά με αντίγραφα δεδομένων που είχαν επιλεγεί στην προηγούμενη Relocation Period, αλλά όχι στην τρέχουσα. Και πάλι, βέβαια, επιλέγεται το δεδομένο για το οποίο η συχνότητα πρόσβασης είναι η μεγαλύτερη. Αν δεν υπάρχει τέτοιο δεδομένο, η θέση μνήμης παραμένει κενή. Στο Σχήμα 4.7 φαίνεται το αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθόδου DAFN στο παράδειγμα του Σχήματος 4.6.



Σχήμα 4.7 Παράδειγμα της Μεθόδου DAFN.

#### 4.3.2. Αναζήτηση Δεδομένων και Απάντηση σε Ερωτήσεις για Δεδομένα.

Η αναζήτηση ενός δεδομένου γίνεται με βάση τον αλγόριθμο της πλημμύρας. Όταν ένας κόμβος ζητήσει κάποιο δεδομένο κοιτάει αρχικά στη μνήμη του. Αν το έχει η αναζήτηση



θεωρείται επιτυχής. Αν δεν το έχει στέλνει ένα μήνυμα αναζήτησης στους γείτονές του. Όταν ένας κόμβος λάβει ένα μήνυμα ερώτησης ελέγχει τη μνήμη του. Αν έχει το δεδομένο (αυθεντικό ή αντίγραφο) στέλνει ένα μήνυμα απάντησης στον κόμβο που το ζήτησε και σταματά να προωθεί το μήνυμα ερώτησης. Αν δεν έχει το δεδομένο προωθεί το μήνυμα στους γείτονές του. Αν ο ερωτών, μέσα σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, λάβει κάποιο μήνυμα απάντησης η ερώτηση θεωρείται επιτυχής, διαφορετικά θεωρείται ότι δεν ήταν δυνατή η εύρεση του δεδομένου και η ερώτηση αποτυγχάνει. Για να μη κατακλυστεί το δίκτυο από μηνύματα η αναζήτηση γίνεται πάντα με κάποιο μέγιστο βάθος αναζήτησης.

Αν ένας κόμβος λάβει ένα μήνυμα ερώτησης για ένα δεδομένο και το έχει τοπικά, στέλνει το δεδομένο στον κόμβο που το ζήτησε. Η απάντηση στην ερώτηση γίνεται ακολουθώντας το αντίστροφο μονοπάτι της ερώτησης. Κατά την προώθηση του μηνύματος ερώτησης κάθε κόμβος κρατάει πληροφορία σχετική με το μονοπάτι που ακολούθησε το μήνυμα, η οποία χρησιμοποιείται, στη συνέχεια, για την προώθηση του μηνύματος απάντησης.

#### 4.4. Η Μέθοδος Expanding Ring.

Πρόκειται για μία μέθοδο που ανήκει στην κατηγορία των pull-based μεθόδων δημιουργίας και διασποράς αντιγράφων ([19]). Δημιουργήθηκε με βασικό στόχο την ανάπτυξη ενός μηχανισμού Replication για κόμβους που κινούνται, ο οποίος θα έχει μικρό σχετικά κόστος και θα λαμβάνει υπόψη την προθυμία των κόμβων του δικτύου. Με τον όρο προθυμία δηλώνεται η ικανότητα και η διάθεση που έχει κάθε κόμβος του MANET να φιλοξενήσει αντίγραφα δεδομένων που δεν ανήκουν στον ίδιο. Η προθυμία ενός κόμβου είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων: μνήμη, αποθέματα μπαταρίας, υπολογιστική δύναμη

Η μέθοδος θεωρεί ότι σε κάθε κόμβο του δικτύου υπάρχει ένας Data Agent ο οποίος διεκπεραιώνει διεργασίες που έχουν σχέση με την ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα στους κόμβους. Κάθε κόμβος του δικτύου έχει ένα σύνολο από δικά του δεδομένα και μπορεί (εξαρτάται από τη προθυμία του) να φιλοξενεί και αντίγραφα δεδομένων που ανήκουν σε άλλους κόμβους. Επίσης, για το συνολικό δίκτυο υπάρχει και ένας κεντρικός server, που όπως θα δούμε στη συνέχεια, έχει πολλαπλούς ρόλους.



#### 4.4.1. Πρόσβαση στα Δεδομένα.

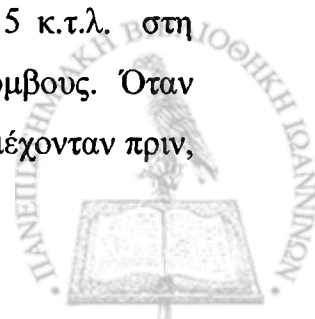
Όταν ένας κόμβος χρειάζεται κάποιο δεδομένο, δημιουργεί ένα μήνυμα στο οποίο περιγράφει την πληροφορία (δεδομένο), την οποία χρειάζεται, και το στέλνει στους γείτονές του και μόνο. Οι γείτονες δεν προωθούν το μήνυμα περαιτέρω για να μη δημιουργήσουν πλημμύρα ερωτήσεων, αλλά και να προλάβουν μια πιθανή πλημμύρα απαντήσεων. Αν οποιοσδήποτε γείτονας έχει ένα αντίγραφο του δεδομένου που ζητείται στέλνει το δεδομένο πίσω στον ερωτών κόμβο. Αν ο τελευταίος δε λάβει καμία θετική απάντηση στέλνει την ερώτηση στον server.

Ένα προφανές ερώτημα είναι γιατί ένα μήνυμα ερώτησης δεν προωθείται πέρα από ένα hop. Ένας λόγος είναι η εξοικονόμηση ενέργειας. Από τη στιγμή που το μήνυμα δεν προωθείται σε όλο το δίκτυο οι κόμβοι εξοικονομούν μπαταρία, την οποία χρησιμοποιούν για δικούς τους σκοπούς και όχι για να εξυπηρετήσουν κόμβους που μπορεί να βρίσκονται αρκετά μακριά τους. Επίσης οι κόμβοι μπορεί επειδή αδιαφορούν ή επειδή είναι απρόθυμοι να συνεργαστούν να μη θέλουν να εξυπηρετήσουν ερωτήσεις κόμβων που δεν ανήκουν στη γειτονιά τους.

#### 4.4.2. Ο Μηχανισμός Replication Expanding Ring.

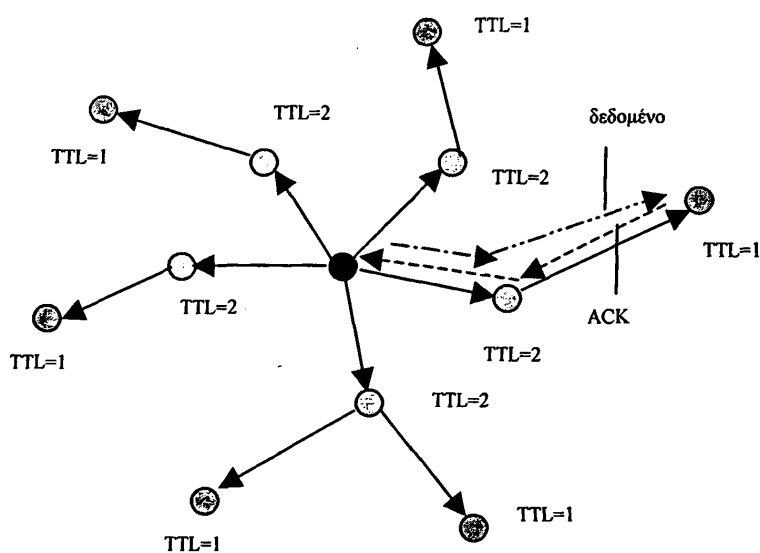
Στην Παράγραφο 4.4.1 είδαμε ότι, όταν ένας κόμβος δε βρει το δεδομένο που ψάχνει στη γειτονιά του στέλνει το μήνυμα ερώτησης στο server. Ο server καταγράφει τις ερωτήσεις που δέχεται μέσα σε μια χρονική περίοδο  $T$  (Window Period) και υπολογίζει τη συχνότητα ερωτήσεων  $f_i$  για κάθε δεδομένο  $d_i$ . Αν η συχνότητα αυτή ξεπεράσει μια συγκεκριμένη τιμή, ο server αποφασίζει να δημιουργήσει και να διασπείρει αντίγραφα του δεδομένου (ζητά το δεδομένο από τον κόμβο και δημιουργεί αντίγραφα) σε πρόθυμους κόμβους.

Η τεχνική δημιουργίας και διασποράς αντιγράφων μοιάζει αρκετά με την τεχνική ερωτήσεων Expanding Ring που βασίζεται σε μία Time-To-Live (TTL) αναζήτηση. Στο συγκεκριμένο σχήμα που μελετάται, ο server διατηρεί ένα σύνολο από τιμές για hops,  $S_i$ , για κάθε δεδομένο  $d_i$ . Αυτές οι τιμές δηλώνουν σε πόσα hops από το server πρέπει να δημιουργηθούν αντίγραφα του δεδομένου. Για παράδειγμα οι τιμές αυτές μπορεί να είναι:  $S_i = 1, 3, 5$  κ.τ.λ. Στη συνέχεια ο server προσπαθεί να διασπείρει αντίγραφα σε πρόθυμους κόμβους. Όταν ολοκληρώσει αυτή τη διαδικασία αλλάζει τις τιμές του  $S_i$  σε αυτές που δεν περιέχονταν πριν,



δηλαδή  $S_i=2, 4, 6$  κ.τ.λ. Ο μοναδικός περιορισμός που υπάρχει είναι ότι τα αντίγραφα του ίδιου δεδομένου δεν πρέπει να απέχουν λιγότερο από δύο hops.

Προκειμένου να διασπείρει τα αντίγραφα σε πρόθυμους κόμβους ο server εξετάζει όλους τους κόμβους που βρίσκονται σε απόσταση  $S$  hops από αυτόν: στέλνει ένα μήνυμα το οποίο περιλαμβάνει πληροφορία για όλα τα δεδομένα που επιθυμεί να διασπείρει και ένα  $TTL=\max(h_i)$  όπου  $h_i \in S$ . Κάθε κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα και είναι πρόθυμος να φιλοξενήσει τα αντίγραφα κάποιων δεδομένων απαντά θετικά στον server και στη συνέχεια μειώνει το TTL κατά 1 και προωθεί το μήνυμα στους δικούς του γείτονες. Το θετικό μήνυμα απάντησης περιέχει πληροφορία για τα δεδομένα των οποίων επιθυμεί να φιλοξενήσει αντίγραφα ο κόμβος. Όταν ο server λάβει ένα θετικό μήνυμα στέλνει στον αντίστοιχο κόμβο τα αντίγραφα των δεδομένων που ζήτησε. Στο Σχήμα 4.8 φαίνεται ένα παράδειγμα της μεθόδου.



Σχήμα 4.8 Η Μέθοδος Expanding Ring.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ

- 5.1 Περιβάλλον Πειραμάτων
- 5.2 Τι Μετρήθηκε
- 5.3 Πειραματική Μελέτη της Skip Copy
- 5.4 Πειραματική Μελέτη της Redman
- 5.5 Πειραματική Μελέτη της DAFN
- 5.6 Πειραματική Μελέτη της Expanding Ring

### 5.1. Περιβάλλον Πειραμάτων.

Για την πειραματική μελέτη των μεθόδων υλοποιήθηκε ένα περιβάλλον το οποίο προσομοιώνει ένα MANET. Το πειραματικό περιβάλλον αυτό είναι κοινό για όλες τις μεθόδους, απλά, ανάλογα με τη μέθοδο, μπορεί να προστεθούν ή να αφαιρεθούν κάποια χαρακτηριστικά.

Ο προσομοιωτής υλοποιήθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού C και είναι γενικός. Προσομοιώνει το σκελετό ενός MANET με πλήθος κόμβων και δεδομένων τα οποία μπορούν να μεταβάλλονται. Για κάθε κόμβο του δικτύου υποστηρίζει διαφορετικές καταστάσεις κίνησης και ενεργειών. Έτσι, ένας κόμβος μπορεί να κινείται ή να είναι ακίνητος, μπορεί να κάνει ερωτήσεις και να δημιουργεί δεδομένα ή όχι.

Το αρχικό δίκτυο (η αρχική θέση του κάθε κόμβου) που δημιουργείται από τον προσομοιωτή είναι τυχαίο. Μία συνάρτηση υπολογίζει τις αποστάσεις μεταξύ των κόμβων και δημιουργεί μία λίστα από γείτονες σε κάθε κόμβο. Η λίστα αυτή ανανεώνεται κάθε φορά που οι κόμβοι μετακινούνται, ώστε, για κάθε κόμβο και για κάθε χρονική στιγμή, να περιέχει τους κόμβους εκείνους οι οποίοι βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια επικοινωνίας του κόμβου.

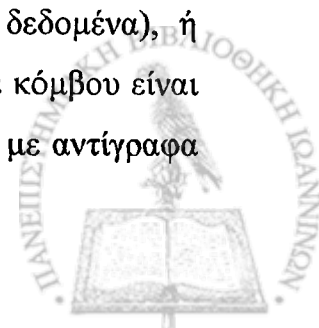


Στον προσομοιωτή υποστηρίζεται κίνηση των κόμβων με τρία διαφορετικά μοντέλα κίνησης: το Random Way Point Model, το Random Direction Model και το Dandom Walkers Model. Κάθε κόμβος έχει μια θέση η οποία αλλάζει σε κάθε βήμα του προσομοιωτή. Η νέα θέση υπολογίζεται βάσει του μοντέλου κίνησης που χρησιμοποιείται. Στην ουσία κάθε μοντέλο κίνησης δεν είναι τίποτε άλλο παρά μία ξεχωριστή συνάρτηση η οποία καλείται από το κυρίως πρόγραμμα. Έτσι, για να αλλάξουμε μοντέλο κίνησης δεν έχουμε παρά να αλλάξουμε την κλήση μιας συνάρτησης. Ο προσομοιωτής μπορεί να εμπλουτιστεί εύκολα με νέα μοντέλα κίνησης, προσθέτοντας απλώς τη συνάρτηση που υλοποιεί το νέο μοντέλο στο συνολικό πρόγραμμα.

Οι τέσσερις μέθοδοι Replication, που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 4, υποστηρίζονται πλήρως στον προσομοιωτή. Κάθε μία από αυτές υλοποιείται σαν μια ξεχωριστή συνάρτηση και κάθε φορά, ανάλογα με το ποια μέθοδο θέλουμε να εφαρμόσουμε στο MANET, καλείται η αντίστοιχη συνάρτηση. Ανάλογα με πριν, η επέκταση με μία νέα μέθοδο Replication είναι πολύ εύκολη: αρκεί να προσθέσουμε τη συνάρτηση που υλοποιεί τη νέα μέθοδο Replication.

Το προσομοιωμένο MANET αποτελείται από  $N$  κόμβους οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε μια επίπεδη περιοχή διαστάσεων  $N_1 \times N_2$ . Η αρχική θέση κάθε κόμβου μέσα στην επίπεδη περιοχή επιλέγεται τυχαία. Από τους συνολικούς κόμβους, MOVING\_NODES κόμβοι κινούνται, ενώ οι υπόλοιποι όχι. Οι κόμβοι μπορούν να κινούνται (με βάση κάποιο από τα τρία μοντέλα κίνησης που περιγράφηκαν στην Παράγραφο 2.2.5) με ταχύτητα  $v \in [v_{\min}, v_{\max}]$ . Όλοι οι κόμβοι του δικτύου έχουν εμβέλεια επικοινωνίας  $R$  και κατά συνέπεια κάθε κόμβος έχει ένα σύνολο από γείτονες. Η επικοινωνία μπορεί να είναι είτε άμεση (σε ένα hop), είτε έμμεση (multihop) με τη βοήθεια κάποιων ενδιάμεσων κόμβων. Από το σύνολο των κόμβων, ACTIVE\_NODES κόμβοι είναι ενεργοί, δηλαδή δημιουργούν δεδομένα και κάνουν ερωτήσεις για δεδομένα. Οι υπόλοιποι κόμβοι προωθούν απλώς μηνύματα.

Στο MANET υπάρχουν συνολικά  $D$  δεδομένα και κάθε κόμβος διαθέτει cache μεγέθους  $M$  στην οποία αποθηκεύει τα δεδομένα, που δημιουργεί ο ίδιος (αυθεντικά δεδομένα), ή αντίγραφα δεδομένων, που δημιούργησαν άλλοι κόμβοι. Αρχικά, η cache κάθε κόμβου είναι άδεια και γεμίζει με την πάροδο του χρόνου είτε με αυθεντικά δεδομένα, είτε με αντίγραφα





άλλων δεδομένων. Όταν η cache γεμίζει και πρέπει να προστεθεί ένα νέο δεδομένο, απομακρύνεται τυχαία κάποιο από αυτά που υπάρχουν ήδη στην cache και τη θέση του την παίρνει το νέο. Η δημιουργία των δεδομένων από τους κόμβους ακολουθεί κατανομή Poisson με μέσο ρυθμό MEAN\_GENERATION. Κάθε κόμβος κάνει ερώτηση για κάποιο δεδομένο πάλι με βάση μια κατανομή Poisson με μέσο ρυθμό MEAN\_REQUEST.

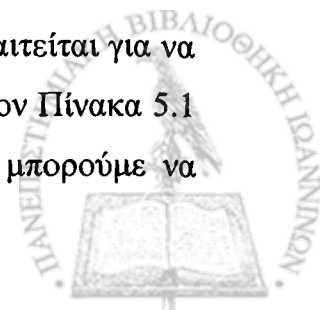
Η προσομοίωση γίνεται για 2.500 επαναλήψεις και σε κάθε επανάληψη υπολογίζονται εκ νέου οι γείτονες κάθε κόμβου μιας και μπορεί, λόγω της κίνησης, να έχουν γίνει κάποιες αλλαγές. Σε κάθε επανάληψη του προσομοιωτή ένας κόμβος μπορεί να προβεί σε μία ή περισσότερες από τις παρακάτω ενέργειες:

- Να δημιουργήσει ένα νέο δεδομένο.
- Να ξεκινήσει διαδικασία δημιουργίας και διασποράς αντιγράφων.
- Να συμμετάσχει σε διαδικασία δημιουργίας και διασποράς αντιγράφων που ξεκίνησε ένας άλλος κόμβος.
- Να ρωτήσει για κάποιο δεδομένο.
- Να απαντήσει για κάποιο δεδομένο.
- Να κινηθεί ή να μείνει ακίνητος.
- Να προσθέσει/αντικαταστήσει κάποιο δεδομένο στην cache του.

Πίνακας 5.1 Παράμετροι του Περιβάλλοντος Προσομοίωσης.

Παράμετρος	Σύμβολο
Διαστάσεις περιοχής	N1, N2
Πλήθος κόμβων	N
Πλήθος κινούμενων κόμβων	MOVING_NODES
Πλήθος ενεργών κόμβων	ACTIVE_NODES
Πλήθος συνολικών δεδομένων	D
Εμβέλεια επικοινωνίας	R
Ελάχιστη ταχύτητα κίνησης	$v_{min}$
Μέγιστη ταχύτητα κίνησης	$v_{max}$
Συχνότητα δημιουργίας δεδομένων	MEAN_GENERATION
Συχνότητα ερωτήσεων	MEAN_REQUEST

Θεωρούμε ότι οι κόμβοι κινούνται σχετικά αργά σε σχέση με το χρόνο που απαιτείται για να απαντηθεί μια ερώτηση ή για να ολοκληρωθεί η διαδικασία του replication. Στον Πίνακα 5.1 φαίνονται οι παράμετροι του μοντέλου προσομοίωσης. Στα πειράματά μας μπορούμε να



μεταβάλλουμε κάθε μία από τις παραμέτρους αυτού του πίνακα, ώστε να προκύψει ένα δίκτυο με διαφορετικά χαρακτηριστικά και διαφορετική συμπεριφορά για κάθε κόμβο.

## 5.2. Τι Μετρήθηκε.

Μελετήθηκε η συμπεριφορά των τεσσάρων μεθόδων, ξεχωριστά, στο παραπάνω πειραματικό περιβάλλον, για διάφορες τιμές των παραμέτρων της κάθε μεθόδου και του περιβάλλοντος προσομοίωσης και για δύο διαφορετικά μοντέλα κίνησης: το RD(Random Direction Model) και το RWP (Random Waypoint Model). Επιλέξαμε αυτά τα δύο μοντέλα κίνησης, μέσα από τον αρκετά μεγάλο αριθμό μοντέλων προσομοίωσης της κίνησης, που υπάρχουν για τα MANETs, γιατί έχει ενδιαφέρον ο τρόπος με τον οποίο κατανέμουν τους κόμβους μέσα στην περιοχή όπου είναι τοποθετημένοι:

- Στο RWP οι κόμβοι «συγκεντρώνονται», κυρίως, στο κέντρο της περιοχής με αποτέλεσμα το δίκτυο να είναι περισσότερο συνεκτικό και να ευνοούνται οι καλές επιδόσεις. Επίσης, το RWP είναι το μοντέλο που χρησιμοποιείται επί το πλείστον στη βιβλιογραφία, ως μοντέλο κίνησης των κόμβων ενός MANET.
- Στο RD οι κόμβοι κατανέμονται ομοιόμορφα, με αποτέλεσμα ο διαχωρισμός του δικτύου σε συνιστώσες να είναι πιο πιθανός απ' ό τι στο RWP. Το γεγονός αυτό περιορίζει την καλή επίδοση των μεθόδων.

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, διατηρούνται στατιστικά που αφορούν:

- τις συνολικές ερωτήσεις που έγιναν στο MANET κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης,
- τον αριθμό των ερωτήσεων που απαντήθηκαν επιτυχώς,
- τον αριθμό των ερωτήσεων που δεν κατέστη δυνατό να απαντηθούν,
- το συνολικό αριθμό των μηνυμάτων που εστάλησαν,
- το συνολικό αριθμό των μηνυμάτων που ελήφθησαν,
- τον αριθμό των μηνυμάτων που εστάλησαν/ελήφθησαν κατά το Replication,
- τον αριθμό των μηνυμάτων που εστάλησαν/ελήφθησαν προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι ερωτήσεις των κόμβων για δεδομένα.

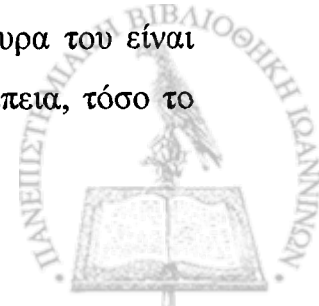


Με βάση τα παραπάνω μεγέθη που μετρήθηκαν υπολογίστηκαν δύο μετρικές επίδοσης των τεσσάρων μεθόδων δημιουργίας και διασποράς αντιγράφων:

- Το *ποσοστό επιτυχίας* της μεθόδου, που ορίζεται σαν ο λόγος του αριθμού των επιτυχών ερωτήσεων προς τον αριθμό των συνολικών ερωτήσεων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- Το *συνολικό κόστος* της μεθόδου, που προσδιορίζεται από τα συνολικά μηνύματα που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Υπογραμμίζεται ότι πρόκειται και για τα μηνύματα της διαδικασίας δημιουργίας αντιγράφων, αλλά και για τα μηνύματα που προκαλούν οι ερωτήσεις/απαντήσεις για δεδομένα.

Τα μηνύματα στο MANET δημιουργούνται είτε κατά τη διάρκεια του Relocation, είτε κατά τη διάρκεια των ερωτήσεων/απαντήσεων για δεδομένα και σχετίζονται πάντα με την επικοινωνία των κόμβων. Πρέπει να τονιστεί ότι, σε αντίθεση με άλλα δίκτυα, σε ένα MANET τα μηνύματα που λαμβάνονται είναι διαφορετικά σε αριθμό από τα μηνύματα που στέλνονται. Όταν ένας κόμβος A εκπέμπει ένα μήνυμα αυτό δε λαμβάνεται από ένα μόνο κόμβο, αλλά από όλους εκείνους τους κόμβους που βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια επικοινωνίας του κόμβου A. Σίγουρα δεν θα ενδιαφέρονται όλοι οι κόμβοι για το μήνυμα αυτό και κάποιοι από αυτούς θα το καταστρέψουν, αφού πρώτα ελέγξουν το περιεχόμενό του. Το γεγονός και μόνο ότι το λαμβάνουν, όμως, και είναι αναγκασμένοι να το ελέγξουν, οδηγεί σε σπατάλη ενέργειας από την πλευρά των κόμβων. Αυτό είναι σημαντικό αν σκεφτούμε τους περιορισμούς αυτονομίας στους οποίους υπόκεινται αυτοί οι κόμβοι. Για τους παραπάνω λόγους θεωρήθηκε πιο ενδεικτικό να υπολογιστεί το συνολικό κόστος της μεθόδου βάσει του αριθμού των μηνυμάτων που λαμβάνονται και όχι των μηνυμάτων που στέλνονται.

Για όλες τις μεθόδους μελετήθηκε η επίδραση που είχε στο ποσοστό επιτυχίας και στο συνολικό κόστος, το μέγεθος της μνήμης των κόμβων. Οι κόμβοι ενός MANET έχουν περιορισμένη μνήμη, εξαιτίας της ίδιας τους της κατασκευής, και δε μπορούν να διαθέτουν μεγάλο μέρος της μνήμης αυτής για φιλοξενία δεδομένων που δεν τους ανήκουν. Αν ένας κόμβος διαθέσει όλη τη μνήμη του για αποθήκευση αντιγράφων δεδομένων άλλων κόμβων, δε θα μπορεί να αποθηκεύσει δεδομένα που δημιουργεί ο ίδιος και που σίγουρα του είναι περισσότερο απαραίτητα απ' ό,τι τα δεδομένα των άλλων κόμβων. Κατά συνέπεια, τόσο το



ποσοστό επιτυχίας, όσο και το συνολικό κόστος των μεθόδων εξαρτώνται στενά από τη μνήμη που διαθέτουν οι κόμβοι του δικτύου.

Επίσης, κάθε μία από τις τέσσερις μεθόδους έχει και κάποιες επιμέρους παραμέτρους που συναντώνται μόνο σε αυτή. Για παράδειγμα στη μέθοδο Skip Copy υπάρχει η ακτίνα δημιουργίας αντιγράφων, ενώ στη μέθοδο Redman υπάρχει ο βαθμός αντιγράφων. Για κάθε μία, λοιπόν, από αυτές τις επιμέρους παραμέτρους έγινε μελέτη ώστε να μετρηθεί η επίδρασή τους τόσο στο ποσοστό επιτυχίας, όσο και στο συνολικό κόστος.

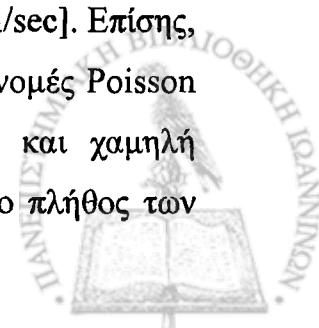
### 5.3. Πειραματική Μελέτη της Skip Copy.

Στη μέθοδο Skip Copy, όπως είδαμε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4, τα δεδομένα σχετίζονται με τη θέση στην οποία δημιουργούνται, ενώ αντίγραφά τους τοποθετούνται σε μια ακτίνα γύρω από τη θέση αυτή. Κατά τη φάση απάντησης σε ερώτηση για κάποιο δεδομένο, δημιουργούνται αντίγραφα και στο μονοπάτι της απάντησης. Η μέθοδος βασίζεται στον αλγόριθμο της πλημμύρας για να φτιάξει τα αντίγραφα, ενώ χρησιμοποιεί τη θέση των κόμβων και τη σχετιζόμενη με κάθε δεδομένο θέση για να ελέγξει τον πλεονασμό των αντιγράφων.

Για τη μέθοδο SkipCopy χρησιμοποιήσαμε δύο διαφορετικές παραλλαγές του μοντέλου πειραμάτων: μία για τη μελέτη της επίδρασης του μεγέθους της cache και μία για τη μελέτη της επίδρασης του Replication Range, δηλαδή της ακτίνας μέσα στην οποία γίνεται το replication.

#### 5.3.1. Επίδραση της Cache.

Σε αυτό το πείραμα (Πίνακας 5.2) 100 κόμβοι τοποθετήθηκαν σε μια περιοχή με διαστάσεις 800m x 800m και η εμβέλεια επικοινωνίας ήταν 100m, δηλαδή το δίκτυο είχε σχετικά μέτρια πυκνότητα κόμβων. Όλοι οι κόμβοι μπορούσαν να κινηθούν και η ταχύτητα κίνησης των κόμβων ήταν μεσαίου μεγέθους και έπαιρνε τιμές στο διάστημα [0.1m/sec-2.0m/sec]. Επίσης, κάθε κόμβος δημιουργούσε δεδομένα και έκανε ερωτήσεις σύμφωνα με κατανομές Poisson με ρυθμό 1/5sec και 1/100sec αντίστοιχα, που αντιπροσωπεύουν υψηλή και χαμηλή αντίστοιχα συχνότητα. Το συνολικό πλήθος των δεδομένων ήταν 250, ενώ το πλήθος των

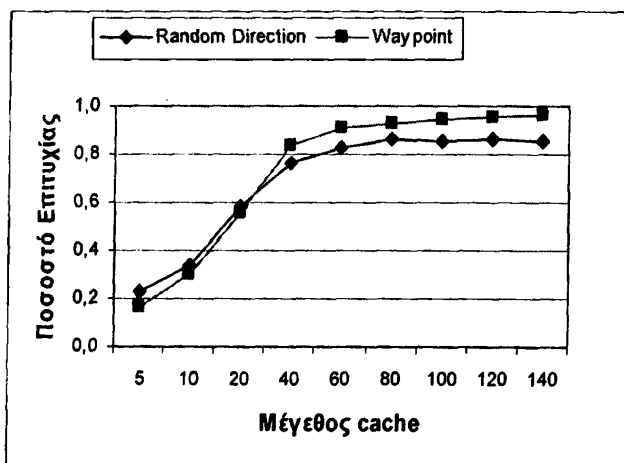


συνολικών ερωτήσεων για όλους τους κόμβους ήταν από 2440 ως 2450. Η παράμετρος S της SkipCory είχε την τιμή 2, ενώ το Replication Range ήταν 300m, μια τιμή αρκετά μεγάλη σε σχέση με το μέγεθος της περιοχής. Επιλέξαμε τις παραπάνω τιμές για τις παραμέτρους για να υπάρχει μια αντιστοιχία με τις τιμές που χρησιμοποιούν οι συγγραφείς στο [14].

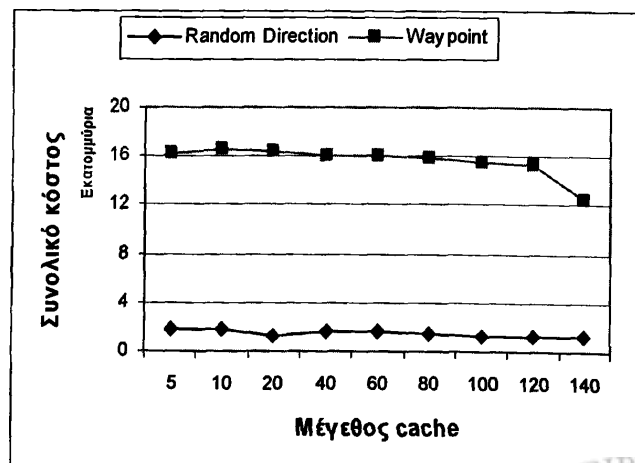
Η παράμετρος που μεταβάλλονταν συνεχώς ήταν το μέγεθος της cache. Ξεκινήσαμε από χαμηλές τιμές (μόλις 5-10 δεδομένα, ενώ το συνολικό πλήθος των δεδομένων ήταν 250), στη συνέχεια κάναμε πειράματα με μέτριο μέγεθος cache (20-80 δεδομένα), ενώ στο τέλος αυξήσαμε το μέγεθος πολύ (100 δεδομένα και πάνω).

Πίνακας 5.2 Τιμές Παραμέτρων για τη Μέθοδο Skip Cory.

Παράμετρος	Τιμή
Διαστάσεις περιοχής	800m x 800m
Πλήθος κόμβων	100
Πλήθος κινούμενων κόμβων	100
Πλήθος ενεργών κόμβων	100
Πλήθος συνολικών δεδομένων	250
Εμβέλεια επικοινωνίας	100m
Ελάχιστη ταχύτητα κίνησης	0.1 m/sec
Μέγιστη ταχύτητα κίνησης	2.0 m/sec
Συχνότητα δημιουργίας δεδομένων	1/5 sec
Συχνότητα ερωτήσεων	1/100 sec
S	2 hops
Replication Range	300m



(α)



(β)

Σχήμα 5.1 Επίδραση του Μεγέθους της Cache στη Μέθοδο Skip Cory.



Στο Σχήμα 5.1 (α) φαίνεται η μεταβολή του ποσοστού επιτυχίας συναρτήσει του αριθμού των δεδομένων που περιέχονται στην cache. Όσο η cache μεγαλώνει το ποσοστό επιτυχίας αυξάνεται και για τα δύο μοντέλα κίνησης. Βέβαια, από ένα σημείο και μετά (με cache μεγαλύτερη του 60) η βελτίωση δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη και τα ποσοστά σχεδόν σταθεροποιούνται. Αυτό συμβαίνει επειδή η cache είναι ήδη αρκετά μεγάλη και οποιαδήποτε περαιτέρω αύξησή της δε μπορεί να προσφέρει σημαντική αύξηση.

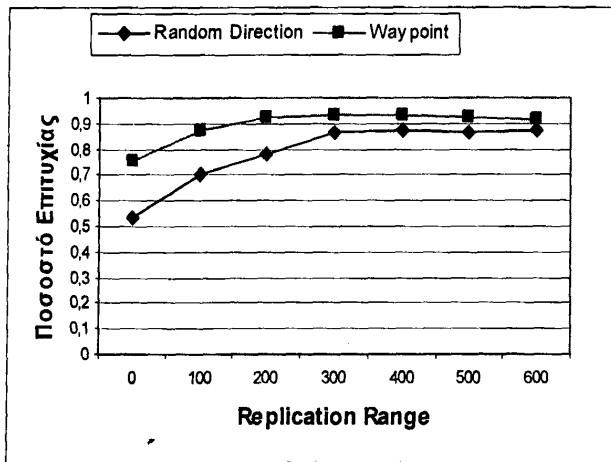
Παρατηρείται, επίσης, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας όταν οι κόμβοι κινούνται με το RWP μοντέλο κίνησης, με τις διαφορές να φτάνουν ακόμη και το 10%. Όπως είδαμε και στο Κεφάλαιο 2, όπου περιγράψαμε τα κυριότερα μοντέλα κίνησης που χρησιμοποιούνται για προσομοίωση στα MANETs, στο RWP η πυκνότητα των κόμβων είναι μεγαλύτερη στο κέντρο της περιοχής στην οποία βρίσκονται. Αυτό σημαίνει ότι οι περισσότεροι κόμβοι έχουν γείτονες και το δίκτυο δεν είναι σπασμένο σε πολλές συνεκτικές συνιστώσες. Επομένως, με το Replication διασπείρονται αντίγραφα δεδομένων σε πολλούς κόμβους του δικτύου και είναι εύκολη η πρόσβαση των κόμβων σε αυτά. Αντίθετα, στο RD είδαμε ότι η κατανομή των κόμβων είναι ομοιόμορφη για κάθε σημείο της περιοχής και ότι είναι πιο εύκολο να σπάσει το δίκτυο σε συνιστώσες. Αυτό σημαίνει ότι το Replication ναι μεν μεγαλώνει την πρόσβαση στα δεδομένα, ωστόσο λόγω του ότι λιγότεροι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους, δεν είναι δυνατή η βελτίωση που παρατηρείται με το RWP.

Στο Σχήμα 5.1 (β) βλέπουμε, γενικά, ότι το συνολικό κόστος μειώνεται σταδιακά λόγω της αύξησης της cache. Όταν η cache μεγαλώσει αρκετά πολλοί είναι οι κόμβοι που έχουν τα ζητούμενα δεδομένα μέσα στην cache τους ή τα παίρνουν από γειτονικούς κόμβους με αποτέλεσμα οι ερωτήσεις να εξυπηρετούνται χωρίς να απαιτείται μεγάλη αναζήτηση στο δίκτυο και άρα τα μηνύματα είναι λιγότερα. Παρατηρούμε, επίσης, ότι το RWP μοντέλο κίνησης δίνει και υψηλότερο αριθμό μηνυμάτων και μάλιστα, οι διαφορές στο πλήθος των μηνυμάτων είναι πολύ μεγάλες. Επειδή οι κόμβοι είναι συγκεντρωμένοι κυρίως στο κέντρο της περιοχής οι μεταξύ τους συνδέσεις είναι περισσότερες απ' ό,τι στο RD. Άρα, και τα μηνύματα που ανταλλάσσονται συνολικά είναι περισσότερα γιατί όταν εκπέμπει ένας λαμβάνουν όλοι όσοι βρίσκονται μέσα στην εμβέλειά του, και όσοι περισσότεροι βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια, τόσα περισσότερα είναι και τα μηνύματα.

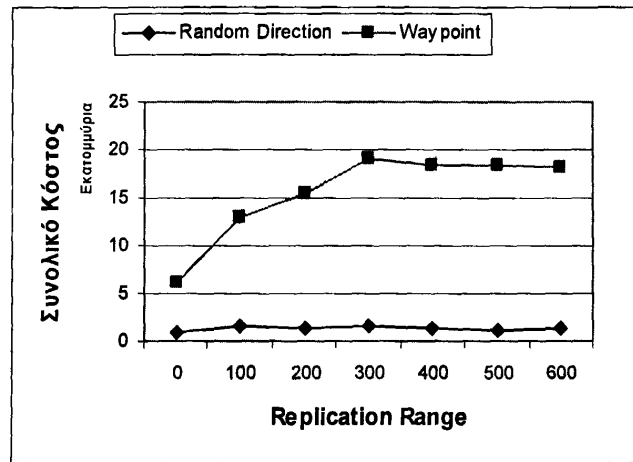


### 5.3.2. Επίδραση του Replication Range.

Σε αυτό το πείραμα οι παράμετροι είχαν ακριβώς τις ίδιες τιμές με αυτές του Πίνακα 5.1 (πείραμα της προηγούμενης παραγράφου) με τη διαφορά ότι η cache ήταν πλέον σταθερή και είχε τιμή 80 δεδομένα. Από τη μελέτη που έγινε στην Παράγραφο 5.2.1 φάνηκε ότι η τιμή 80 για το μέγεθος της cache είναι αρκετή για να δώσει αρκετά καλά ποσοστά επιτυχίας. Αυτή τη φορά μεταβάλλουμε το Replication Range. Οι τιμές που πήρε κυμάνθηκαν από πολύ χαμηλές (0m – 100m), έως πολύ υψηλές (600m).



(α)



(β)

Σχήμα 5.2 Επίδραση του Replication Range.

Στο Σχήμα 5.2 (α) φαίνεται ότι η ακτίνα μέσα στην οποία γίνεται η δημιουργία των αντιγράφων είναι και αυτή ένας σημαντικός παράγοντας για το ποσοστό επιτυχίας. Προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η ακτίνα αυτή, τόσο μεγαλύτερο είναι και το ποσοστό επιτυχίας, μιας και τα αντίγραφα των δεδομένων διασκορπίζονται σε μεγαλύτερη περιοχή και είναι διαθέσιμα σε περισσότερους κόμβους του δικτύου. Όταν η ακτίνα μεγαλώσει πέρα από μία τιμή (300m) δεν παρατηρείται αντίστοιχα και μεγαλύτερη βελτίωση: είναι πιθανό να υπάρχουν κομμάτια του δικτύου που να μην μπορεί να είναι μέσα σε αυτή την ακτίνα, όμως να μη συνδέονται με το υπόλοιπο δίκτυο ώστε να δημιουργηθούν τα αντίγραφα και στους κόμβους αυτών των κομματιών. Το RWP μοντέλο κίνησης υπερτερεί συγκριτικά με το RD δίνοντας καλύτερα ποσοστά επιτυχίας, για τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως.



Με την αύξηση του Replication Range (Σχήμα 5.2 (β) ) παρατηρείται αντίστοιχα και αύξηση του συνολικού κόστους της μεθόδου. Όσο μεγαλώνει η ακτίνα της περιοχής όπου δημιουργούνται τα αντίγραφα τόσο αυξάνονται και τα μηνύματα που απαιτούνται για να καλυφθεί αυτή η περιοχή, αφού περισσότεροι κόμβοι λαμβάνουν και στέλνουν μηνύματα. Κατά συνέπεια και το συνολικό κόστος αυξάνεται, το οποίο στην περίπτωση του RD μοντέλου κίνησης είναι αισθητά μικρότερο.

#### 5.4. Πειραματική Μελέτη της Redman.

Η μέθοδος Redman δημιουργεί αντίγραφα των δεδομένων πάνω σε μονοπάτια που σχηματίζουν περίπου ευθείες γραμμές. Για να επιλέξει ένας κόμβος ποιος θα είναι ο επόμενος στον οποίο θα προωθήσει ένα αντίγραφο, επιλέγει μεταξύ των γειτόνων του, εκείνον που μοιράζεται τους λιγότερους γείτονες με τον προκάτοχό του. Η προώθηση των ερωτήσεων γίνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και το ζητούμενο είναι να βρεθεί μία τομή της ευθείας πάνω στην οποία είναι τοποθετημένα τα αντίγραφα, με την ευθεία πάνω στην οποία προωθείται το μήνυμα της ερώτησης.

Για τη μέθοδο Redman διερευνήθηκε το ποσοστό επιτυχίας και το κόστος για τρεις διαφορετικές παραμέτρους: το μέγεθος της μνήμης, το βαθμό αντιγράφων και το μήκος του μονοπατιού αναζήτησης. Για το λόγο αυτό έγιναν τρεις διαφορετικές ομάδες πειραμάτων σε καθεμία από τις οποίες μεταβάλλονταν μόνο μία από τις παραπάνω παραμέτρους, ενώ όλες οι υπόλοιπες έμεναν σταθερές. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.3, 50 κόμβοι τοποθετήθηκαν σε μια περιοχή με διαστάσεις 300m x 300m και η εμβέλεια επικοινωνίας ήταν 50m. Η ταχύτητα κίνησης των κόμβων έπαιρνε τιμές στο διάστημα [0.1m/sec-2.0m/sec]. Επίσης, κάθε κόμβος δημιουργούσε δεδομένα και έκανε ερωτήσεις σύμφωνα με κατανομές Poisson με μέσα με ρυθμό 1/5sec και 1/100sec αντίστοιχα. Το συνολικό πλήθος των δεδομένων ήταν 150, ενώ το πλήθος των συνολικών ερωτήσεων για όλους τους κόμβους ήταν από 1220 ως 1230. Οι παραπάνω τιμές των παραμέτρων αντιπροσωπεύουν ένα πυκνό δίκτυο, όπου οι κόμβοι μπορούν να κινούνται με αρκετά μεγάλη ταχύτητα και κάνουν ερωτήσεις με μέτρια συχνότητα. Επιλέξαμε ένα πυκνό δίκτυο γιατί στο [1] τονίζεται ότι η μέθοδος Redman έχει καλύτερη συμπεριφορά σε πυκνό δίκτυο, γιατί σε ένα τέτοιο δίκτυο η γραμμή των





αντιγράφων είναι σχεδόν ευθεία και είναι πιο εύκολο να υπάρξει η επιθυμητή τομή. Σε όλα τα πειράματα που ακολουθούν χρησιμοποιήσαμε Reconstruction.

Επιπλέον, μελετήθηκε η επίδραση που έχει συνολικά στη μέθοδο το Reconstruction. Υπενθυμίζουμε ότι κατά τη φάση του Reconstruction, κάθε κόμβος ελέγχει αν ο προηγούμενός του, ή ο επόμενός του κόμβος έχει μετακινηθεί με αποτέλεσμα να σπάσει η αλυσίδα των αντιγράφων. Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν να δούμε πόσο επηρεάζει το ποσοστό επιτυχίας η χρήση του Reconstruction, αλλά και με ποιο κόστος. Η μελέτη έγινε, όπως θα δούμε στη συνέχεια, για ένα αραιό και για ένα πυκνό δίκτυο.

Πίνακας 5.3 Τιμές Παραμέτρων για τη Μέθοδο Redman.

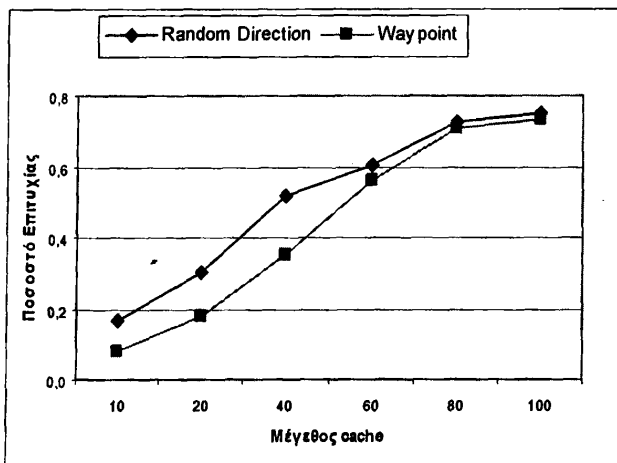
Παράμετρος	Τιμή
Διαστάσεις περιοχής	300m x 300m
Πλήθος κόμβων	50
Πλήθος κινούμενων κόμβων	50
Πλήθος ενεργών κόμβων	50
Πλήθος συνολικών δεδομένων	150
Εμβέλεια επικοινωνίας	50m
Ελάχιστη ταχύτητα κίνησης	0.1 m/sec
Μέγιστη ταχύτητα κίνησης	2.0 m/sec
Συχνότητα δημιουργίας δεδομένων	1/5 sec
Συχνότητα ερωτήσεων	1/100 sec

#### 5.4.1. Επίδραση της Cache.

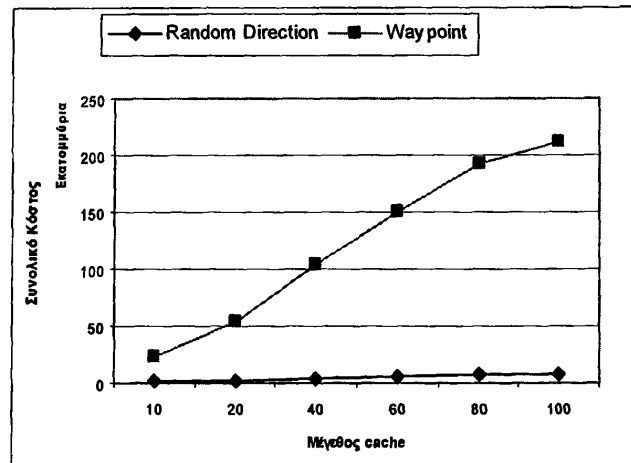
Για τα πειράματα που ακολουθούν ο βαθμός αντιγράφων ήταν 5, η απόσταση μεταξύ τους 2 hops και το μέγιστο βάθος αναζήτησης της μεθόδου 7 hops, τιμές ανάλογες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν και στο [1], κατά την προσομοίωση. Το μέγεθος της cache ήταν μεταβλητό και αρχικά πήρε μικρές τιμές (10-20 δεδομένα). Στη συνέχεια δώσαμε μέτριο μέγεθος στην cache (40-60 δεδομένα), ενώ στα τελευταία πειράματα κάναμε και μετρήσεις για πολύ υψηλές τιμές της (80-100 δεδομένα). Επίσης, για τα πειράματα αυτά χρησιμοποιήθηκε και Reconstruction.



Στο Σχήμα 5.3 (α) παρατηρούμε ότι για μεγαλύτερα μεγέθη cache έχουμε και μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας. Αυτό συμβαίνει επειδή περισσότεροι κόμβοι μπορούν να αποθηκεύουν αντίγραφα άλλων κόμβων κατά τη διάρκεια της δημιουργίας αντιγράφων. Μάλιστα στο συγκεκριμένο αλγόριθμο, που τα αντίγραφα είναι σχετικά λίγα, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να υπάρχει διαθέσιμος χώρος αποθήκευσής τους, διαφορετικά η νοητή αλυσίδα πάνω στην οποία τοποθετούνται σπάζει. Τα ποσοστά επιτυχίας αυξάνονται και για τους δύο τρόπους κίνησης των κόμβων. Μάλιστα, είναι λίγο μεγαλύτερα στην περίπτωση του RD μοντέλου κίνησης: επειδή οι κόμβοι είναι ομοιόμορφα κατανομημένοι σε όλη την περιοχή, οι γραμμές αντιγράφων έχουν μεγαλύτερο μήκος και είναι πιο εύκολο να υπάρξει τομή με τη γραμμή που σχηματίζουν τα μηνύματα ερώτησης.



(α)



(β)

Σχήμα 5.3 Επίδραση του Μεγέθους της Cache στη Μέθοδο Redman.

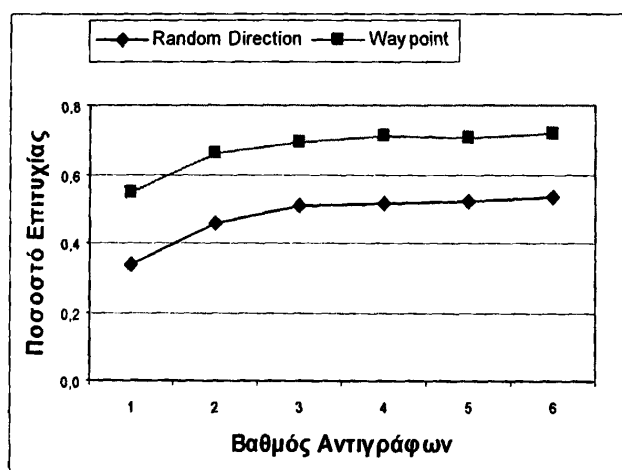
Το συνολικό κόστος της μεθόδου (Σχήμα 5.3 (β)) αυξάνεται όσο μεγαλώνει το μέγεθος των δεδομένων στην cache. Αυτό οφείλεται κυρίως στο πολύ μεγάλο κόστος του Reconstruction το οποίο δε μπορεί να αντισταθμιστεί ούτε από το γεγονός ότι υπάρχουν περισσότερα αντίγραφα διαθέσιμα και άρα μειώνεται το κόστος απάντησης σε μια ερώτηση. Το RWP μοντέλο κίνησης δίνει πάλι μεγαλύτερο αριθμό μηνυμάτων, λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας των κόμβων στο κέντρο της περιοχής.



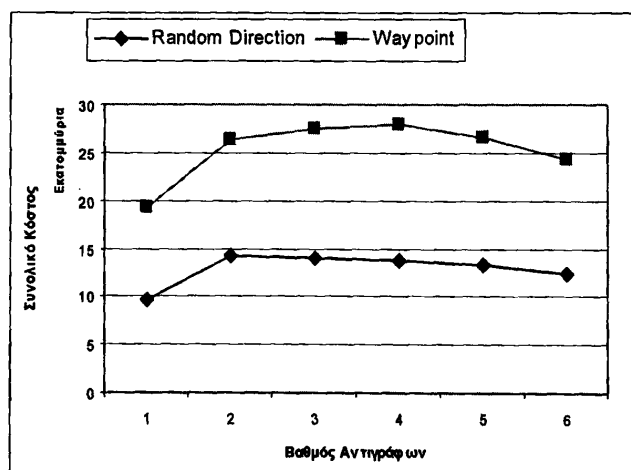
#### 5.4.2. Επίδραση του Βαθμού Αντιγράφων.

Οι παράμετροι του εξομοιωτή διατηρήθηκαν ίδιοι με αυτές του Πίνακα 5.3, της προηγούμενης παραγράφου, εκτός από το μέγιστο βάθος αναζήτησης που είχε την τιμή 4 hops. Ελαττώσαμε λίγο το μέγιστο βάθος αναζήτησης για να γίνει πιο εμφανής η επίδραση του βαθμού των αντιγράφων, γιατί αν είχαμε πολύ μεγάλο βάθος αναζήτησης το μεγαλύτερο ποσοστό των ερωτήσεων θα ήταν επιτυχές και θα επισκιάζονταν ο ρόλος του βαθμού αντιγράφων (όπως θα δούμε και στη συνέχεια). Η cache σταθεροποιήθηκε στα 60 δεδομένα, γιατί απ' ότι φάνηκε στην Παράγραφο 5.4.1 είναι μια τιμή που δίνει σχετικά καλά ποσοστά επιτυχίας.

Στο Σχήμα 5.4 (α) παρατηρούμε ότι όταν αυξάνεται ο βαθμός των αντιγράφων που δημιουργούνται αυξάνεται και το ποσοστό επιτυχίας. Η αύξηση αυτή είναι ιδιαίτερα ορατή όταν ο βαθμός μεταβάλλεται από 1 σε 3, ενώ παρατηρούμε ότι αύξηση μεγαλύτερη του βαθμού 4 επιφέρει μικρότερη βελτίωση του ποσοστού επιτυχίας. Το συνολικό κόστος (Σχήμα 5.4 (β)) αρχικά αυξάνεται, αφού μεγαλύτερος βαθμός αντιγράφων σημαίνει ότι περισσότεροι κόμβοι θα εμπλακούν σε αυτή τη διαδικασία και άρα θα ανταλλαχτούν περισσότερα μηνύματα. Ωστόσο, όταν ο βαθμός αντιγράφων μεγαλώσει αρκετά το συνολικό κόστος αρχίζει να μειώνεται, αφού οι ερωτήσεις εξυπηρετούνται χωρίς να χρειάζεται αναζήτηση μέχρι το μέγιστο βάθος. Το Waypoint μοντέλο κίνησης δίνει μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας, καθώς αυξάνεται ο βαθμός των αντιγράφων, από το Random Direction μοντέλο, αλλά ταυτόχρονα, δίνει και μεγαλύτερο κόστος.



(α)



(β)

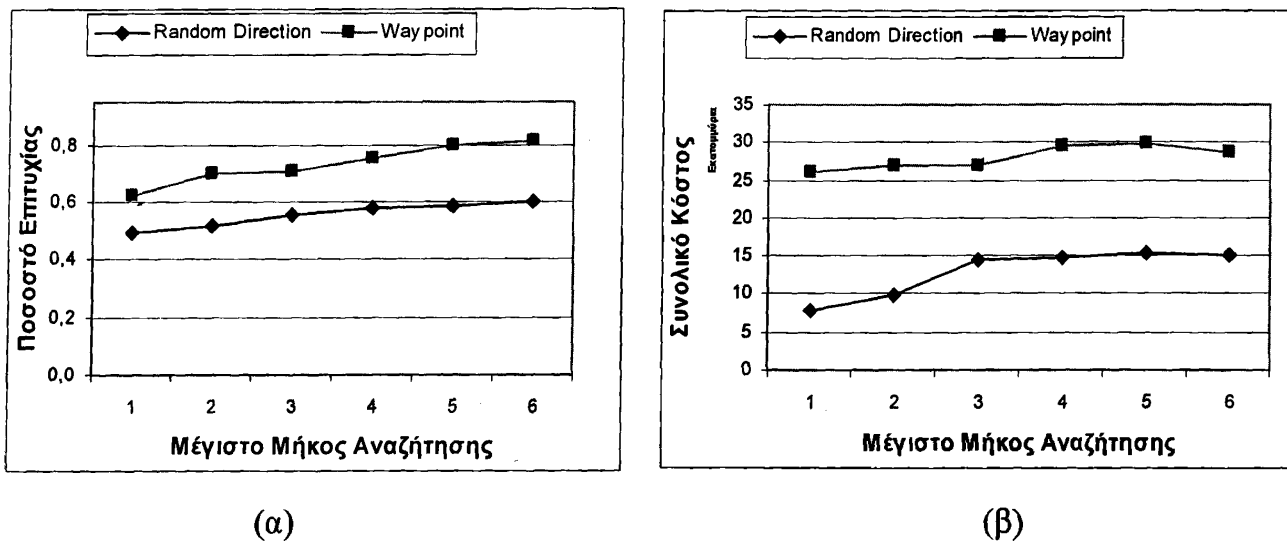
Σχήμα 5.4 Επίδραση του Βαθμού Αντιγράφων.



### 5.4.3. Επίδραση του Μέγιστου Μήκους Αναζήτησης.

Στην παράγραφο αυτή μελετάμε την επίδραση του μέγιστου μήκους αναζήτησης. Διατηρήσαμε πάλι τις τιμές των παραμέτρων ίδιες με αυτές του Πίνακα 5.3, με τη διαφορά ότι η cache σταθεροποιήθηκε στα 60 δεδομένα και ο βαθμός αντιγράφων είχε την τιμή 4, γιατί, όπως είδαμε και στην Παράγραφο 5.4.2, αυτός ο βαθμός αντιγράφων δίνει καλά ποσοστά επιτυχίας, ενώ περαιτέρω αύξησή του δε βελτιώνει σημαντικά το ποσοστό επιτυχίας.

Στη μέθοδο Redman η αναζήτηση ενός δεδομένου γίνεται, όπως είδαμε, με διάδοση ενός μηνύματος ερώτησης κατά μήκος ενός μοναδικού μονοπατιού και κατά συνέπεια το μέγιστο βάθος αναζήτησης (δηλαδή το μέγιστο μήκος του μονοπατιού) αναμένεται να παίζει σημαντικό ρόλο στο ποσοστό επιτυχίας της μεθόδου.



Σχήμα 5.5 Επίδραση του Μέγιστου Μήκους Αναζήτησης.

Το Σχήμα 5.5 (α) επιβεβαιώνει την παραπάνω σκέψη, αφού παρατηρείται αύξηση του ποσοστού επιτυχίας όταν αυξάνεται το μέγιστο μήκος αναζήτησης. Αντίστοιχη αύξηση έχουμε και στο συνολικό κόστος της μεθόδου (Σχήμα 5.5 (β)). Επίσης, παρατηρούμε ότι, όπως και με το βαθμός των αντιγράφων, έτσι και με το μέγιστο βάθος αναζήτησης, το RWP μοντέλο δίνει καλύτερα αποτελέσματα, όσον αφορά την επιτυχία, αλλά χειρότερα, όσον αφορά το κόστος.



#### 5.4.4. Επίδραση του Reconstruction.

Το Reconstruction χρησιμοποιείται στη μέθοδο Redman με σκοπό να διατηρήσει τις νοητές ευθείες αντιγράφων, που δημιουργούνται κατά το replication, και που καταστρέφονται όταν οι κόμβοι μετακινούνται. Ωστόσο η διαδικασία μοιάζει να είναι ιδιαίτερα ακριβή αν σκεφτεί κανείς ότι κατά τη διάρκεια του Reconstruction κάθε κόμβος του δικτύου ελέγχει, για κάθε δεδομένο που διαθέτει, αν λείπει κάποιος πρόγονος-απόγονος και αν λείπει στέλνει μηνύματα σε όλους τους γείτονές του οι οποίοι με τη σειρά τους πρέπει να απαντήσουν. Δεδομένου ότι το Reconstruction γίνεται σε κάθε επανάληψη και ότι οι κόμβοι συνεχώς κινούνται (με αποτέλεσμα οι νοητές ευθείες αντιγράφων να καταστρέφονται) το κόστος του Reconstruction είναι όντως μεγάλο.

Επιβεβαίωση των παραπάνω αποτελούν τα πειράματα που ακολουθούν. Σε ένα πυκνό και σε ένα αραιό δίκτυο εφαρμόστηκε η μέθοδος Redman με και χωρίς Reconstruction με σκοπό να δούμε πως μεταβάλλεται το ποσοστό επιτυχίας, αλλά και το συνολικό κόστος για διάφορες τιμές του βαθμού αντιγράφων και του μέγιστου βάθους αναζήτησης. Στον Πίνακα 5.4 φαίνονται οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων του περιβάλλοντος προσομοίωσης και της μεθόδου Redman για το πυκνό και το αραιό δίκτυο.

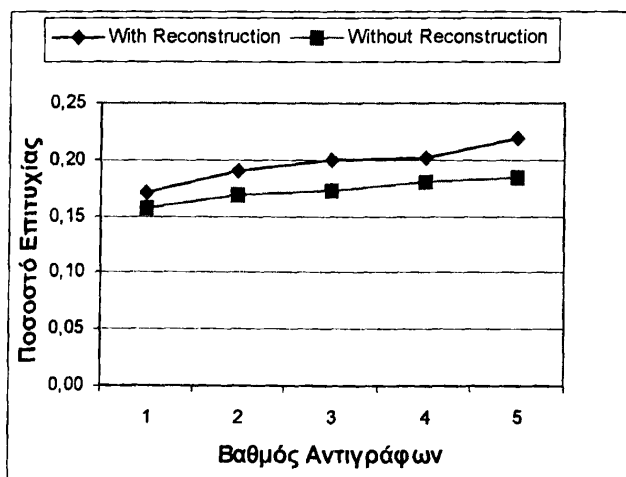
Οι τιμές που δώσαμε στις παραμέτρους, τόσο για το πυκνό, όσο και για το αραιό δίκτυο, είναι ανάλογες των τιμών που συναντήσαμε στη βιβλιογραφία. Και στις δύο περιπτώσεις, τα δύο είδη δικτύου διαφέρουν μόνο ως προς την πυκνότητα και όχι ως προς κάποιο άλλο χαρακτηριστικό: μεταβάλλουμε μόνο τις διαστάσεις της περιοχής, το πλήθος των κόμβων και την εμβέλεια επικοινωνίας, παραμέτρους, δηλαδή, που καθορίζουν την πυκνότητα του δικτύου. Όλες οι υπόλοιπες παράμετροι είναι ίδιες (π.χ. ταχύτητα κίνησης, μέγεθος cache κ.ά.). Το μέγεθος της cache θεωρείται μέτριο, ενώ η ταχύτητα κίνησης μέτρια. Τα δεδομένα, επίσης, δημιουργούνται με μεγάλη συχνότητα (πράγμα που σημαίνει ότι η διαδικασία δημιουργίας όλων των δεδομένων ολοκληρώνεται γρήγορα), ενώ οι ερωτήσεις γίνονται με μικρή συχνότητα. Το μοντέλο κίνησης που χρησιμοποιήθηκε για αυτή τη σειρά πειραμάτων ήταν το RWP. Τέλος, η απόσταση μεταξύ των αντιγράφων (DBR) είναι ανάλογη των πειραμάτων του [1].



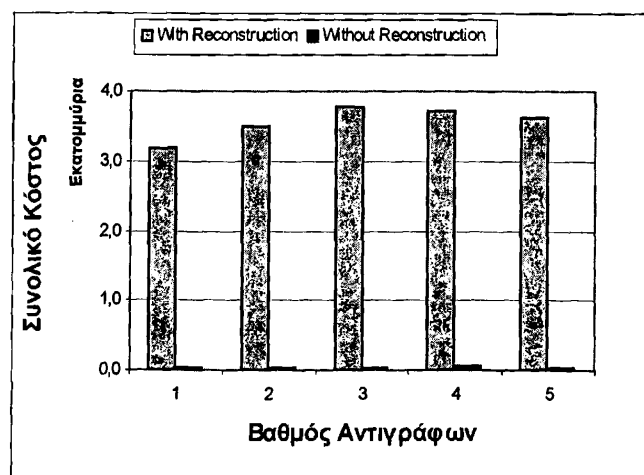
Πίνακας 5.4 Τιμές των Παραμέτρων για Αραιό και Πυκνό Δίκτυο στη Μέθοδο Redman.

Παράμετρος	Τιμή	
	Αραιό	Πυκνό
Διαστάσεις περιοχής	1000m x1000m	300m x300m
Πλήθος κόμβων	50	50
Πλήθος κινούμενων κόμβων	50	50
Πλήθος ενεργών κόμβων	50	50
Πλήθος συνολικών δεδομένων	250	250
Εμβέλεια επικοινωνίας	100m	50m
Ελάχιστη ταχύτητα κίνησης	0,1m/sec	0,1m/sec
Μέγιστη ταχύτητα κίνησης	1,0m/sec	1,0m/sec
Συχνότητα δημιουργίας δεδομένων	1/5sec	1/5sec
Συχνότητα ερωτήσεων	1/100sec	1/100sec
Μέγεθος cache	75	75
Distance Between Replicas	2 hops	2 hops

Στα Σχήματα 5.6 (α) και 5.7 (α) παρατηρούμε ότι σε ένα Αραιό Δίκτυο η χρήση του Reconstruction στη μέθοδο Redman αυξάνει το ποσοστό επιτυχίας από 5% έως 10%, που σε γενικές γραμμές μπορεί να θεωρηθεί μια μικρή, αλλά σημαντική αύξηση. Ωστόσο, αυτή η αύξηση του ποσοστού επιτυχίας συνοδεύεται από μία πολύ μεγάλη αύξηση του συνολικού κόστους από μερικές δεκάδες χιλιάδες σε εκατομμύρια, όπως φαίνεται και στα Σχήματα 5.6 (β) και 5.7 (β). Η αύξηση αυτή οφείλεται στο Reconstruction που εφαρμόζεται σε κάθε επανάληψη της προσομοίωσης. Αξίζει, να σημειώσουμε, ότι επειδή το δίκτυο είναι αραιό τα ποσοστά επιτυχίας είναι πολύ χαμηλά (από 0,15 έως 0,25).



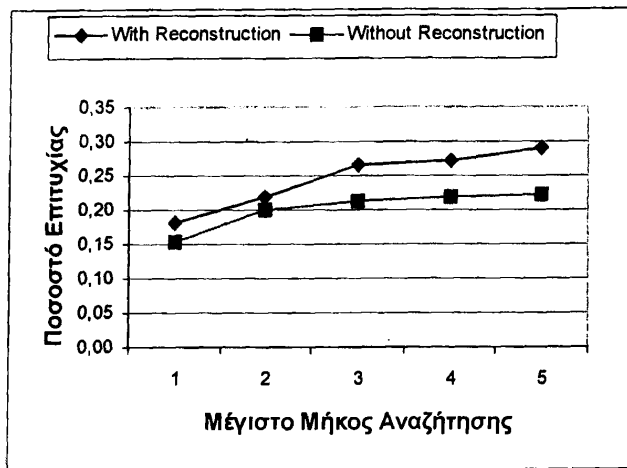
(α)



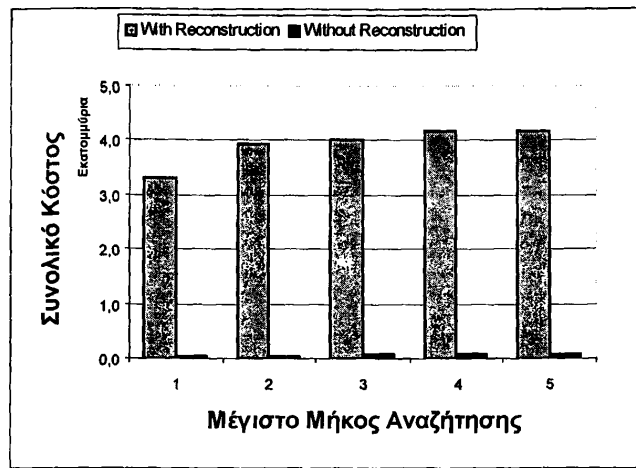
(β)

Σχήμα 5.6 Επίδραση του Reconstruction σε Αραιό Δίκτυο Συναρτήσεως του Βαθμού Αντιγράφων.





(α)



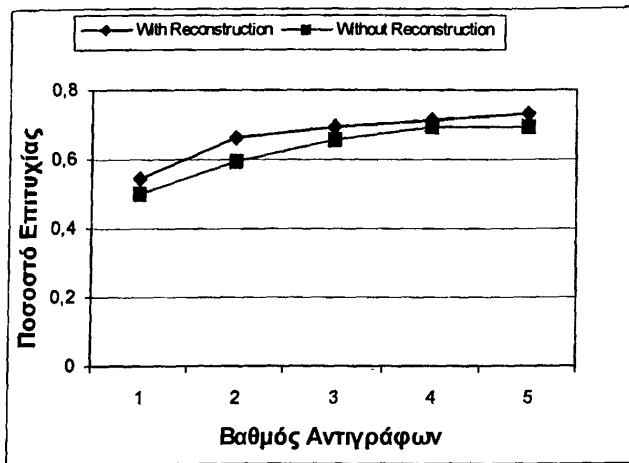
(β)

Σχήμα 5.7 Επίδραση του Reconstruction σε Αραιό Δίκτυο συναρτήσει του Μέγιστου Μήκους Αναζήτησης.

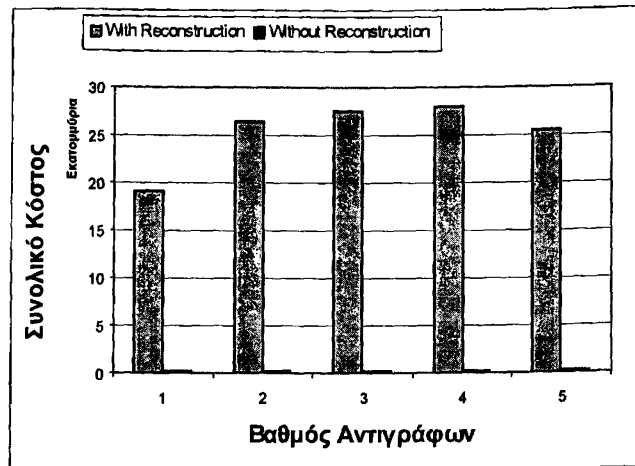
Όσον αφορά το πυκνό δίκτυο, παρατηρούμε ότι η χρήση του Reconstruction αυξάνει το ποσοστό επιτυχίας λιγότερο σε σχέση με το αραιό δίκτυο και μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις τα ποσοστά επιτυχίας σχεδόν συμπίπτουν (Σχήμα 5.8 (α) και Σχήμα 5.9 (α)). Αυτό οφείλεται στο ότι στο πυκνό δίκτυο είναι πιο δύσκολο να υπάρξουν απομονωμένες συνιστώσες και η αναζήτηση δεδομένων είναι συχνότερα επιτυχής με αποτέλεσμα η χρήση του Reconstruction να μη βοηθάει ιδιαίτερα. Μάλιστα στο πυκνό δίκτυο, για τις ίδιες παραμέτρους της μεθόδου, το ποσοστό επιτυχίας είναι γενικά υψηλότερο, κάτι που ήταν αναμενόμενο αφού έχουμε ήδη πει ότι η Redman έχει καλύτερη συμπεριφορά σε πυκνά δίκτυα.

Και ενώ το ποσοστό επιτυχίας μοιάζει να μην επηρεάζεται αισθητά με τη χρήση του Reconstruction, το συνολικό κόστος αυξάνεται πάρα πολύ όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 5.8 (β) και στο Σχήμα 5.9 (β). Στο πυκνό δίκτυο οι κόμβοι έχουν περισσότερους γείτονες με αποτέλεσμα να ανταλλάσσονται περισσότερα μηνύματα κατά τη διάρκεια του Reconstruction. Η αύξηση αυτή είναι τόσο μεγάλη που ενώ χωρίς τη χρήση του Reconstruction το συνολικό κόστος ανέρχεται σε μερικές εκατοντάδες χιλιάδες, όταν χρησιμοποιηθεί Reconstruction φτάνει τα δεκάδες εκατομμύρια.



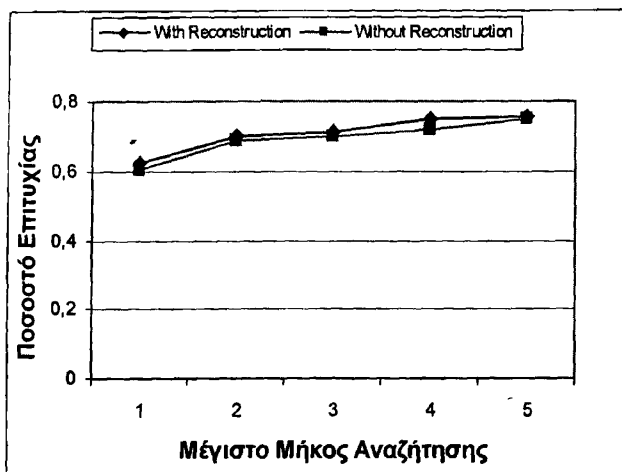


(α)

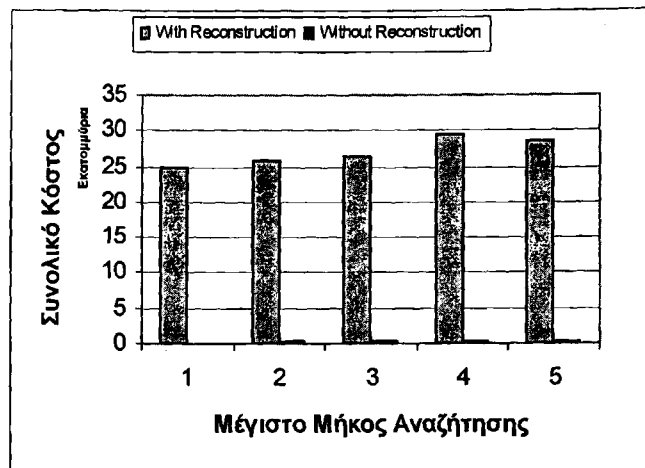


(β)

Σχήμα 5.8 Επίδραση του Reconstruction σε Πυκνό Δίκτυο Συναρτήσεως του Βαθμού Αντιγράφων.



(α)



(β)

Σχήμα 5.9 Επίδραση του Reconstruction σε Πυκνό Δίκτυο Συναρτήσεως του Μέγιστου Μήκους Αναζήτησης.

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι το Reconstruction αυξάνει το ποσοστό επιτυχίας κυρίως σε περιπτώσεις όπου το δίκτυο είναι αραιό και λιγότερο σε πυκνά δίκτυα. Ωστόσο και στις δύο περιπτώσεις το συνολικό κόστος είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με τη μη χρήση του Reconstruction και δεν αντισταθμίζεται με τη μικρή βελτίωση που προσφέρει στο ποσοστό επιτυχίας.





### 5.5. Πειραματική μελέτη της DAFN.

Στη μέθοδο DAFN οι κόμβοι, αρχικά, δημιουργούν αντίγραφα βάσει της συχνότητας προσπέλασης που έχουν στα δεδομένα. Στη συνέχεια οι κόμβοι που είναι γειτονικοί απαλείφουν τα αντίγραφα των ίδιων δεδομένων.

Επιπλέον, επειδή η συγκεκριμένη, μέθοδος απαιτεί γνώση των συχνοτήτων προσπέλασης στα δεδομένα από όλους τους κόμβους, θεωρήσαμε ότι αυτή η πληροφορία είναι διαθέσιμη, χωρίς κόστος, σε όλους τους κόμβους. Στην ουσία, ανάμεσα στα Relocations καταμετρούνται οι συνολικές ερωτήσεις, καθώς και οι ερωτήσεις του κάθε κόμβου για όλα τα δεδομένα προκειμένου να υπολογιστούν οι συχνότητες. Σε ένα φυσικό MANET η ύπαρξη μιας τέτοιας πληροφορίας κοστίζει σίγουρα πολύ και προφανώς, προϋποθέτει κάποιους επιπλέον μηχανισμούς. Είναι ενδιαφέρον να δει κανείς πως μπορεί να προσεγγιστούν οι συχνότητες αυτές μόνο μέσα από τοπική πληροφορία. Σε όσες εργασίες μελετήσαμε για τη μέθοδο DAFN της ομάδας του Hara, η πληροφορία αυτή θεωρείται δεδομένη και επομένως, η μέθοδος διαθέτει σαφώς ένα πλεονέκτημα έναντι των άλλων μεθόδων.

Για τη μέθοδο DAFN, εκτός από το μέγεθος της μνήμης, ερευνήθηκαν και οι αλλαγές που επιφέρει στο ποσοστό επιτυχίας και το κόστος, το Relocation Period. Σε μια 900m x 900m περιοχή τοποθετήθηκαν 100 κόμβοι με ταχύτητα κίνησης [0.1m/sec-2.0m/sec] και εμβέλεια επικοινωνίας 100m. Επίσης, κάθε κόμβος δημιουργούσε δεδομένα και έκανε ερωτήσεις σύμφωνα με κατανομές Poisson με μέσα 1/5sec και 1/100sec αντίστοιχα. Το συνολικό πλήθος των δεδομένων ήταν 250. Οι τιμές των παραμέτρων για την πειραματική μελέτη της DAFN φαίνονται στον Πίνακα 5.4.

Το δίκτυο που χρησιμοποιήσαμε είναι μέτριας πυκνότητας, ενώ η ταχύτητα είναι υψηλή. Η συχνότητα δημιουργίας αντιγράφων μπορεί να θεωρηθεί μεγάλη, ενώ η συχνότητα ερωτήσεων είναι χαμηλή. Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ανάλογες με τις τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα στο [8], ώστε να μπορεί να υπάρχει κάποιου είδους αντιστοιχία.

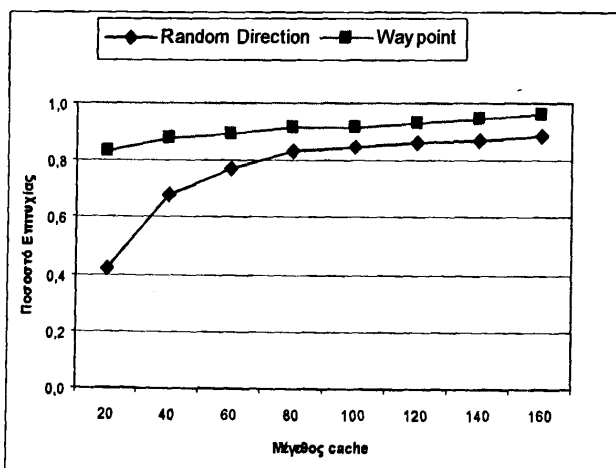


Πίνακας 5.5 Τιμές των Παραμέτρων για τη Μέθοδο DAFN.

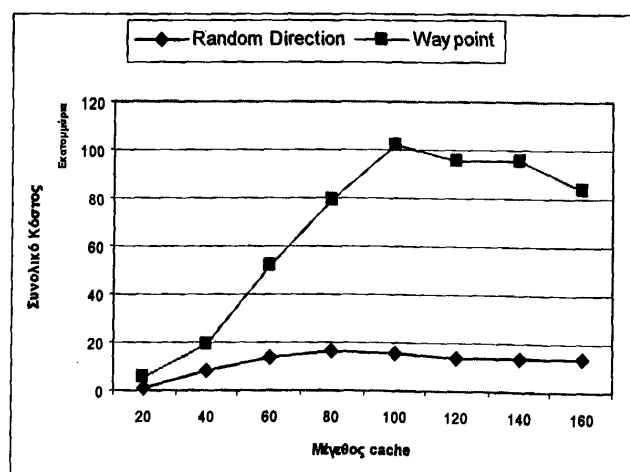
Παράμετρος	Τιμή
Διαστάσεις περιοχής	900m x 900m
Πλήθος κόμβων	100
Πλήθος κινούμενων κόμβων	100
Πλήθος ενεργών κόμβων	100
Πλήθος συνολικών δεδομένων	250
Εμβέλεια επικοινωνίας	100m
Ελάχιστη ταχύτητα κίνησης	0.1 m/sec
Μέγιστη ταχύτητα κίνησης	2.0 m/sec
Συχνότητα δημιουργίας δεδομένων	5 sec
Συχνότητα ερωτήσεων	100 sec

### 5.5.1. Επίδραση του Μεγέθους της Cache.

Το μέγεθος της cache ήταν το μόνο μέγεθος που μεταβάλλονταν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Ξεκινήσαμε από μικρές τιμές (20-60 δεδομένα), συνεχίσαμε με μεσαίες (60-100 δεδομένα), ενώ στο τέλος αυξήσαμε αισθητά το μέγεθος της cache (100 δεδομένα και πάνω). Η τιμή του Relocation Period ήταν 300 sec, μια σχετικά μέτρια τιμή, που χρησιμοποιήθηκε και στο [8].



(α)



(β)

Σχήμα 5.10 Επίδραση της Cache στη Μέθοδο DAFN.



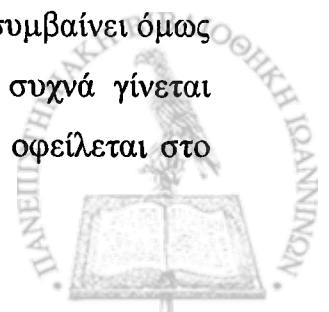
Στο Σχήμα 5.10 (α) παρατηρούμε ότι η αύξηση της cache οδηγεί και σε αύξηση του ποσοστού επιτυχίας, αφού οι κόμβοι διαθέτουν περισσότερα αντίγραφα των δεδομένων. Μάλιστα, στην περίπτωση του Waypoint μοντέλου κίνησης το ποσοστό επιτυχίας είναι αρκετά μεγάλο και για μικρότερες τιμές της cache. Για το Random Direction μοντέλο η διαφορά είναι περισσότερο αντιληπτή, ειδικά όταν η cache αυξάνεται από 20 σε 60. Και για τα δύο μοντέλα πάντως παρατηρούμε μια ομαλοποίηση όταν το πλήθος των αντιγράφων που αποθηκεύονται μεγαλώσει αρκετά.

Όσον αφορά το συνολικό κόστος (Σχήμα 5.10 (β)), παρατηρούμε ότι για τιμές της cache από 20 έως 100 δεδομένα αυξάνεται, αφού η μέθοδος DAFN είναι μια pull-based μέθοδος και μεγαλύτερη cache για έναν κόμβο σημαίνει και περισσότερα μηνύματα κατά τη διάρκεια του Relocation. Παράλληλα, το κόστος από τα μηνύματα αναζήτησης δεδομένων δεν αντισταθμίζει το προαναφερθέν κόστος, αφού η μνήμη δεν είναι αρκετά μεγάλη ώστε κάθε κόμβος να έχει όλα όσα δεδομένα χρειάζεται. Ωστόσο, όταν η μνήμη αυξηθεί περαιτέρω, ο κάθε κόμβος έχει περισσότερα δεδομένα και άρα το Relocation συμβαίνει λιγότερο συχνά. Για τον ίδιο λόγο περιορίζονται και τα μηνύματα αναζήτησης. Η παραπάνω συμπεριφορά παρατηρείται και για τα δύο μοντέλα κίνησης.

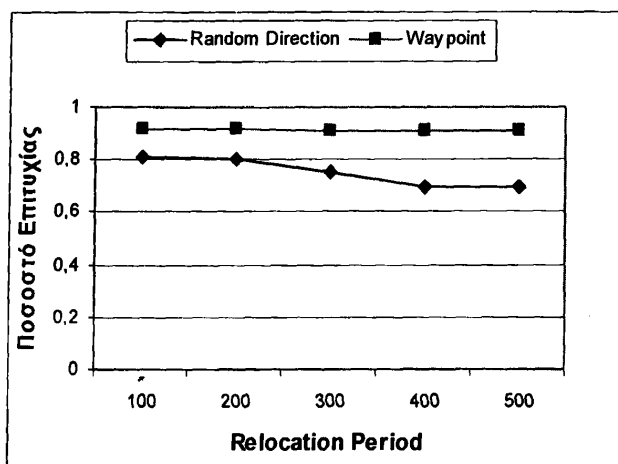
### 5.5.2. Επίδραση του Relocation Period.

Διατηρώντας το μέγεθος της μνήμης σταθερό στα 75 δεδομένα, τιμή που όπως φάνηκε και από την προηγούμενη παράγραφο δίνει καλά ποσοστά επιτυχίας, κάναμε πειράματα μεταβάλλοντας την τιμή του Relocation Period. Αρχικά το Relocation γίνονταν πολύ συχνά (100sec), και σταδιακά η συχνότητά του μειώνονταν, μέχρι να γίνεται με χαμηλή συχνότητα (500 sec, δηλαδή 5 συνολικά Relocations στην προσομοίωση των 2500 sec).

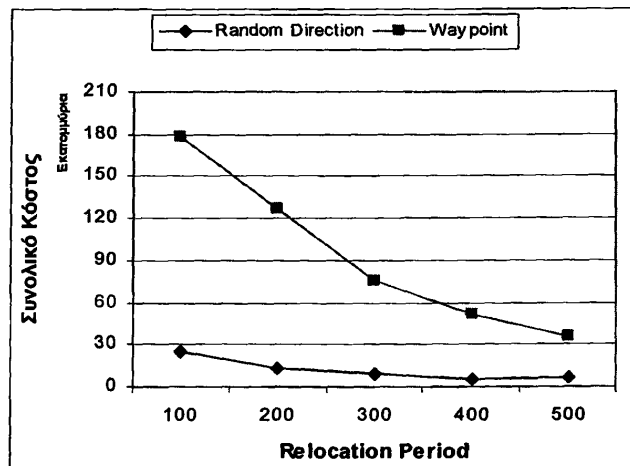
Στο Σχήμα 5.11 (α) παρατηρούμε ότι το Relocation Period, έχει διαφορετική επίδραση στα δύο μοντέλα κίνησης. Στο RWP μοντέλο κίνησης παρά την αρχική μας διαίσθηση παρατηρούμε ότι συχνότερα relocation δεν οδηγούν και σε μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας. Το ποσοστό επιτυχίας είναι σχεδόν ίδιο για όλες τις τιμές του Relocation. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο και για το RD μοντέλο κίνησης. Εκεί παρατηρούμε ότι όσο πιο συχνά γίνεται Relocation τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό επιτυχίας της μεθόδου. Αυτό οφείλεται στο



γεγονός ότι στο RD μοντέλο κίνησης οι συνεκτικές συνιστώσες είναι περισσότερες και άρα, κατά τη διάρκεια του replication είναι πιθανό οι κόμβοι να μην αποκτήσουν όλα όσα δεδομένα πρέπει και η cache τους να έχει κενές θέσεις. Αν το επόμενο Relocation αργήσει πολύ να γίνει οι κόμβοι καταδικάζονται να έχουν για ώρα άδειες θέσεις μνήμης και να μη βρίσκουν τα δεδομένα που ζητούν. Αυτό δε συμβαίνει και στο RWP μοντέλο όπου επειδή οι κόμβοι συγκεντρώνονται στο κέντρο της περιοχής είναι πιο εύκολο να αποκτήσουν αμέσως τα δεδομένα που ζητούν κατά το Relocation και να μην είναι υποχρεωμένοι να περιμένουν το επόμενο.



(α)



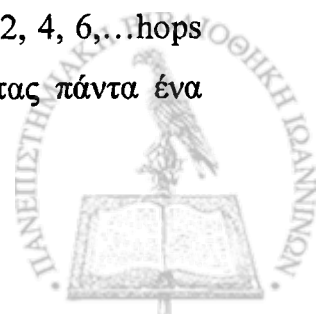
(β)

Σχήμα 5.11 Επίδραση του Relocation Period στη Μέθοδο DAFN.

Το συνολικό κόστος (Σχήμα 5.11 (β)) μειώνεται όσο αυξάνεται το Relocation Period για οποιοδήποτε τρόπο κίνησης ακολουθήσουν οι κόμβοι του δικτύου. Όπως ήδη είδαμε η διαδικασία του Relocation είναι αρκετά ακριβή, αφού απαιτεί μεγάλο αριθμό μηνυμάτων και άρα όσο πιο συχνά γίνεται τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος.

### 5.6. Πειραματική Μελέτη της Expanding Ring.

Στη μέθοδο Expanding Ring, τα αντίγραφα των δεδομένων δημιουργούνται σε δακτυλίους γύρω από τον κόμβο στον οποίο ανήκουν τα δεδομένα. Οι δακτύλιοι απέχουν 2, 4, 6, ... hops από τον κόμβο. Οι ερωτήσεις γίνονται με τη μέθοδο της πλημμύρας, έχοντας πάντα ένα μέγιστο μήκος αναζήτησης.



Η μέθοδος Expanding Ring υποθέτει ότι στο δίκτυο υπάρχει ένας server στον οποίο κατευθύνονται οι ερωτήσεις των κόμβων όταν η αναζήτηση σε ένα μόνο hop (δηλαδή αναζήτηση μόνο στους γείτονες του κόμβου) δε φέρει κάποιο θετικό αποτέλεσμα. Προκειμένου να κάνουμε τις μετρήσεις θεωρήσαμε ότι τέτοιος server δεν υπάρχει. Αν η ερώτηση ενός κόμβου δεν ικανοποιούνταν από τους γείτονες, τότε γινόταν αναζήτηση με τη μέθοδο flooding με κάποιο μέγιστο βάθος. Ταυτόχρονα, κρατούσαμε και καθολική πληροφορία για τη συχνότητα ερωτήσεων των κόμβων, διαθέσιμη, χωρίς κόστος, σε όλους τους κόμβους. Πάνω στην πληροφορία αυτή βασίζονταν στη συνέχεια η δημιουργία των αντιγράφων των δεδομένων.

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.6, σε μια περιοχή 800x800 τοποθετήθηκαν 100 κόμβοι, οι οποίοι κινούνταν με ταχύτητα  $v \in [0, 1 - 2, 0 \text{ m/sec}]$  και που συνολικά διέθεταν 250 δεδομένα. Η εμβέλεια επικοινωνίας ήταν 100m και ο μέσος ρυθμός ερωτήσεων για κάθε κόμβο ήταν χαμηλός (100sec). Το μέγιστο βάθος αναζήτησης καθορίστηκε στα 10 hops, ενώ κατά τη διάρκεια δημιουργίας αντιγράφων δημιουργούνται αντίγραφα σε 2, 4, 6 hops ή 1, 3, 5 hops εναλλάξ, γύρω από τον κόμβο που ξεκίνησε τη διαδικασία. Τα παραπάνω συνθέτουν ένα δίκτυο μεσαίας πυκνότητας και σχετικά υψηλής ταχύτητας. Οι τιμές των παραμέτρων καθορίστηκαν σύμφωνα με τις τιμές που χρησιμοποιήθηκαν και στο [19].

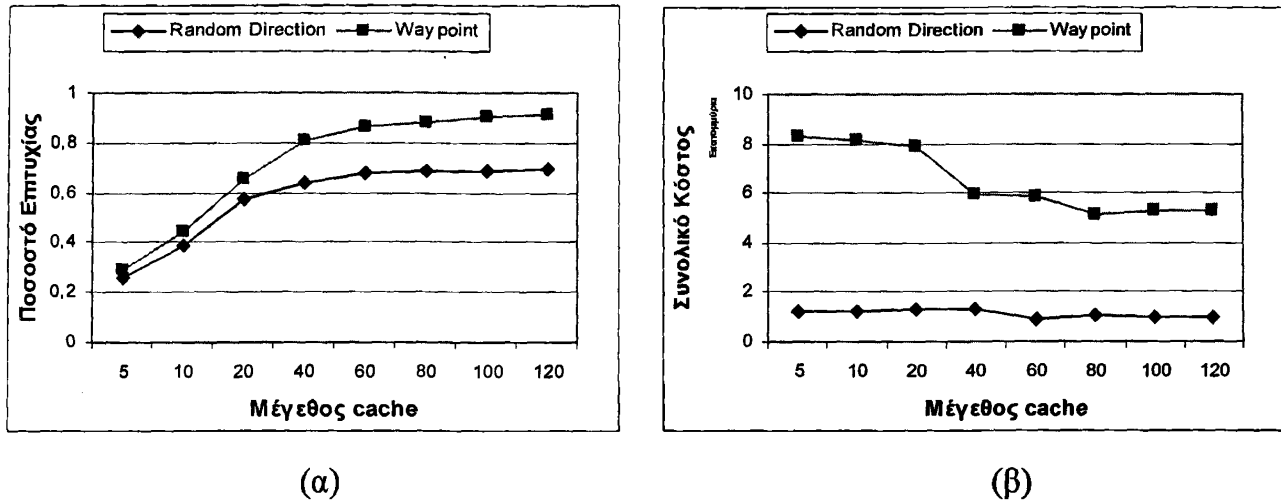
Πίνακας 5.6 Τιμές Παραμέτρων για τη Μέθοδο Expanding Ring.

Παράμετρος	Τιμή
Διαστάσεις περιοχής	800m x 800m
Πλήθος κόμβων	100
Πλήθος κινούμενων κόμβων	100
Πλήθος ενεργών κόμβων	100
Πλήθος συνολικών δεδομένων	250
Εμβέλεια επικοινωνίας	100m
Ελάχιστη ταχύτητα κίνησης	0.1 m/sec
Μέγιστη ταχύτητα κίνησης	2.0 m/sec
Συχνότητα δημιουργίας δεδομένων	5 sec
Συχνότητα ερωτήσεων	100 sec
Μέγιστο Βάθος Αναζήτησης	10 hops



### 5.6.1. Επίδραση του Μεγέθους της Cache.

Διατηρώντας τις τιμές του Πίνακα 5.6. για τις παραμέτρους, κάναμε πειράματα για χαμηλές, μέτριες και υψηλές τιμές της cache.



Σχήμα 5.12 Επίδραση του Μεγέθους της Cache στη Μέθοδο Expanding Ring.

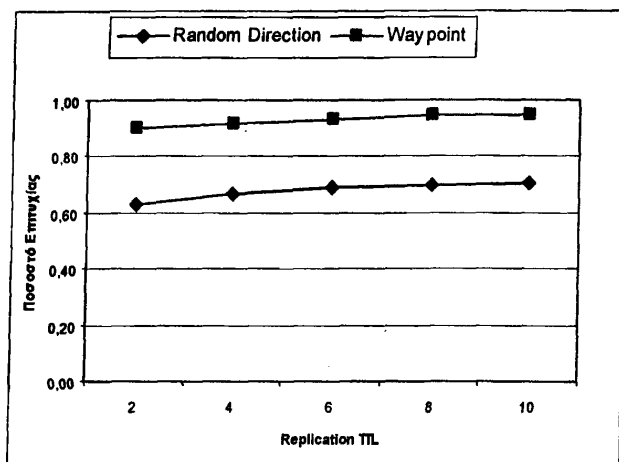
Στο Σχήμα 5.12 (α) βλέπουμε ότι αύξηση στο μέγεθος της cache επιφέρει αύξηση και στο ποσοστό επιτυχίας της μεθόδου. Η αύξηση αυτή αρχικά μοιάζει να είναι γραμμική, όμως από ένα σημείο και μετά, λόγω του αρκετά μεγάλου μεγέθους της cache η αύξηση είναι πιο μικρή. Το Waypoint μοντέλο προηγείται του Random Direction μοντέλου.

Σχετικά με το συνολικό κόστος, παρατηρούμε ότι και για τα δύο μοντέλα κίνησης μειώνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος της cache λόγω του ότι περισσότεροι κόμβοι έχουν περισσότερα αντίγραφα των δεδομένων και οι ερωτήσεις εξυπηρετούνται πιο εύκολα (τα δεδομένα εντοπίζονται στη γειτονία του κάθε κόμβου ή και στην ίδια του την cache).

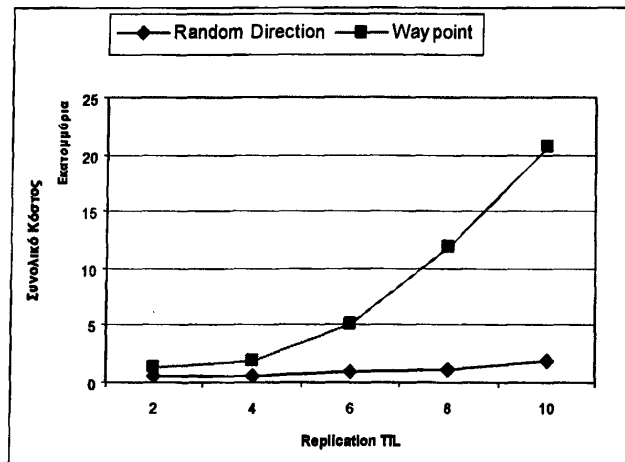
### 5.6.2. Επίδραση του Μέγιστου Βάθους Δημιουργίας Αντιγράφων.

Στα πειράματα αυτής της παραγράφου διατηρήσαμε τις τιμές του Πίνακα 5.6, θέσαμε το μέγεθος της cache στα 75 δεδομένα και μεταβάλλαμε τη μέγιστη ακτίνα (σε hops) των δακτυλίων. Ξεκινήσαμε από μικρές τιμές (2 hops) και εξετάσαμε και περιπτώσεις όπου η ακτίνα του δακτυλίου ήταν πολύ μεγάλη (10 hops).





(α)



(β)

Σχήμα 5.13 Επίδραση του Μέγιστου Βάθους Δημιουργίας Αντιγράφων.

Στα ίδια πλαίσια με την Παράγραφο 5.5.1 και με σταθερή την cache στα 75 δεδομένα παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το βάθος στο οποίο δημιουργούνται τα αντίγραφα τόσο αυξάνεται και το ποσοστό επιτυχίας (Σχήμα 5.13 (α)).

Αντίστοιχα με το ποσοστό επιτυχίας αυξάνεται και το συνολικό κόστος, αφού με τη δημιουργία αντιγράφων σε μεγαλύτερη ακτίνα προκαλούνται περισσότερα μηνύματα. Μάλιστα, όταν το Replication TTL ξεπεράσει το 6 για το RWP μοντέλο τα μηνύματα αυξάνονται με μεγάλο ρυθμό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

---

6.1 Περιβάλλον Πειραμάτων

6.2 Σύγκριση σε Αραιό Δίκτυο

6.3 Σύγκριση σε Πυκνό Δίκτυο

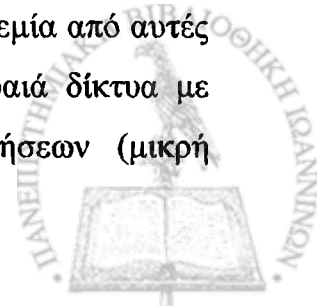
6.4 Γενικές Διαπιστώσεις και Συμπεράσματα για την Πειραματική Σύγκριση

---

Στο προηγούμενο κεφάλαιο μελετήθηκε κάθε μια από τις μεθόδους ξεχωριστά με σκοπό να ελεγχθεί και να αξιολογηθεί η συμπεριφορά της κάτω από διάφορες συνθήκες καθώς και να γίνουν φανερές οι επιδράσεις που έχουν οι διάφορες παράμετροι. Ωστόσο, από τη μελέτη που έγινε, δεν είναι δυνατό να γίνει σύγκριση των μεθόδων και να εξαχθούν συμπεράσματα συνολικά για όλες. Για το λόγο αυτό έγινε μια σειρά πειραμάτων που ως στόχο είχε τη σύγκριση των μεθόδων κάτω από τις ίδιες συνθήκες, δηλαδή σε δίκτυα που έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά.

### 6.1. Περιβάλλον Πειραμάτων.

Το πειραματικό περιβάλλον που χρησιμοποιήθηκε είναι ίδιο με αυτό του Κεφαλαίου 5. Το μόνο που αλλάζει σε κάθε πείραμα, που έγινε, είναι οι τιμές των παραμέτρων του περιβάλλοντος προσομοίωσης, με σκοπό να συγκριθούν οι μέθοδοι σε διαφορετικές από μία συνθήκες και να εξαχθούν ασφαλέστερα και γενικότερα συμπεράσματα. Έτσι, με διαφορετικούς συνδυασμούς τιμών για τις παραμέτρους του περιβάλλοντος προσομοίωσης δημιουργήσαμε 12 διαφορετικές παραλλαγές του περιβάλλοντος, όπου σε καθεμία από αυτές το δίκτυο έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά. Οι 6 από αυτές αφορούν αραιά δίκτυα με διαφορετικές ταχύτητες (μικρή, μεσαία, μεγάλη) και συχνότητες ερωτήσεων (μικρή





συχνότητα, μεγάλη συχνότητα), ενώ οι υπόλοιπες 6 αφορούν πυκνά δίκτυα, πάλι με διαφορετικές ταχύτητες και συχνότητες ερωτήσεων.

Δεν ήταν δυνατό να αλλάζουμε τις τιμές όλων των παραμέτρων του περιβάλλοντος προσομοίωσης, γιατί ο συνολικός αριθμός των πειραμάτων αυξανόταν πολύ. Από όλες τις παραμέτρους του περιβάλλοντος προσομοίωσης διατηρήσαμε σταθερό, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 6.1, το πλήθος των κόμβων (50), το πλήθος των κινούμενων και ενεργών κόμβων, το πλήθος των δεδομένων και το μέγεθος της cache, που ήταν το 30% των συνολικών δεδομένων (75 δεδομένα).

Πίνακας 6.1 Σταθερές Παράμετροι του Περιβάλλοντος Προσομοίωσης.

Παράμετρος	Τιμή
Πλήθος κόμβων	50
Πλήθος κινούμενων κόμβων	50
Πλήθος ενεργών κόμβων	50
Πλήθος συνολικών δεδομένων	250
Μέγεθος cache	30% των συνολικών δεδομένων

Αρχικά, δημιουργήσαμε δύο μεγάλες κατηγορίες δικτύων, βάσει της πυκνότητάς τους. Στον Πίνακα 6.2 φαίνονται οι τιμές που δώσαμε στις παραμέτρους για να δημιουργήσουμε αραιό δίκτυο και πυκνό δίκτυο. Για το αραιό δίκτυο τοποθετήσαμε 50 κόμβους σε μια περιοχή διαστάσεων 1000m x 1000m και με εμβέλεια επικοινωνία 100m (σύμφωνα και με τις τιμές που συναντήσαμε στη βιβλιογραφία). Έπειτα, κρατώντας το συνολικό αριθμό των κόμβων σταθερό μειώσαμε τις διαστάσεις της περιοχής στα 300m x 300m, ώστε να αυξήσουμε την πυκνότητα του δικτύου.



Πίνακας 6.2 Οι Πυκνότητες του Δικτύου.

<b>Παράμετρος</b> <b>Είδος Δικτύου</b>	<b>Διαστάσεις</b> <b>Περιοχής</b>	<b>Πλήθος</b> <b>Κόμβων</b>	<b>Εμβέλεια</b> <b>Επικοινωνίας</b>
<b>Αραιό</b>	1000m x 1000m	50	100m
<b>Πυκνό</b>	300m x 300m	50	50m

Τόσο για το αραιό, όσο και για το πυκνό δίκτυο πειραματιστήκαμε με διαφορετικές ταχύτητες κίνησης των κόμβων. Οι κόμβοι μπορούσαν να κινούνται επιλέγοντας, τυχαία, μια ταχύτητα στο διάστημα  $[0,1 - v_2 \text{ m/sec}]$ , όπου το  $v_2$ , καθόριζε τη μέγιστη επιλεγόμενη τιμή της ταχύτητας. Για σχετικά αργή κίνηση το  $v_2$  ήταν 0,5 m/sec, για μέτρια ταχύτητα κίνησης ήταν 1,0 m/sec, ενώ για μεγάλη ταχύτητα το  $v_2$  ήταν 2,0 m/sec. Οι τιμές της ταχύτητας φαίνονται στον Πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3 Ταχύτητες Κίνησης των Κόμβων.

<b>Ταχύτητα</b>	<b>Διάστημα Τιμών</b>
Μικρή	0,1-0,5 m/sec
Μέτρια	0,1-1,0 m/sec
Μεγάλη	0,1-2,0 m/sec

Επιπλέον κάναμε πειράματα για δίκτυα στα οποία γίνονται συχνά ερωτήσεις για δεδομένα και για δίκτυα στα οποία γίνονται πιο σπάνια ερωτήσεις για δεδομένα. Αυτό το κάναμε γιατί θέλαμε να δούμε αν οι μέθοδοι που μελετάμε έχουν την ίδια συμπεριφορά όταν οι συνολικές ερωτήσεις είναι λίγες και όταν το δίκτυο κατακλύζεται από ερωτήματα. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 6.4, για μεγάλη συχνότητα ερωτήσεων χρησιμοποιήσαμε κατανομή Poisson με μέσο ρυθμό 1/50sec, ενώ για μικρότερη συχνότητα ερωτήσεων χρησιμοποιήσαμε την ίδια κατανομή με μέσο 1/100 sec.



Πίνακας 6.4 Συχνότητα Ερωτήσεων για Δεδομένα.

Συχνότητα Ερωτήσεων	Μέσο Κατανομής Poisson
Μικρή	1/100sec
Μεγάλη	1/50sec

Στον Πίνακα 6.5 φαίνονται, συνολικά, οι 12 παραλλαγές του περιβάλλοντος προσομοίωσης, που προκύπτουν μεταβάλλοντας τις παραμέτρους που αναφέραμε προηγουμένως. Χρησιμοποιήθηκε ως μοντέλο κίνησης το RWP μοντέλο, μιας και από τη μελέτη που έγινε στο Κεφάλαιο 5, φάνηκε ότι η πλειοψηφία των μεθόδων έχει καλύτερη συμπεριφορά όταν οι κόμβοι κινούνται με αυτό το μοντέλο. Για τη μέθοδο Redman τα πειράματα έγιναν χωρίς τη χρήση του Reconstruction, δεδομένου ότι προσφέρει μικρή αύξηση στο ποσοστό επιτυχίας με υψηλό κόστος.

Πίνακας 6.5 Οι 12 Παραλλαγές του Περιβάλλοντος Προσομοίωσης, με Όλες τις Παραμέτρους.

Παράμετρος Παραλλαγή	Διαστάσεις Περιοχής	Πλήθος Κόμβων	Πλήθος Κινοούμενων Κόμβων	Πλήθος Ενεργών Κόμβων	Πλήθος Συνολικών Δεδομένων	Μέγεθος cache	Εμβέλεια Επικοινωνίας	Ελάχιστη Ταχύτητα	Μέγιστη ταχύτητα	Συχνότητα Δημιουργίας Δεδομένων	Συχνότητα Ερωτήσεων
<b>Αραιό Δίκτυο</b>											
1	1000x1000	50	50	50	250	75	100	0.1	0.5	10	100
2	1000x1000	50	50	50	250	75	100	0.1	0.5	10	50
3	1000x1000	50	50	50	250	75	100	0.1	1.0	10	100
4	1000x1000	50	50	50	250	75	100	0.1	1.0	10	50
5	1000x1000	50	50	50	250	75	100	0.1	2.0	10	100
6	1000x1000	50	50	50	250	75	100	0.1	2.0	10	50
<b>Πυκνό Δίκτυο</b>											
7	300x300	50	50	50	250	75	50	0.1	0.5	10	100
8	300x300	50	50	50	250	75	50	0.1	0.5	10	50
9	300x300	50	50	50	250	75	50	0.1	1.0	10	100
10	300x300	50	50	50	250	75	50	0.1	1.0	10	50
11	300x300	50	50	50	250	75	50	0.1	2.0	10	100
12	300x300	50	50	50	250	75	50	0.1	2.0	10	50

Στα πειράματα που έγιναν δύο ήταν οι βασικές επιδιώξεις:

- Να μετρηθούν τα συνολικά κόστη που δίνει κάθε μία από τις μεθόδους για τα ίδια ποσοστά επιτυχίας. Έτσι, μετρήθηκε το συνολικό κόστος κάθε μεθόδου για τρία διαφορετικά ποσοστά επιτυχίας. Τα ποσοστά επιτυχίας που επιλέχθηκαν καθορίστηκαν από τα ποσοστά που μπορούσαν να δώσουν οι μέθοδοι. Για παράδειγμα, όπως θα δούμε και στη συνέχεια, σε αραιά δίκτυα η Redman δε μπορεί να δώσει ποσοστά επιτυχίας μεγαλύτερα του 0,35. Κατά συνέπεια, τα ποσοστά επιτυχίας για τα οποία επιλέξαμε να μετρήσουμε το συνολικό κόστος ήταν μικρά και καθορίστηκαν από τη Redman. Το να πετύχουμε τα ίδια ποσοστά επιτυχίας για όλες τις μεθόδους δεν ήταν ιδιαίτερα εύκολο και για να το καταφέρουμε έγιναν πολλά πειράματα. Στα πειράματα αυτά ρυθμίζαμε τις διάφορες παραμέτρους των μεθόδων μέχρι να φτάσουμε στα επιθυμητά επίπεδα ποσοστών επιτυχίας.
- Να μετρηθούν τα ποσοστά επιτυχίας κάθε μιας από τις μεθόδους για τα ίδια συνολικά κόστη. Για το λόγο αυτό μετρήθηκε το ποσοστό επιτυχίας κάθε μιας από τις δύο μεθόδους για δύο διαφορετικά συνολικά κόστη. Κι εδώ για το συνολικό κόστος μετρήσαμε τα μηνύματα που λαμβάνονται και όχι τα μηνύματα που εκπέμπονται. Σε ένα MANET τα μηνύματα που λαμβάνονται είναι διαφορετικά σε αριθμό από τα μηνύματα που στέλνονται. Όταν ένας κόμβος A εκπέμπει ένα μήνυμα αυτό δε λαμβάνεται μόνο από τον κόμβο που το χρειάζεται, αλλά από όλους εκείνους τους κόμβους που βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια επικοινωνίας του κόμβου A. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως σημαντική σπατάλη ενέργειας, αν σκεφτούμε τους περιορισμούς αυτονομίας στους οποίους υπόκεινται αυτοί οι κόμβοι. Για να πετύχουμε τα ίδια συνολικά κόστη για όλες τις μεθόδους, πάλι κάναμε πολλά πειράματα ρυθμίζοντας τις παραμέτρους σε διάφορες τιμές.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι στην πρώτη περίπτωση το ποσοστό επιτυχίας και στη δεύτερη το συνολικό κόστος, μπορεί να διέφεραν ελαφρά από μέθοδο σε μέθοδο, μιας και το να πετύχει κανείς ακριβώς ίδιες τιμές είναι αδύνατο. Σε κάθε περίπτωση δόθηκε βαρύτητα στο να είναι οι διαφορές πολύ μικρές. Τα ποσοστά επιτυχίας είχαν διαφορές  $\pm 0,02\%$ , ενώ τα συνολικά κόστη, που γενικά ήταν πιο δύσκολο να πετύχουμε κοντινές τιμές, διέφεραν  $\pm 5\%$ - $10\%$ .

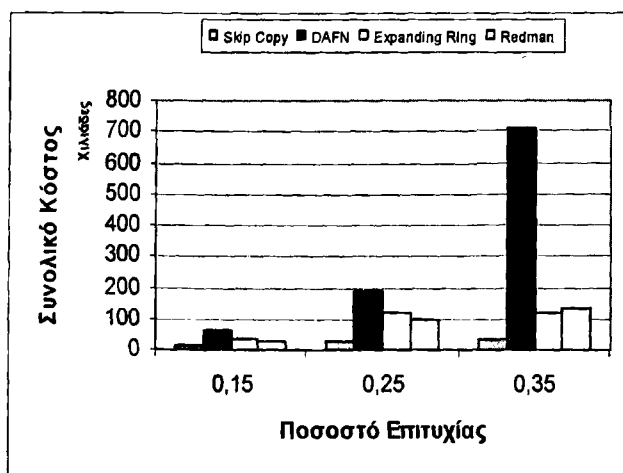


## 6.2. Σύγκριση σε Αραιό Δίκτυο.

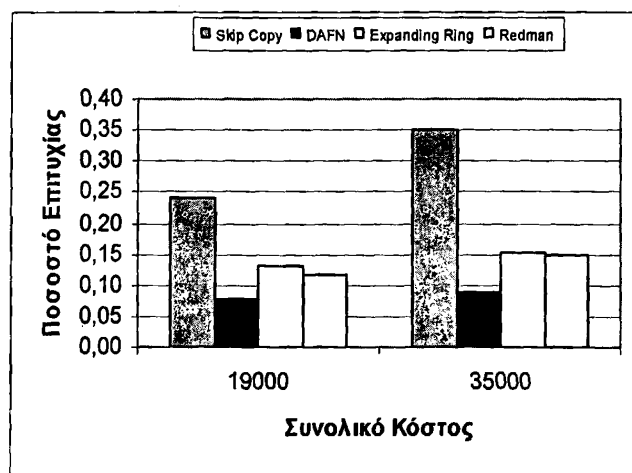
Στις επόμενες έξι παραγράφους παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα πειραματικά αποτελέσματα για τις έξι παραλλαγές του αραιού δικτύου. Οι τιμές των ποσοστών επιτυχίας και του συνολικού κόστους, βάσει των οποίων μετρήθηκαν τα συνολικά κόστη και τα ποσοστά επιτυχίας αντίστοιχα, καθορίστηκαν από τη μέθοδο που έδινε τα μικρότερα, προκειμένου να βρεθούν κοινές τιμές για να γίνει η σύγκριση. Ειδικά στο αραιό δίκτυο τα πράγματα είναι δύσκολα για όλες τις μεθόδους και για το λόγο αυτό τα ποσοστά επιτυχίας είναι ιδιαίτερα χαμηλά. Σε καμία περίπτωση, όμως, αυτό δε σημαίνει ότι τα ποσοστά επιτυχίας ή τα συνολικά κόστη όλων των μεθόδων είναι τόσο χαμηλά, πάντα. Κάποιες μέθοδοι μπορούν να δώσουν καλύτερα ποσοστά επιτυχίας, αρκεί να μεταβάλλουμε κάποιες από τις παραμέτρους τους και κάποια από τα χαρακτηριστικά του δικτύου. Επίσης, στο αραιό δίκτυο λόγω του ότι το δίκτυο είναι λιγότερο πυκνό έχουμε, όπως θα δούμε, και μικρά κόστη.

### 6.2.1. Μικρή Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Σε αυτή την παραλλαγή του περιβάλλοντος πειραμάτων οι κόμβοι κινούνται σχετικά αργά και οι ερωτήσεις για δεδομένα γίνονται με μικρή συχνότητα. Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε μέθοδο φαίνονται στον Πίνακα Π1.



(α)



(β)

Σχήμα 6.1 Σύγκριση των Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα και Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.



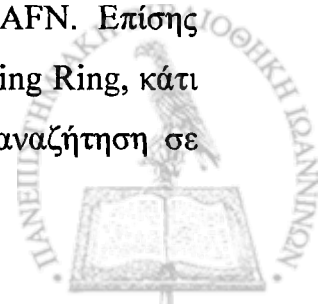
Στο Σχήμα 6.1 (α) παρατηρούμε ότι για τα ίδια ποσοστά επιτυχίας το μικρότερο συνολικό κόστος δίνει η μέθοδος Skip Copy, ενώ το μεγαλύτερο δίνει η DAFN. Αυτό συμβαίνει επειδή η μέθοδος Skip Copy δημιουργεί αντίγραφα μόνο μία φορά, όταν «γεννιέται» κάποιο δεδομένο και στη συνέχεια απλά δημιουργεί αντίγραφα στο μονοπάτι όπου προωθούνται οι απαντήσεις σε ερωτήσεις για δεδομένα. Αντίθετα, η μέθοδος DAFN σε κάθε Relocation Period ξεκινάει από την αρχή τη διαδικασία δημιουργίας και διασποράς αντιγράφων με αποτέλεσμα να έχει το μεγαλύτερο κόστος από όλες τις μεθόδους. Οι μέθοδοι Expanding Ring και Redman έχουν λίγο μεγαλύτερο κόστος από τη Skip Copy και αισθητά μικρότερο από τη DAFN. Για τα μικρά ποσοστά επιτυχίας η Redman έχει ελάχιστα μικρότερο κόστος από την Expanding Ring, αφού αυτά τα ποσοστά επιτυγχάνονται με μικρό βαθμό αντιγράφων. Από την άλλη πλευρά η Expanding Ring και για αυτά τα μικρά ποσοστά πρέπει να δημιουργήσει αντίγραφα σε δακτυλίους, γεγονός που αυξάνει τον αριθμό των μηνυμάτων. Για το μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας (0,35) η Redman έχει μεγαλύτερο συνολικό κόστος, αφού για να επιτύχει τέτοιο ποσοστό πρέπει να αυξηθεί ο βαθμός των αντιγράφων με αποτέλεσμα περισσότερα μηνύματα.

Για το ίδιο συνολικό κόστος (Σχήμα 6.1 (β)), τα μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας δίνει η Skip Copy με τις Expanding Ring και Redman να ακολουθούν, ενώ η μέθοδος DAFN δίνει τα μικρότερα ποσοστά επιτυχίας. Η μέθοδος Expanding Ring μοιάζει να υπερτερεί λίγο της Redman, γεγονός που δικαιολογείται αν σκεφτεί κανείς ότι με την Expanding Ring τα αντίγραφα διασπείρονται σε μεγαλύτερη περιοχή απ' ό τι με τη Redman.

#### 6.2.2. Μικρή Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

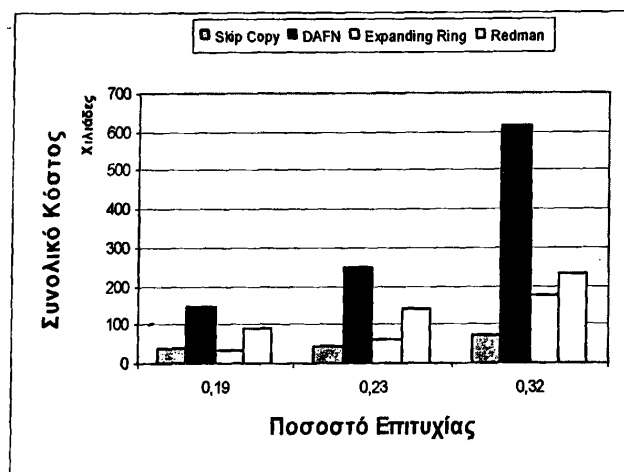
Σε αυτή την παραλλαγή του περιβάλλοντος πειραμάτων οι κόμβοι κινούνται σχετικά αργά και οι ερωτήσεις για δεδομένα γίνονται με μεγάλη συχνότητα. Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε μέθοδο φαίνονται στον Πίνακα Π2.

Στο Σχήμα 6.2 (α) φαίνεται ότι για μεγαλύτερη συχνότητα ερωτήσεων το μικρότερο συνολικό κόστος έχει η Skip Copy και το μεγαλύτερο συνολικό κόστος έχει η DAFN. Επίσης παρατηρούμε ότι η Redman έχει μεγαλύτερο συνολικό κόστος από την Expanding Ring, κάτι που δεν ήταν ξεκάθαρο στο Σχήμα 6.1 (α). Προφανώς η Redman απαιτεί αναζήτηση σε

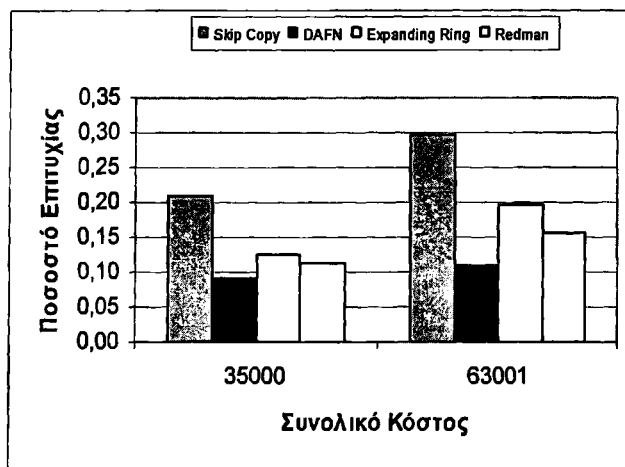


μεγαλύτερο βάθος προκειμένου να ικανοποιήσει τις ερωτήσεις, αφού τα αντίγραφα είναι λιγότερα σε σχέση με την Expanding Ring. Αυτό σε συνδυασμό με το μεγαλύτερο πλήθος ερωτήσεων οδηγεί σε μεγαλύτερο συνολικό κόστος.

Για το ίδιο συνολικό κόστος (Σχήμα 6.2 (β)), η μέθοδος Skip Copy έχει το καλύτερο ποσοστό επιτυχίας με την Expanding Ring να ακολουθεί. Η μέθοδος Redman πλησιάζει αρκετά την Expanding Ring, ενώ η DAFN έχει τα μικρότερα ποσοστά επιτυχίας, αφού γενικά φαίνεται να δίνει αρκετά μεγάλα ποσοστά επιτυχίας με απαραίτητη προϋπόθεση το μεγαλύτερο αριθμό μηνυμάτων.



(α)



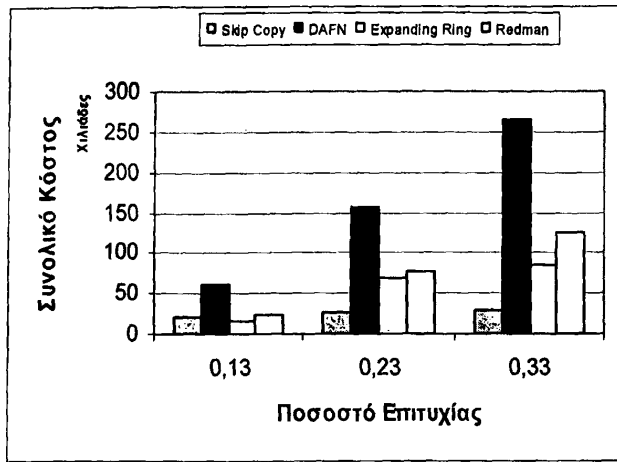
(β)

Σχήμα 6.2 Σύγκριση των Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα και Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

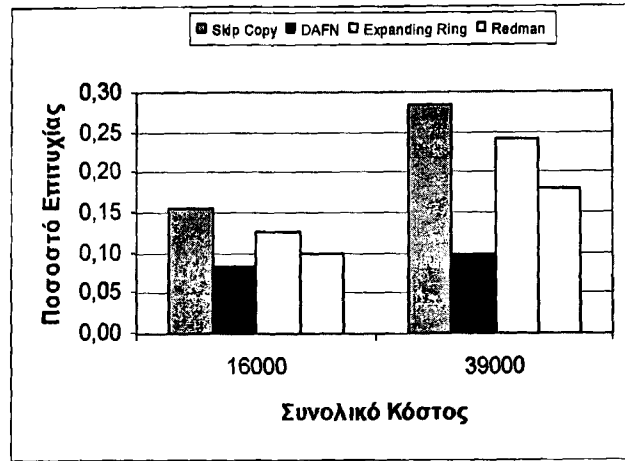
### 6.2.3. Μεσαία Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Σε αυτή την παραλλαγή του περιβάλλοντος πειραμάτων οι κόμβοι κινούνται με μεσαία ταχύτητα (0,1-1,0m/sec) και οι ερωτήσεις για δεδομένα γίνονται με μικρή συχνότητα. Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε μέθοδο φαίνονται στον Πίνακα Π3.





(α)



(β)

Σχήμα 6.3 Σύγκριση των Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεσαία Ταχύτητα και Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης των κόμβων παρατηρούμε (Σχήμα 6.3 (α)) ότι το μεγαλύτερο συνολικό κόστος έχει η μέθοδος DAFN και ακολουθεί η μέθοδος Redman. Οι Skip Copy και Expanding Ring έχουν τα μικρότερα συνολικά κόστη και μάλιστα για πρώτη φορά βλέπουμε ότι για πολύ μικρά ποσοστά επιτυχίας (0,13) η Expanding Ring έχει μικρότερο συνολικό κόστος από τη Skip Copy. Επίσης, η Redman έχει ξεκάθαρα μεγαλύτερο κόστος από την Expanding Ring: εξαιτίας της μεγαλύτερης ταχύτητας των κόμβων (άρα και της μετακίνησης των δεδομένων), η Redman αναγκάζεται να μεγαλώσει το βαθμό αντιγράφων ή να ψάξει σε μεγαλύτερο βάθος τα δεδομένα προκειμένου να βρεθεί η τομή που θα δώσει απάντηση σε κάποια ερώτηση. Αυτό δεν είναι απόλυτα απαραίτητο στην Expanding Ring όπου, αφενός τα αντίγραφα των δεδομένων δεν εκτείνονται μόνο πάνω σε μία ευθεία, αλλά σε μία περιοχή δακτυλίων, αφετέρου η διασπορά των αντιγράφων επαναλαμβάνεται κάθε φορά που ξεπερνάται το threshold.

Για το ίδιο συνολικό κόστος, δεν αλλάζει κάτι. Η Skip Copy έχει τα μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας, ακολουθεί η Expanding Ring και η Redman, ενώ χειρότερα ποσοστά επιτυχίας δίνει η DAFN. Για μικρό συνολικό κόστος (16.000 μηνύματα) η DAFN ναι μεν μειονεκτεί των άλλων μεθόδων, ωστόσο οι διαφορές δεν είναι υψηλές. Για μεγαλύτερο συνολικό κόστος όμως (36.000 μηνύματα) η διαφορά των τριών άλλων μεθόδων έναντι της DAFN είναι





εμφανής. Μάλιστα το ποσοστό της Skip Copy και της Expanding Ring είναι σχεδόν τριπλάσιο και διπλάσιο, αντίστοιχα, από αυτό της DAFN.

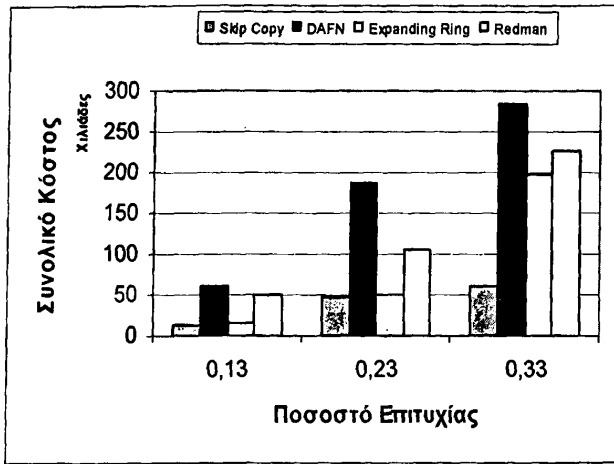
#### 6.2.4. Μεσαία Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

Σε αυτή την παραλλαγή του περιβάλλοντος πειραμάτων οι κόμβοι κινούνται με μεσαία ταχύτητα (0,1-1,0m/sec) και οι ερωτήσεις για δεδομένα γίνονται με μεγάλη συχνότητα. Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε μέθοδο φαίνονται στον Πίνακα Π4.

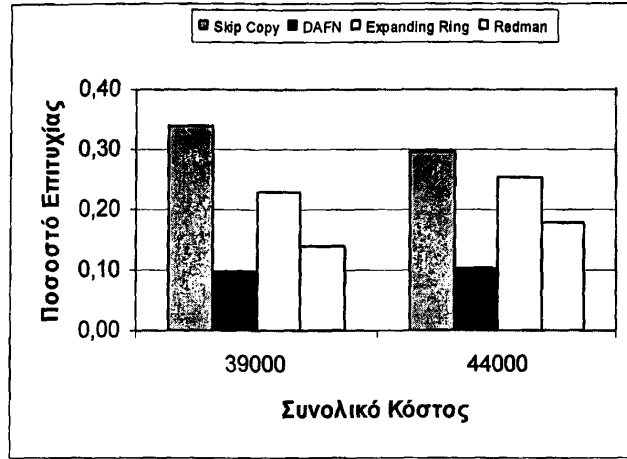
Στο Σχήμα 6.4 (α) βλέπουμε ότι όταν η ταχύτητα αυξηθεί, για μεγάλη συχνότητα ερωτήσεων και για το ίδιο ποσοστό επιτυχίας, το συνολικό κόστος είναι μεγαλύτερο για τη μέθοδο DAFN, με τη Redman να είναι δεύτερη. Η Skip Copy έχει σχεδόν ίδιο κόστος με την Expanding Ring για ποσοστά επιτυχίας 0,13 και 0,23, ενώ για μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας (0,33 και πάνω) η Expanding Ring δίνει πολύ μεγαλύτερο συνολικό κόστος. Για να αυξηθεί το ποσοστό επιτυχίας στην Expanding Ring πρέπει να μειωθεί το threshold. Επειδή όμως η συχνότητα ερωτήσεων είναι μεγάλη, το threshold ξεπερνάται πιο εύκολα και γίνονται περισσότερα αντίγραφα. Τα περισσότερα αντίγραφα οδηγούν και σε αύξηση του συνολικού κόστους. Επίσης, σε σχέση με τη μικρή συχνότητα ερωτήσεων (Σχήμα 6.3 (α)), παρατηρούμε (Σχήμα 6.4 (α)) ότι τόσο η Expanding Ring, όσο και η Redman έχουν μικρότερη διαφορά σε συνολικό κόστος με την DAFN. Αυτό δείχνει ότι η DAFN αυξάνει το συνολικό κόστος κυρίως κατά τις περιόδους του Relocation και όχι κατά την αναζήτηση δεδομένων.

Όσον αφορά το ποσοστό επιτυχίας των μεθόδων για το ίδιο συνολικό κόστος δεν αλλάζει κάτι (Σχήμα 6. (β)). Η Skip Copy προηγείται όλων των μεθόδων με την Expanding Ring να δίνει τα αμέσως μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας. Η Redman και η DAFN έρχονται τελευταίες με τη Redman να υπερτερεί της DAFN.





(α)

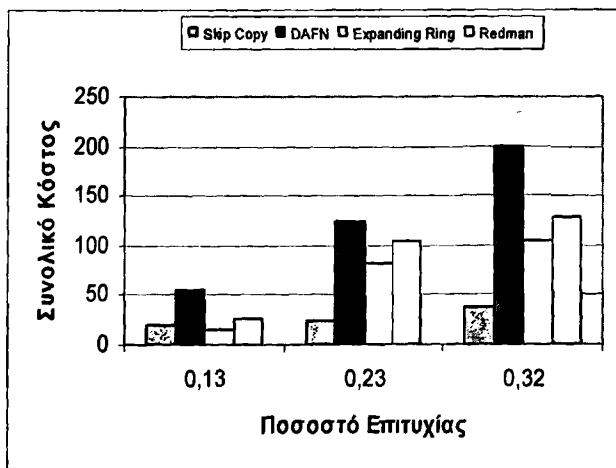


(β)

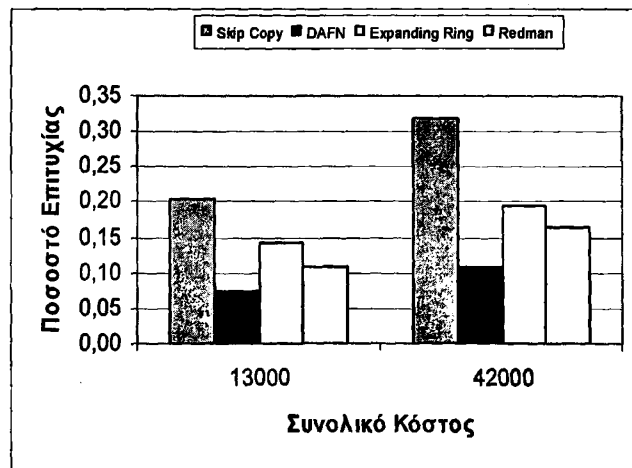
Σχήμα 6.4 Σύγκριση των Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεσαία Ταχύτητα και Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

#### 6.2.5. Μεγάλη Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Στην τελευταία παραλλαγή του αραιού δικτύου οι κόμβοι κινούνται με ταχύτητα 0,1-2,0m/sec και οι ερωτήσεις για δεδομένα γίνονται με μεγάλη συχνότητα. Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε μέθοδο φαίνονται στον Πίνακα Π5.



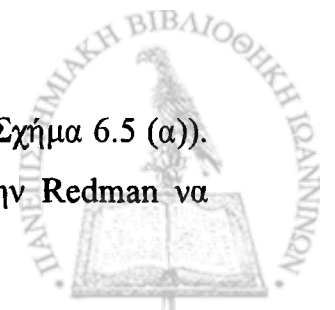
(α)



(β)

Σχήμα 6.5 Σύγκριση των Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα και Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Αυξάνοντας την ταχύτητα παρατηρούμε ότι ισχύουν περίπου τα ίδια με πριν (Σχήμα 6.5 (α)). Για το ίδιο ποσοστό επιτυχίας η DAFN δίνει το μεγαλύτερο κόστος με την Redman να

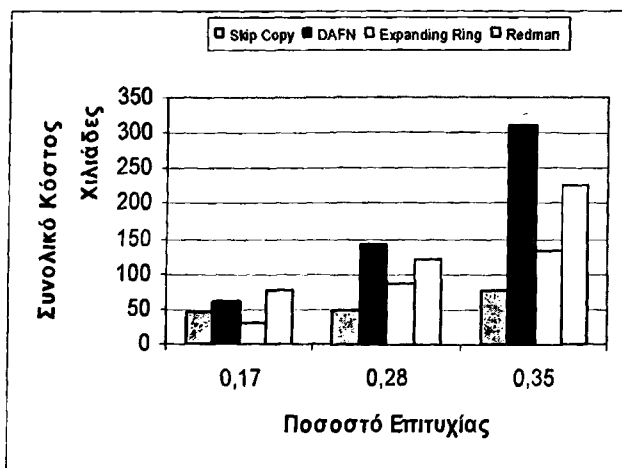


ακολουθεί. Η Skip Copy και η Expanding Ring, για τα μικρά ποσοστά επιτυχίας, είναι πολύ κοντά με την Expanding Ring να έχει λίγο μικρότερο κόστος. Για μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας η Skip Copy είναι πιο φθηνή. Όταν το συνολικό κόστος είναι ίδιο (Σχήμα 6.5 (β)), τα ποσοστά επιτυχίας είναι ακριβώς ίδια με προηγουμένως.

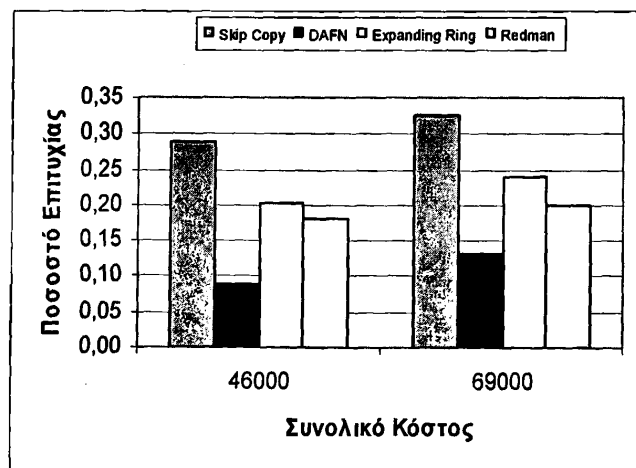
#### 6.2.6. Μεγάλη Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

Στην τελευταία παραλλαγή του αραιού δικτύου οι κόμβοι κινούνται με ταχύτητα 0,1-2,0m/sec και οι ερωτήσεις για δεδομένα γίνονται με μεγάλη συχνότητα. Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε μέθοδο φαίνονται στον Πίνακα Π6.

Στο Σχήμα 6.6 (α) παρατηρούμε ότι για μικρό ποσοστό επιτυχίας πάλι η μέθοδος Skip Copy δίνει περισσότερα μηνύματα από την Expanding Ring, κάτι που αλλάζει για μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας. Η DAFN έχει το μεγαλύτερο συνολικό κόστος από όλες τις μεθόδους για οποιαδήποτε τιμή του ποσοστού επιτυχίας και ακολουθεί η Redman. Στο Σχήμα 6.6 (β) βλέπουμε ότι διατηρείται η υπεροχή της Skip Copy στο ποσοστό επιτυχίας όταν το συνολικό κόστος είναι το ίδιο. Η Redman έχει λίγο μικρότερο ποσοστό επιτυχίας από την Expanding Ring και τελευταία είναι η DAFN.



(α)



(β)

Σχήμα 6.6 Σύγκριση των Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα και Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

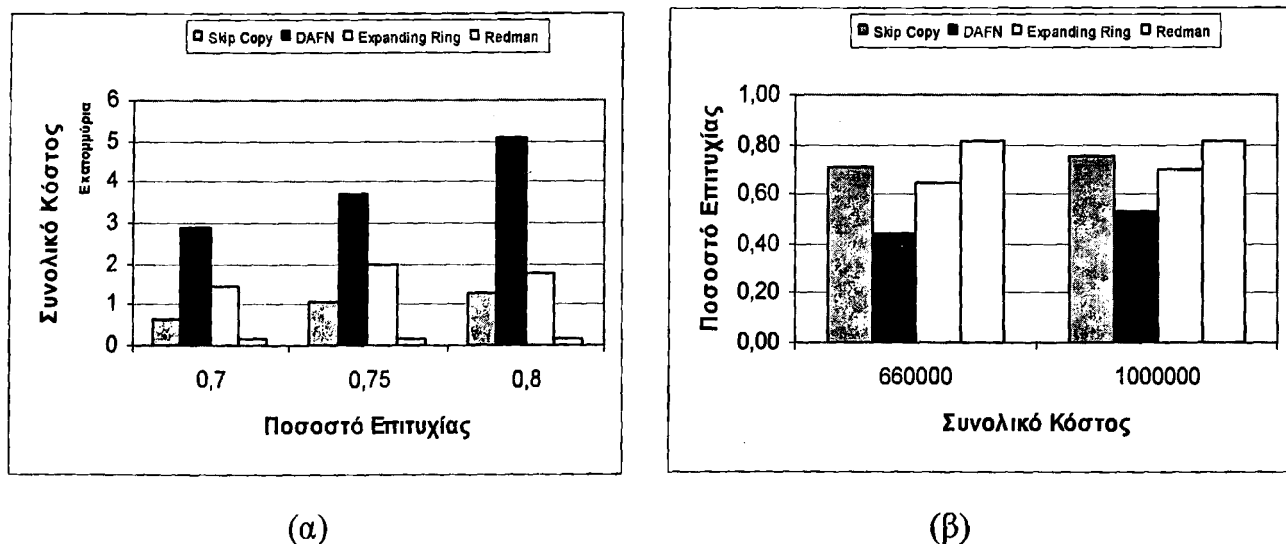


### 6.3. Σύγκριση σε Πυκνό Δίκτυο.

Στη συνέχεια παραθέτουμε τα πειράματα για τις έξι παραλλαγές του πυκνού δικτύου, σχολιάζοντας τα αποτελέσματα. Κι εδώ οι τιμές των ποσοστών επιτυχίας και του συνολικού κόστους βάσει των οποίων μετρήθηκαν τα συνολικά κόστη και τα ποσοστά επιτυχίας αντίστοιχα, καθορίστηκαν από τη μέθοδο που έδινε τα μικρότερα, προκειμένου να βρεθούν κοινές τιμές για να γίνει η σύγκριση. Όπως θα δούμε και στη συνέχεια, στο πυκνό δίκτυο τα πράγματα είναι πιο εύκολα για όλες τις μεθόδους. Εξαιτίας της μεγαλύτερης συνεκτικότητας του δικτύου οι μέθοδοι δίνουν καλύτερα ποσοστά επιτυχίας και για το λόγο αυτό οι κοινές τιμές που επιλέχθηκαν για τη σύγκριση είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τιμές που είδαμε στην Παράγραφο 6.1 και στο αραιό δίκτυο. Κάποιες από τις μεθόδους μπορούν, μάλιστα, να δώσουν ακόμη μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας.

#### 6.3.1. Μικρή Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Οι κόμβοι κινούνται με μικρή ταχύτητα (0,1-0,5 m/sec) και η συχνότητα ερωτήσεων είναι μικρή (100, sec). Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε μέθοδο φαίνονται στον Πίνακα Π7.



Σχήμα 6.7 Σύγκριση των Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα και Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Παρατηρούμε ότι στο πυκνό δίκτυο τα πράγματα είναι διαφορετικά απ' ό,τι στο αραιό (Σχήμα 6.7 (α)). Το μικρότερο συνολικό κόστος έχει η μέθοδος Redman και το αμέσως μεγαλύτερο η



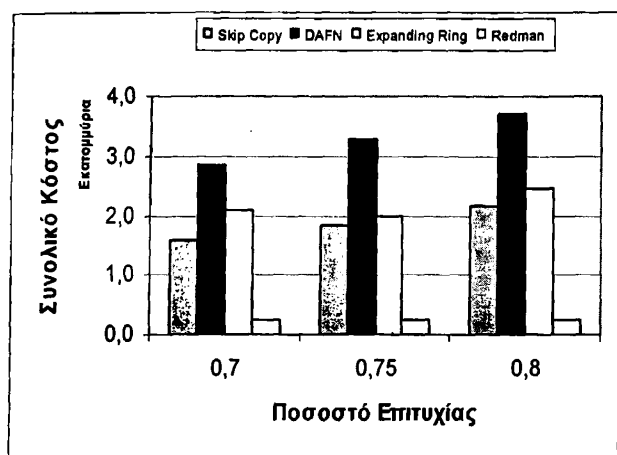
Skip Copy. Η μέθοδος Expanding Ring έχει το τρίτο, κατά σειρά, μεγαλύτερο κόστος, ενώ τελευταία έρχεται πάλι η DAFN. Το ότι η Redman έχει το μικρότερο συνολικό κόστος αποτελεί επαλήθευση του ισχυρισμού ότι πρόκειται για μια μέθοδο σχεδιασμένη για πυκνά δίκτυα. Στη μέθοδο Redman τα αντίγραφα που δημιουργούνται είναι λιγότερα σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, γεγονός που δίνει μικρό κόστος. Επιπρόσθετα, όταν το δίκτυο είναι πυκνό (περισσότεροι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους) ο βαθμός αντιγράφων που απαιτείται είναι μικρότερος, αλλά και η αναζήτηση δεδομένων απαιτεί μικρότερο μέγιστο βάθος αναζήτησης. Συνολικά, λοιπόν, το κόστος είναι μικρότερο. Για τις άλλες τρεις μεθόδους η κατάσταση μοιάζει ίδια με το αραιό δίκτυο: η DAFN είναι πιο ακριβή λόγω του τρόπου με τον οποίο δημιουργεί τα αντίγραφα (σε κάθε Relocation Period «γεμίζει» με αντίγραφα την cache κάθε κόμβου ξεχωριστά), η Skip Copy έχει αρκετά μικρότερο συνολικό κόστος από την DAFN και η Expanding Ring είναι κάπου ανάμεσα. Αξίζει επίσης να παρατηρήσουμε ότι στο πυκνό δίκτυο τα ποσοστά επιτυχίας είναι γενικά μεγαλύτερα (σε όλες τις μεθόδους) σε σχέση με το αραιό δίκτυο και ότι μιλάμε, πλέον, για συνολικό κόστος σε εκατομμύρια και όχι σε χιλιάδες.

Στο Σχήμα 6.7 (β) παρατηρούμε ότι για τις ίδιες τιμές του συνολικού κόστους μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας έχει η Redman. Ακολουθεί, αρκετά κοντά, η Skip Copy και μετά η Expanding Ring. Το μικρότερο ποσοστό επιτυχίας δίνει η DAFN. Επίσης, παρατηρούμε ότι για τις δύο τιμές του συνολικού κόστους η Redman έχει περίπου ίδιο ποσοστό επιτυχίας, πράγμα που σημαίνει ότι αυτό είναι και το υψηλότερο ποσοστό επιτυχίας που μπορεί να έχει υπό τις δεδομένες συνθήκες. Αντίθετα, στις άλλες τρεις μεθόδους το ποσοστό αυξάνεται λίγο όταν αυξάνεται το συνολικό κόστος, γεγονός που μας οδηγεί να σκεφτούμε ότι πιθανότατα με λίγο μεγαλύτερο συνολικό κόστος μπορεί να δίνουν λίγο υψηλότερο ποσοστό επιτυχίας από τη Redman.

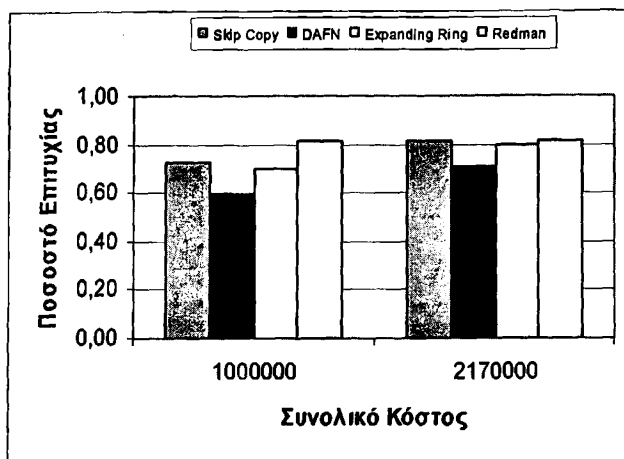
### 6.3.2. Μικρή Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

Οι κόμβοι κινούνται με μικρή ταχύτητα (0,1-0,5 m/sec) και η συχνότητα ερωτήσεων είναι μεγάλη, με αποτέλεσμα να έχουμε περισσότερες ερωτήσεις συνολικά. Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε μέθοδο φαίνονται στον Πίνακα Π8.





(α)



(β)

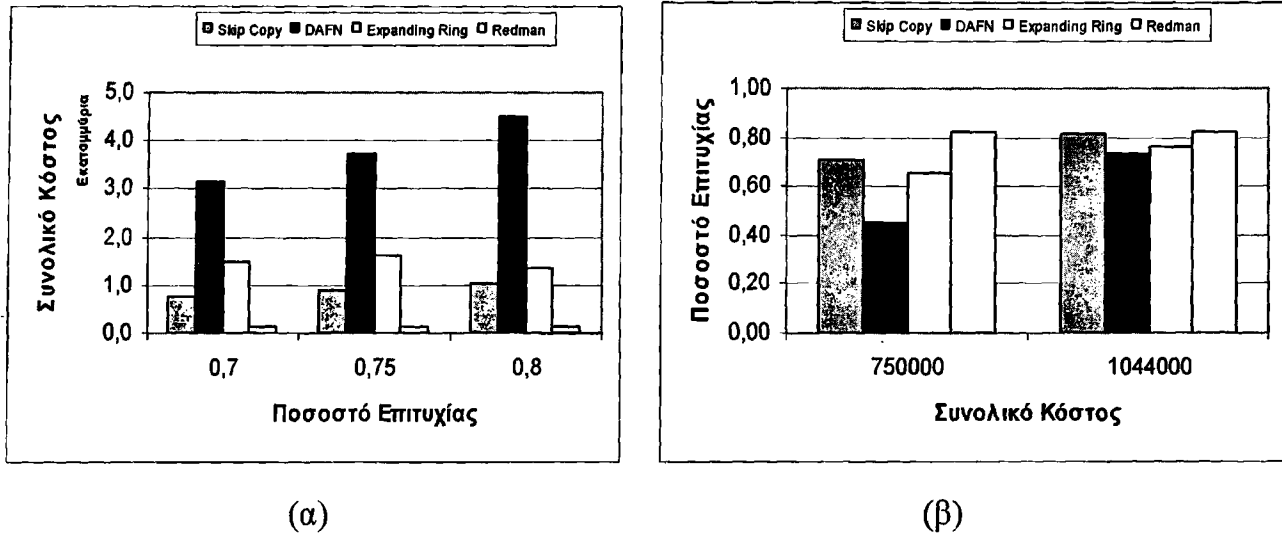
Σχήμα 6.8 Σύγκριση των Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα και Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

Στο Σχήμα 6.8 (α) βλέπουμε ότι, όπως και με τη μικρότερη συχνότητα ερωτήσεων, το μικρότερο συνολικό κόστος έχει η Redman. Από τη στιγμή που το δίκτυο είναι πυκνό οι ερωτήσεις, ακόμη και αν είναι πολλές, εξυπηρετούνται χωρίς να υπάρχει κάποιο πρόβλημα. Για τις υπόλοιπες μεθόδους τα πράγματα είναι ίδια με πριν. Για τη Skip Copy και την Expanding Ring βλέπουμε ότι το συνολικό κόστος είναι μεγαλύτερο απ' ό,τι στο Σχήμα 6.7 (α), όπου η συχνότητα ερωτήσεων ήταν μικρή. Μάλιστα, για τη Skip Copy η αύξηση είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με την Expanding Ring.

Στην περίπτωση που το συνολικό κόστος είναι το ίδιο (Σχήμα 6.8 (β)) η μέθοδος Redman έχει πάλι το υψηλότερο ποσοστό επιτυχίας. Η Skip Copy και Expanding Ring είναι στα ίδια περίπου επίπεδα με τη Skip Copy να έχει ελαφρώς μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας. Η DAFN έχει το μικρότερο. Ωστόσο, παρατηρούμε ότι όπως και πριν, για πολύ μεγάλες τιμές του συνολικού κόστους η Skip Copy και η Expanding Ring πλησιάζουν πολύ ή είναι και ίσες με τη Redman. Αυτό είναι ένδειξη ότι η Redman είναι δύσκολο να αυξήσει περαιτέρω το ποσοστό επιτυχίας της.

### 6.3.3. Μεσαία Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Στην τρίτη παραλλαγή του περιβάλλοντος πειραμάτων οι κόμβοι κινούνται με ταχύτητα 0,1-1,0 m/sec και η συχνότητα ερωτήσεων είναι μικρή. Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε μέθοδο φαίνονται στον Πίνακα Π9.



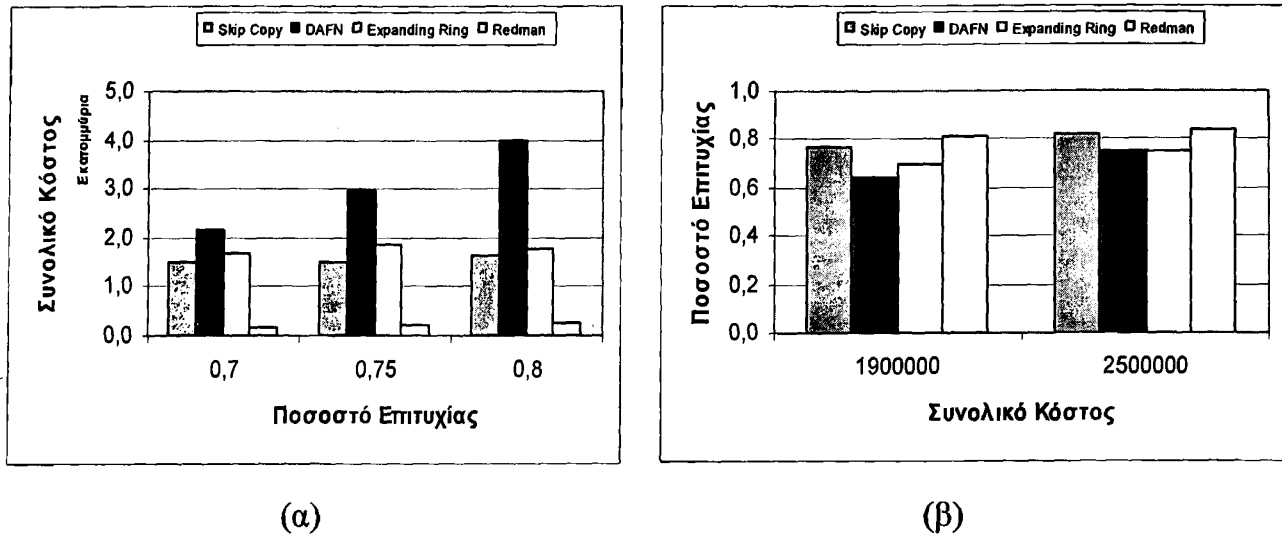
Σχήμα 6.9 Σύγκριση των Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεσαία Ταχύτητα και Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Στο Σχήμα 6.9 (α) βλέπουμε ότι για τα ίδια ποσοστά επιτυχίας οι μέθοδοι διατηρούν τη συμπεριφορά τους όσον αφορά το συνολικό κόστος. Μικρότερο, και μάλιστα αρκετά, έχει η Redman και μεγαλύτερο, με διαφορά, η DAFN. Η Skip Copy και η Expanding Ring, έχουν πιο μικρή διαφορά.

Για μικρές τιμές του ίδιου συνολικού κόστους (Σχήμα 6.9 (β)), η Redman δίνει το μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας και για τις υπόλοιπες τρεις μεθόδους η διαφορά είναι εμφανής. Για μεγαλύτερες, όμως, τιμές του συνολικού κόστους βλέπουμε ότι οι διαφορές μειώνονται και οι μέθοδοι στο σύνολό τους δίνουν πολύ καλά ποσοστά επιτυχίας. Η Redman, προφανώς, επηρεάζεται από την αύξηση της ταχύτητας των κόμβων και δε μπορεί να δώσει υψηλότερα ποσοστά επιτυχίας. Αντίθετα, η DAFN δείχνει ευνοημένη από τη μεγαλύτερη ταχύτητα και πλησιάζει σε ποσοστό επιτυχίας την Expanding Ring.

### 6.3.4. Μεσαία Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

Για την ίδια ταχύτητα αυξάνουμε κι άλλο τη συχνότητα ερωτήσεων με σκοπό να δούμε αν οι μέθοδοι συμπεριφέρονται το ίδιο και με περισσότερες ερωτήσεις. Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε μέθοδο φαίνονται στον Πίνακα Π10.



Σχήμα 6.10 Σύγκριση των Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεσαία Ταχύτητα και Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

Για μεσαία ταχύτητα και μεγάλη συχνότητα ερωτήσεων παρατηρούμε ότι το συνολικό κόστος των μεθόδων κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με πριν (Σχήμα 6.10 (α)). Το μόνο διαφορετικό που μπορούμε να παρατηρήσουμε είναι ότι για ποσοστό επιτυχίας κοντά στο 0,8 η μέθοδος Skip Copy έχει κόστος που πλησιάζει αυτό της Expanding Ring, κάτι που συνέβαινε και στο Σχήμα 6.8 (α), όπου κι εκεί η συχνότητα ερωτήσεων ήταν μεγάλη.

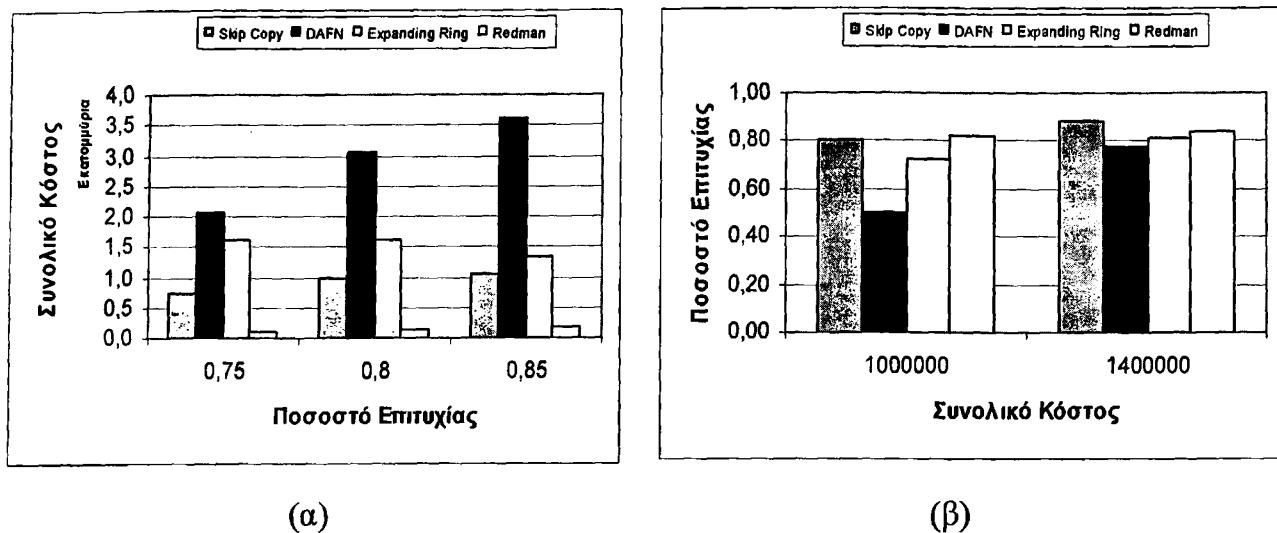
Όταν το συνολικό κόστος είναι ίδιο και σχετικά μικρό (Σχήμα 6.10 (β)), το ποσοστό επιτυχίας της Redman είναι μεγαλύτερο, η Skip Copy έχει το αμέσως μεγαλύτερο ποσοστό, ενώ Expanding Ring και DAFN ακολουθούν. Για μεγάλες τιμές συνολικού κόστους παρατηρούμε ότι όλες οι μέθοδοι έχουν υψηλό ποσοστό επιτυχίας και ακόμη και η DAFN πλησιάζει τις άλλες, κάτι που δε γινόταν με μικρότερες ταχύτητες.

### 6.3.5. Μεγάλη Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε μέθοδο φαίνονται στον Πίνακα Π11.







Σχήμα 6.11 Σύγκριση των Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα και Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Για μεγαλύτερη ταχύτητα και μικρή συχνότητα ερωτήσεων δεν αλλάζει κάτι στο συνολικό κόστος των μεθόδων (Σχήμα 6.11(α)). Αντίθετα, για το ίδιο συνολικό κόστος παρατηρούμε ότι η Skip Copy δίνει λίγο μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας από τη Redman, ενώ η Expanding Ring και η DAFN την πλησιάζουν αρκετά (κυρίως για 1.400.000 μηνύματα). Η Redman επηρεάζεται από την αύξηση της ταχύτητας αρνητικά, επειδή η συνεχής κίνηση καταστρέφει τις νοητές ευθείες πάνω στις οποίες είναι τοποθετημένα τα αντίγραφα.

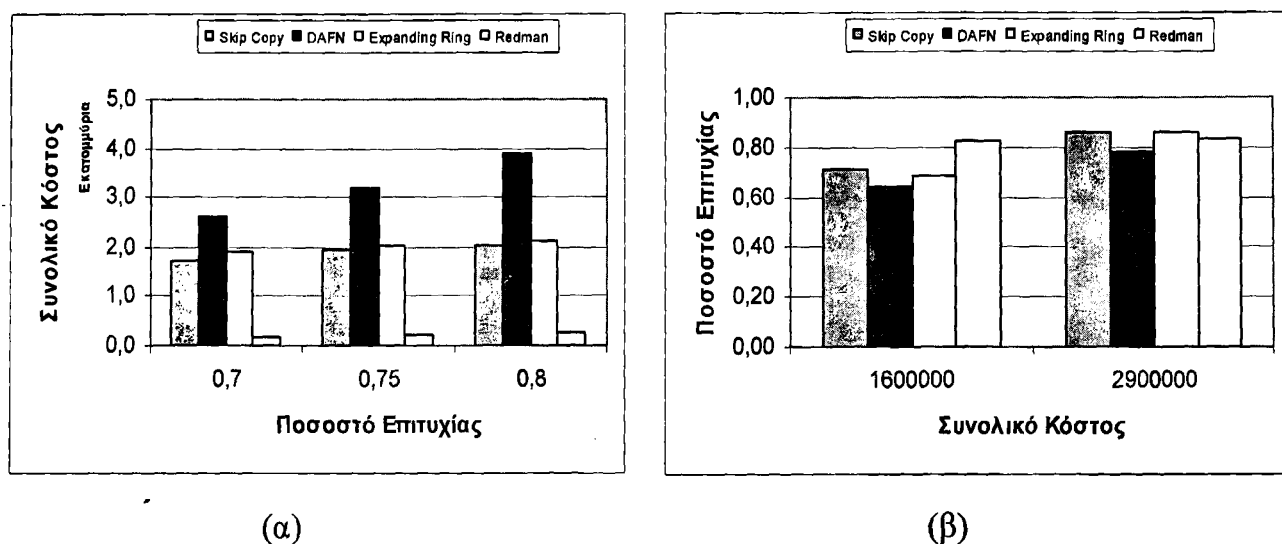
#### 6.3.6. Μεγάλη Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε μέθοδο, για αυτή τη σειρά πειραμάτων, φαίνονται στον Πίνακα Π12. Στο Σχήμα 6.12 (α) βλέπουμε ότι η Redman διατηρεί το μικρότερο συνολικό κόστος, ενώ οι άλλες τρεις μέθοδοι την ξεπερνούν κατά πολύ. Η μέθοδος Skip Copy, για άλλη μια φορά, έχει αυξημένο κόστος σε σχέση με τα πειράματα που έγιναν για μικρή συχνότητα ερωτήσεων (Σχήμα 6.12) και φτάνει πολύ κοντά στην Expanding Ring. Η τελευταία έχει και αυτή υψηλότερο κόστος σε σχέση με τη μικρότερη συχνότητα ερωτήσεων, ωστόσο η αύξηση είναι μικρότερη απ' ό,τι στη Skip Copy. Η DAFN διατηρεί το υψηλό κόστος της.

Όταν διατηρήσουμε ίδιο το συνολικό κόστος παρατηρούμε ότι για τη μικρότερη τιμή (1.600.000 μηνύματα) η Redman έχει το μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας και ακολουθούν η



Skip Copy, η Expanding Ring και τελευταία η DAFN. Αυτό αλλάζει για μεγαλύτερο συνολικό κόστος (2.500.000 μηνύματα), όπου πλέον, τα μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας δίνουν η Skip Copy και η Expanding Ring με τη μέθοδο Redman έχει το τρίτο κατά σειρά υψηλότερο ποσοστό επιτυχίας. Η Redman προφανώς, λόγω της κίνησης των κόμβων με μεγαλύτερη ταχύτητα, δε μπορεί να δώσει μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας, ακόμη κι αν το κόστος μεγαλώσει αρκετά.



Σχήμα 6.12 Σύγκριση Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο Μεγάλη Ταχύτητα και Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

#### 6.4. Γενικές Διαπιστώσεις και Συμπεράσματα για την Πειραματική Σύγκριση.

Από την πειραματική μελέτη που παρουσιάστηκε στις προηγούμενες παραγράφους του Κεφαλαίου 6, μπορούμε να πούμε ότι οι τέσσερις μέθοδοι δημιουργίας αντιγράφων έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και καθεμία από αυτές συμπεριφέρεται ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο εφαρμόζεται. Σε ένα αραιό δίκτυο όλες δίνουν σχετικά μικρά ποσοστά επιτυχίας και αντίστοιχα μικρά συνολικά κόστη. Η Skip Copy πρώτα και μετά η Expanding Ring έχουν, σταθερά, τα μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας και τα μικρότερα συνολικά κόστη. Η Expanding Ring, βέβαια έχει το μειονέκτημα ότι απαιτεί γνώση των συνολικών ερωτήσεων που γίνονται για κάθε δεδομένο γεγονός που ενισχύει την υπεροχή της Skip Copy. Η DAFN για τα ίδια ποσοστά επιτυχίας δίνει το μεγαλύτερο κόστος, ενώ για τα ίδια συνολικά κόστη το μικρότερο ποσοστό επιτυχίας. Αυτό δε σημαίνει ότι δε μπορεί να δώσει υψηλά ποσοστά επιτυχίας. Αντίθετα δίνει υψηλά ποσοστά, αλλά συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους είναι πιο

ακριβή. Η Redman, βρίσκεται κάπου ενδιάμεσα. Για μικρή ταχύτητα συμπεριφέρεται περίπου όπως η Expanding Ring. Όταν όμως η ταχύτητα αυξηθεί λίγο τα πράγματα αλλάζουν και δίνει μικρά ποσοστά επιτυχίας για το ίδιο κόστος και μεγάλο κόστος για τα ίδια ποσοστά επιτυχίας. Ούτως ή άλλως οι συγγραφείς στο [1] αναφέρουν ρητά ότι η Redman έχει σχεδιαστεί για πυκνά δίκτυα και ήταν αναμενόμενο να μην έχει καλά αποτελέσματα σε ένα αραιό δίκτυο.

Σε ένα πυκνό δίκτυο οι ρόλοι αλλάζουν. Η Redman έχει τα καλύτερα ποσοστά επιτυχίας και το μικρότερο συνολικό κόστος, ειδικά όταν οι ταχύτητα είναι μικρού ή μεσαίου μεγέθους. Βέβαια, παρατηρείται ότι από ένα σημείο και μετά το ποσοστό επιτυχίας δε μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω, κάτι που δεν ισχύει στις άλλες μεθόδους. Ωστόσο φτάνει το 80% σε ποσοστό επιτυχίας. Η Skip Copy δίνει καλά αποτελέσματα, ειδικά σε περιπτώσεις με μικρή συχνότητα ερωτήσεων. Με μεγάλη συχνότητα ερωτήσεων έχει περίπου ίδια συμπεριφορά με την Expanding Ring. Τέλος, η DAFN όσο αυξάνεται η ταχύτητα, μοιάζει να φτάνει σε ποσοστά επιτυχίας τις άλλες μεθόδους, αλλά και πάλι το κόστος είναι μεγάλο. Βλέπουμε επομένως ότι αυτή η μέθοδος, παρ' ότι υποθέσαμε ότι διαθέτει επιπλέον καθολική πληροφορία, με μηδενικό κόστος, δε δίνει τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Ναι μεν έχει υψηλά ποσοστά επιτυχίας, αλλά αυτό οδηγεί ταυτόχρονα και σε μεγάλο συνολικό κόστος. Ανάλογα, αν προσπαθήσουμε να κρατήσουμε το κόστος χαμηλό, θα παραμείνει χαμηλό και το ποσοστό επιτυχίας της.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

### 7.1 Συμπεράσματα

### 7.2 Μελλοντική Εργασία

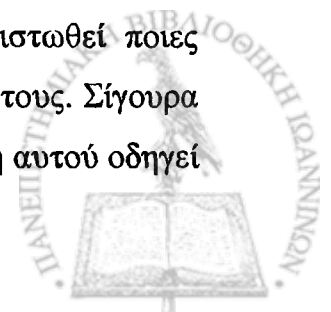
---

#### 7.1. Συμπεράσματα.

Η παρούσα εργασία ασχολήθηκε με τη δημιουργία αντιγράφων δεδομένων σε κινητά δίκτυα Ad-Hoc (MANETs). Πρόκειται για μια κατηγορία ασύρματων δικτύων που μόλις τα τελευταία χρόνια άρχισε να αποτελεί αντικείμενο μελέτης και που τα επόμενα χρόνια αρκετοί θα ασχοληθούν με αυτά. Τα χαρακτηριστικά τους είναι αυτά που τα κάνουν ελκυστικά και ταυτόχρονα απαιτούν ιδιαίτερους χειρισμούς που δεν απαιτούσαν τα μέχρι τώρα είδη δικτύων. Έχουν πολλές εφαρμογές και μπορούν να φανούν αποδοτικά και εξυπηρετικά σε περιπτώσεις που άλλα δίκτυα είναι δύσκολο να αντεπεξέλθουν.

Ωστόσο, στα MANETs εξαιτίας της κίνησης των κόμβων μπορεί να υπάρχουν αποτυχίες, τις οποίες προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε με δημιουργία αντιγράφων των δεδομένων σε διαφορετικά μέρη του δικτύου. Από την έρευνα προέκυψαν τέσσερις μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να γίνει αυτό: τη Skip Copy, τη Redman, την Expanding Ring και τη DAFN.

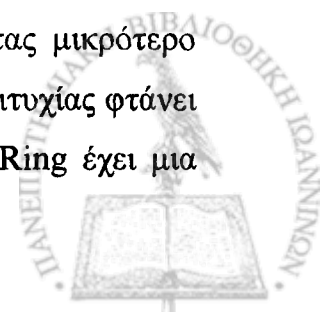
Καθεμία από τις μεθόδους αυτές μελετήθηκε αρχικά ξεχωριστά για διαπιστωθεί ποιες παράμετροι, και κατά πόσο, επηρεάζουν την απόδοση και το συνολικό κόστος τους. Σίγουρα το μέγεθος της cache παίζει καθοριστικό ρόλο σε όλες τις μεθόδους και αύξηση αυτού οδηγεί



και σε αύξηση του ποσοστού επιτυχίας. Για τη Skip Copy βασική παράμετρος είναι η ακτίνα μέσα στην οποία θα δημιουργηθούν τα αντίγραφα και όσο αυτή μεγαλώνει τόσο μεγαλώνει και το ποσοστό επιτυχίας και συνάμα και το συνολικό κόστος. Η μέθοδος Redman εξαρτάται τόσο από το βαθμό αντιγράφων όσο και από το μέγιστο βάθος αναζήτησης. Αύξηση αυτών των μεγεθών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ποσοστού επιτυχίας. Το Reconstruction που αποτελεί κομμάτι αυτής της μεθόδου βελτιώνει σημαντικά το ποσοστό επιτυχίας κυρίως όταν χρησιμοποιείται σε αραιό δίκτυο, ενώ σε πυκνό δίκτυο δεν προσφέρει πολλά παραπάνω. Σε κάθε περίπτωση πάντως (αραιό-πυκνό) αυξάνει πολύ το συνολικό κόστος. Η Expanding Ring εξαρτάται τόσο από το μέγεθος των δακτυλίων μέσα στους οποίους δημιουργούνται τα αντίγραφα, όσο και από το μέγιστο βάθος αναζήτησης. Τέλος, στη DAFN το Relocation Period δε φαίνεται να παίζει κάποιο ιδιαίτερο ρόλο στην απόδοση της μεθόδου. Τα παραπάνω συμπεράσματα ισχύουν και για τα δύο μοντέλα κίνησης με βάση τα οποία έγιναν τα πειράματα: το Random Waypoint Moving Model και το Random Direction Moving Model. Πάντως, όλες οι μέθοδοι έχουν καλύτερο ποσοστό επιτυχίας με το Random Waypoint μοντέλο κίνησης, ωστόσο όταν οι κόμβοι κινούνται βάσει αυτού του μοντέλου το συνολικό κόστος είναι μεγαλύτερο.

Εκτός από την ξεχωριστή μελέτη κάθε μεθόδου έγιναν πειράματα υπό διαφορετικές συνθήκες προκειμένου να συγκριθούν. Σε ένα αραιό δίκτυο καλύτερα συμπεριφέρεται η Skip Copy και ακολουθεί με μικρή διαφορά η Expanding Ring. Η Redman, που δημιουργεί λίγα αντίγραφα, δεν έχει τόσο καλά αποτελέσματα, γιατί το δίκτυο είναι αραιό και αναγκαστικά μεγαλώνει το βάθος αναζήτησης. Επίσης τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των κόμβων προκειμένου να δημιουργηθούν τα αντίγραφα και να γίνουν οι ερωτήσεις είναι πάρα πολλά. Η DAFN, όμοια με τη Redman, είναι πολύ ακριβή εξ' αιτίας της ανταλλαγής πολλών μηνυμάτων, κυρίως στη φάση ελέγχου ίδιων αντιγράφων σε γειτονικούς κόμβους.

Στο πυκνό δίκτυο η Redman έχει την καλύτερη συμπεριφορά, γιατί ναι μεν δημιουργεί λίγα αντίγραφα, αλλά ταυτόχρονα εξαιτίας της μεγάλης πυκνότητας του δικτύου δεν απαιτείται μεγάλο βάθος αναζήτησης για τα δεδομένα. Βέβαια, όσο η ταχύτητα μεγαλώνει η Redman αρχίζει να έχει λιγότερο καλά αποτελέσματα. Η Skip Copy ακολουθεί έχοντας μικρότερο συνολικό κόστος σε δίκτυα όπου οι ερωτήσεις είναι πιο σπάνιες. Σε ποσοστό επιτυχίας φτάνει πολύ κοντά στην Redman, αλλά έχοντας μεγαλύτερο κόστος. Η Expanding Ring έχει μια



σταθερή συμπεριφορά σε όλες τις παραλλαγές του πυκνού δικτύου. Δίνει αρκετά υψηλά ποσοστά επιτυχίας (σχεδόν ίδια με τη Skip Copy). Τέλος, η DAFN, έχει το μεγαλύτερο κόστος και τα μικρότερα ποσοστά επιτυχίας. Γενικά, μπορεί να δώσει υψηλά ποσοστά επιτυχίας, αλλά με μεγάλο αριθμό μηνυμάτων. Πάντως, όταν η ταχύτητα μεγαλώνει ενώ οι υπόλοιπες μέθοδοι (και κυρίως η Redman) μοιάζουν να μη μπορούν να δώσουν μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας η DAFN αυξάνει το ποσοστό επιτυχίας της, χωρίς να αυξάνεται δραματικά το συνολικό κόστος.

Σε όλα τα παραπάνω πρέπει για τη DAFN και την Expanding Ring να συνυπολογίσουμε και την επιπλέον πληροφορία που χρειάζονται για τις συχνότητες πρόσβασης στα δεδομένα. Αυτή η πληροφορία, σε ένα δίκτυο Ad-Hoc, συνήθως απαιτεί μεγάλο κόστος και κάποιες φορές μπορεί να μην είναι εύκολο να υπολογιστεί. Δεν είναι απλό να γνωρίζει κάθε κόμβος ανά πάσα στιγμή τις συχνότητες πρόσβασης στα δεδομένα.

## 7.2. Μελλοντική Εργασία.

Οι τέσσερις μέθοδοι που μελετήσαμε σίγουρα δεν είναι οι καλύτερες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δημιουργία αντιγράφων σε ένα δίκτυο Ad-Hoc. Κάποιες τροποποιήσεις στις μεθόδους αυτές μπορεί να έχουν καλύτερα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, η χρήση του Reconstruction είναι αποδοτική όσον αφορά την αύξηση του ποσοστού επιτυχίας, αλλά ταυτόχρονα απαγορευτική εξαιτίας του κόστους της. Ίσως μια παραλλαγή της που θα έχει μικρότερο κόστος να είχε πολύ καλά αποτελέσματα.

Στη μέθοδο DAFN είδαμε ότι θεωρείται δεδομένη και χωρίς κόστος, καθολική πληροφορία για τις συχνότητες προσπέλασης στα δεδομένα. Αναμφισβήτητα, λοιπόν, διαθέτει ένα πλεονέκτημα έναντι των άλλων μεθόδων και σίγουρα. Υπό ρεαλιστικές συνθήκες, το κόστος μιας τέτοιας πληροφορίας δεν είναι δυνατό να μη λαμβάνεται υπόψη. Θα είχε, λοιπόν, ενδιαφέρον να δούμε πως θα μπορούσαν να υπολογιστούν και τι κόστος θα είχε αυτό, αυτές οι συχνότητες προσπέλασης μέσα από τοπική πληροφορία.

Επειδή τα MANETs έχουν ποικίλες εφαρμογές, ο τρόπος κίνησης των κόμβων διαφέρει από εφαρμογή σε εφαρμογή και από τα παραπάνω φάνηκε ότι το μοντέλο κίνησης παίζει



σημαντικό ρόλο στην απόδοση των μεθόδων. Μέχρι τώρα πρώτα δημιουργούνταν οι μέθοδοι δημιουργίας αντιγράφων και στη συνέχεια επιλέγονταν κάποιο μοντέλο κίνησης των κόμβων. Θα είχε ενδιαφέρον να γίνει το αντίθετο. Δηλαδή, δεδομένου ενός μοντέλου κίνησης των κόμβων να βρεθεί μια μέθοδος δημιουργίας αντιγράφων που για το συγκεκριμένο μοντέλο θα είχε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα.

Τέλος, μέχρι τώρα υποθέταμε ότι τα δεδομένα δεν ανανεώνονται. Το θέμα είναι τι γίνεται στην περίπτωση που κάθε δεδομένο ανανεώνεται και πρέπει οι νέες εκδόσεις του να αντικαταστήσουν τις παλιές. Από τις τέσσερις μεθόδους που μελετήσαμε μόνο για τη DAFN έχει γίνει μελέτη για αυτή την περίπτωση. Στα [9], [10] και [11] οι συγγραφείς ασχολούνται με το θέμα των περιοδικών ανανεώσεων των αντιγράφων. Χρησιμοποιώντας τις συχνότητες προσπέλασης στα δεδομένα και το χρόνο που απομένει μέχρι την επόμενη ανανέωση των αντιγράφων, δίνουν τρεις μεθόδους δημιουργίας αντιγράφων (E-SAF, E-DAFN, E-DCG) ανάλογες με εκείνες που περιγράψαμε στο Κεφάλαιο 4. Στο [12] ασχολούνται με τη μη περιοδική ανανέωση αντιγράφων.

Για τις υπόλοιπες τρεις μεθόδους (Skip Copy, Redman και Expanding Ring) δεν αναφέρεται τίποτε σχετικά με την ανανέωση των αντιγράφων. Οι συγγραφείς υποθέτουν ότι δε συμβαίνει ποτέ. Ενδιαφέρον θα ήταν, λοιπόν, να δούμε τι γίνεται και σε αυτές τις μεθόδους. Με μια πρώτη ματιά φαίνεται ότι οι αλγόριθμοι θα πρέπει να τροποποιηθούν αρκετά ή να χτιστούν σε μία νέα βάση.



## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

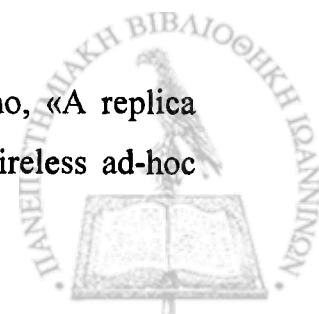
---

- [1] Paolo Bellavista, Antonio Corradi, Eugenio Magistretti, "REDMAN: a Decentralized middleware Solution for Cooperative Replication in Dense MANETs", March 2005.
- [2] Paolo Bellavista, Antonio Corradi, Eugenio Magistretti, "Comparing and Evaluating Lightweight Solutions for Replica Dissemination and Retrieval in dense MANETs", July 2005.
- [3] J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva, "A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols", 2002.
- [4] Tracy Camp, Jeff Boleng, Nanessa Davies, "A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Networks Research", *Wireless Communication & Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, 2002.
- [5] G Cao, L. Yin and C.R. Das, «Cooperative cache-Based Data Access in Ad Hoc Networks», *IEEE Computer Magazine*, Vol.37, No.2, pp.32-39, 2004.
- [6] K Chen, K. Nahrstedt, "An Integrated Data Lookup and replication Scheme in Mobile Ad Hoc Networks", *SPIE Int. Symp. On the Convergence of Information Technologies and Communications (ITCom 2001)*, Aug.2001.
- [7] Rodin Groenevelt, Philippe Nain, Ger Koole, "The Message Delay in Mobile Ad Hoc Networks", Submitted to Elsevier Science, 1 July 2005.





- [8] Takahiro Hara, "Effective Replica Allocation in Ad Hoc Networks for improving Data Accessibility", Proc. Of the IEEE INFOCOM (2001) 1568-1576, 2001.
- [9] Takahiro Hara, "Replica Allocation in Ad Hoc Networks with Periodic Data Update", Mobile Data Management 2002, pp. 79-86,
- [10] Takahiro Hara, "Replica Allocation Methods in Ad Hoc Networks with Data Update", MONET 8(4): 343-354 (2003).
- [11] Takahiro Hara, Hideki Hayashi, Shijiro Nishio, "Cache Invalidation for Updated Data in Ad Hoc Networks", CoopIS/DOA/ODBASE 2003: 516-535.
- [12] Takahiro Hara, Sanjay Kumar Madria, "Dynamic Data Replication Using Aperiodic Updates in Mobile AdHoc Networks ", DASFAA 2004, LNCS 2973, pp. 869-881.
- [13] Esa Hyytia, Pasi Lassila, Laura Nieminen, Jorma Virtamo, "Spatial Node Distribution in the Random Waypoint Mobility Model", Proceedings First German Workshop Mobile Ad-Hoc etworks (WMAN) (2002), pp. 41-58.
- [14] Susumu Ishihara, Tomoyuki Okino, Takashi Watanabe, Tadanori Mizuno, "Evaluation of the behaviour of Replication of Data Associated with Locations in Ad Hoc Networks", SCI 2004, Vol XIV, pp.29-34, GLOMISIN.
- [15] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," in *Mobile Computing*, Imielinski and Korth, Eds. Kluwer Academic Publishers, 1996, vol. 353.
- [16] K. Rothermel, C. Becker, J. Hahner, "Consistent Update Doffusion in Mobile Ad Hoc Networks", Technical Report 2002/2004, CS Dep., University of Stuttgart.
- [17] Masahiro Tamori, Susumu Ishihara, Takashi Watanabe, Tadanori Mizuno, «A replica distribution method with consideration of the positions of mibile hosts on wireless ad-hoc



networks”, Proc. of the 22<sup>nd</sup> International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW’02).

[18] Masahiro Tamori, Susumu Ishihara, Takashi Watanabe, Tadanori Mizuno, “Replication of data associated with locations in ad hoc networks”, Proc. of the 2004 IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM’04), pp.172.

[19] V. Thanedar, K.C. Almeroth, E.M. Belding-Royer, “A lightweight content replication scheme for mobile ad hoc environments”, Networking 2004, 3042, pp. 125-136.

[20] Gen Tsuchida, Tomoyuki Okino, Tadamori Mizuno, Susumu Ishihara, “Evaluation of a replication method for data associated with location in mobile ad hoc networks, ICMU 2005, 2<sup>nd</sup> Int’l Conference of Mobile Computing.

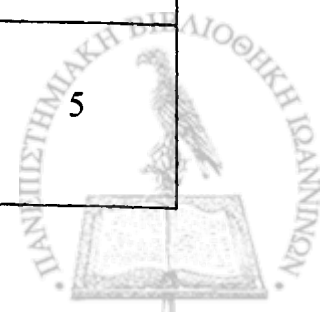
[21] Jungkeun Yoon, Mingyan Liu, Brian Noble, “Random Waypoint Considered Harmful”, In Proceedings of IEEE Infocom (San Francisco, April 1-3-2003), pp.1312-1321.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π.1 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Μέθοδος	Παράμετρος	Ποσοστό Επιτυχίας			Συνολικό Κόστος(msgs)	
		0,15	0,25	0,35	19.000	35.000
Skip Copy	Replication Range (m)	50	350	850	250	850
	S (hops)	2	2	2	2	2
Redman	Βαθμός Αντιγράφων	5	1	10	4	1
	DBR (hops)	2	2	2	2	2
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	6	1	10	1	1
DAFN	Relocation Period (sec)	300	300	300	300	300
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	2	3	2	3
Exp.Ring	Threshold (ερωτήσεις)	5	5	2	5	5
	Replication TTL (hops)	6	6	8	2	6
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	5	8	20	2	5



Πίνακας Π.2 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

Μέθοδος	Παράμετρος	Ποσοστό Επιτυχίας			Συνολικό Κόστος (msgs)	
		0,19	0,23	0,32	35.000	63.000
Skip Copy	Replication Range (m)	50	200	1000	350	850
	S (hops)	2	2	2	2	2
Redman	Βαθμός Αντιγράφων (αντίγραφα)	5	5	8	1	1
	DBR (hops)	2	2	2	1	2
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	4	10	1	2
DAFN.	Relocation Period (sec)	300	300	300	300	300
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	2	3	1	3
Exp.Ring	Threshold (ερωτήσεις)	5	5	5	5	5
	Replication TTL (hops)	2	6	6	2	6
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	7	10	2	7



Πίνακας Π.3 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεσαία ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Μέθοδος	Παράμετρος	Ποσοστό Επιτυχίας			Συνολικό Κόστος (msgs)	
		0,13	0,23	0,33	16.000	39.000
Skip Copy	Replication Range (m)	10	100	1000	50	400
	S (hops)	2	2	2	2	2
Redman	Βαθμός Αντιγράφων (αντίγραφα)	1	4	8	2	4
	DBR (hops)	2	2	2	2	2
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	2	10	1	1
DAFN.	Relocation Period (sec)	300	300	300	300	300
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	2	4	4	2
Exp.Ring	Threshold (ερωτήσεις)	5	5	2	5	5
	Replication TTL (hops)	2	6	6	2	10
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	10	5	2	10



Πίνακας Π.4 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεσαία Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Μέθοδος	Παράμετρος	Ποσοστό Επιτυχίας			Συνολικό Κόστος (msgs)	
		0,13	0,23	0,33	39.000	44.000
Skip Copy	Replication Range (m)	5	100	1000	600	1000
	S (hops)	2	2	2	2	2
Redman	Βαθμός Αντιγράφων (αντίγραφα)	1	4	8	1	1
	DBR (hops)	2	2	2	1	2
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	3	10	1	2
DAFN.	Relocation Period (sec)	300	300	300	300	300
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	3	4	2	4
Exp.Ring	Threshold (ερωτήσεις)	5	5	5	5	5
	Replication TTL (hops)	2	2	8	2	2
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	2	20	2	3



Πίνακας Π.5 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Μέθοδος	Παράμετρος	Ποσοστό Επιτυχίας			Συνολικό Κόστος (msgs)	
		0,13	0,23	0,32	13.000	42.000
Skip Copy	Replication Range (m)	10	300	850	350	850
	S (hops)	2	2	2	2	2
Redman	Βαθμός Αντιγράφων (αντίγραφα)	1	4	10	2	4
	DBR (hops)	1	2	2	2	2
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	1	10	1	2
DAFN.	Relocation Period (sec)	300	300	300	300	300
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	2	4	1	4
Exp.Ring	Threshold (ερωτήσεις)	5	5	3	5	5
	Replication TTL (hops)	2	8	8	2	6
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	10	10	2	10



Πίνακας Π.6 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Αραιό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

Μέθοδος	Παράμετρος	Ποσοστό Επιτυχίας			Συνολικό Κόστος	
		0,17	0,28	0,35	46.000msg	69.000msg
Skip Copy	Replication Range (m)	10	200	400	850	600
	S (hops)	2	2	2	2	2
Redman	Βαθμός Αντιγράφων (αντίγραφα)	2	4	10	2	5
	DBR (hops)	2	2	2	2	3
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	4	10	1	1
DAFN	Relocation Period (sec)	300	300	300	300	300
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	2	4	2	4
Exp.Ring	Threshold (ερωτήσεις)	5	5	5	5	5
	Replication TTL (hops)	2	6	8	6	6
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	8	20	4	5





Πίνακας Π.7 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μικρή ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Μέθοδος	Παράμετρος	Ποσοστό Επιτυχίας			Συνολικό Κόστος (msgs)	
		0,7	0,75	0,8	660.000	1.000.000
Skip Copy	Replication Range (m)	5	20	50	5	20
	S (hops)	2	2	2	2	2
Redman	Βαθμός Αντιγράφων (αντίγραφα)	5	5	5	50	50
	DBR (hops)	2	2	2	2	20
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	4	5	7	50	100
DAFN	Relocation Period (sec)	350	350	350	350	350
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	2	3	1	3
Exp.Ring	Threshold (ερωτήσεις)	3	2	2	2	3
	Replication TTL (hops)	6	4	6	4	6
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	4	6	6	2	4



Πίνακας Π.8 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μικρή Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

Μέθοδος	Παράμετρος	Ποσοστό Επιτυχίας			Συνολικό Κόστος (msgs)	
		0.7	0.75	0.80	1.000.000	2.170.000
Skip Copy	Replication Range (m)	1	5	20	1	20
	S (hops)	2	2	2	2	2
Redman	Βαθμός Αντιγράφων (αντίγραφα)	5	5	5	50	5
	DBR (hops)	2	2	2	2	2
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	4	5	7	20	50
DAFN.	Relocation Period (sec)	350	350	350	350	350
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	2	3	1	3
Exp.Ring	Threshold (ερωτήσεις)	5	4	5	4	4
	Replication TTL (hops)	6	6	4	4	6
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	4	4	5	6	5



Πίνακας Π.9 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεσαία ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Μέθοδος	Παράμετρος	Ποσοστό Επιτυχίας			Συνολικό Κόστος	
		0,70	0,75	0,80	750.000	1.044.000
Skip Copy	Replication Range (m)	10	20	40	10	300
	S (hops)	2	2	2	2	2
Redman	Βαθμός Αντιγράφων (αντίγραφα)	5	5	2	50	5
	DBR (hops)	2	2	2	2	2
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	4	7	20	50
DAFN	Relocation Period (sec)	350	350	350	350	350
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	3	4	2	5
Exp.Ring	Threshold (ερωτήσεις)	3	3	3	5	3
	Replication TTL (hops)	6	6	6	6	6
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	4	5	6	4	5



Πίνακας Π.10 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεσαία Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Μέθοδος	Παράμετρος	Ποσοστό Επιτυχίας			Συνολικό Κόστος (msgs)	
		0,70	0,75	0,80	1.900.000	2.500.000
Skip Copy	Replication Range (m)	1	5	30	5	30
	S (hops)	2	2	2	2	2
Redman	Βαθμός Αντιγράφων (αντίγραφα)	6	5	5	50	50
	DBR (hops)	2	2	2	2	2
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	4	7	30	50
DAFN.	Relocation Period (sec)	350	350	350	350	350
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	1	2	4	1	2
Exp.Ring	Threshold (ερωτήσεις)	3	4	4	3	3
	Replication TTL (hops)	4	6	6	6	6
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	4	5	3	4



Πίνακας Π.11 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα, Μικρή Συχνότητα Ερωτήσεων.

Μέθοδος	Παράμετρος	Ποσοστό Επιτυχίας			Συνολικό Κόστος (msgs)	
		0,70	0,75	0,80	1.000.000	1.400.000
Skip Copy	Replication Range (m)	10	30	40	40	100
	S (hops)	2	2	2	2	2
Redman	Βαθμός Αντιγράφων (αντίγραφα)	6	5	5	50	50
	DBR (hops)	2	2	7	2	2
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	4	350	20	50
DAFN.	Relocation Period (sec)	350	350	350	350	350
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	3	4	2	4
Exp.Ring	Threshold (ερωτήσεις)	3	3	3	4	3
	Replication TTL (hops)	6	6	6	6	6
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	4	5	6	5	6



Πίνακας Π.12 Τιμές Παραμέτρων Μεθόδων για Πυκνό Δίκτυο, Μεγάλη Ταχύτητα, Μεγάλη Συχνότητα Ερωτήσεων.

Μέθοδος	Παράμετρος	Ποσοστό Επιτυχίας			Συνολικό Κόστος (msgs)	
		0,70	0,75	0,80	1.600.000	2.900.000
Skip Copy	Replication Range (m)	1	10	30	1	300
	S (hops)	2	2	2	2	2
Redman	Βαθμός Αντιγράφων (αντίγραφα)	6	5	5	50	50
	DBR (hops)	2	2	2	2	2
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	4	7	25	45
DAFN.	Relocation Period (sec)	350	350	350	350	350
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	3	5	2	4
Exp.Ring	Threshold (ερωτήσεις)	3	3	3	3	2
	Replication TTL (hops)	6	6	6	6	6
	Μήκος Αναζήτησης (hops)	2	3	4	2	5



## ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ

---

Η Ιωάννα Ζέλιου του Νικολάου, γεννήθηκε το 1982 στην Αιτωλοακαρνανία. Είναι πτυχιούχος του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (2003). Από το 2003 εργάζεται σαν καθηγήτρια Πληροφορικής στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Στο διάστημα Σεπτέμβριος 2003 - Ιούλιος 2006 παρακολούθησε το Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

